



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Departamento de Engenharia Mecânica

Desenvolvimento de um edifício tipo
"PassivHaus" para clima temperado
(Português) integrando painéis
"sandwich" estruturais e fontes de energia
renováveis

Diogo Filipe Pereira Remoaldo

Porto, Setembro de 2015

Desenvolvimento de um edifício tipo
"PassivHaus" para clima temperado
(Português) integrando painéis
"sandwich" estruturais e fontes de energia
renováveis

Diogo Filipe Pereira Remoaldo

Tese de Mestrado submetida na:

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Orientador:

Armando Carlos Figueiredo de Oliveira

Co-orientador:

Ana Isabel Palmero Marrero

Departamento de Engenharia Mecânica
Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

"Problems cannot be solved at the same level of awareness that created them"

Albert Einstein

Resumo

O aumento dos consumos energéticos no sector dos edifícios, teve como efeito uma gradual consciencialização mundial para a necessidade de diminuir os seus consumos e conseqüentemente as emissões de carbono. Com vista à sua diminuição, a *REHVA* (*Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations*) criou em 2002 o primeiro conjunto de regras, que os Estados Membros da União Europeia devem adoptar.

Neste sentido, novos edifícios como os *Passivhaus* ou o *nZEB* (*nearly Zero Energy Building*), surgem quer a nível Europeu, quer a nível Mundial.

Os *nZEBs*, são edifícios de baixos consumos energéticos, em que, grande parte da energia consumida, é proveniente de fontes renováveis. Uma definição de *nZEB*, segundo o manual da *REHVA* é "Limite técnico e razoável a nível nacional, para a utilização de energia primária não renovável $> 0 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, mas nunca superior ao imposto pela legislação nacional, este limite é definido através de uma combinação de boas práticas para a utilização eficiente da energia e da utilização de tecnologias para a produção de energias renováveis, podendo ou não as estratégias adoptadas serem as mais favoráveis a nível económico". Estes limites são impostos por cada Estado Membro, consoante o que cada país considera razoável de obter, ao nível do aproveitamento da energia proveniente de fontes renováveis.

O *Passivhaus* ou *Passive House*, é um conceito para a construção de edifícios, criado na Alemanha pelo professor Sueco Bo Adamson e pelo professor Alemão Wolfgang Feist, no *Passivhaus Institut*. Na construção de um *Passivhaus*, para além da preocupação em criar um edifício de baixos consumos energéticos e que utilize maioritariamente energia proveniente de fontes renováveis, existe também, a preocupação destes satisfazerem parâmetros, relacionados com a qualidade do ar interior (QAI) e com o conforto térmico dos ocupantes.

Apesar das diferenças entre os dois conceitos, determinados países como a Alemanha, adoptaram o *Passivhaus* como a sua definição de *nZEB*, ambos os conceitos são complementares, assentando em pressupostos idênticos, sendo o principal uma utilização mais eficiente da energia por parte dos edifícios.

Neste contexto, empresas como a *N2Build Timeless - Landscapes*, comercializam materiais, destinados a serem utilizados em edifícios de baixos consumos energéticos, assim como edifícios pré-fabricados por estes materiais. A empresa, forneceu a planta de um dos seus edifícios, não só para a avaliação do seu desempenho energético, face aos limites estabelecidos pelos conceitos previamente mencionados, como para permitir uma análise mais fiável do comportamento de um edifício de baixos consumos energéticos (se facto se confirmar, que o edifício em análise é um edifício de baixos consumos

energéticos).

Na presente dissertação, foram analisados vários sistemas que utilizam a energia proveniente de fontes renováveis, para a satisfação das suas necessidades energéticas.

Para a satisfação das necessidades de aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS), foram analisados três sistemas. O primeiro incluí dois colectores solares térmicos, um reservatório e uma caldeira auxiliar, o segundo, apenas o reservatório e a caldeira auxiliar e por fim, o último incluí apenas a caldeira auxiliar. A caldeira utiliza as *pellets* como combustível, sendo este considerado uma fonte de energia renovável.

De modo a ser possível a satisfação das necessidades de aquecimento e arrefecimento, foram analisados dois sistemas de climatização. No primeiro sistema, as necessidades de aquecimento são satisfeitas, através da utilização de um ventiloconvetor, enquanto que no segundo é utilizado um recuperador de calor. Ambos os sistemas são acoplados a um sistema de aquecimento auxiliar e se for necessário um sistema de arrefecimento auxiliar (que será para o presente caso de estudo, o *mini-chiller*). Em ambos os sistemas, a caldeira usada para AQS, aquece a água que circula no sistema permitindo o aumento da temperatura do ar que será insuflado no edifício, para o valor desejado. As necessidades de arrefecimento, são satisfeitas através da utilização eficiente de estratégias que recorrem à ventilação natural, designadamente o *free-cooling*, de modo a diminuir a temperatura interior do edifício, para o valor desejado, se estas estratégias não forem suficientes, será adicionado ao sistema um *mini-chiller*.

Para o sistema de AQS obtiveram-se os melhores resultados, para o sistema que utiliza exclusivamente a caldeira a *pellets* para AQS, pois a utilização dos colectores solares e de um reservatório, não permitirá obter retorno económico num período período de tempo aceitável.

No caso dos sistemas de climatização, os melhores resultados em termos de consumos energéticos, foram obtidos com a utilização de um ventiloconvetor, no entanto, de modo a garantir um elevado nível da QAI é fundamental, a utilização de um sistema de ventilação mecânica que permita a insuflação de ar novo no edifício, em todos os momentos, como acontece nos *Passivhaus*.

Por fim, foram instalados colectores solares fotovoltaicos, para gerar a energia eléctrica renovável necessária, de modo a obter edifícios em que não seja necessário o consumo de energia proveniente de fontes não renováveis, criando deste modo, um *ZEB* (*Zero Energy Building*), ou mais correctamente um *net ZEB* (*net Zero Energy Building*), como será explicado na presente dissertação.

Abstract

The progressive global awareness about the increasing energy consumption in the building sector, has led to the need to reduce its consumption and consequently the carbon emissions.

In order to accomplish this goal, REHVA created in 2002, the first set of rules, of which the Member States of the European Union must adopt, in order to decrease the energy consumption in this sector.

New building concepts, such as Passivhaus or nZEB, have started to spread at European and Worldwide level, in order to fight the increasing energy consumptions in this sector.

The nZEBs, are low-energy buildings in which a big part of their energy consumption, is provided from renewable sources. A definition for nZEB, specified in the REHVA manual is "Technically and reasonably achievable national energy use of > 0 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ but no more than a national limit value of non-renewable primary energy, achieved with a combination of best practice energy efficiency measures and renewable energy technologies which may or may not be cost optimal", these limits are established by each Member State, depending on the reasonably achievable amount of renewable energy on-site, in each country.

The Passivhaus or Passive House is a building concept, created in Germany by the Swedish professor Bo Adamson and professor Wolfgang Feist, in the Passivhaus Institut. Despite a Passivhaus being mainly aimed to create a low-energy building, in which most of the consumed energy provided by on-site renewable sources, this concept also aims to get the best results in other parameters such as the indoor air quality (QAI) and the thermal comfort of its occupants. Despite the noticeable differences, some countries, such as Germany, have adopted the *Passivhaus* as their definition of nZEB, since both are synergistic concepts which lie on the same presuppositions, the main being a more efficient energy consumption in buildings.

In this context, companies such as "N2build - Timeless Landscapes commercialize materials appropriate to build low-energy buildings, and also prefabricated buildings. This company offered the plant of one of their buildings, not only to enable the study of the energy consumption, in one of their buildings, but also to allow a better analysis of the thermal behaviour of a low-energy building.

In this dissertation, many systems were analysed, all of which consume energy provided from renewable sources, to satisfy the building's energy needs.

In order to satisfy the energy demand for hot-water heating, three systems were analysed. The first system, uses two solar thermal collectors, one tank and one boiler,

the second uses only the tank and the boiler, while the third and final one, uses only the boiler. It is important to note, that the boiler consumes pellets as it's fuel, which is considered a renewable source.

To satisfy the heating and cooling needs, two systems were tested. The first system uses a fan-coil, in order to satisfy it's heating needs, while the second uses a heat-recovery system, both systems are coupled with an auxiliary heating system and maybe an auxiliary cooling system if needed (for the present study a mini-chiller will be used). In both systems, the boiler used in the hot-water system, is used to increase the air temperature of the supply air, to the desired temperature. The cooling needs are satisfied, using efficient ways to use the natural ventilation, such as the free-cooling, in order to decrease the indoor air temperature, to the desired temperature, or if they are not enough, a mini-chiller will also be coupled to the system.

The hot-water system, that got the best results was the system that only used the boiler, since the others proved to not be economically profitable in a human's timespan.

In the case of the climatisation systems, the best results in terms of energy consumption, were obtained using a fan-coil, although, to obtain a great level of QAI, the best choice is the use of a mechanical ventilation system, that allows outside air into the building, at all moments like it happens in a Passivhaus, despite the higher energy consumption.

Finally, solar photovoltaic systems were installed, in order to generate the necessary amount of renewable energy, to satisfy all the building's energy needs, creating a ZEB (Zero Energy Building), or more accurately a net ZEB (net Zero Energy Building), as it will be explained in this dissertation.

Abreviaturas

Abreviaturas

<i>AC</i>	<i>Alternate Current</i>
AQ.	Aquecimento
AQS	Águas Quentes Sanitárias
ARREF.	Arrefecimento
<i>ASHRAE</i>	<i>American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers</i>
AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
CO_2	Dióxido de Carbono
CIEG	Custos de Interesse Económico Geral
<i>CLF</i>	<i>Cooling Load Factor</i>
<i>CSA</i>	<i>Canadian Standards Association</i>
<i>CSP</i>	<i>Composite Sandwich Panel</i>
<i>CRP</i>	<i>Carbon Reinforced Polymer</i>
<i>DC</i>	<i>Direct Current</i>
<i>EER</i>	<i>Energy Efficiency Ratio</i>
<i>EPBD</i>	<i>Energy Performance of Buildings Directive</i>
<i>ETICS</i>	<i>External Insulation Composite Systems</i>
EUA	Estados Unidos da América
EXT.	Exterior
F.O.	Factor de ocupação
<i>FRP</i>	<i>Fiber Reinforced Polymer</i>
F.U.	Factor de utilização
<i>GHG</i>	<i>Green House Gas</i>
<i>GRP</i>	<i>Glass Reinforced Polymer</i>
<i>LED</i>	<i>Lightning Emitting Diode</i>
IDDA	Índice de Desempenho de Distribuição do Ar
INT.	Interior
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<i>nnZEB</i>	<i>net nearly Zero Energy Building</i>
<i>nZEB</i>	<i>nearly Zero Energy Building</i>
<i>PEB</i>	<i>Plus Energy Building</i>
PHI	<i>Passivhaus Institut</i> ou <i>Passive House Institute</i>
<i>PU</i>	<i>Polyurethane</i>
<i>PV</i>	Fotovoltaico
<i>PVT</i>	Fotovoltaico Térmico
QAI	Qualidade do Ar Interior
RC	Sistema de Climatização com Recuperador de Calor

RCCTE	Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios
RECS	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviço
REH	Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação
<i>REHVA</i>	<i>Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations</i>
RSECE	Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios
SC	Sistema de Climatização
SCE	Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade do Ar Interior
<i>SEER</i>	<i>Seasonal Energy Efficiency Ratio</i>
SEN	Sistema Eléctrico Nacional
<i>SFP</i>	<i>Specific Fan Power</i>
INS.	Insuflado
UPAC	Unidade de Produção para Autoconsumo
UTA	Unidade de Tratamento de Ar
VC	Sistema de Climatização com Ventilconvector
<i>XPS</i>	<i>Extruded Polystyrene</i>
<i>ZEB</i>	<i>Zero Energy Building</i>

Nomenclatura

Caracteres Romanos		Unidades
a	Declive da relação linear entre dois parâmetros	[-]
A	Área	$[m^2]$
$\%A_{env.}$	Percentagem da área de envidraçados, em relação à área total da fachada	[%]
$\%A_{u.,oc.}$	Percentagem da área de útil, ocupada por cada compartimento	[%]
b_{tr}	Coefficiente de redução de perdas de um espaço não útil, ou de um edifício adjacente	[-]
cm	Custo de um combustível por kg	$[\text{€}/kg]$
CD	Coefficiente de Arrasto	[-]
CE	Custo da energia	$[\text{€}]$
CI	Custo Inicial	$[\text{€}]$
c_p	Calor específico	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$c_{p,ag}$	Calor específico da água	$[kJ/(kg \cdot K)]$
$c_{p,ar}$	Calor específico do ar	$[kJ/(kg \cdot K)]$
C_v	Coefficiente de eficiência das aberturas	[-]
DPI	Densidade de Potência de Iluminação	$[W/m^2]$
e	Espessura	$[mm]$
E	Energia consumida	$[kWh]$
E_m	Iluminância Média	$[lux]$
E_{exc_m}	Energia em excesso, produzida no mês "m", pelos colectores solares fotovoltaicos	$[kWh]$
$E_{exc.,Ren.}$	Energia em excesso, gerada pelo colector solar fotovoltaico em estudo da <i>Renesola</i>	$[kWh]$
$E_{exc.,SUN.}$	Energia em excesso, gerada pelo colector solar fotovoltaico em estudo da <i>Sunpower</i>	$[kWh]$

Caracteres Romanos		Unidades
$E_{Ren.,EP}$	Energia primária proveniente do colector solar fotovoltaico em estudo da <i>Renosola</i>	$[kWh_{EP}]$
$E_{SUN.,EP}$	Energia primária proveniente do colector solar fotovoltaico em estudo da <i>Sunpower</i>	$[kWh_{EP}]$
f	Fracção ou factor	$[-]$
f_{PC}	Perda de carga linear	$[Pa/m]$
F_0	Factor de sombreamento para elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado	$[-]$
F_D	Factor de Controlo, para a disponibilidade da luz natural	$[-]$
f_{ef}	Factor de correcção	$[-]$
F_f	Factor de sombreamento para elementos verticais adjacentes ao envidraçado	$[-]$
F_g	Fracção de envidraçado para uma determinada caixilharia	$[-]$
F_h	Factor de sombreamento do horizonte por obstrucção exterior ao edifício, ou por outros elementos do edifício	$[-]$
F_{in}	Factor de inércia das paredes	$[-]$
$F_{pu,i}$	Factor de energia primária para um equipamento ou fonte "i"	$[-]$
$F_R \cdot (\alpha\tau)$	Rendimento óptico do colector solar	$[-]$
$F_R \cdot U_L$	Factor de perdas térmicas do colector solar	$[W/(m^2 \cdot K)]$
F_{Sol}	Fracção de ganhos solares, permitida pelo envidraçado	$[-]$
F_O	Factor de Ocupação	$[-]$
F_w	Factor de correcção, de selectividade dos envidraçados	$[-]$
g	Factor de absorção solar do vidro	$[\%]$
G	Radiação Solar Incidente	$[W/m^2]$
GD	Número de Graus-Dia, na base dos $18^\circ C$	$[^\circ C]$
g_T	Factor solar do vidro	$[-]$
g_{Tmax}	Valor máximo admissível para o factor solar do vidro	$[-]$

Caracteres Romanos		Unidades
g_{Tvc}	Factor Solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de protecção solar, permanente, ou móvel totalmente activo, para uma incidência solar normal à superfície	[-]
h	Entalpia do ar	[kJ/kg _{a.s.}]
hc	Coefficiente de transferência de calor	[W/(m ² · K)]
hs	Altura Solar	[°]
H	Distância vertical percorrida pelo ar, desde a saída do difusor, até ao ocupante	[m]
H_1	Número de horas num ano em que o edifício se encontra sobreaquecido	[horas]
ΔH_{NPL}	Distância entre o ponto médio da abertura e o ponto por onde o caudal é insuflado	[m]
$\%H$	Percentagem das horas num ano, que o edifício se encontra sobreaquecido	[%]
I_t	Inércia Térmica do edifício	[kg/m ²]
k_1	Coefficiente de perdas térmicas linear	[W/(m ² · K)]
k_2	Coefficiente de perdas térmicas quadrático	[W/(m ² · K ²)]
L	Distância total percorrida pelo ar, desde a saída do difusor, até ao ocupante	[m]
L_c	Comprimento de uma pala, conduta ou de uma tubagem	[m]
Luc	Lucro total obtido pela utilização do sistema solar para AQS	[€]
Le	Preço da energia poupada através da utilização dos colectores solares	[€/kWh]
m	Quantidade de combustível consumido	[kg]
\dot{m}	Caudal mássico	[kg/h]
M_{si}	Massa superficial do elemento útil "i"	[kg/m ²]
n_a	Número de anos	[-]
N	Necessidades de energia primária	[kWh _{EP} (m ² · ano)]
N_t	Valor das necessidades de energia primária, para o edifício em análise	[kWh _{EP} /(m ² · ano)]

Caracteres Romanos		Unidades
N_t	Valor do somatório necessidades de energia primária para aquecimento e arrefecimento, para o edifício em análise	$[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$
N_{tc}	Valor limite das necessidades de energia primária, para um edifício de referência	$[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$
K_a	Coefficiente de ponderação, entre 0% e 50%, a aplicar ao $V_{CIEG,a}$ tendo em consideração a representatividade da potência total registada das unidades de produção para autoconsumo, no Sistema Elétrico Nacional	[%]
$OMIE_m$	Valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia para Portugal (mercado diário), relativos ao mês "m"	$[€/kWh]$
P_{UPAC}	O valor da potência instalada na unidade de produção para autoconsumo, constante no respetivo certificado de exploração	$[kW]$
P_c	Potência total dos equipamentos de controlo	$[W]$
P_n	Potência total dos sistemas de luminárias instaladas	$[W]$
P_z	Número de ocupantes máximo previsto para o espaço	[-]
\dot{Q}	Potência calorífica	$[kW]$
R_A	Caudal de ar novo necessário por área	$[l/(s \cdot m^2)]$
r_i	Factor de redução da massa superficial útil	[-]
R_m	Valor recebido pela venda da energia em excesso à rede, relativa ao mês "m"	$[€]$
R_{Nt}	Rácio da classe energética	[-]
R_P	Caudal de ar novo necessário por ocupante	$[l/(s \cdot pessoa)]$
rph	Número de renovações horárias do ar interior	$[h^{-1}]$
R_T	Resistência Térmica	$[m^2 \cdot K/W]$
S_i	Área da superfície interior do elemento "i"	$[m^2]$
T	Temperatura	$[°C]$

Caracteres Romanos		Unidades
t	Tempo	[s]
U	Coefficiente global de transferência de calor	$[W/(m^2 \cdot K)]$
v	Velocidade	$[m/s]$
V	Volume	$[m^3]$
\dot{V}	Caudal de ar	$[m^3/h]$
V_{BZ}	Caudal mínimo de ar novo necessário por zona, sem a correcção necessária devido à eficiência de ventilação	$[l/s]$
$V_{CIEG,a}$	O valor que permite recuperar os custos de interesse económico geral, da respectiva unidade de produção para autoconsumo, no ano "a" nos termos do número seguinte	$[\text{€}/kW]$
$\dot{V}_{I,extr.}$	Caudal de ar extraído na estação de aquecimento	$[m^3/h]$
V_{OZ}	Caudal mínimo de ar novo necessário por zona	$[l/s]$
$\dot{V}_{V,extr.}$	Caudal de ar extraído na estação de arrefecimento	$[m^3/h]$
w	Humidade absoluta do ar	$[g/kg_{a.s.}]$
x	Distância vertical do topo do enviaçãdo à pala	$[m]$
X	Parâmetro climático que se pretende ajustar	[-]
y	Altura do vidro	-
z	Altitude do local	$[m]$

Caracteres Gregos		Unidades
Δ	Diferença	[-]
ε	Efectividade	[-]
ε_v	Eficiência de Ventilação	[-]
η	Rendimento do Equipamento	[-]
η_0	Rendimento do colector para um determinado valor de radiação, sem perdas térmicas	[-]
λ	Condutibilidade Térmica	$[W/(m \cdot K)]$
$g_{\perp,vi}$	Factor solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro, conforme a informação do fabricante	[-]
ϕ	Humidade Relativa	[%]
ρ	Massa Volúmica	$[kg/m^3]$

Caracteres**Unidades****Gregos**

θ	Diferença de temperatura entre o corpo do ocupante e o jacto de ar	$[K]$
$\theta_{ext.,v}$	Temperatura exterior de referência na estação de arrefecimento, para uma dada localidade	$[^{\circ}C]$
v_l	Velocidade do jacto de ar, na parede	$[m/s]$

Subscritos

1	Estado 1
2	Estado 2
<i>a</i>	Ano
<i>aber.</i>	Abertura
<i>ag</i>	Água
<i>ag, e</i>	Água à entrada de um equipamento
<i>ag, f</i>	Água à saída de um equipamento
<i>ag, rede</i>	Água da rede
<i>amb</i>	Ambiente
<i>aq.</i>	Aquecimento
<i>aq., equip.</i>	Equipamento usada para aquecimento
<i>AQS</i>	Águas Quentes Sanitárias
<i>ar</i>	Ar
<i>ar, e</i>	Ar à entrada de um equipamento
<i>ar, f</i>	Ar à saída de um equipamento
<i>arref.</i>	Arrefecimento
<i>arref., equip.</i>	Equipamento usado para arrefecimento
<i>Aux.</i>	Equipamento auxiliar
<i>Aux., Sol.</i>	Equipamento auxiliar para o sistema solar
<i>B.</i>	Bomba
<i>B., Sol.</i>	Bomba usada para o sistema solar
<i>Cald.</i>	Caldeira
<i>Ch.</i>	Mini-Chiller
<i>cond.</i>	Condução
<i>dia.</i>	Diário
<i>del., i</i>	Proveniente da rede, ou de uma fonte de energia local
<i>del.nren, i</i>	Não renovável proveniente da rede, ou de uma fonte de energia local
<i>dif.</i>	Difusa
<i>ef.</i>	Efectiva
<i>elec.</i>	Electricidade
<i>elec., mec.</i>	Electricidade consumida pelos sistemas mecânicos
<i>env.</i>	Envidraçado
<i>env., U_i</i>	Envidraçado com coeficiente global de transferência de calor U_i
<i>env., U_j</i>	Envidraçado com coeficiente global de transferência de calor U_j

<i>esp.</i>	espaço
<i>exp., i</i>	Exportada para a rede, proveniente de uma fonte "i"
<i>exp., nren, i</i>	Não renovável exportada para a rede, proveniente de uma fonte "i"
<i>ext.</i>	Exterior
<i>extr.</i>	Extracção
<i>fach.</i>	Fachada
<i>fl.</i>	fluido
<i>ganhos</i>	Ganhos Internos
<i>G.N.</i>	Gás Natural
<i>H</i>	Horizontal
<i>i</i>	Estado ideal
<i>i</i>	Equipamento
<i>i</i>	Início
<i>i</i>	Tipo de fonte de energia
<i>i</i>	Tipo de necessidade energética
<i>I</i>	Estação de Aquecimento
<i>I., extr.</i>	Extracção na estação de Aquecimento
<i>i, ref.</i>	Equipamento, ou tipo de necessidade energética (como AQS, aquecimento ou arrefecimento) de referência
<i>ins.</i>	Insuflado
<i>int.</i>	Interior
<i>m</i>	Mês
<i>pel.</i>	<i>pellets</i>
<i>pes.</i>	pessoas
<i>r</i>	Estado que se verifica na realidade
<i>ref.</i>	Referência
<i>refei.</i>	Refeições
<i>Ren.</i>	Renovável
<i>SC</i>	Sistemas de Climatização
<i>sens.</i>	Sensível
<i>sobreaq, 25</i>	sobreaquecimento, contabilizado quando a temperatura no interior do edifício é superior a 25°C
<i>sobreaq, 26</i>	sobreaquecimento, contabilizado quando a temperatura no interior do edifício é superior a 26°C
<i>sobreaq., ocup., 25</i>	sobreaquecimento, contabilizado quando a temperatura no interior do edifício é superior a 25°C e este se encontra ocupado
<i>Sol.</i>	Solar térmico
<i>Sol., env.</i>	Energia solar captada pelos envidraçados
<i>stand.</i>	<i>Standard</i>
<i>t</i>	Total
<i>V</i>	Estação de Arrefecimento
<i>V.</i>	Dispositivo de ventilação que consome energia eléctrica
<i>z</i>	Zona

Agradecimentos

Aos meus pais, Rui e Maribel Remoaldo, o meu profundo agradecimento por todos os valores que me transmitiram e por me terem facultado todo o meu percurso até este momento.

Aos meus irmãos, Pedro e Beatriz Remoaldo, por me terem acompanhado ao longo de todo o meu crescimento.

À minha prima Ana Martins e à minha tia Adelaide Martins, por todo o apoio que me tem dado ao longo da minha vida.

Ao professor Armando Oliveira e à professora Ana Palmero, agradeço a possibilidade de realizar a presente dissertação e toda a orientação e tempo investidos para que este trabalho seja o melhor possível.

Ao professor Paulo Coelho, agradeço toda a ajuda e apoio ao longo deste ano, quer a nível pessoal, quer a nível académico.

Ao professor José Luís Alexandre, agradeço todos os conhecimentos que me transmitiu e que me permitiram ser capaz de realizar este trabalho.

Ao professor Ramiro Martins, agradeço toda a ajuda que me deu na utilização do *software LaTeX*.

Ao professor Francisco Vasques e ao professor catedrático Paulo Tavares de Castro, por todo o apoio que me deram ao longo do curso.

Aos meus amigos de longa data Carolina Silva, João Vitorino e Manuel Silva, e à Cátia Batalha, amiga que conheci nesta faculdade, um muito sincero obrigado pelo ombro amigo nos momentos mais difíceis.

Aos meus amigos José Sarilho e Daniel Tavares, por tudo o que passamos durante o curso e pelo apoio em alguns dos momentos mais difíceis.

Ao meu amigo engenheiro Pedro Marques, por todas as dicas que me deu na utilização do *TRNSYS*.

Ao engenheiro João Marcelino, ao arquitecto João Gavião e à *Homegrid*, por toda a informação disponibilizada e apoio dado, tendo contribuído decisivamente para a realização do presente trabalho.

Aos meus amigos João Rebelo, Gonçalo Couto e também ao Engenheiro João Soares, ao Engenheiro Paulo Pereira e também ao Professor Szabolcs Varga, por todo o companheirismo nesta última etapa do meu percurso académico.

Por último, mas não menos importante, um obrigado a todos os amigos e amigas que estabeleci ao longo do meu percurso académico e da minha vida, proporcionadoras

de um conjunto de vivências infindável e que me transformaram no indivíduo que sou hoje.

Índice

1	Introdução	1
1.1	Apresentação da <i>N2Build-Timeless Landscapes</i>	3
1.2	Estrutura	5
1.3	Panorama Energético em Portugal	5
1.3.1	Sistemas e Aplicações	8
1.4	<i>nZEB</i> e <i>Passivhaus</i>	10
1.4.1	<i>nZEB</i>	12
1.4.2	<i>Passivhaus</i>	14
1.5	<i>Composite Sandwich Panel (CSP)</i>	19
1.6	Objectivos	22
2	Caso de Estudo	23
2.1	Condições do Caso de Estudo	25
2.2	Localização Geográfica do Edifício	27
2.3	Perfis de Ocupação	29
2.4	Comportamento da Envolvente de um Edifício	33
2.5	Inércia Térmica	34
2.6	Envidraçados	36
2.7	Iluminação	39
2.8	Evolução da Temperatura Interior do Edifício em Estudo	40
2.9	Caudal mínimo de Ar Novo por Espaço	44
2.10	Determinação da Classe de Eficiência Energética para um Edifício de Habitação	50
2.11	Sistemas em Estudo	53
2.12	Simulação Dinâmica do Edifício através do <i>TRNSYS</i>	65
2.13	Simplificações para a análise do Caso de Estudo	68
3	Análise e Discussão dos Resultados Obtidos	71

3.1	Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento	73
3.2	Sistemas para o Aquecimento da Água Quente Sanitária	76
3.3	Sistema de Climatização	97
3.4	Classificação Energética do Edifício	108
3.5	Optimização da Envolvente do Edifício	110
3.5.1	Consumos Energéticos dos Sistemas de Climatização, para o Edifício Optimizado	115
3.5.2	Consumos Energéticos mediante o Período de Ocupação da Habitação	126
3.6	Balanço Energético	145
4	Conclusão e Trabalhos Futuros	155
4.1	Análise Global dos Resultados Obtidos	157
4.2	Perspectivas para o Futuro do Sector dos Edifícios	161
4.3	Trabalhos Futuros	164
	Bibliografia	170
	Anexo A Planta do Edifício	173
A.1	Planta Original do Edifício	173
A.2	Edifício redimensionado	175
	Anexo B Perfis de Utilização	179
B.1	Perfil de Utilização da Iluminação	179
B.2	Perfis de Utilização dos Computadores e das Televisões	181
B.3	Perfil do Consumo de Água Quente Sanitária	184
	Anexo C Comportamento da Envolvente do Edifício	187
C.1	Edifício com 80 <i>mm</i> de espessura	187
C.1.1	Consumos Energéticos dos equipamentos, utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector	187
C.2	Edifício com 100 <i>mm</i> de espessura	190
C.2.1	Evolução da Temperatura Interior do Edifício	190
C.2.2	Evolução da Temperatura Interior do Edifício com o sistema de climatização activo	193
C.2.3	Consumos Energéticos dos equipamentos, utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector	198
C.3	Edifício Redimensionado	201

C.3.1	Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloinvector	201
C.3.2	Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com Recuperador de Calor	204
C.3.3	Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com Ventiloinvector, mediante a Ocupação do Edifício	207
C.3.4	Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com Recuperador de Calor, com as recomendações do <i>PHI</i>	210
Anexo D Modelos Dinâmicos utilizados no <i>TRNSYS</i>		213
Anexo E Dimensionamento dos Sistemas de Climatização em Estudo		227
E.1	Funcionamento dos Sistemas de Climatização	227
E.1.1	Tipos de Sistemas	230
E.2	Dimensionamento do Sistema de Climatização com Ventiloinvector (" <i>Fan-Coil</i> ")	232
E.3	Dimensionamento do Sistema com Recuperação de Calor e Ventilação Mecânica	238
E.3.1	Diagramas Psicrométricos das Evoluções do ar no interior do Edifício	243
E.3.2	Difusores	245
E.4	Conduas e Redes Hidráulicas	250
E.5	Conduas de Insuflação e Extração	258
E.6	Grelhas de Extração	260
Anexo F Dimensionamento da Caldeira usada para o Aquecimento das Águas Quentes Sanitárias		261
Anexo G Colectores Solares		263
G.1	Colectores Solares Térmicos Testados	263
G.2	Colectores Solares Fotovoltaicos	266
G.3	Colectores Solares Fotovoltaicos Testados	269
Anexo H Equipamentos Utilizados		275
H.1	Caldeira Auxiliar	275
H.2	Reservatório	277
H.3	Bomba de Circulação	278

H.4	Mini- <i>Chiller</i>	279
H.5	Abertura Auto-Reguláveis	280

Índice de Figuras

1.1	Consumo no sector doméstico e peso (%) do consumo neste sector, no consumo de energia final em Portugal (1989-2009)	6
1.2	Classificação energética dos edifícios <i>nZEB</i> e comparação das suas necessidades relativamente aos edifícios pertencentes às restantes classes e aos edifícios <i>nnZEB</i> (<i>net nearly Zero Energy Building</i>)	7
1.3	Distribuição percentual da energia obtida em 2014, através das diversas fontes para o sector eléctrico em Portugal	7
1.4	Distribuição mensal da energia eléctrica proveniente das diversas fontes em termos percentuais em Portugal	8
1.5	Diferentes estratégias de arrefecimento passivo para um edifício	9
1.6	Esquematização dos limites de um <i>nZEB</i> , segundo a directiva <i>EPBD</i>	13
1.7	Energia que deve ser contabilizada, no balanço energético dos edifícios	14
1.8	Sistema de climatização típico de um <i>Passivhaus</i>	15
1.9	Os cinco pilares de um <i>Passivhaus</i>	16
1.10	Espessuras ideais para a espessura de isolamento de um <i>Passivhaus</i> em países da Europa Ocidental	17
1.11	Primeiro edifício <i>Passivhaus</i> em Portugal construído em Ílhavo	18
1.12	Esquematização da constituição de um <i>CSP</i>	20
1.13	Possibilidades para a união dos painéis <i>CSP</i>	20
1.14	Painéis <i>CSP</i> , produzidos pela <i>N2Build</i>	21
1.15	Edifícios com paredes feitas de <i>CSP</i>	21
2.1	Edifício em estudo	25
2.2	Fachada principal do edifício (assinalada com a letra A) orientada a Sul, esta fachada irá ser rodada para Poente (letra C) e para Norte (letra B)	26
2.3	Perfil de ocupação da habitação nas segundas e sextas-feiras, na estação de aquecimento	29
2.4	Perfil de ocupação da habitação nos restantes dias da semana, na estação de aquecimento e nas quartas e sextas-feiras, para a estação de arrefecimento	30

2.5	Perfil de ocupação da habitação nos restantes dias da semana, na estação de arrefecimento	30
2.6	Perfil de ocupação da habitação nos sábados	31
2.7	Perfil de ocupação da habitação nos domingos	31
2.8	Ilustração dos pontos frágeis (pontes térmicas), presentes na envolvente do edifício	33
2.9	Ilustração de uma envolvente que cumpre a regra do lápis	34
2.10	Evolução das temperaturas médias no interior do edifício, para ambas as espessuras do painel <i>CSP</i> ao longo do ano	40
2.11	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	41
2.12	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	42
2.13	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	42
2.14	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	43
2.15	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	43
2.16	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	44
2.17	Relação entre o desequilíbrio de caudais e a taxa de infiltrações	49
2.18	Representação do sistema utilizado para AQS	54
2.19	Representação de um sistema de climatização utilizando o reservatório, para o aquecimento do ar novo	56
2.20	Ligações hidráulicas, das tubagens até ao radiador, o esquema representado é análogo ao que seria para um ventiloconvector	57
2.21	Diagrama representativo do sistema com ventiloconvector usado para climatizar o edifício em estudo	57
2.22	Sistema de climatização com recuperador de calor	58
2.23	Diagrama representativo, do sistema com recuperação de calor através da ventilação mecânica, usado para climatizar o edifício em estudo . . .	59

2.24	Diagrama usado para a determinação das temperaturas para a obtenção do conforto térmico, nas estações de aquecimento e arrefecimento, segundo a norma <i>ASHRAE</i> 55	60
2.25	Sistema fotovoltaico genérico	61
2.26	Representação das interligações entre o edifício e os sistemas em estudo, usando o ventiloconvector para a climatização do edifício	61
2.27	Representação das interligações entre o edifício e os sistemas em estudo, usando o sistema com recuperador de calor para a climatização do edifício em análise	62
2.28	Planta ampliada do edifício, com as redes de tubagem, para a solução que utiliza o ventiloconvector, para a climatização do espaço	63
2.29	Planta ampliada do edifício, com a rede de condutas e o recuperador de calor (RC), para o sistema de climatização que utiliza recuperador de calor	64
2.30	Diagrama que estabelece a ligação entre o edifício e os restantes elementos considerados para a simulação dinâmica no <i>TRNSYS</i> , considerando para o sistema de climatização a solução com ventiloconvector, os <i>inputs</i> utilizados no edifício e <i>outputs</i> obtidos para o edifício	67
2.31	Diagrama que estabelece a ligação entre o edifício e os restantes elementos considerados para a simulação dinâmica no <i>TRNSYS</i> , considerando para o sistema de climatização a solução com recuperador de calor, os <i>inputs</i> utilizados no edifício e <i>outputs</i> obtidos para o edifício	67
2.32	Representação no <i>TRNBuild</i> das paredes e das janelas, utilizadas para a simulação do edifício em estudo	68
2.33	Janela, que permite a introdução de um novo material, na biblioteca do <i>TRNBuild</i>	68
3.1	Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, para uma inclinação equivalente à latitude do local	80
3.2	Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, para a inclinação de 10,49°	80
3.3	Evolução da temperatura interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a 41,82°	83
3.4	Evolução da temperatura interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a 41,15°	83
3.5	Evolução da temperatura interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a 37,07°	84

3.6	Evolução da temperatura interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$	85
3.7	Evolução da temperatura interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$	85
3.8	Evolução da temperatura interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$	86
3.9	Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $41,82^\circ$ e com a nova estratégia de controlo implementada	87
3.10	Evolução da temperatura da água no interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $41,15^\circ$ e com a nova estratégia de controlo implementada	87
3.11	Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $37,02^\circ$ e com a nova estratégia de controlo implementada	88
3.12	Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$, com a nova estratégia de controlo implementada no sistema	89
3.13	Evolução da temperatura da água no interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$, com a nova estratégia de controlo implementada	89
3.14	Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$, com a nova estratégia de controlo implementada	90
3.15	Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, com a nova estratégia de controlo implementada, para uma inclinação equivalente à latitude do local	90
3.16	Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, com a nova estratégia de controlo implementada, para uma inclinação equivalente a $10,49^\circ$	91

3.17	Consumos energéticos anuais para o sistema de AQS, sem reservatório nem colectores solares	94
3.18	Consumos energéticos anuais para o sistema de AQS, com reservatório mas sem colectores solares	95
3.19	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na estação de aquecimento, para os dias de projecto, com o sistema de climatização activo	98
3.20	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na estação de aquecimento, para os dias de projecto, com o sistema de climatização activo	99
3.21	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na estação de aquecimento, para os dias de projecto, com o sistema de climatização activo	99
3.22	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, sem o sistema de arrefecimento activo	100
3.23	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, sem o sistema de arrefecimento activo	101
3.24	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, sem o sistema de arrefecimento activo	101
3.25	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, com o sistema de arrefecimento activo	102
3.26	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, com o sistema de arrefecimento activo	103
3.27	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, com o sistema de arrefecimento activo	103
3.28	Consumo de energia anual, dos equipamentos utilizados, para a climatização do edifício, para cada uma das localidades, com os painéis <i>CSP</i> de 80 <i>mm</i> de espessura	104
3.29	Consumo de energia anual dos equipamentos utilizados, para a climatização do edifício, para cada uma das localidades em estudo, com os painéis <i>CSP</i> de 100 <i>mm</i> de espessura	104
3.30	Representação dos consumos energéticos dos equipamentos utilizados para a climatização do edifício em estudo, com os painéis <i>CSP</i> de 80 <i>mm</i> de espessura, com o sistema de arrefecimento auxiliar activo	106

3.31	Representação dos consumos energéticos dos equipamentos utilizados para a climatização do edifício em estudo, com os painéis <i>CSP</i> de 100 <i>mm</i> de espessura, com o sistema de arrefecimento auxiliar activo	106
3.32	Representação esquemática do dimensionamento das palas	111
3.33	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo para a estação de aquecimento	116
3.34	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo para a estação de aquecimento	116
3.35	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo para a estação de aquecimento	117
3.36	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo, para a estação de arrefecimento	118
3.37	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo, para a estação de arrefecimento	118
3.38	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo, para a estação de arrefecimento	119
3.39	Evolução da temperatura interior do edifício localizado em Bragança, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, para semana em estudo da estação de arrefecimento, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar	120
3.40	Evolução da temperatura interior do edifício localizado no Porto, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, para semana em estudo da estação de arrefecimento, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar	120
3.41	Evolução da temperatura interior do edifício localizado em Faro, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, para semana em estudo da estação de arrefecimento, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar	121

3.42	Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização com ventiloconvector, para o edifício redimensionado . . .	122
3.43	Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com recuperador de calor, para o edifício redimensionado	122
3.44	Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o mini- <i>chiller</i> activo, para o edifício redimensionado	124
3.45	Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o mini- <i>chiller</i> activo, para o sistema com recuperação de calor, no o edifício redimensionado	124
3.46	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de aquecimento	127
3.47	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de aquecimento	127
3.48	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de aquecimento	128
3.49	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, sem o auxílio do mini- <i>chiller</i>	129
3.50	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, sem o auxílio do mini- <i>chiller</i>	129
3.51	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, sem o auxílio do mini- <i>chiller</i>	130
3.52	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, com o auxílio do mini- <i>chiller</i>	130
3.53	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, com o auxílio do mini- <i>chiller</i>	131
3.54	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, com o auxílio do mini- <i>chiller</i>	131

3.55	Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o controlo do sistema dependente do factor de ocupação das pessoas	132
3.56	Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o mini- <i>chiller</i> activo, com o controlo do sistema dependente do factor de ocupação das pessoas	133
3.57	Exemplos da formação de bolores na envolvente do edifício, devido à falta de controlo, quer da temperatura interior, quer da humidade relativa do edifício	136
3.58	Condições para a condensação no interior do edifício e para a formação de bolores	136
3.59	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na semana em estudo para a estação de aquecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> activo	137
3.60	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na semana em estudo para a estação de aquecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> activo	138
3.61	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na semana em estudo para a estação de aquecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> activo	138
3.62	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> activo	139
3.63	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> activo	140
3.64	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> activo	140
3.65	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> implementado e auxiliado por um mini- <i>chiller</i>	141
3.66	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> implementado e auxiliado por um mini- <i>chiller</i>	142
3.67	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i> implementado e auxiliado por um mini- <i>chiller</i>	142
3.68	Consumo energético anual do sistema recomendado pelo <i>Passivhaus Institut</i>	143

3.69	Consumo energético anual do sistema recomendado pelo <i>Passivhaus Institut</i> , com o auxílio de um mini- <i>chiller</i> auxiliar	144
4.1	Símbolos usados para a certificação de componentes para um edifício <i>Passivhaus</i>	162
A.1	Planta do edifício modelo	173
A.2	Planta do edifício modelo com vistas	174
A.3	Planta do edifício remodelado para Faro, com um sistema de climatização que utiliza o ventiloconvector para a climatização do espaço	175
A.4	Planta do edifício remodelado para Faro, com um sistema instalado baseado no sistema indicado pelo <i>Passivhaus Institut</i>	176
A.5	Planta do edifício remodelado para o Porto e Bragança, com um sistema de climatização que utiliza o ventiloconvector para a climatização do espaço	177
A.6	Planta do edifício em estudo após remodelação, para o Porto e Bragança, com um sistema instalado baseado no sistema indicado pelo <i>Passivhaus Institut</i> implementado	177
B.1	Perfil de utilização da iluminação nas segundas e sextas-feiras da estação de aquecimento	180
B.2	Perfil de utilização da iluminação nos restantes dias da semana, para ambas as estações	180
B.3	Perfil de utilização da iluminação aos sábados	180
B.4	Perfil de utilização da iluminação aos domingos para a estação de aquecimento	180
B.5	Perfil de utilização da iluminação aos domingos para a estação de arrefecimento	181
B.6	Perfil de utilização da televisão da sala durante os dias da semana	181
B.7	Perfil de utilização da televisão da sala durante os sábados	181
B.8	Perfil de utilização da televisão da sala durante os domingos	182
B.9	Perfil de utilização das televisões nos quartos dos filhos, nas segundas e sextas-feiras da estação de aquecimento	182
B.10	Perfil de utilização das televisões nos quartos, aos sábados	182
B.11	Perfil de utilização das televisões nos quartos, aos domingos	182
B.12	Perfil de utilização dos computadores pelos filhos, nas segundas e sextas-feiras da estação de aquecimento	183
B.13	Perfil de utilização dos computadores ao sábado	183
B.14	Perfil de utilização dos computadores ao domingo	183
B.15	Consumos de água quente sanitária nos dias da semana, quando a mãe almoça em casa	184

B.16	Consumos de água quente sanitária nos dias da semana, quando a mãe não almoça em casa	184
B.17	Consumos de água quente sanitária nos sábados	184
B.18	Consumos de água quente sanitária nos domingos	185
C.1	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	190
C.2	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	191
C.3	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	191
C.4	Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	192
C.5	Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	192
C.6	Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	193
C.7	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, em Bragança, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	193
C.8	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, no Porto, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	194
C.9	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, em Faro, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento	194
C.10	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, em Bragança, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	195
C.11	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, no Porto, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	195

C.12	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, em Faro, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	196
C.13	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, em Bragança, com o ventiloconvector e o mini- <i>chiller</i> activos, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	196
C.14	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, no Porto, com o ventiloconvector e o mini- <i>chiller</i> activos, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	197
C.15	Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 <i>mm</i> de espessura, em Faro, com o ventiloconvector e o mini- <i>chiller</i> activos, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento	197
D.1	Modelo implementado no <i>TRNSYS</i> para obter as necessidades de aquecimento, arrefecimento, dados médios mensais no interior do edifício e do ambiente exterior	213
D.2	Modelo simplificado para a obtenção das necessidades de aquecimento, arrefecimento, dados médios mensais no interior do edifício e do ambiente exterior, no <i>TRNSYS</i>	214
D.3	Modelo utilizado para a simulação do sistema de climatização, com ventiloconvector	215
D.4	Modelo simplificado para a simulação do sistema de climatização, com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i>	216
D.5	Modelo utilizado para a simulação do sistema de climatização com ventiloconvector e um mini- <i>chiller</i>	218
D.6	Modelo simplificado para a simulação do sistema de climatização com ventiloconvector e um mini- <i>chiller</i>	218
D.7	Modelo utilizado para a simulação do sistema baseado na solução do <i>Passivhaus Institut</i>	219
D.8	Modelo utilizado para a simulação do sistema baseado na solução do <i>Passivhaus Institut</i> , com um mini- <i>chiller</i>	220
D.9	Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, com colectores solares	221
D.10	Modelo simplificado para a simulação do sistema de AQS, com colectores solares	221
D.11	Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, sem colectores solares, mas com reservatório	223

D.12	Modelo simplificado para a simulação do sistema de AQS, sem colectores solares, mas com reservatório	223
D.13	Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, que utiliza apenas uma caldeira a <i>pellets</i> para efectuar o aquecimento das águas quentes sanitárias	224
D.14	Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, com colectores solares e reservatório incluídos	225
D.15	Modelo simplificado para a simulação do sistema de AQS, com colectores solares e reservatório incluídos	225
D.16	Modelo utilizado para a simulação de um sistema fotovoltaico	226
E.1	Representação dos elementos típicos de um sistema tudo-ar	230
E.2	Representação da potência calorífica transferida da fonte quente para a fonte fria no ventiloconvector	233
E.3	Evoluções sofridas pelo ar na estação de aquecimento, utilizando o sistema com ventilação mecânica	238
E.4	Diagrama psicrométrico que representa as evoluções sofridas pelo ar estação de aquecimento	238
E.5	Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar no Verão	241
E.6	Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de aquecimento para Bragança, utilizando o sistema com recuperação de calor	243
E.7	Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de aquecimento para Faro, utilizando o sistema com recuperação de calor	243
E.8	Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de arrefecimento para Bragança, utilizando o sistema com recuperação de calor	244
E.9	Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de arrefecimento para Faro, utilizando o sistema com recuperação de calor	244
E.10	Estrutura do difusor <i>ADLR-Q-ZH</i>	245
E.11	Esquema representativo da montagem de difusores no tecto de um compartimento e as respectivas distâncias críticas	246
E.12	Determinação de $\Delta t_l/\Delta t_z$ através do tamanho do difusor e da distância L1	247
E.13	Gráfico que permite a determinação da velocidade do jacto (<i>m/s</i>) para o <i>size 1</i>	247
E.14	Verificação de conforto pelo método IDDA - zona do tornozelo	248
E.15	Verificação de conforto pelo método IDDA - zona da nuca	249
E.16	Gráfico que permite a determinação da velocidade do jacto (<i>m/s</i>) para o <i>size 2</i>	249

E.17	Gráfico que permite a determinação da velocidade do jacto (m/s) para o <i>size 3</i>	250
E.18	Gráfico usado para a obtenção das perdas de carga lineares de uma determinada conduta	252
E.19	Curva dos ventiladores utilizados para o modelo 1000 do recuperador de calor <i>Power Box 95 BC</i> , utilizado no Porto e em Faro	252
E.20	Curva dos ventiladores utilizados para o modelo 1600 do recuperador de calor <i>Power Box 95 BC</i> , utilizado em Bragança	253
E.21	Gráfico usado para a obtenção das perdas de carga lineares para uma tubagem de aço	254
E.22	Características das bombas de circulação <i>PC</i> , disponíveis no catálogo da <i>BAXIROCA</i>	256
E.23	Curvas características das bombas de circulação <i>PC</i> , disponíveis no catálogo da <i>BAXIROCA</i>	256
E.24	Coefficientes de perdas de carga nas condutas circulares	258
E.25	Coefficientes de perdas de carga nas condutas em T	258
E.26	Coefficientes de perdas de carga nas condutas de 4 passagens	259
G.1	Propriedades de um colector solar térmico plano SOL 250 e SOL 250 H da <i>BAXIROCA</i>	263
G.2	Curvas de rendimento de um colector solar térmico plano SOL 250 e SOL 250 H e detalhes da sua secção	264
G.3	Preço dos colectores solares e das suas ligações	265
G.4	Comportamento dos colectores solares fotovoltaicos em série	266
G.5	Comportamento dos colectores solares fotovoltaicos em paralelo	267
G.6	Composição de um módulo fotovoltaico	267
G.7	Obtenção do colector solar fotovoltaico	268
G.8	Principais vantagens de um painel <i>E20-327</i> em relação a um painel convencional	269
G.9	Especificações técnicas de um painel <i>E20-327</i> e diferenças entre o período de garantia em relação a um painel convencional	270
G.10	Descrição das vantagens dos colectores da série 156 da <i>Renesola</i>	271
G.11	Curvas de rendimento, dimensões e características dos colectores série 156 da <i>Renesola</i>	272
G.12	Características dos colectores da série 156 da <i>Renesola</i>	273
G.13	Garantia dos colectores da série 156 da <i>Renesola</i>	273
H.1	Descrição da caldeira	275
H.2	Descrição e Vantagens da caldeira	276

H.3	Características das bombas de circulação disponibilizadas	278
H.4	Abertura auto-regulável disponível no catálogo da <i>France-Air</i>	280

Índice de Tabelas

1.1	Valor das emissões de CO_2 e resíduos radioativos para a atmosfera, provenientes do sector eléctrico em Portugal	8
1.2	Propriedades termodinâmicas do <i>CSP</i> em estudo	22
2.1	Propriedades termodinâmicas dos materiais que constituem o pavimento, do exterior para o interior	27
2.2	Características das Janelas simuladas no <i>TRNSYS</i> , baseadas no envidraçado <i>ClimaPlus</i> da <i>Saint Gobain</i>	27
2.3	Critério para a determinação da zona climática no Inverno	28
2.4	Critério para a determinação da zona climática de Verão	28
2.5	Zonamento climático do edifício mediante a cidade em que se encontra localizado	29
2.6	Potência dos equipamentos usados na simulação	32
2.7	Contribuição do Pavimento para o cálculo da Inércia Térmica do edifício	35
2.8	Contribuição dos vários tipos de paredes para a inércia térmica do edifício	36
2.9	Área de envidraçados em cada fachada e a correspondente % em relação à envolvente opaca	38
2.10	Valores do caudal mínimo necessário, a insuflar para cada espaço, segundo a norma <i>ASHRAE</i> 62.1-24	47
2.11	Caudal mínimo de extracção, para as respectivas zonas de extracção, segundo a norma <i>ASHRAE</i> 62.1-24	47
2.12	Caudal de ar novo mínimo necessário, segundo a regulamentação em vigor em Portugal	47
2.13	Caudal de ar mínimo extraído segundo a regulamentação em vigor em Portugal	47
2.14	Caudais mínimos necessários de garantir nas zonas de insuflação	48
2.15	Caudais de ar novo possíveis de garantir e respectiva área de aberturas	48
2.16	Necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento e AQS obtidas para o edifício de referência [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]	52

2.17	Necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento e AQS obtidas para o edifício de referência, após o seu redimensionamento [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]	53
3.1	Condições de projecto para o dimensionamento do sistema de climatização, se o edifício em estudo estiver localizado em Bragança	74
3.2	Condições de projecto para o dimensionamento do sistema de climatização, se o edifício em estudo estiver localizado no Porto	74
3.3	Condições de projecto para o dimensionamento do sistema de climatização, se o edifício em estudo estiver localizado em Faro	74
3.4	Valor das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, nas orientações e localidades em estudo em [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]	75
3.5	Potências nominais para o aquecimento e arrefecimento do edifício, nas orientações e localidades em estudo em [kW]	75
3.6	Energia em kWh , necessária para a satisfação das necessidades de AQS em Faro para os 3 caudais de circulação em análise	78
3.7	Energia consumida pela bomba em kWh , para o sistema solar para AQS, em Faro para os 3 caudais de circulação em análise	78
3.8	Custo anual da energia consumida pelo sistema solar testado	79
3.9	Energia fornecida pelo colector e pela caldeira auxiliar em kWh , para uma inclinação do colector idêntica à inclinação da latitude local	81
3.10	Energia fornecida pelo colector e pela caldeira auxiliar em kWh , para uma inclinação do colector idêntica à inclinação do tecto ($10,49^\circ$)	81
3.11	Energia consumida pelas bombas de circulação do sistema de AQS em kWh , para as localidades em estudo	82
3.12	Consumos energéticos em kWh dos equipamentos utilizados pelo sistema solar para AQS, com a nova estratégia de controlo implementada e com a inclinação do colector, equivalente à da latitude do local, para as localidades em estudo	91
3.13	Consumos energéticos em kWh do sistema solar para AQS, com a nova estratégia de controlo implementada, com a inclinação do colector equivalente a $10,49^\circ$, para as localidades em estudo	92
3.14	Energia eléctrica em kWh , consumida pelas bombas de circulação para o sistema de AQS com sistema solar auxiliar, e controlo da temperatura do reservatório, para as localidades em estudo	92
3.15	Número de anos necessários para ser obtido retorno económico, com a instalação do sistema solar	93
3.16	Energia consumida pela caldeira em kWh , para os sistema de AQS sem colectores solares, para as localidades em estudo	95
3.17	Energia consumida em kWh , pelas bombas de circulação do sistema de AQS, para as localidades em estudo	96

3.18	Custo anual da energia consumida pelos vários equipamentos	97
3.19	Energia anual consumida para a climatização do Edifício, sem sistema de arrefecimento auxiliar	105
3.20	Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, sem a ajuda de um sistema de arrefecimento auxiliar	105
3.21	Energia anual consumida para a climatização do Edifício com o sistema de arrefecimento auxiliar activo	107
3.22	Número de horas em que a temperatura interior do edifício, excede os $25^{\circ}C$, com o sistema auxiliar activo	107
3.23	Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis <i>CSP</i> de espessura 80 mm , sem sistema de arrefecimento auxiliar, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	108
3.24	Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis <i>CSP</i> de espessura 80 mm , e com o auxílio de um <i>mini-chiller</i> para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	108
3.25	Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis <i>CSP</i> de espessura 100 mm e com o auxílio de um <i>mini-chiller</i> para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	109
3.26	Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis <i>CSP</i> de espessura 100 mm e com o auxílio de um <i>mini-chiller</i> para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	109
3.27	Classificação energética do edifício em análise, com painéis <i>CSP</i> de espessura 100 mm e com o auxílio de um <i>mini-chiller</i> para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	110
3.28	Valor das alturas solares para as localidades em estudo	112
3.29	Valor das distâncias x e L_c [em m], em função dos ângulos solares para as Localidades em estudo	112
3.30	Necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, após o redimensionamento das palas, para as localidades em estudo	113
3.31	Potências nominais de aquecimento e arrefecimento do edifício, após o redimensionamento das palas	113
3.32	Necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, para as novas soluções no Porto	113
3.33	Necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, com as palas redimensionadas nas orientações e localidades em estudo	114
3.34	Potências nominais de aquecimento e arrefecimento do edifício em kW com as palas redimensionadas	114
3.35	Consumo de energia anual dos equipamentos, instalados nos sistema de climatização testados	123

3.36	Número de horas, em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, no interior do edifício redimensionado, com os diferentes sistemas de climatização	123
3.37	Consumo de energia anual dos equipamentos, instalados nos sistema de climatização testados, com um sistema auxiliar para arrefecimento . . .	125
3.38	Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, no interior do edifício redimensionado, com os sistemas de climatização em estudo, auxiliados pelo <i>mini-chiller</i>	125
3.39	Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo ventiloconvector, com as necessidades de energia primária em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	125
3.40	Classificação energética do edifício em análise, climatizado pela solução com ventiloconvector, após o redimensionamento do edifício, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar e com as necessidades de energia primária em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	125
3.41	Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo sistema com recuperador de calor, com as necessidades energéticas em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	126
3.42	Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo sistema com recuperação de calor, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar e com as necessidades energéticas em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	126
3.43	Consumo de energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector	132
3.44	Consumo de energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector, com <i>mini-chiller</i> incorporado . . .	133
3.45	Custo da energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector, sem <i>mini-chiller</i> incorporado . . .	134
3.46	Custo da energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector, com <i>mini-chiller</i> incorporado . . .	134
3.47	Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, no interior do edifício redimensionado, em função da ocupação dos habitantes	135
3.48	Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, no interior do edifício redimensionado, em função da ocupação dos ocupantes, com os sistemas de climatização em estudo auxiliados pelo <i>mini-chiller</i>	135
3.49	Valores mínimos atingidos pela temperatura e humidade relativa no interior do edifício e pela temperatura interior do envidraçado, para o sistema com ventiloconvector que se activa mediante a ocupação da habitação	136

3.50	Consumo de energia anual dos equipamentos, do sistema de climatização recomendado para um edifício <i>Passivhaus</i>	144
3.51	Número de horas em que a temperatura interior do edifício, excede os $25^{\circ}C$, utilizando o sistema de climatização recomendado para um <i>Passivhaus</i>	144
3.52	Energia consumida anualmente pelos equipamentos domésticos	146
3.53	Necessidades de energia primária totais do edifício, para caldeiras que utilizam cada um dos combustíveis em análise	146
3.54	Massa de combustível consumida pela caldeira (em <i>kg</i>), para as <i>pellets</i> e para o gás natural	147
3.55	Volume de Gás Natural (m^3), consumido pela caldeira	147
3.56	Energia primária anual gerada, através da utilização de colectores fotovoltaicos da marca <i>E20/327</i> de modo a obter um balanço de energia primária não renovável, nulo ou maior se o combustível for <i>pelletes</i> . . .	149
3.57	Energia primária anual gerada, através da utilização do colector da <i>Renesola, JC235M-24/Bb</i> de modo a obter um balanço de energia primária não renovável nulo, ou maior se o combustível for <i>pellets</i>	149
3.58	Retorno económico anual obtido, devido à utilização dos colectores dos colectores da marca <i>Sunpower</i> , relativamente aos colectores da marca <i>Renesola</i> , para o mesmo número de módulos e respectiva poupança económica máxima, possível de obter para um regime de autoconsumo . .	151
3.59	Energia anual gerada pelo colector solar fotovoltaico e energia anual não renovável consumida pelos equipamentos do edifício	152
3.60	Poupança económica anual obtida, devido à utilização do colector <i>E20/27</i> e tempo necessário para o investimento compensar a instalação do equipamento para a venda da energia eléctrica em excesso	153
3.61	Poupança económica anual obtida, devido à utilização do colector da <i>Renesola, JC235M-24/Bb</i> e tempo necessário para o investimento compensar a instalação do equipamento para a venda da energia eléctrica em excesso	153
B.1	Percentagem da área útil total ocupada pelos vários compartimentos . .	179
C.1	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvetor incorporado, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm , em Bragança . . .	187
C.2	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvetor incorporado, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm , no Porto	188
C.3	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvetor incorporado, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm , em Faro	188

C.4	Valores mensais dos consumos de energia dos, equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 <i>mm</i> , em Bragança	189
C.5	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 <i>mm</i> , no Porto	189
C.6	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 <i>mm</i> , em Faro	190
C.7	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício com paredes de espessura de 100 <i>mm</i> , em Bragança	198
C.8	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício com paredes de espessura de 100 <i>mm</i> , no Porto	198
C.9	Evolução mensal dos consumos energéticos, equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício com paredes de espessura de 100 <i>mm</i> , em Faro	199
C.10	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício com paredes de espessura de 100 <i>mm</i> , em Bragança	199
C.11	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício com paredes de espessura de 100 <i>mm</i> , localizado no Porto	200
C.12	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício com paredes de espessura de 100 <i>mm</i> , em Faro	200
C.13	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Bragança	201
C.14	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, no Porto	201
C.15	Evolução mensal dos consumos de energéticos, dos equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Faro	202

C.16	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança	202
C.17	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, no Porto	203
C.18	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Faro	203
C.19	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor incorporado, para o edifício redimensionado, em Bragança	204
C.20	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor incorporado, no Porto	204
C.21	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor incorporado, para o edifício redimensionado, em Faro	205
C.22	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica, com recuperador de calor incorporado e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança	205
C.23	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica, com recuperador de calor incorporado e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, no Porto	206
C.24	Evolução mensal dos consumos energéticos, equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica, com recuperador de calor incorporado e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Faro	206
C.25	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Bragança, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício	207
C.26	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, no Porto, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício	207
C.27	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Faro, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício	208

C.28	Evolução dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício	208
C.29	Evolução dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, no Porto, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício	209
C.30	Evolução dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Faro, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício	209
C.31	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com sistema de ventilação mecânica e recuperador de calor incorporado, com insuflação contínua de ar, para o edifício redimensionado, em Bragança	210
C.32	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com sistema de ventilação mecânica e recuperador de calor incorporado, com insuflação contínua de ar, para o edifício redimensionado, no Porto	210
C.33	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com sistema de ventilação mecânica e recuperador de calor incorporado, com insuflação contínua de ar, para o edifício redimensionado, em Faro	211
C.34	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança	211
C.35	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, no Porto	212
C.36	Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini- <i>chiller</i> incorporados, para o edifício redimensionado, em Faro	212
E.1	Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de aquecimento com a utilização do ventiloconvector	233
E.2	Caudal de ar mínimo necessário para a satisfação das necessidades de aquecimento, utilizando o sistema de climatização com recuperador de calor	234
E.3	Características técnicas do ventiloconvector escolhido	235
E.4	Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de arrefecimento com a utilização do ventiloconvector	236

E.5	Caudal de ar mínimo necessário para a satisfação das necessidades de arrefecimento	236
E.6	Caudal de ar mínimo necessário para a satisfação das necessidades de aquecimento e arrefecimento, para o edifício redimensionado	237
E.7	Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas respectivas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de aquecimento com a utilização de um sistema com recuperação de calor	240
E.8	Caudal de insuflação necessário, para a satisfação das necessidades de aquecimento. utilizando um sistema de climatização com recuperador de calor e correspondente caudal de extracção	240
E.9	Caudal de água necessário para a satisfação das necessidades de aquecimento e temperatura do ar à saída do recuperador de calor	241
E.10	Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas respectivas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de arrefecimento com a utilização de um sistema com recuperação de calor	241
E.11	Caudal necessário para a satisfação das necessidades de arrefecimento, utilizando o sistema de climatização com recuperador de calor e ventilação mecânica e correspondente caudal de extracção	242
E.12	Tabela do catálogo da <i>TROX</i> , que contém os caudais máximos e mínimos que devem ser insuflados por cada difusor.	245
E.13	Dimensões e parâmetros das grelhas a instalar nas zonas de extracção	260
H.1	Características da caldeira	276
H.2	Reservatório utilizado para AQS	277
H.3	Preço do reservatório utilizado	277
H.4	Mini- <i>chillers</i> disponibilizados pelo catálogo da <i>Daikin</i>	279

Capítulo 1

Introdução

"Apresentação dos conceitos base, que serão abordados na presente dissertação e apresentação da N2Build-Timeless Landscapes"

Introdução

A atitude consumista da sociedade, é visível através dos consumos energéticos excessivos a nível mundial, comportamento que se reflecte na utilização de elevadas quantidades de energia proveniente de fontes não renováveis, ou de origem fóssil prejudiciais ao meio ambiente.

Os elevados consumos de energia, acarretam portanto grandes preocupações a nível ambiental para o nosso planeta, sendo os edifícios um dos sectores que mais energia consome. As primeiras preocupações relativamente ao excesso de energia consumida por este sector, remontam à primeira crise petrolífera em 1973 [1]. Nos Estados Unidos da América (EUA), os edifícios consomem quase 40% da energia primária do país e quase 70% da energia eléctrica consumida, sendo expectável que os consumos aumentem até 2025 mais do que 50% [1].

Na Europa estima-se que os edifícios consomem 40% do valor total da energia consumida pela União Europeia [1], sendo assim responsáveis por uma significativa parcela dos *greenhouse gas* (GHG) emitidos e que de acordo com muitas directivas, prevê-se o seu aumento até 2050 [2]. Para além da elevada quantidade de energia consumida, a nível mundial, este sector consome cerca de 30% dos materiais usados, 25% dos resíduos sólidos, 25% da água utilizada para as mais variadas actividades, 12% dos terrenos ocupados pela população e são responsáveis por 33% das emissões de CO_2 [3].

A directiva 2002/91/CE (*EPBD - Energy Performance of Buildings Directive*) [4], foi a primeira legislação Europeia, criada para a análise da performance energética dos edifícios. Esta directiva, definiu os procedimentos que devem ser tomados por cada Estado Membro e os critérios que permitem estabelecer os requisitos de performance energética dos edifícios, tendo em vista a redução dos consumos energéticos deste sector. Em Maio de 2010, a directiva da União Europeia (EU), 2010/31/EU, definiu como objectivo reduzir até 2020 em 20% as emissões de *GHG* e em 80% até 2050 [2], em relação aos valores registados em 1990 e de modo a cumprir as metas definidas pelo protocolo de *Kyoto* [5].

Com vista à diminuição dos consumos energéticos neste sector, definições como *nearly Zero Energy Building (nZEB)* ou *Passivhaus* surgem, quer a nível Europeu, quer a nível Mundial. Com o intuito de avaliar de forma mais realista os impactos quer a nível energético, quer a nível económico, o edifício em análise será baseado na planta de um edifício disponibilizada pela empresa *N2Build*, dimensionado para ser um edifício de baixos consumos energéticos.

1.1 Apresentação da *N2Build-Timeless Landscapes*

A *N2Build-Timeless Landscapes* é uma empresa Alemã, que abriu recentemente uma linha de produção na Maia. A empresa tem como principal negócio a comercialização de edifícios pré-fabricados e soluções para a sua construção, a partir de materiais inovadores produzidos na própria empresa. O material normalmente utilizado para a construção dos edifícios, comercializados por esta empresa é denominado *CSP*, "*Composite Sandwich Panel*".

Actualmente, a empresa está a investir em novas linhas de produção com o fim de investigar e desenvolver os seus produtos, com vista à produção de casas para amostragem e comercialização em pequena escala. Para este fim, a empresa tem realizado parcerias com várias entidades em todo o mundo, no sentido de potenciar a investigação e desenvolvimento dos seus produtos.

Este trabalho, é realizado precisamente para avaliar as mais valias, a nível energético de uma das habitações construídas pela empresa, comparando os seus desempenhos com normas já estabelecidas como a *Passivhaus*, ou os limites impostos para um *nZEB*, sustentando deste modo a validade do seu produto.

Contactos:

Correio Electrónico: info@n2build.com

Número de telefone: +351 220964074

Morada: Rua Júlio de Matos, 828/882

4200-355 Porto



1.2 Estrutura

A presente dissertação está organizada em 4 capítulos.

O presente capítulo tem como finalidade a apresentação da empresa *N2Build* e a introdução dos conceitos base que serão estudados, como os edifícios *Passivhaus* e os *nZEB*, assim como as propriedades do material usado pela empresa para construir o edifício, o "*CSP*".

No capítulo 2 é realizada uma descrição das condições assumidas para o presente caso de estudo, a verificação regulamentar dos elementos da envolvente e são descritas as simplificações utilizadas, e os perfis de ocupação dos habitantes, assim como uma breve introdução ao *software TRNSYS* e dos componentes utilizados na simulação dinâmica, quer do edifício, quer dos sistemas em estudo usados para a satisfação das suas necessidades energéticas. Nesse capítulo, será também feita uma descrição dos sistemas analisados, de modo a obter um edifício em que todas as suas necessidades são satisfeitas, através da energia proveniente de fontes renováveis.

No capítulo 3 são apresentados os resultados finais obtidos, após a simulação dinâmica do edifício em estudo no *TRNSYS*. Neste capítulo, serão apresentadas as necessidades de energia primária do edifício e os consumos energéticos dos sistemas de climatização e de aquecimento das águas quentes sanitárias (AQS). Depois da obtenção dos seus consumos, será discutido o impacto da sua utilização na envolvente do edifício, por fim, será determinada a quantidade de energia que deve ser gerada, de modo a permitir que os consumos energéticos do edifício sejam nulos ou menores.

No quarto e último capítulo, é realizada uma visão global dos temas abordados no presente projecto e uma discussão das perspectivas futuras para a evolução deste sector. Por fim, serão recomendados trabalhos futuros, com vista à expansão dos resultados obtidos no presente trabalho.

Em anexo, encontra-se informação complementar, que permite obter uma melhor compreensão do trabalho realizado, como o dimensionamento dos sistemas de climatização e uma explicação dos modelos usados para as simulações realizadas no *TRNSYS*, entre outros.

1.3 Panorama Energético em Portugal

Para atingir as metas definidas pelo protocolo de *Kyoto* [5], o governo português efectuou a revisão da legislação, previamente em vigor, através do plano Nacional de Acção para a Eficiência energética, para os edifícios residenciais (RCCTE, Decreto-Lei n.º 80/2006, 4 de Abril [6]) e para os edifícios de serviço (RSECE, Decreto-Lei n.º 79/2006, 4 de Abril [7]) e introduziu ainda o sistema Nacional para a Certificação de Energia e Qualidade do Ar Interior para os Edifícios (SCE, Decreto-Lei n.º 78/2006, 4 de Abril [8]).

Apesar das medidas implementadas pela nova regulamentação, nas últimas duas décadas, assistiu-se a um aumento gradual do consumo de energia no sector doméstico, como é possível observar recorrendo ao gráfico figura 1.1, .



Figura 1.1: Consumo no sector doméstico e peso (%) do consumo neste sector, no consumo de energia final em Portugal (1989-2009). Retirado de [9]

Ao longo das últimas décadas, verificou-se uma redução do consumo de energia em termos relativos, o que permite concluir que embora o consumo de energia em Portugal tenha aumentado, este aumento foi cada vez menos acentuado. Este facto, pode ser atribuído à evolução tecnológica não só no sector residencial, mas também nos outros sectores, nomeadamente o industrial, sendo esta evolução cada vez menor.

Em 2013, foi lançada uma revisão da legislação previamente em vigor, para os edifícios residenciais (REH [10], Decreto-Lei n.º 232/2013, 29 de Novembro) e para os edifícios de serviço (RECS [11], Decreto-Lei n.º 233/2013, 29 de Novembro). Apesar da nova legislação não definir os limites energéticos para um edifício *nZEB*, é obrigatório todos os edifícios pertencerem a uma classe energética mínima estabelecida pelo SCE [12], sendo ela *C* para edifícios remodelados e *B⁻* para os edifícios novos, para os edifícios já existentes não existe qualquer classe energética mínima imposta [10]. É no entanto expectável, que estes sejam alvo de remodelações até 2020, tal como os edifícios dos restantes Estados Membros da União Europeia [2].

A nova legislação afecta não só os edifícios, mas também os equipamentos utilizados para a satisfação das suas necessidades energéticas como os *chillers* e as caldeiras, estes terão que ser cada vez mais eficientes para cumprirem as novas imposições, visto que para poderem ser comercializados, estes também têm que pertencer a uma determinada classe energética, sendo esta tanto maior, quanto maior for a sua eficiência. Uma maior eficiência destes equipamentos, permite por exemplo, no caso das caldeiras, que seja necessário a utilização de uma quantidade menor de combustível, para a satisfação das necessidades energéticas num determinado momento, reduzindo deste modo os custos associados à energia utilizada.

Devido às novas regras, os edifícios terão obrigatoriamente que aproximar-se dos requisitos que um hipotético *nZEB* deve ter em Portugal, devido a terem que ser cada vez mais eficientes em termos energéticos, para cumprirem os limites impostos pela legislação em vigor.

Um edifício que cumpra os requisitos típicos de um *nZEB*, pertencerá à classe energética mais elevada (*A⁺*), como se pode ver na figura 1.2.

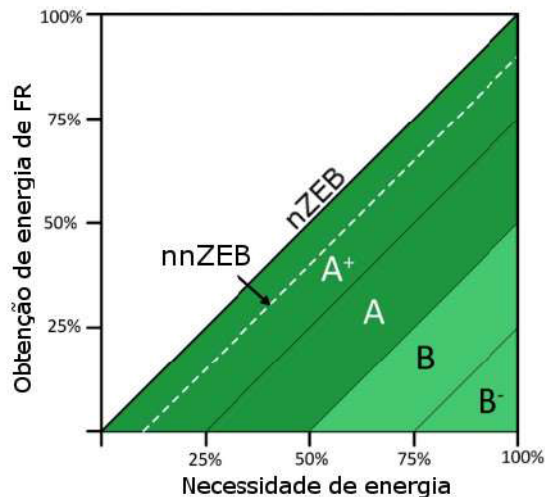


Figura 1.2: Classificação energética dos edifícios *nZEB* e comparação das suas necessidades relativamente aos edifícios pertencentes às restantes classes e aos edifícios *nnZEB* (*net nearly Zero Energy Building*). Retirado de [13]

Devido às semelhanças entre os conceitos *Passivhaus* e *nZEB*, em termos de consumos energéticos, um *Passivhaus* também obteria uma classificação *A+* segundo a legislação actualmente em vigor.

Outro aspecto relevante para a concepção do presente trabalho, é a energia primária proveniente de fontes renováveis, que é possível obter em Portugal. As figuras 1.3 e 1.4 representam a energia eléctrica obtida, através das várias fontes de energia, independentemente da sua origem.

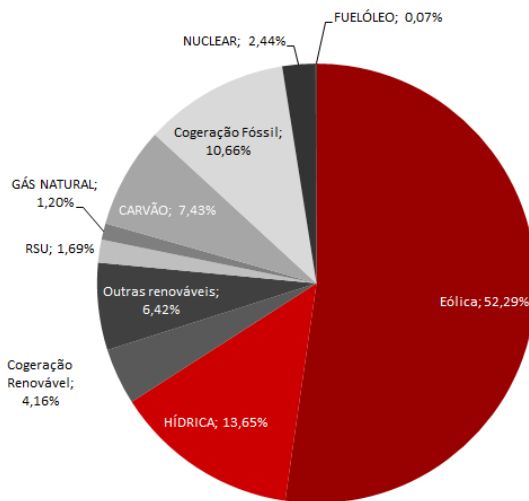


Figura 1.3: Distribuição percentual da energia obtida em 2014, através das diversas fontes para o sector eléctrico em Portugal. Retirado de [14]

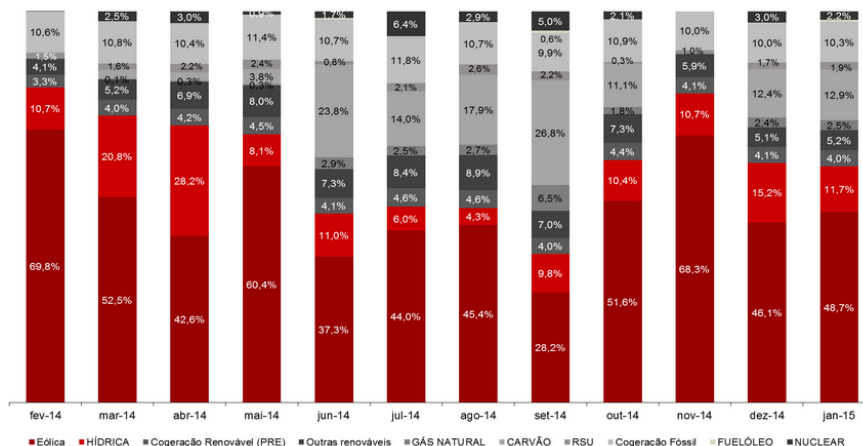


Figura 1.4: Distribuição mensal da energia eléctrica proveniente das diversas fontes em termos percentuais em Portugal. Retirado de [14]

Como é possível observar pelos valores apresentados nas figuras 1.3 e 1.4, em Portugal é notável uma utilização cada vez maior, da energia proveniente de fontes renováveis para a produção de energia eléctrica injectada na rede, ultrapassando a quantidade de energia proveniente de fontes não renováveis que é injectada na rede.

A tabela 1.1, mostra o valor das emissões de CO_2 e dos resíduos radioactivos nos últimos 3 anos.

Tabela 1.1: Valor das emissões de CO_2 e resíduos radioactivos para a atmosfera, provenientes do sector eléctrico em Portugal. Retirado de [14]

RESUMO	2012	2013	2014	fev-14	mar-14	abr-14	mai-14	jun-14	jul-14	ago-14	set-14	out-14	nov-14	dez-14	jan-15
CO2 (g/kWh)	228,61	141,58	122,46	45,98	70,46	71,66	91,19	283,83	196,97	234,65	333,35	152,06	39,13	173,35	185,78
Resíduos radioactivos (µg/kWh)	24,69	12,90	13,64	0,14	13,47	15,99	5,31	9,56	36,12	16,03	27,96	11,74	0,00	16,61	11,86

A tabela 1.1, mostra que de 2012 para 2013 houve uma redução significativa quer das emissões de CO_2 para a atmosfera, quer dos resíduos radioactivos. É também possível verificar, que o valor das emissões de CO_2 voltou a decrescer no último ano no entanto, registou-se uma subida ainda que muito ligeira, das emissões dos resíduos radioactivos. É possível deste modo concluir, que houve uma redução significativa da utilização de energia não renovável entre 2012 e 2013, enquanto que entre 2013 e 2014 houve uma redução menos drástica, uma vez que as emissões de CO_2 estão directamente relacionadas com os consumos energéticos.

1.3.1 Sistemas e Aplicações

A forma mais simples de obter edifícios aprovados pelo SCE [8], é através da utilização de energia proveniente de fontes renováveis para a satisfação das suas necessidades energéticas e de estratégias passivas, no entanto, esta nem sempre é a solução mais económica.

Em Portugal para autoconsumo, a aplicação mais comum dos sistemas de aproveitamento de energia renovável, é a utilização de colectores solares térmicos para o

aquecimento das águas quentes sanitárias. Segundo a legislação em vigor para os edifícios de habitação [10], a utilização de equipamentos para aproveitamento das fontes de energia renováveis, é obrigatória para a satisfação total ou de grande parte das necessidades de AQS. A utilização da caldeira a *pellets* (ou seja que consome *pellets* como combustível), para o aquecimento das AQS e de colectores solares fotovoltaicos para a produção local de energia eléctrica proveniente da radiação solar, são sistemas com uma utilização crescente. Embora muito raras ou inexistentes em Portugal, noutros países são utilizadas estações mini-hídricas, mini-eólicas e também estações geotérmicas.

É possível verificar através das figuras 1.3 e 1.4, mencionadas anteriormente, que a maior parte da energia eléctrica produzida através de fontes renováveis, é proveniente de estações eólicas e hídricas, no entanto, para autoconsumo estas ainda não têm grande expressão em Portugal.

Os equipamentos que produzem energia proveniente de fontes renováveis, podem também ser usados para outros fins como:

- Aquecimento e arrefecimento dos edifícios;
- Produção de energia eléctrica para autoconsumo, ou para exportação para a rede eléctrica;

Como será analisado, não é exclusivamente através da energia proveniente de fontes renováveis, que a utilização de energia primária proveniente de fontes não renováveis neste sector é reduzida, havendo outras formas de reduzir os consumos de energia não renovável, como através da adaptação do edifício ao clima local. Um edifício bem projectado, consome uma quantidade de energia significativamente menor que um edifício convencional, devido à elevada quantidade de energia poupada para o seu aquecimento e arrefecimento, recorrendo a estratégias passivas, algumas destas estratégias estão representadas no diagrama da figura 1.5.

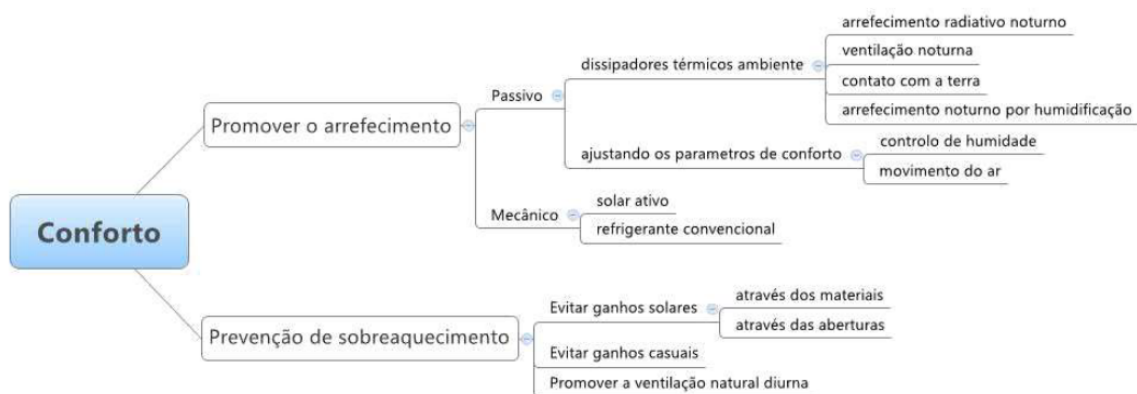


Figura 1.5: Diferentes estratégias de arrefecimento passivo para um edifício. Retirado de [15]

Através destas estratégias, não só os consumos de energia não renovável são reduzidos, como também os de energia renovável, o que é favorável, não só devido à poupança dos recursos inerente a estas práticas, como também devido às poupanças económicas devidas a uma redução dos consumos energéticos. No entanto, é por vezes

impossível evitar fenómenos, como o sobreaquecimento no interior do edifício¹, recorrendo exclusivamente a estratégias passivas, devido a questões climáticas, económicas ou simplesmente porque deste modo pode ser impossível ajustar em qualquer momento a temperatura interior do edifício para o valor desejado, independentemente das condições ambientais.

Os sistemas passivos são capazes de utilizar, a energia proveniente de fontes existentes no meio ambiente, sem recorrer à utilização de qualquer equipamento, como sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado). Um edifício que consegue suprir todas as suas necessidades energéticas para o aquecimento e arrefecimento, através de estratégias passivas, não terá quaisquer consumos energéticos para a climatização do seu espaço. A existência de um edifício destes é possível em determinados climas, no entanto para garantir o conforto térmico em qualquer momento sem restrições é necessária a instalação de um sistema de climatização activo. É contudo fundamental, que o edifício seja dimensionado de modo a reduzir as suas necessidades de energia primária, garantindo uma melhor gestão da energia consumida e uma redução dos custos relacionados com a sua utilização.

Os sistemas activos consomem energia proveniente quer de fontes renováveis, quer de fontes não renováveis, no entanto a energia é obtida e aproveitada não de forma natural, mas, devido aos equipamentos utilizados. Um exemplo destes sistemas, são as caldeiras usadas para o auxílio do sistema de aquecimento das AQS, que queimam o combustível necessário para aquecer a água até uma determinada temperatura. A água só recebe energia térmica porque a caldeira foi programada para a aquecer até uma determinada temperatura e não através de uma fonte de energia local como o sol.

Conclui-se deste modo, que as habitações passivas apesar de parecerem mais atraentes em termos económicos e ambientais, uma alteração significativa das condições climáticas ou a ocorrência de dias atípicos, poderá tornar estas habitações inadequadas ao nível do conforto térmico.

Por este motivo, e por vezes devido ao consumidor desconfiar dos resultados esperados para o edifício projectado, é normalmente instalado um sistema activo mesmo estando a habitação dimensionada para garantir o conforto térmico dos ocupantes na respectiva localidade, sendo deste modo o sistema de climatização da casa considerado um sistema híbrido. É assim conveniente, que os edifícios consigam satisfazer grande parte das suas necessidades energéticas através de estratégias passivas, para deste modo ser consumida uma menor quantidade de energia por parte dos sistemas activos, tornando deste modo o sistema final, mais económico em termos energéticos.

1.4 *nZEB e Passivhaus*

A implementação dos edifícios *nZEB* e *Passivhaus*, tem em vista uma redução significativa dos consumos de energia no sector, permitindo a obtenção de edifícios mais eficientes e ecológicos.

Até 2018, todos os edifícios do Estado, dos países incluídos na União Europeia,

¹Considera-se sobreaquecimento, quando a temperatura no interior do edifício encontra-se fora da gama de conforto térmico dos ocupantes, devido a temperaturas excessivamente elevadas, ocorrendo tipicamente na estação de arrefecimento

têm que cumprir requisitos definidos a nível nacional para um *nZEB* e em 2020 todos os edifícios terão que ser *nZEB* [16], faltando no entanto, a alguns Estados Membros (incluindo Portugal) definir os limites energéticos (ou outros parâmetros adicionais relativamente, por exemplo, a qualidade do ar interior) segundo os quais um edifício é considerado um *nZEB*, no respectivo país.

Através de simples estratégias, como a escolha dos materiais mais indicados para a construção da envolvente do edifício, no clima onde este vai ser construído, ou uma orientação apropriada deste, é possível uma redução significativa das necessidades de aquecimento e arrefecimento. A redução das necessidades energéticas é também possível, através da alteração da inércia térmica do edifício.

De modo ao dimensionamento de um edifício de baixos consumos energéticos ser bem sucedido, devem ser tidas em consideração aquando da sua projecção, certas boas práticas, como por exemplo:

- **Orientação apropriada das janelas:** Normalmente as janelas e os outros aparelhos usados para a captação de energia solar devem estar devidamente direccionados em relação a sul. Estes devem ser dimensionados para não estarem sombreados nos períodos de maior radiação solar, durante a estação de aquecimento e para estarem sombreados durante os períodos de maior radiação na estação de arrefecimento;
- **Inércia Térmica:** Nestes edifícios a massa térmica utilizada (como por exemplo a pedra ou o betão), absorve o calor proveniente da radiação solar na estação de aquecimento e o calor do ar interior na estação de arrefecimento, em que o valor de inércia térmica mais apropriado para o clima local, pode permitir uma diminuição significativa dos consumos energéticos para a climatização do edifício;
- **Mecanismos de distribuição:** O calor do sol é transferido do local onde é captado para as várias zonas da casa, através dos fenómenos de transferências de calor (condução, convecção e radiação). A condução, é o fenómeno de transferência de calor que ocorre através do meio, por exemplo quando dois objectos a temperaturas diferentes se encontram em contacto entre si a temperaturas diferentes, o calor é transferido do objecto a maior temperatura para o objecto de menor temperatura. A convecção é a transferência de calor através de um fluido (como o ar ou a água), usada para retirar o ar das zonas mais quentes e para permitir a sua circulação pelas restantes zonas da casa. A radiação é a transferência de calor que ocorre devido às superfícies com temperatura não nula, emitirem energia na forma de ondas electromagnéticas, existindo deste modo na ausência de um meio interposto participante, transferência de calor líquida entre duas superfícies a diferentes temperaturas. Esta pode também ser descrita, como a sensação de calor que uma pessoa sente quando toca num objecto aquecido pelo sol (como uma janela que está a ser iluminada pelo sol) que se encontra uma temperatura muito superior à da sua pele. Como é do conhecimento comum cores escuras são superiores às claras para este efeito, pois permitem uma maior absorção do calor, devido a terem um maior coeficiente de absorção;
- **Estratégias de Controlo:** Coberturas bem orientadas e com as medidas apropriadas, de modo a permitir um sombreamento vertical das janelas nos meses da estação de arrefecimento, reduzindo deste modo as necessidades de arrefecimento,

outras estratégias de controlo, incluem o uso de persianas de baixa emissividade, persianas operáveis isolantes e sensores electrónicos como termostatos;

1.4.1 *nZEB*

A directiva *EPBD* define *nZEB* como "Edifícios cujas necessidades energéticas são maioritariamente cobertas por energia proveniente de fontes renováveis"[16], não estabelecendo quaisquer limites para a diferença de consumos energéticos entre um *ZEB* (*Zero Energy Building*) e um *nZEB*, cada Estado Membro deve portanto definir os valores e os requisitos que mais ajustados, que os edifícios construídos nesse país devem cumprir [16].

Os parâmetros pelos quais, os países devem determinar os limites de um *nZEB* são:

- nível de energia primária que é credível de ser consumida;
- fracção da energia primária que é possível extrair das fontes de energias renováveis;
- incentivos financeiros disponíveis para o uso de energias renováveis e medidas implementadas, que possibilitam uma maior eficiência ao nível dos consumos energéticos;
- custo dos equipamentos utilizados e nível de ambição (relativamente aos vários parâmetros do edifício²) da definição de *nZEB* implementada no país em questão;

Assim, uma definição uniformizada de *nZEB* segundo a directiva *EPBD* é "Limite técnico e razoável a nível nacional, para a utilização de energia primária não renovável $> 0 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, mas nunca superior ao imposto pela legislação nacional. Este limite, é definido através de uma combinação de boas práticas para o aproveitamento de energia, através de estratégias passivas, e da utilização de tecnologias para a produção de energias renováveis, podendo ou não as estratégias adoptadas serem as mais favoráveis a nível económico"[16].

Estas práticas não são necessariamente as mais económicas [16], pois por vezes o maior investimento inicial efectuado para ter edifícios tão eficientes em termos energéticos, pode não ter retorno económico relativamente a um edifício cujos consumos são ligeiramente mais elevados, ou que consomem uma maior quantidade de energia proveniente de fontes não renováveis mas cujo custo inicial foi significativamente mais baixo [17].

Um *ZEB* (*Zero Energy Building*) é um edifício que não consome energia primária proveniente de fontes não renováveis, atingindo um balanço nulo em termos de consumos de energia primária não renovável, pois todas as suas necessidades energéticas são satisfeitas através da energia proveniente de fontes renováveis em qualquer instante [18]. Esta definição é quase idêntica à de *net ZEB* [16], no entanto, este último, necessita de energia primária proveniente da rede, ou de outras fontes que podem produzir

²Estes parâmetros não são necessariamente apenas a nível energético, como por exemplo o conforto térmico dos ocupantes

energia não renovável, para a satisfação das suas necessidades tendo que exportar para a rede uma quantidade equivalente de energia, para obter um balanço energético nulo. Ou seja um *net ZEB*, consome uma determinada quantidade de energia primária não renovável, que é posteriormente compensada pela energia poupada, através do consumo de energia proveniente de fontes renováveis.

Conclui-se deste modo, que o balanço energético de um *nZEB* não contabiliza apenas a energia não renovável proveniente da rede, ou de qualquer outro equipamento que utilize energia proveniente de fontes não renováveis. Neste balanço é também contabilizada a energia poupada, através da utilização da energia proveniente de fontes renováveis, sendo possível atingir deste modo balanços energéticos, cujo valor é inferior a $0 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$.

Os limites físicos e de balanço destes edifícios são definidos como:

- limites físicos: Limites que determinam se a energia obtida pelas fontes renováveis é "local"³ [16];
- limites de balanço: Determinam a energia que é considerada para o balanço [16];

A figura 1.6 mostra os limites que um *nZEB* deve ter, segundo a directiva *EPBD* [16] e a figura 1.7 os tipos de energias que devem ser contabilizados no balanço energético.

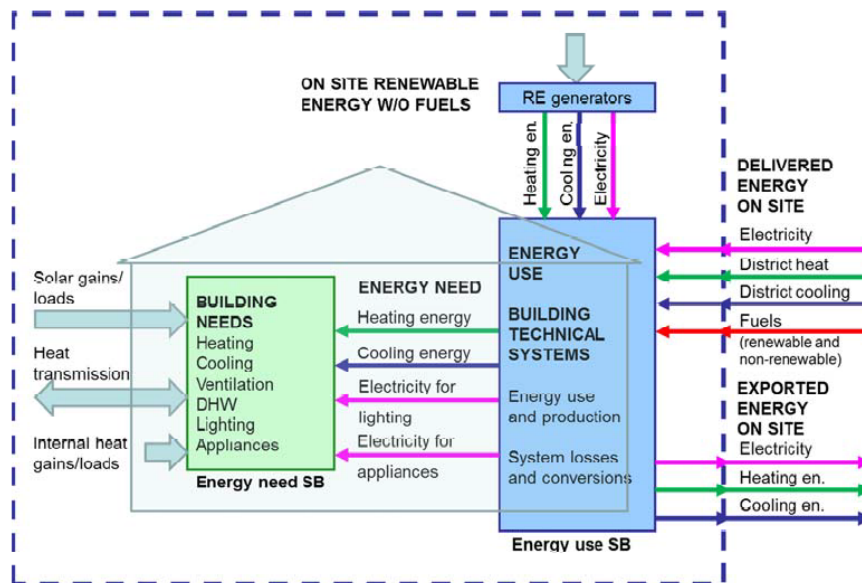


Figura 1.6: Esquemática dos limites de um *nZEB*, segundo a directiva *EPBD*. Retirado de [16]

³Energia primária renovável gerada no local onde é captada

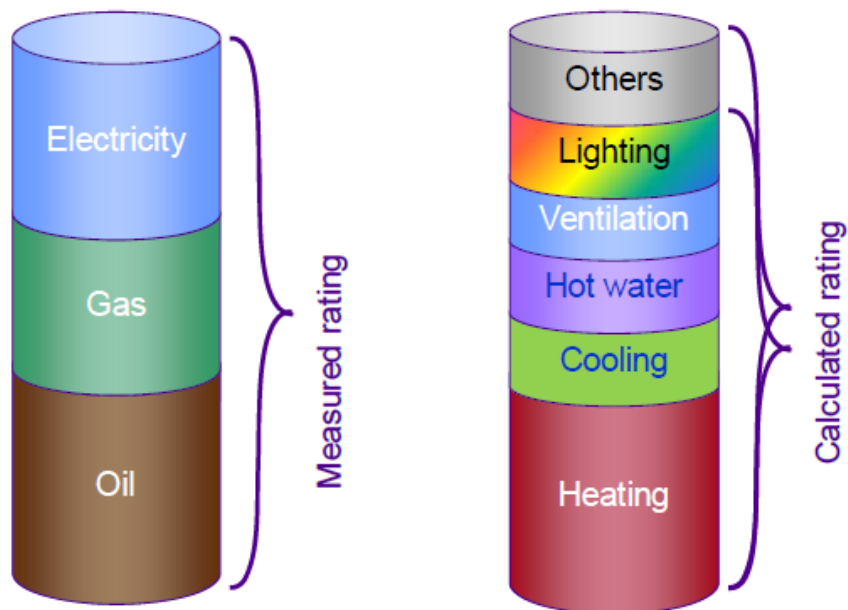


Figura 1.7: Energia que deve ser tida em conta no balanço energético. Retirado de [16]

Neste balanço a contabilização, da energia primária eléctrica consumida por equipamentos como o rádio e a televisão, depende da política energética, da definição e dos limites impostos pelo país, onde o edifício é construído.

1.4.2 *Passivhaus*

O *Passivhaus* ou *Passive House* é o padrão energético, ou norma para a concepção de edifícios mais conhecido. Desenvolvido na Alemanha no início dos anos 90, pelo professor Sueco Bo Adamson e pelo professor Alemão Wolfgang Feist, no *Passivhaus Institut*, as primeiras habitações construídas segundo os requisitos deste padrão, remontam o ano 1991 e foram construídas em *Darmstadt* [19]. Esta norma pode ser aplicada a qualquer tipo de edifício, que levou à seguinte definição "Um *Passivhaus* é um edifício em que o conforto térmico pode ser atingido apenas com o pós-aquecimento ou pós-arrefecimento da massa de ar fresco, necessária para atingir as condições requeridas para a qualidade do ar interior, sem a necessidade adicional de recirculação do ar"[19] ou "Uma *Passive House* é tão bem isolada que em princípio é possível aquecê-la apenas com recurso ao ar proveniente do sistema de ventilação"[20].

Um *Passivhaus*, é um edifício com necessidades de energia primária para aquecimento e arrefecimento muito reduzidas, podendo estas serem satisfeitas, apenas com a recuperação de calor do ar extraído pelo edifício para a satisfação das necessidades de aquecimento e estratégias para a utilização eficiente do ar exterior, como o "*free-cooling*"⁴ na estação de arrefecimento, para a satisfação das necessidades de arrefecimento.

O sistema de climatização recomendado para este tipo de edifícios, encontra-se

⁴Corresponde à entrada intencional de ar, a uma temperatura inferior à do interior do edifício de modo a diminuí-la

representado na figura 1.8.

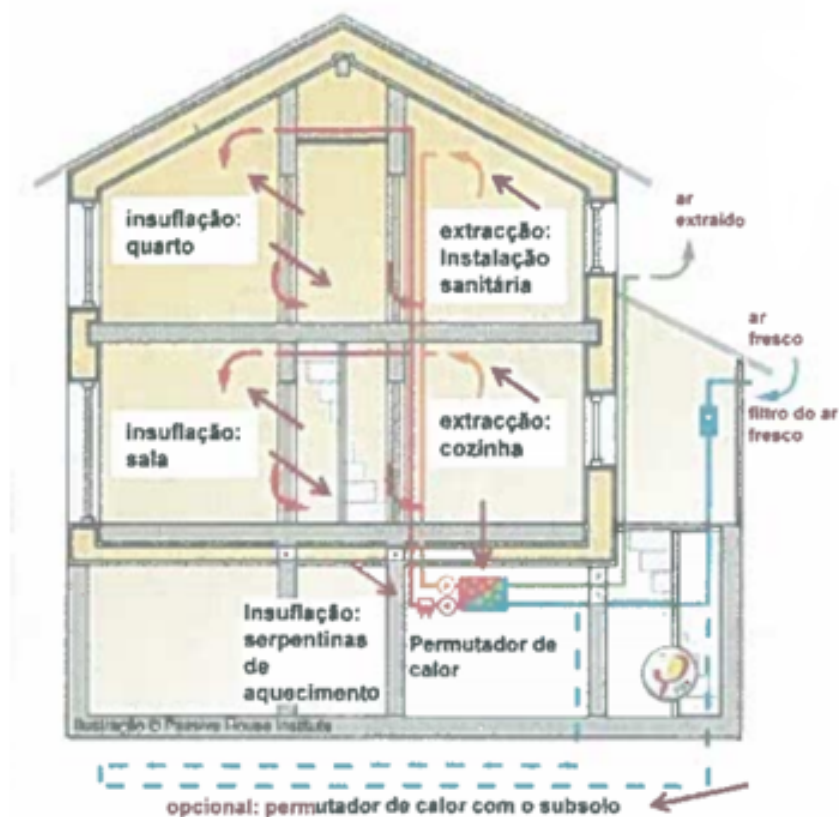


Figura 1.8: Sistema de climatização típico de um *Passivhaus*. Retirado de [21]

Este é o sistema recomendado para uma *Passivhaus*, construída na Alemanha, podendo não ser o ideal para o clima português. No entanto, ao contrário de outros componentes certificados pelo *Passivhaus Institut* ou *Passive House Institute* (PHI), a utilização de um recuperador de calor deverá ser obrigatória para um edifício *Passivhaus* em Portugal, mesmo sendo uma solução mais cara que as habitualmente utilizadas nas habitações. Devido às garantias que esta solução oferece ao nível da qualidade do ar interior (QAI), este componente é fundamental num *Passivhaus*. A investigação realizada por outros países como a Inglaterra, relativamente às mais valias da qualidade do ar interior proporcionadas por um *Passivhaus*, tem como base as mais valias que este sistema pode dar em termos de higiene, conforto e manutenção da envolvente do edifício, aliadas a uma redução dos consumos energéticos e uma melhor qualidade do ar no seu interior [22], relativamente aos edifícios comuns.

Para um edifício ser considerado um *Passivhaus*, este tem que verificar os seguintes requisitos:

- Necessidades de aquecimento até $15 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente, ou se o valor da carga de aquecimento for menor ou igual que $10 \text{ W}/\text{m}^2$ (ou seja o poder calorífico que pode ser transportado pelo ar fresco) [21];
- Necessidades de arrefecimento até $15 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$ respectivamente, ou se o valor da carga de arrefecimento for menor ou igual que $10 \text{ W}/\text{m}^2$, o edifício

poderá também ser considerado *Passivhaus* [21];

- Necessidades de energia primária até $120 \text{ kWh}_{EP}/\text{m}^2 \cdot \text{ano}$, nestas necessidades são contabilizadas a energia primária necessária para a satisfação das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, para a satisfação das necessidades de aquecimento das AQS e as necessidades de energia eléctrica [21];
- Estanquidade ao ar do edifício inferior a $0,6 \text{ h}^{-1}$ (com o ar a ser injectado a uma pressão 50 Pascal), este valor corresponde à taxa de infiltração, sendo que o valor pode ser obtido através de determinados testes, como por exemplo o teste da porta ventiladora, estes testes são obrigatórios para a certificação dos edifícios, segundo esta norma [21];
- A frequência de sobreaquecimento não deve ultrapassar os 10%, ou seja a temperatura dentro do edifício não deve exceder os 25°C em mais de 10% das horas durante um ano (considera-se que um ano tem 8760 horas) [21];

É possível concluir, que os conceitos *Passivhaus* e *nZEB* assentam em princípios construtivos idênticos, contudo as semelhanças e as diferenças entre os dois conceitos dependem do país onde o edifício vai ser construído, pois como será analisado existem países em que um edifício *nZEB* não é um *Passivhaus*, assim como o contrário. Como já foi referido anteriormente, os edifícios *Passivhaus*, não têm como única preocupação garantir uma redução dos consumos energéticos, mas também garantir a melhor qualidade possível noutros parâmetros fundamentais para o bem-estar humano, como o conforto térmico e a qualidade do ar interior.

Esta é a principal diferença entre um *Passivhaus* e a típica definição de *nZEB*, que normalmente se refere aos consumos de energia de um edifício, havendo no entanto países, como a Dinamarca e a Alemanha [16], em que esta diferença não existe pois ambos os conceitos são equivalentes.

Por este motivo, a construção de um edifício *Passivhaus* assenta nos cinco pilares, representados na figura 1.9.

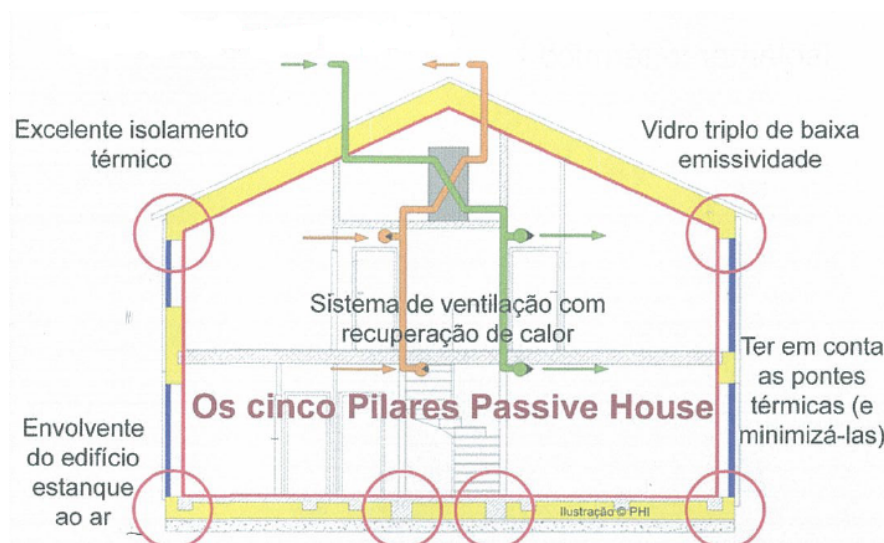


Figura 1.9: Os cinco pilares de um *Passivhaus*. Retirado de [21]

- Excelente e relativamente espesso isolamento;
- Janelas com vidros triplos de baixa emissividade e caixilhos isolados;
- Envolvente do edifício estanque ao ar;
- Evitar as pontes térmicas;
- Sistema de ventilação confortável com recuperação de calor;

O primeiro requisito não seria cumprido, se o edifício fosse construído na Alemanha onde as espessuras ótimas para o isolamento num *Passivhaus*, encontram-se representadas na figura 1.10.

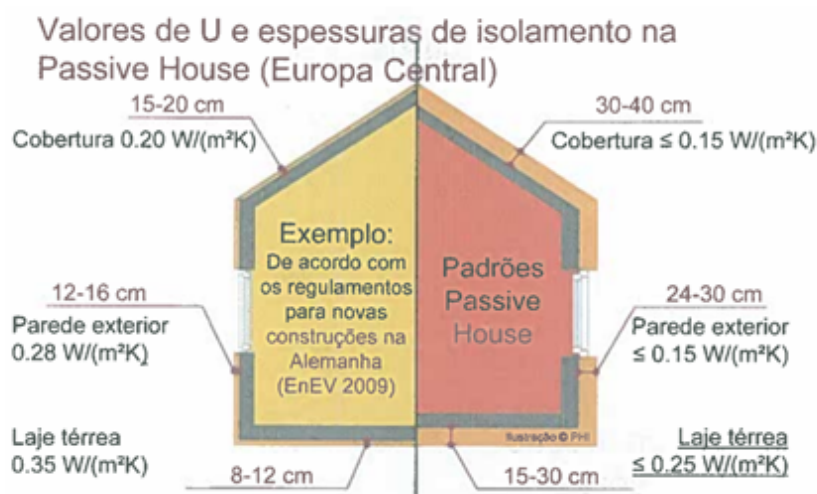


Figura 1.10: Espessuras ideais para a espessura de isolamento de um *Passivhaus* em países da Europa Ocidental. Retirado de [21]

No entanto, para o clima português, paredes com espessuras de 80 e 100 mm de isolamento, como as utilizadas pela *N2Build*, são suficientemente eficientes. Uma vez mais, verifica-se que as recomendações desta norma ainda não estão ajustadas a climas diferentes dos registados na Europa Ocidental, ou da Inglaterra.

O segundo requisito, também não será cumprido pelo edifício em análise, pois até ao momento, as estratégias para a obtenção de um *Passivhaus*, encontram-se apenas perfeitamente estabelecidas para países da Europa Ocidental como a Alemanha, visto que em Portugal, os vidros triplos têm um valor excessivo para serem utilizados regularmente nas habitações. Para o clima português os vidros duplos revelam-se suficientemente eficientes, sendo bastante mais baratos que os triplos, não sendo expectável que a utilização de vidros triplos tenha retorno económico, sendo estes considerados um luxo. A tabela 12 do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23], não prevê inclusive a utilização de vidros triplos.

O primeiro edifício *Passivhaus* em Portugal, que cumpre os requisitos desta norma encontra-se na figura 1.11.



Figura 1.11: Primeiro edifício *Passivhaus* em Portugal construído em Ílhavo. Retirado de [20]

Os restantes requisitos serão cumpridos pelo edifício em estudo e devidamente analisados, contudo o quinto requisito poderá não ser incluído na solução final, pois também será analisada solução para o sistema de climatização que não utiliza um recuperador de calor.

Um edifício *Passivhaus* pode ser construído em qualquer clima, desde que cumpra os requisitos previamente definidos. A maior parte destes edifícios foram construídos na Alemanha durante o novo século, no entanto já existem exemplos noutros países da Europa, na Austrália, China, Japão, Canadá, nos Estados Unidos da América, em vários países na América do Sul e existe mesmo um centro de investigação certificado pela norma na Antártida [24].

Apesar das diferenças existentes entre um *Passivhaus* e um *nZEB* que cumpra apenas os requisitos relativamente aos consumos energéticos impostos a nível nacional para um *nZEB*, não significa que os conceitos possam ser incompatíveis, antes pelo contrário. Deste modo, o *Passivhaus Institut* propôs a seguinte definição para um *nZEB* "Um *nearly Zero Energy Building*, é o que oferece a melhor performance económica, em termos de investimento, consumos energéticos e custos capitais, para as condições climáticas locais. O balanço energético inclui a energia gasta para aquecimento, AQS, toda a energia eléctrica consumida e a energia primária produzida localmente"[25].

A investigação sobre os edifícios *Passivhaus* é cada vez mais corrente, existindo no presente diversos estudos acerca destes edifícios, normalmente relacionados com a optimização ou uma análise acerca de parâmetros específicos, como por exemplo, estratégias para a redução das horas de sobreaquecimento de um *Passivhaus* [26], ou a optimização da envolvente de um *Passivhaus* de forma a reduzir, os seus consumos num dado local [27]. O *Passivhaus Institut*, é uma instituição que se dedica ao estudo e à construção de edifícios *Passivhaus*.

É deste modo expectável, que no futuro, com o desenvolvimento de novos e mais inovadores edifícios, que utilizam equipamentos ainda mais eficientes, materiais novos e inovadores e novas técnicas para a sua construção e dimensionamento, que permitem um maior aproveitamento da energia obtida localmente, é possível que os *nZEB* deixem

de ser edifícios A^+ . Outra das razões é no futuro, ser provável que outros parâmetros ganhem expressão para a classificação do desempenho energético de um edifício, relativamente aos consumos energéticos como a qualidade do ar interior, ou o conforto térmico dos ocupantes. Os *Passivhaus* não deverão ser alvo destes problemas, pois o seu dimensionamento tem em consideração vários parâmetros e outros objectivos para além da redução dos consumos energéticos, ao contrário de alguns *nZEB*. Num futuro ainda mais distante, os edifícios que produzem mais energia que aquela que consomem como os *Plus Energy Buildings (PEB)*, ou os *Plusenergiehaus*, poderão tornar os *nZEB* datados. Os *Passivhaus* por sua vez poderão ser um passo para os futuros *Plus Energy Buildings*, ou até mesmo *Plusenergiehaus*, devido à norma *Passivhaus* ser compatível com estes edifícios, no entanto os limites exigidos e os materiais utilizados para a construção de um *Passivhaus* deverão ser alvo de alterações para se ajustar a esta realidade.

1.5 *Composite Sandwich Panel (CSP)*

O *CSP* é o material compósito desenvolvido pela empresa *N2Build*, usado para a construção das paredes, do tecto e por vezes até mesmo do pavimento dos seus edifícios (em edifícios com a área útil do edifício em estudo, ou seja acima dos $50 m^2$, este é constituído por betão).

Os materiais compósitos são obtidos, através da combinação de dois ou mais materiais com propriedades físicas e químicas muito diferentes, produzindo um novo material com características diferentes de cada um dos componentes individuais utilizados para obter o novo material. Um dos primeiros exemplos da utilização destes materiais encontra-se documentado no Velho Testamento, o material era composto por tijolos de argila reforçados com fibras de palha [28].

O betão é o material compósito mais comum em engenharia, sendo tipicamente usado na construção de edifícios, quer de habitação, quer comerciais, no entanto outros compósitos são também muito utilizados em aplicações de engenharia, como os *Fiber Reinforced Polymer (FRP)*, que incluem o *Carbon Fiber Reinforced Polymer (CFRP)* e o *Glass Reinforced Polymer (GRP)* [28].

O novo material obtido, tem normalmente propriedades mecânicas superiores aos materiais usados para a sua obtenção, por várias razões, como o facto de serem mais leves ou baratos.

O painel tipicamente usado por esta empresa, é constituído por um núcleo e duas camadas, uma superior e outra inferior, como representado na figura 1.12.

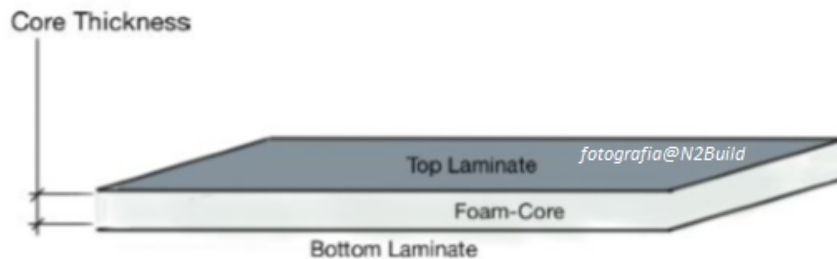


Figura 1.12: Esquemática da constituição de um CSP

A figura 1.13, mostra as possibilidades existentes para efectuar as ligações entre os materiais constituintes de um CSP.

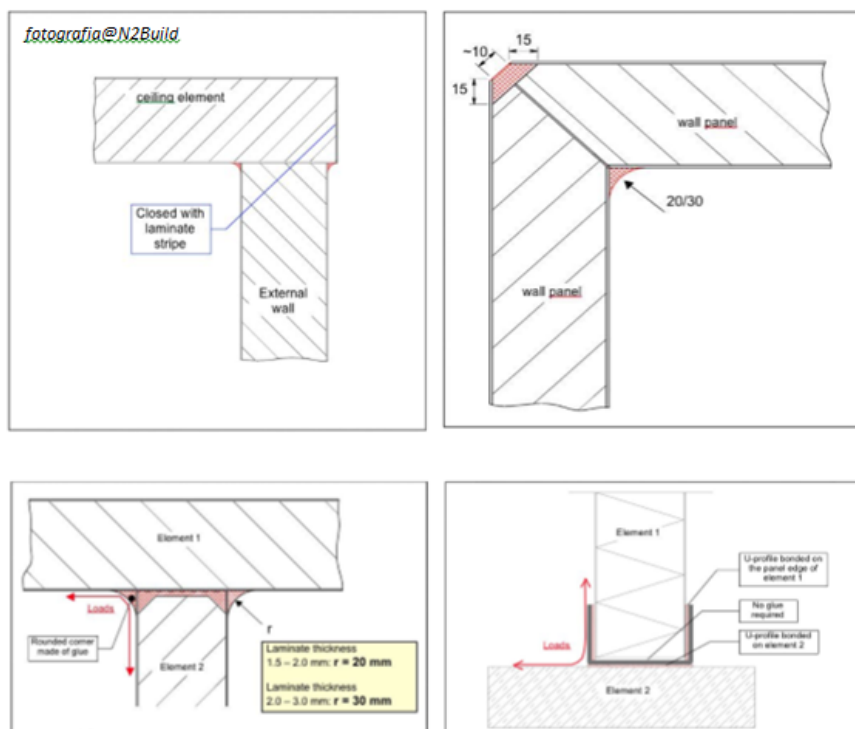


Figura 1.13: Possibilidades para a união dos painéis CSP

O núcleo é constituído por *XPS* (*Extruded Polystyrene*, ou em português, Poliestireno Extrudido), ou *PU* (*Polyurethane*, ou Poliuretano em português) se este puder ser utilizado no clima em questão e se for mais vantajoso, embora o *XPS* seja o mais utilizado pela empresa. As camadas superiores e inferiores do CSP que será estudado são constituídas ou por fibras de vidro (o mais comum), ou em alguns casos por fibras de carbono. As camadas e o núcleo são ligados por resina epoxy.

O painel pode ter uma espessura de 50, 80 ou 100 mm, enquanto que as camadas podem ocupar uma espessura entre os 1,5 e 3 mm, sendo as dimensões *standard* dos painéis de 6000x2500 mm, estes encontram-se representados nas figuras 1.14 e 1.15.

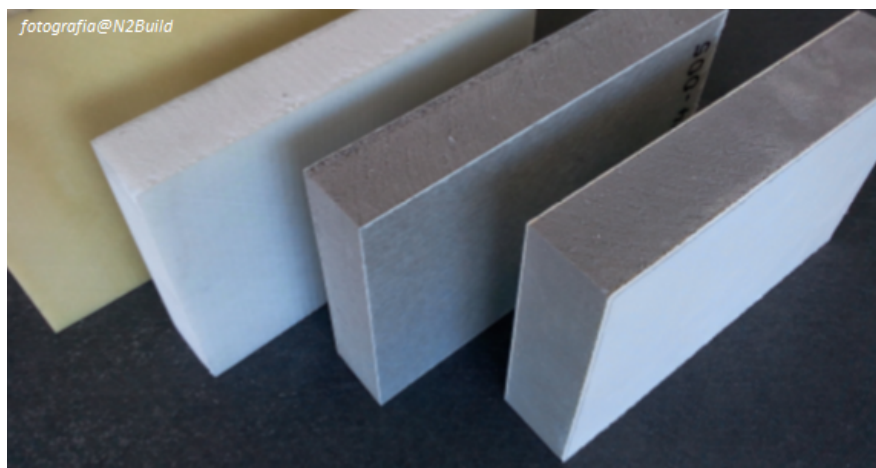


Figura 1.14: Painéis *CSP*, produzidos pela *N2Build*



Figura 1.15: Edifícios com paredes feitas de *CSP*

No entanto, para o edifício em estudo, devido às suas dimensões (a sua construção abrange uma área de terreno de cerca de $85,6 \text{ m}^2$), o painel com 50 mm de espessura não é utilizado, logo não serão analisadas as suas propriedades.

O *CSP* que irá ser estudado é constituído por *XPS* e fibras de vidro nas camadas superior e inferior, as suas propriedades termodinâmicas, estão representadas na tabela 1.2.

Tabela 1.2: Propriedades termodinâmicas do *CSP* em estudo

Material	e [mm]	λ [W/(m · K)]	c_p [kJ/(kg · K)]	ρ [kg/m ³]
80XPS35G812	80	0,032	2,082	70
100XPS35G812	100	0,032	2,082	64

Em que:

- e : Espessura do *CSP* [mm];
- λ : Condutibilidade térmica do *CSP* [W/(m · K)];
- c_p : Calor específico do *CSP* [kJ/(kg · K)];
- ρ : Massa volúmica do *CSP* [kg/m³];

Devido à elevada resistência térmica do material em estudo, as paredes constituídas por este material terão uma contribuição nula para a inércia térmica do edifício, como será verificado na secção 2.5, pois este é um material isolante.

1.6 Objectivos

A presente dissertação tem como principal objectivo, a análise dos consumos energéticos de um edifício pré-fabricado, pela empresa *N2Build* e de soluções para minimizar os seus consumos energéticos. A satisfação das necessidades de energia primária, será atingida através da utilização de equipamentos capazes de produzir energia térmica (caldeiras a *pellets*, ou colectores solares térmicos) e eléctrica (colectores solares fotovoltaicos), recorrendo exclusivamente a energia proveniente de fontes de energia renováveis.

As necessidades de energia primária das soluções implementadas, serão comparadas com os limites estabelecidos para os *nZEB* e os *Passivhaus*, sendo que, quando estiverem implementadas em simultâneo as soluções para a geração de energia térmica e eléctrica de origem renovável, é expectável que seja obtido um *ZEB*, ou *PEB*.

Até à data do presente trabalho, ainda não foram definidos os limites para os quais um edifício é considerado um *nZEB* em Portugal, portanto será assumido que um *nZEB* em Portugal tem os limites energéticos idênticos a um *Passivhaus*. No entanto, apesar desta simplificação os resultados finais serão analisados, em relação ao que aconteceria na eventualidade da definição Portuguesa, ser igual às definições já adoptadas por outros Estados Membros da União Europeia.

Capítulo 2

Caso de Estudo

"Apresentação das condições em que o edifício em estudo será analisado, assim como a verificação regulamentar dos elementos da sua envolvente. Explicação dos princípios de funcionamento dos sistemas em estudo, utilizados para a satisfação das necessidades energéticas do edifício"

Caso de Estudo

O edifício em estudo, é baseado num edifício real que se encontra representado na figura 2.1.



Figura 2.1: Edifício em estudo

Existem edifícios com esta estrutura, em Lisboa e em Moçambique. A planta do edifício fornecida pela *N2Build*, encontra-se representada nas figuras A.1 e A.2 do anexo A. É importante referir que a inclinação do seu tecto, é usada para a análise dos colectores solares, foi calculada através das medidas da sua planta original, sendo o seu valor cerca de $10,49^\circ$.

2.1 Condições do Caso de Estudo

O edifício será estudado em Portugal, para 3 localidades diferentes (Bragança, Porto e Faro), a constituição do *CSP* em análise, será composta por um núcleo de *XPS* e as camadas superiores e inferiores por fibras de vidro, como já mencionado anteriormente.

Para o edifício em estudo, será considerado a existência de um tecto falso para toda a casa, a partir de uma altura de $2,5\text{ m}$, solução que é admitida pela empresa *N2Build*, a área útil do edifício é de cerca de $59,82\text{ m}^2$ e a sua cobertura tem aproximadamente $85,6\text{ m}^2$.

As necessidades energéticas do edifício serão analisadas para 3 orientações diferentes, de modo a ser escolhida a orientação mais favorável para o edifício, na figura 2.2, encontra-se uma representação do edifício com a sua fachada principal orientada a Sul.

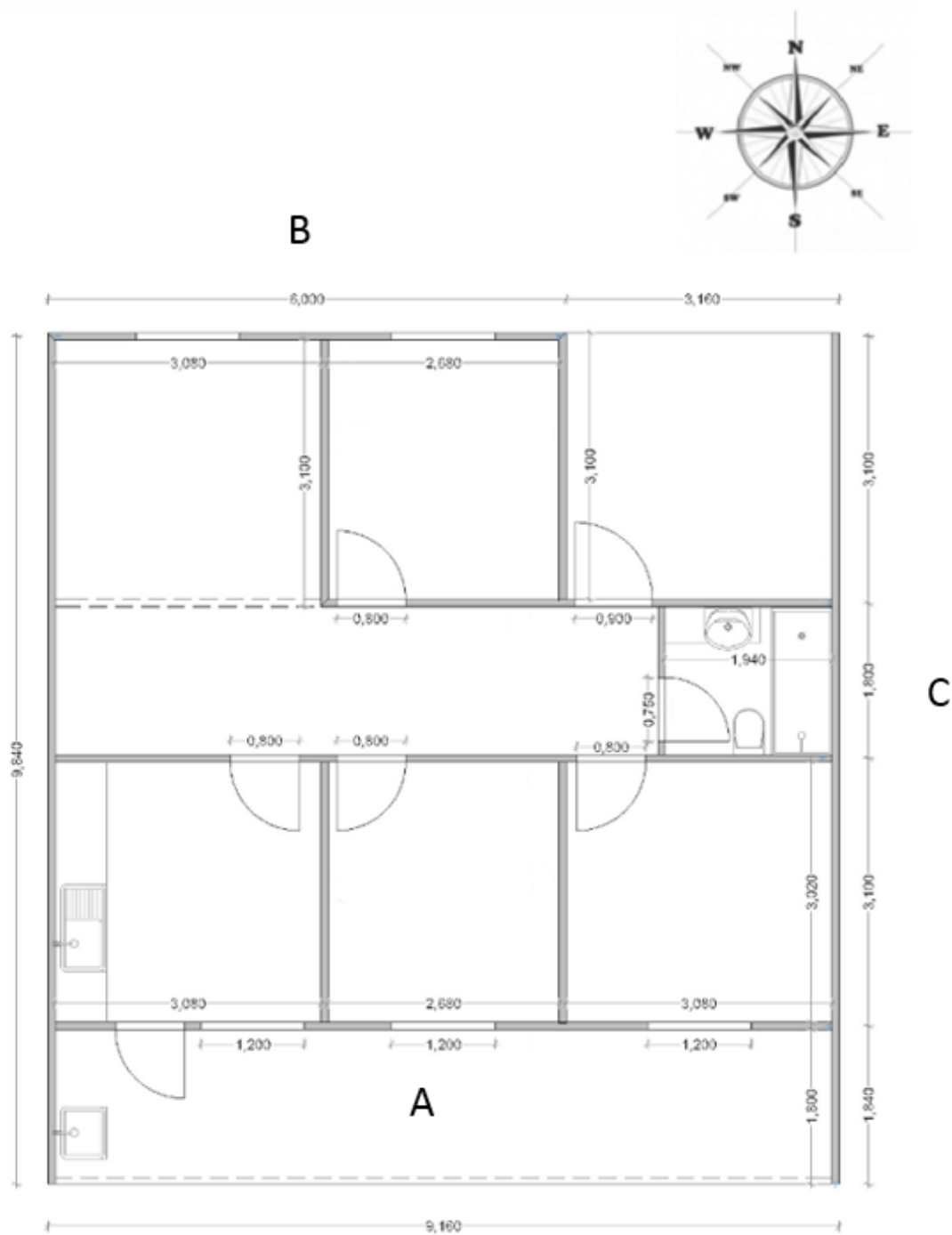


Figura 2.2: Fachada principal do edifício (assinalada com a letra A) orientada a Sul, esta fachada irá ser rodada para Poente (letra C) e para Norte (letra B)

O chão será constituído pelos materiais da tabela 2.1, encontrando-se a madeira por cima do betão, as características destes materiais foram baseadas nos dados presentes nas tabelas do LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Cível) [29].

Tabela 2.1: Propriedades termodinâmicas dos materiais que constituem o pavimento, do exterior para o interior. Retirado de [29]

Material	e [mm]	λ [W/(m · K)]	c_p [kJ/(kg · K)]	ρ [kg/m ³]
Betão Estrutural	250	0,85	1,00	1400
Madeira	22	0,13	1,88	350

Para a madeira, foi assumido que a sua cor é o castanho-escuro, sendo o valor do seu factor de absorção solar 0,80 [30].

A constituição das janelas¹ encontra-se representada na tabela 2.2 tendo estas sido baseadas nas características dos envidraçados, que o *TRNSYS* disponibiliza para a simulação.

Tabela 2.2: Características das Janelas simuladas no *TRNSYS*, baseadas no envidraçado *ClimaPlus* da *Saint Gobain*

Janela	$U_{env.}$ [W/(m ² · K)]	g [%]	Espessura do envidraçado [mm]	Espessura da caixa de ar [mm]
<i>Insulated</i>	1,27	62,4	4	16

Sendo:

- $U_{env.}$: Coeficiente global de transferência de calor do envidraçado [W/(m² · K)];
- g : Factor de absorção solar do vidro [%];

As paredes exteriores e o tecto, são também constituídas pelo *CSP*, apenas a sua espessura é variável, estando as suas propriedades para as espessuras em estudo representadas na tabela 1.2, presente na secção 1.5.

2.2 Localização Geográfica do Edifício

O edifício em estudo situa-se numa zona não urbana com baixo tráfico, havendo poucas obstruções à radiação solar. Para o estudo do comportamento de um edifício, é necessário um zonamento cuidado e diferenciado na estação de aquecimento e de arrefecimento.

A legislação de acordo com a Portaria n.º 349-B/2013, que avalia o desempenho energético dos edifícios de habitação [10] identifica duas estações, a estação de arrefecimento que inicia-se no dia 1 Junho e termina no dia 1 de Outubro e a estação de aquecimento à qual pertencem os restantes dias.

¹As dimensões das janelas encontram-se representadas nas figuras A.1 e A.2 do anexo A

Actualmente, são definidas três zonas climáticas de Inverno (I1, I2 e I3), referentes à estação de aquecimento e três zonas climáticas de Verão (V1, V2 e V3), referentes à estação de arrefecimento, para aplicação de requisitos de qualidade térmica da envolvente [31]. As zonas climáticas de inverno são definidas a partir do número de graus-dias (GD) na base de 18°C , correspondente à estação de aquecimento conforme representado na tabela 2.3.

Tabela 2.3: Critério para a determinação da zona climática de Inverno. Retirado de [31]

Critério	$\text{GD} \leq 1300$	$1300 < \text{GD} \leq 1800$	$\text{GD} > 1800$
Zona	I1	I2	I3

As zonas climáticas de Verão são definidas através da temperatura média exterior, correspondente à estação convencional de arrefecimento ($\theta_{\text{ext},v}$), conforme a Tabela 2.4.

Tabela 2.4: Critério para a determinação da zona climática de Verão. Retirado de [31]

Critério	$\theta_{\text{ext},v} \leq 20^{\circ}\text{C}$	$20^{\circ}\text{C} < \theta_{\text{ext},v} \leq 22^{\circ}\text{C}$	$\theta_{\text{ext},v} > 22^{\circ}\text{C}$
Zona	V1	V2	V3

Os valores dos parâmetros climáticos anteriormente descritos, têm de ser ajustados mediante a altitude local do edifício em estudo segundo a seguinte relação linear:

$$X = X_{ref.} + a \cdot (z - z_{ref.}) \quad (2.1)$$

Em que:

- X - Parâmetro climático que se pretende ajustar, como o número de graus dia, duração da estação de aquecimento, ou a duração da estação de arrefecimento;
- $X_{ref.}$ - Parâmetro climático de referência que será ajustado;
- a - Valor do declive da relação linear entre parâmetros;
- z - Altitude do local em estudo [m];
- $z_{ref.}$ - Altitude de referência para a localidade em questão [m];

No entanto, como não existe qualquer indicação em relação à altitude do edifício, esta correcção não será realizada.

O zonamento climático do edifício é apresentado na tabela 2.5.

Tabela 2.5: Zonamento climático do edifício mediante a cidade em que se encontra localizado [31]

Localidade	GD [$^{\circ}C$]	Zona Climática (Inverno)	$\theta_{ext.,v}$ [$^{\circ}C$]	Zona Climática (Verão)
Alto Trás-os-Montes	2015	I3	21,5	V2
Grande Porto	1250	I1	20,9	V2
Algarve	987	I1	23,1	V3

Apesar do edifício não ser testado na zona climática I2, as condições climáticas do edifício no Porto quase se assemelham à desta zona, bastando situarem-se numa zona com uma altura ligeiramente superior, à altura de referência para um edifício no Porto se encontrar na zona I2.

Como irá ser comprovado, os diferentes climas irão afectar o comportamento da envolvente do edifício e consequentemente a energia utilizada para a satisfação das suas necessidades.

2.3 Perfis de Ocupação

Para o presente caso de estudo, foram considerados dois perfis de ocupação semanais do edifício, um para cada uma das estações do ano (a estação de aquecimento e a de arrefecimento).

Os perfis de ocupação² da habitação estão representados nas figuras 2.3, 2.4, 2.5, 2.6 e 2.7 (em que F.O, é o factor de ocupação, relacionado com a quantidade das pessoas dentro da família que se encontra dentro de casa).

F. O.

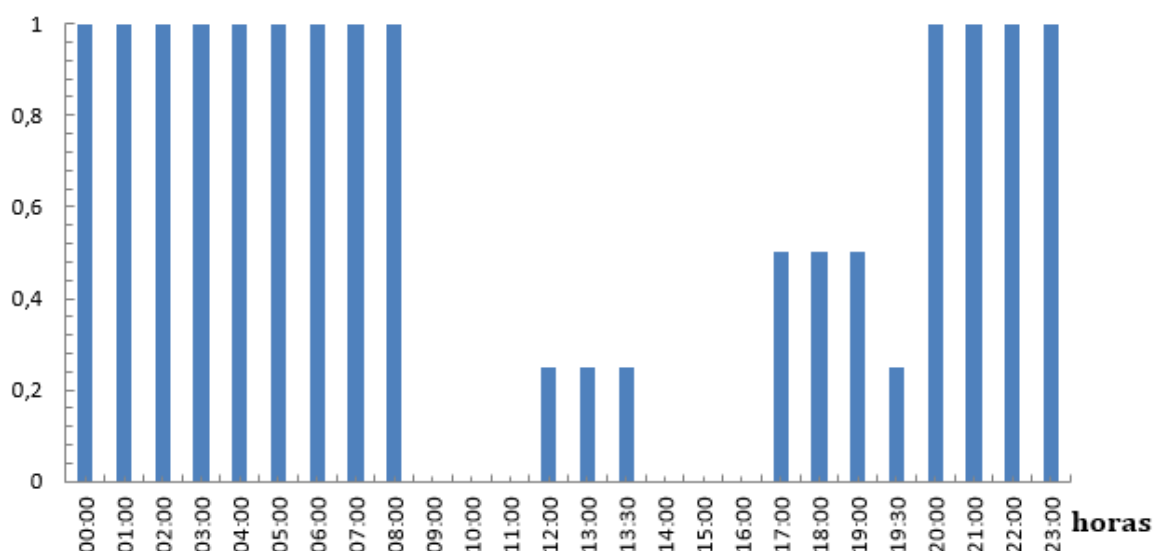


Figura 2.3: Perfil de ocupação da habitação nas segundas e sextas-feiras, na estação de aquecimento

²Quando as pessoas se encontram dentro de casa, é considerado para a estação de aquecimento que as luzes estão sempre acesas desde 18 horas e na estação de arrefecimento a partir das 20 horas, no compartimento que estiver ocupado

F. O.

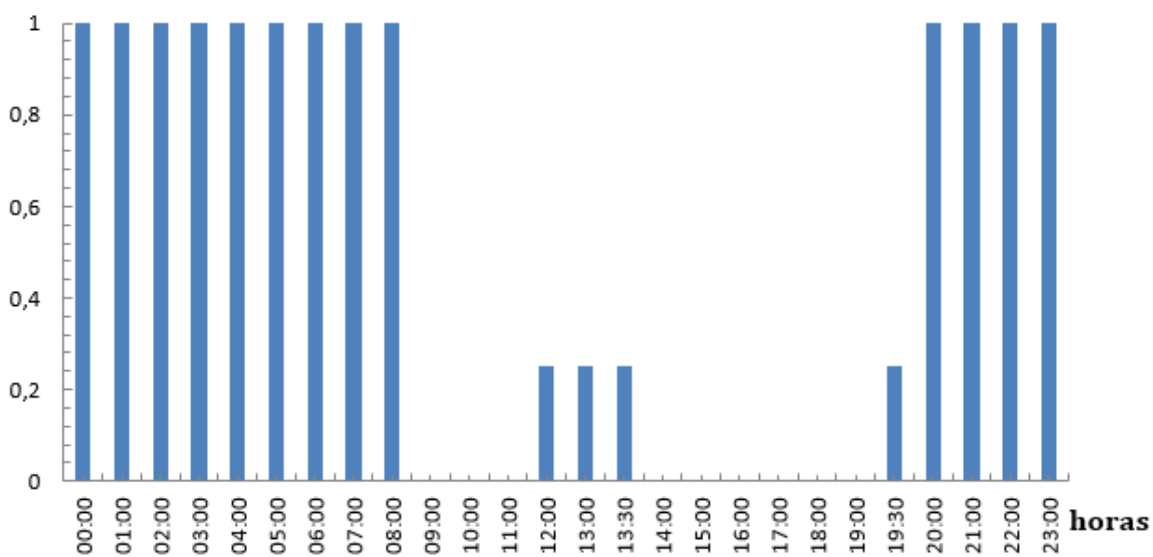


Figura 2.4: Perfil de ocupação da habitação nos restantes dias da semana, na estação de aquecimento e nas quartas e sextas-feiras, para a estação de arrefecimento

F. O.

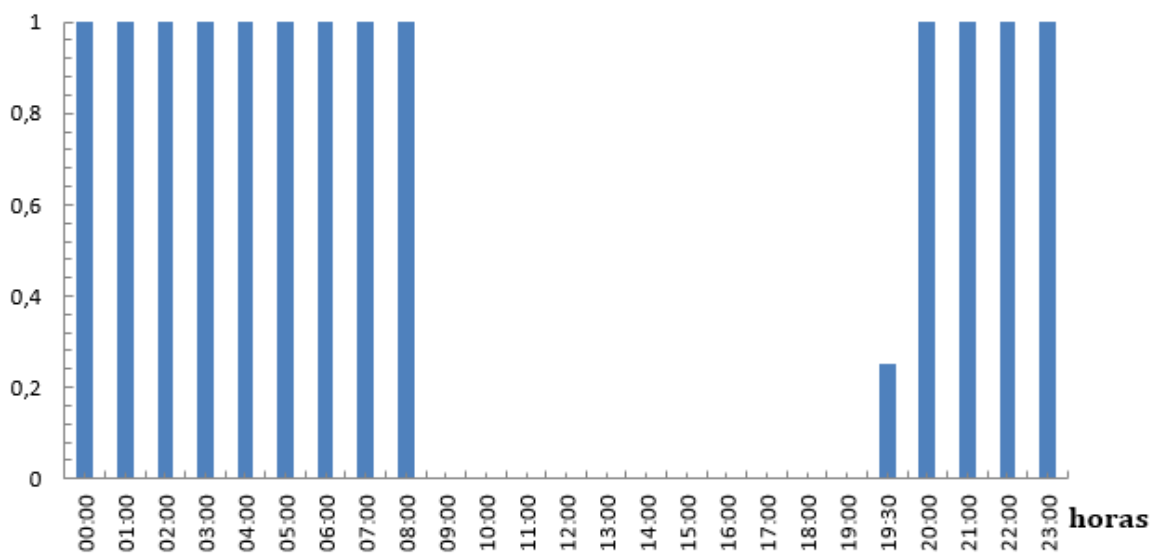


Figura 2.5: Perfil de ocupação da habitação nos restantes dias da semana, na estação de arrefecimento

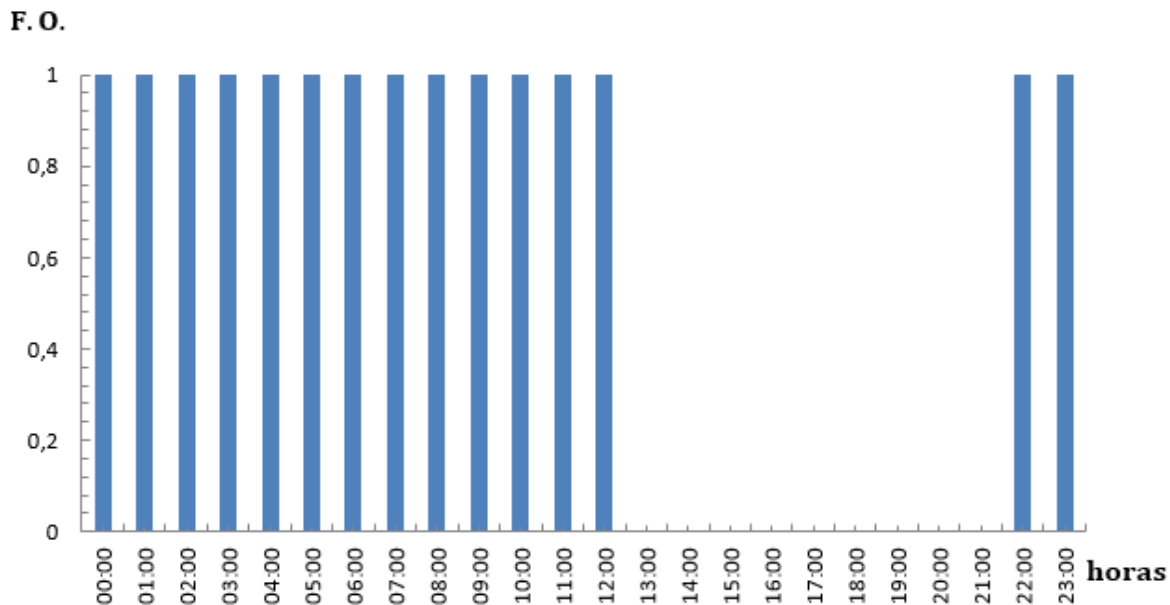


Figura 2.6: Perfil de ocupação da habitação nos sábados

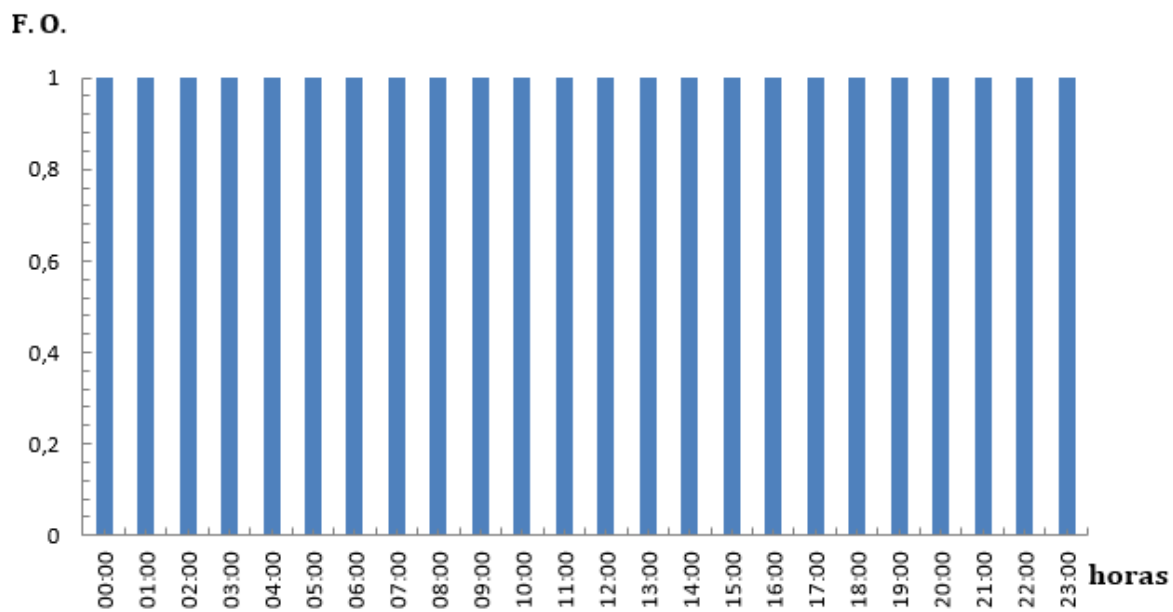


Figura 2.7: Perfil de ocupação da habitação nos domingos

Para uma melhor compreensão dos perfis de ocupação assumidos, será indicada a ocorrência de alguns momentos chave, como o período de refeições e os momentos em que os ocupantes tomam banho³.

Durante a semana, os pais tomam banho entre as 7 horas e as 7 horas e 30 minutos e os filhos entre as 19 horas e as 19 horas e 30 minutos, por fim durante o fim-de-semana, todos tomam banho entre as 8 e as 9 da manhã.

As pessoas tomam o pequeno-almoço entre as 7 horas e 30 minutos e as 8 horas. Na estação de aquecimento a mãe almoça todos os dias em casa às 12 horas, demorando cerca de uma hora e os filhos lancham em casa às 17 horas, a refeição demora cerca de meia hora. Na estação de arrefecimento, os filhos nunca lancham em casa e a mãe apenas almoça na quarta e na sexta. Durante os fim-de-semanas esta refeição ocorre entre as 9 e as 9 horas e 30 minutos, no domingo a família lancha em casa entre as 17 e as 17 horas e 30 minutos, por fim a família janta todos os dias em casa (excepto no sábado dia em que a família só está em casa de manhã e no final do dia por volta das 22 horas quando regressa), entre as 20 e as 21 horas. O comportamento previsto para os fim-de-semanas, é idêntico em ambas as estações.

A potência térmica dos equipamentos usados encontra-se representada na tabela .

Tabela 2.6: Potência dos equipamentos usados na simulação [32]

Equipamento	$\dot{Q}_{sens.} [W]$	$f_{rad.}$
Computadores	36	0,25
Televisão Sala	36	0,4
Televisões Pequenas	19	0,4
Equipamentos da Cozinha e Lavandaria	500	0,3
Impressora	98	0,3

Em que:

- $\dot{Q}_{sens.}$: Perdas caloríficas sensíveis, de um determinado equipamento [W];
- $f_{rad.}$: Parcela das perdas caloríficas totais, de um determinado equipamento [-];

Equipamentos como a máquina de lavar loiça, ou a máquina de lavar roupa encontram-se ligados durante 30 minutos, para efeitos de simulação, após o almoço ou o jantar, sendo variável a sua utilização e é contabilizada em 500 W [32]. Durante almoços e jantares, os equipamentos utilizados para cozinhar, os frigoríficos e os congeladores, representam-se em termos de simulação com 500 W , enquanto as pessoas estão a comer [32]. A mesma consideração foi tomada para refeições mais leves, para equipamentos usados para refeições mais leves, como a máquina de café, no entanto, em vez de a carga térmica ser usada na simulação durante o tempo todo, só será usada durante 5 minutos.

Foram ainda considerados ganhos latentes no valor de 0,790 kg/h [33] e 0,720 kg/h [33], para os homens e mulheres respectivamente, quando tomam banho.

³Os perfis de utilização dos diversos equipamentos, podem ser visualizados no anexo B

2.4 Comportamento da Envolvente de um Edifício

Para a obtenção de edifícios *Passivhaus*, ou *nZEB*, para além do aproveitamento da energia obtida através de estratégias passivas e da utilização de energia proveniente de fontes renováveis, é também fundamental um dimensionamento cuidadoso da sua envolvente.

A envolvente, desempenha um papel fundamental para a redução dos seus consumos energéticos. Um excelente projecto, execução e fiscalização dos elementos construtivos da envolvente do edifício, são portanto fundamentais para a obtenção de um *nZEB* e por consequência, também para um *Passivhaus*. Uma boa prática para a concepção destes edifícios, passa por evitar a existência de pontes térmicas na sua envolvente. As pontes térmicas são pontos frágeis da envolvente do edifício, podendo estas ser uma laje saliente de uma varanda em betão, um pilar, uma chaminé ou uma saliência *ETICS* (*External Insulation Composite Systems*). É portanto, qualquer ponto ou área da envolvente do edifício onde o calor pode facilmente fluir do seu interior para o exterior, havendo nestes pontos um elevado valor de perdas térmicas, alguns dos pontos onde estas se costumam localizar podem ser vistos na figura 2.8.

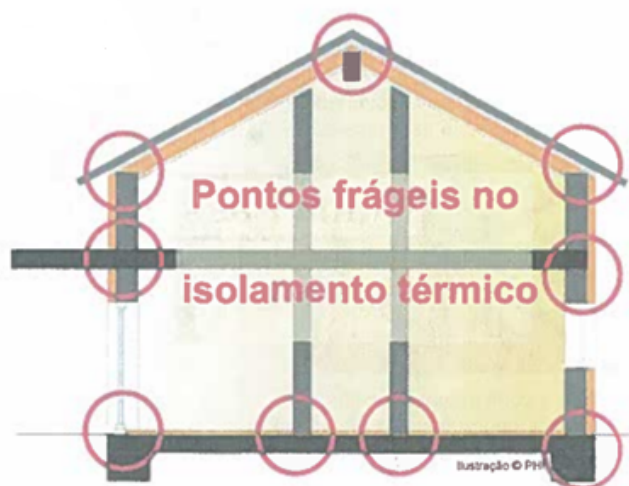


Figura 2.8: Ilustração dos pontos frágeis (pontes térmicas), presentes na envolvente do edifício. Retirado de [21]

A influência das pontes térmicas, no valor total das perdas térmicas do edifício podem ser consideráveis, deste modo, para os novos edifícios serem o mais eficientes possível em termos energéticos, a sua envolvente deve ser livre de pontes térmicas, algo que os edifícios *Passivhaus* tentam sempre respeitar. Assim, quando o edifício é projectado a sua envolvente deverá ser única e contínua, e deste modo, estanque ao ar que encerra todo o volume aquecido. A envolvente interna deve portanto verificar a regra do lápis, em que é possível desenhar com um lápis a camada estanque do edifício, sem levantar o lápis do papel uma única vez, devido a outros elementos, como se pode verificar na figura 2.9.

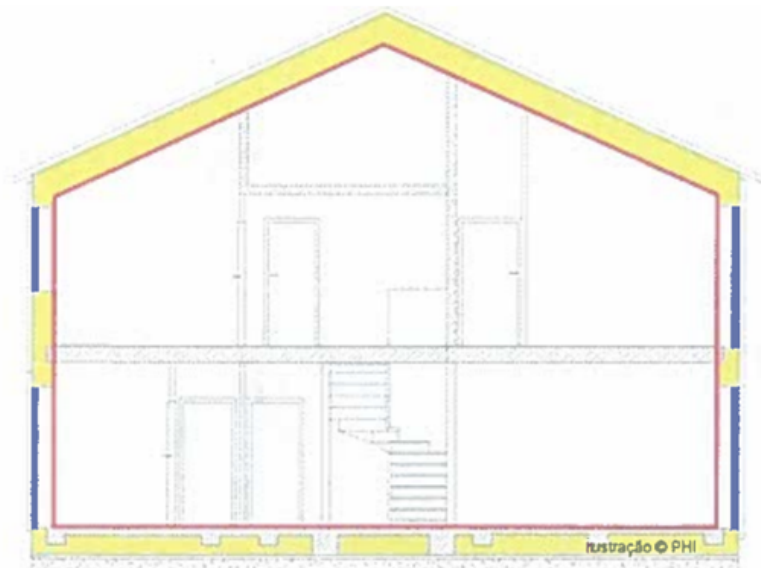


Figura 2.9: Ilustração de uma envoltória que cumpre a regra do lápis. Retirado de [21]

Com uma envoltória que respeita a regra do lápis e utilizando uma boa camada de isolamento, principalmente nos pontos mais frágeis da envoltória⁴, é possível criar um edifício livre de pontes térmicas, reduzindo significativamente as suas perdas de calor. Analisando a envoltória do edifício em estudo, que se encontra presente nas figuras do anexo A, assim como a constituição das suas paredes, é possível concluir que o edifício é livre de pontes térmicas.

A tabela I.05 [10] permite confirmar que as paredes encontram-se regulamentadas, pois o seu coeficiente global de transferência de calor (U , em $W/(m^2 \cdot K)$) é praticamente nulo, devido ao material constituinte das paredes ser um isolante, possuindo assim, uma elevada resistência térmica (R_T , em $m^2 \cdot K/W$).

Tendo em consideração os valores das tabelas 2.1 e 1.2, é possível concluir que as paredes estão perfeitamente enquadradas nos valores exigidos para cada uma das zonas.

2.5 Inércia Térmica

Segundo o Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23], a inércia térmica do edifício é obtida através da equação 2.2.

$$I_t = \frac{\sum_i^n M_{si} \cdot r_i \cdot S_i}{A_p} \quad [kg/m^2] \quad (2.2)$$

Sendo que:

- M_{si} - Massa superficial útil do elemento "i", $[kg/m^2]$;

⁴As zonas mais susceptíveis a grandes variações de temperatura, ou seja as pontes térmicas, como as já referidas lajes, pilares, etc...

- r_i - Factor de redução da massa superficial útil [-];
- S_i - Área da superfície interior do elemento i , [m^2];
- A_p - Área interior útil de pavimento, [m^2];

Segundo a legislação em vigor [23], são considerados isolantes os elementos da envolvente, cuja condutibilidade térmica é inferior a $0,065 m \cdot K/W$ e que a sua espessura conduz a que a resistência térmica desse elemento seja superior a $0,3 m^2 \cdot K/W$ [23].

O valor da resistência térmica da parede, é calculado através da seguinte equação:

$$R_T = \frac{1}{hc_{ext.} + \frac{\lambda_i}{e_i} + hc_{int.}} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (2.3)$$

Em que:

- R_T : Resistência térmica total de um determinado componente [$m^2 \cdot K/W$];
- $hc_{ext.}$: Coeficiente global de transferência de calor, entre o componente e o exterior do edifício [$W/(m^2 \cdot K)$];
- λ_i : Condutibilidade térmica da camada "i", do componente [$W/(m \cdot K)$];
- e_i : Espessura da camada "i", do componente em análise [mm];
- $hc_{int.}$: Coeficiente global de transferência de calor, entre o componente e o interior do edifício [$W/(m^2 \cdot K)$];

No presente caso de estudo, as paredes exteriores, interiores e o tecto, são constituídos apenas pelo *CSP*, analisando as características deste material que se encontram indicadas na tabela 1.2 da secção 1.5, verifica-se que este é um isolante térmico, sendo assim o valor de r_i nulo para estes elementos. Os envidraçados também não contribuem para o valor final da inércia térmica.

Considerando que a M_{si} é dada por:

$$M_{si} = \rho_i \cdot e_i \quad [kg/m^2] \quad (2.4)$$

A contribuição do pavimento para a inércia térmica encontra-se representada na tabela 2.7.

Tabela 2.7: Contribuição do Pavimento para o cálculo da Inércia Térmica do edifício

Material	ρ [kg/m^3]	e [mm]	r_i	M_{si} [kg/m^2]
Madeira	350	25	1	8,75
Betão Estrutural	1400	250	1	150
$\sum_i^n M_{si}$	-	-	150	

O valor do somatório é $150 kg/m^2$, pois não poderá ser maior que este valor para elementos em contacto com o solo [23].

A tabela 2.8, permite a visualização das várias contribuições de cada tipo de parede.

Tabela 2.8: Contribuição dos vários tipos de paredes para a inércia térmica do edifício

Tipo de Parede	r_i	M_{si} [kg/m^2]
Tecto	0	0
Parede Exterior	0	0
Parede Interior	0	0
Porta	0,5	61,25
Pavimento	1	150

Substituindo na expressão 2.4 e sabendo que o valor da área das portas é de $11,87 m^2$ e que a área útil é igual à área do pavimento (de valor $59,82 m^2$) obtém-se:

$$I_t = 156,1 \quad [kg/m^2]$$

É assim possível de concluir, através da tabela 11 do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23], que o edifício possui um valor de Inércia Térmica média, situada entre os 150 e os 400 kg/m^2 , encontrando-se praticamente no limite inferior deste intervalo, quase podendo considerar-se que a sua classe de inércia térmica é baixa.

Um edifício com o valor de inércia térmica obtida, tem pouca capacidade para armazenar a potência calorífica proveniente do exterior, sendo por este motivo a sua temperatura interior quase idêntica à exterior.

2.6 Envidraçados

Os vãos envidraçados não orientados no quadrante Norte inclusive, devem apresentar um factor solar global do vão envidraçado com todos os dispositivos de protecção solar, permanentes ou móveis, totalmente activos que satisfaça a 2.5 (atendendo em que em nenhuma fachada, a área dos envidraçados corresponde a 30% da área total da fachada):

$$g_T \cdot F_0 \cdot F_f \leq g_{Tmax} \quad (2.5)$$

Sendo:

- g_T : Factor solar do vidro [-];
- F_0 : Factor de sombreamento para elementos horizontais sobrejacentes ao envidraçado [-];
- F_f : Factor de sombreamento para elementos verticais adjacentes ao envidraçado [-];
- g_{Tmax} : Valor máximo admissível para o factor solar do vidro [-];

O tipo de vidro escolhido para a análise foi o *standard* para um vidro duplo, ou seja, encontra-se na categoria "incolor 4 a 8 mm + incolor 4 mm "o que corresponde a um $g_{\perp,vi}$ de 0,78. O vidro que foi utilizado para a simulação tem uma espessura de caixa de ar de 16 mm , em vez dos 8 mm , na legislação Portuguesa (Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23], na tabela 12) não se encontra documentado nenhum vidro com

uma espessura de caixa de ar tão elevada. O envidraçado tem portanto características demasiado favoráveis para o clima local, não tornando no entanto a solução economicamente viável, ou é uma solução já ultrapassada. Como o seu coeficiente global de transferência de calor, tem um valor típico para os envidraçados em Portugal, cerca de $1,27 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, este envidraçado será o utilizado na a simulação, até porque só é possível implementar os vidros que estão instalados no programa e para o clima português, existindo envidraçados em Portugal com características idênticas a este.

Foi considerada a existência de uma protecção exterior do tipo "persiana de régua metálicas ou plásticas, cor clara" correspondendo a um g_{Tvc} de 0,04, valor obtido através da tabela 13 [23] sendo:

- $g_{\perp,vi}$ - Factor solar do vidro para uma incidência solar normal à superfície do vidro conforme a informação do fabricante;
- g_{Tvc} - Factor solar do vão envidraçado com vidro corrente e um dispositivo de protecção solar, permanente, ou móvel totalmente activado, para uma incidência solar normal à superfície do vidro;

Para o vidro duplo, o factor solar global g_T , calcula-se da seguinte forma:

$$g_T = g_{\perp,vi} \cdot \prod \frac{g_{Tvc}}{0,75} \quad (2.6)$$

Como o vidro escolhido foi o standard para vidro duplo ($g_{\perp,vi} = 0,78$, valor obtido através da tabela 12 [23]) e foi considerada unicamente uma protecção exterior obtendo-se:

$$g_T = 0,042$$

Os valores de F_0 e F_f foram retirados das tabelas 16, 17, 18 e 19 do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23], sendo o seu produto igual a 1, pois o ângulo de inclinação é sempre de 0° .

Através da expressão 2.5, obtém-se a seguinte relação.

$$0,042 \cdot 1 \cdot 1 \leq 0,50$$

É possível verificar deste modo, que os envidraçados utilizados encontram-se dentro dos limites impostos pela legislação em vigor. O valor de g_{Tmax} utilizado, foi o mínimo recomendado para as localidades em estudo (que se verificou em Faro), que foi obtido através da tabela I.06 [10]. Assim, se o envidraçado utilizado for aprovado para estas condições, este encontra-se regulamentado em todas as zonas climáticas em estudo (que corresponde à colocação do envidraçado em Faro, como se pode verificar na tabela I.06 do REH [10]), pois se a equação 2.5 for verificada para esta situação, será verificada para as restantes.

A tabela 2.9, representa o valor da área dos envidraçados em cada fachada e a sua percentagem em relação à área de parede da respectiva fachada, encontrando-se estas representadas na figura 2.2.

Tabela 2.9: Área de envidraçados em cada fachada e a correspondente % em relação à envolvente opaca

	Fachada		
	A	B	C
$A_{fach.} [m^2]$	18,9	3,6	29,0
$A_{env.} [m^2]$	3,6	2,4	0,3
$\%A_{env.} [%]$	19,05	66,67	1,03

Em que:

- $A_{fach.}$: Área da Fachada [m^2];
- $A_{env.}$: Área de envidraçados na correspondente fachada [m^2];
- $\%A_{env.}$: Percentagem de envidraçados existentes, na fachada correspondente [%];

Para a simulação dinâmica do edifício, foi considerado que as persianas (que é assumido como um dispositivo de sombreamento móvel) estavam fechadas desde o momento em que as pessoas se deitam, até ao momento em que acordam, sendo que as persianas da sala apenas deixam de estar fechadas quando toda a gente está acordada e as do quarto quando o seu respectivo ocupante se levanta. Nos restantes períodos do dia, considera-se que as persianas estão activas, ou seja, que sombreiam 60% da área de cada envidraçado [11].

A contabilização dos ganhos solares obtidos pelos envidraçados, é um processo que se encontra limitado pelos vãos envidraçados conduzindo ao armazenamento da energia solar, que mais tarde é libertada no espaço circundante por convecção. Torna-se portanto fulcral ter em consideração a inércia térmica do espaço em estudo, dado que, os atrasos registados na libertação dessa energia para o espaço são tanto maiores, quanto maior a inércia térmica do espaço.

Os ganhos solares obtidos pelos envidraçados, são dados por:

$$\dot{Q}_{Sol.,env.} = A_{env.} \cdot F_{Sol.} \cdot G_{Sol.} \cdot F_{in.} \quad [W] \quad (2.7)$$

Sendo:

- $\dot{Q}_{Sol.,env.}$: Ganhos solares obtidos pelos envidraçados [W];
- $A_{env.}$ - Área total do vão envidraçado [m^2];
- $F_{Sol.}$ - Factor Solar (% de ganhos permitido pelo dispositivo de sombreamento), valor que já foi anteriormente definido e pode ser obtido pela expressão

$$F_{Sol.} = F_h \cdot F_0 \cdot F_f \cdot F_g \cdot F_w \cdot g_{\perp} \quad (2.8)$$

Em que:

- $G_{Sol.}$ - Intensidade de radiação solar incidente num dia de céu limpo (depende do dia, da hora e do local). Este valor é tabelado em função da latitude e da orientação do envidraçado em causa [W/m^2];

- F_{in} - (*CLF – Cooling Load Factor*) – Factor de inércia de um determinado compartimento, ou lugar, tabelado em função da inércia deste [34];

Como se verá de seguida, a inércia térmica do edifício nunca será muito elevada devido aos materiais que constituem a sua envolvente.

2.7 Iluminação

Os sistemas de iluminação a instalar nos edifícios de comércio e serviços devem cumprir os requisitos gerais e específicos para os parâmetros de iluminação, de acordo com o RECS [11], bem como requisitos para a densidade de potência, de controlo, de regulação de fluxo e de monitorização e gestão.

A potência dos sistemas de iluminação a instalar nos edifícios de comércio e serviços, não podem exceder os valores indicados pela Tabela I.28 do capítulo 9 do RECS [11], na qual são também indicados os valores dos factores de correcção, a utilizar pela existência de sistemas de controlo. Nesta tabela, estão então representados para cada tipo de espaço, o valor máximo da densidade de potência de iluminação ($DPI/100lx$), o factor de controlo relacionado com a ocupação F_O e o factor de controlo relativo à disponibilidade de luz natural F_D .

Para cada espaço o valor $DPI/100lx$ é obtido através da seguinte metodologia:

$$DPI = \frac{(P_n \cdot F_O \cdot F_D) + P_c}{A} \quad [W/m^2] \quad (2.9)$$

$$\frac{DPI}{100lx} = \frac{DPI}{E_m} \cdot 100 \quad [W/m^2/100lx] \quad (2.10)$$

Sendo:

- P_n - Potência total dos sistemas de luminárias instaladas [W];
- F_O - Factor controlo por ocupação, tabela I.28 do RECS [11];
- F_D - Factor de controlo por disponibilidade de luz natural, tabela I.28 do RECS [11];
- P_c - Potência total dos equipamentos de controlo [W];
- A - Área útil da zona [m^2];
- E_m - Iluminância média [lux];

No entanto, como o edifício em estudo é um edifício de habitação, logo regulamentado pelo REH [10], não existe uma regulamentação imposta para o controlo da iluminação, não devendo o seu valor ser excessivo.

Foi assim considerado, um valor de cerca de $5 W/m^2$, usando lâmpadas *LED* (*Lightnig Emitting Diode*) com uma potência de $6,2 W$ (que equivalem a uma lâmpada normal $40 W$ [35] em termos de luminosidade), para cada compartimento.

O número de lâmpadas utilizado para a iluminação de cada compartimento foi de:

- sala: 22 lâmpadas (sendo a área da sala 21,40 m^2);
- cozinha: 8 lâmpadas;
- quarto 1: 8 lâmpadas;
- quarto 2 e 3: 7 lâmpadas;
- casa-de-banho: 3 lâmpadas;

2.8 Evolução da Temperatura Interior do Edifício em Estudo

A figura 2.10, mostra a evolução da temperatura média do edifício, ao longo do ano, utilizando duas espessuras diferentes para o *CSP* sem este ser afectado por qualquer ganho interno, para as três localidades escolhidas e orientado a Sul.

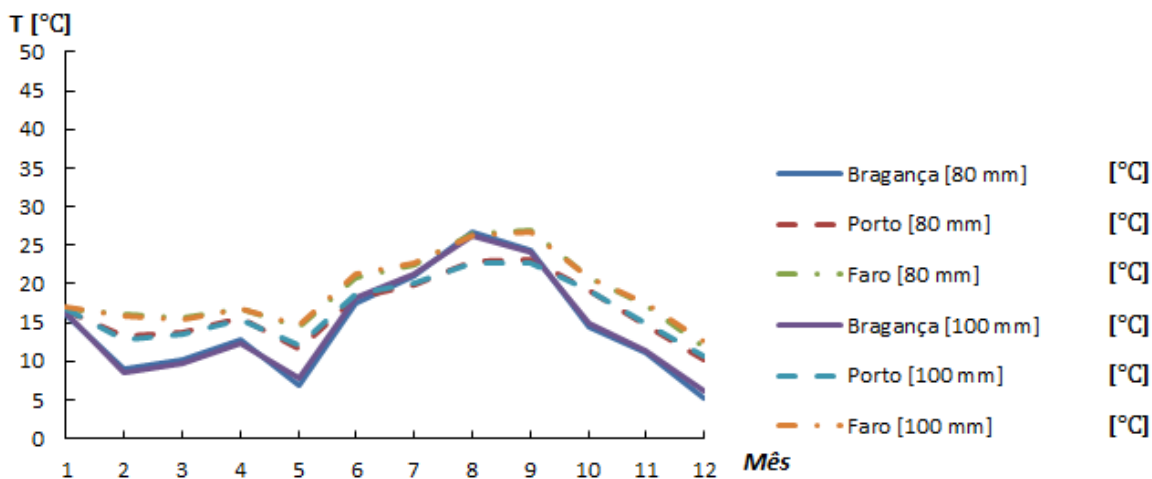


Figura 2.10: Evolução das temperaturas médias no interior do edifício, para ambas as espessuras do painel *CSP* ao longo do ano

Como é possível verificar na figura 2.10, a temperatura interna no interior do edifício, quase não sofre alterações com a variação da espessura das paredes. Assim, as conclusões retiradas para ambos os edifícios serão idênticas, no entanto, como será analisado, ambas as configurações têm as suas vantagens e inconvenientes.

De modo a ser possível uma análise mais eficaz do comportamento do edifício, nas localidades em estudo, foram escolhidos dias de projecto sendo estes na estação de aquecimento, o dia em que é registada a menor temperatura exterior e os três dias anteriores e posteriores a este e, na estação de arrefecimento, o dia em que a temperatura exterior toma o valor máximo registado e os três dias anteriores e posteriores.

Na estação de arrefecimento, a temperatura exterior máxima, verificou-se no mesmo dia para todas as localidades, sendo este o dia 17 de Julho.

Enquanto que na estação de aquecimento, a temperatura exterior mínima verificou-se no dia 22 de Dezembro para Bragança, no dia 11 de Janeiro para o Porto e no dia 13 de Fevereiro para Faro.

As figuras 2.11, 2.12 e 2.13 mostram a evolução da temperatura no interior do edifício em que as espessuras das paredes e do tecto têm um valor de 80 mm^5 , para as 3 localidades em estudo perante as condições exteriores nos dias escolhidos para a estação de aquecimento.

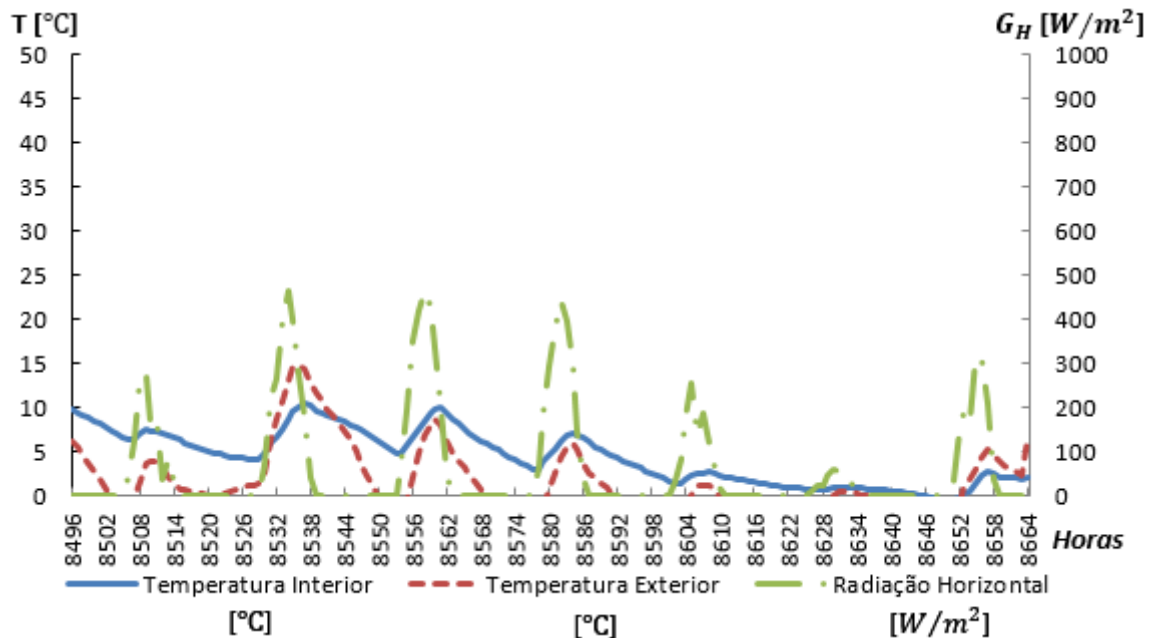


Figura 2.11: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

⁵As figuras da presente secção apenas mostram a evolução da temperatura no interior do edifício para uma espessura de 80 mm , pois a evolução é idêntica para uma espessura de 100 mm , como foi visto anteriormente, as evoluções quando a espessura das parede é de 100 mm , encontram-se representadas nas figuras do anexo C.2.1

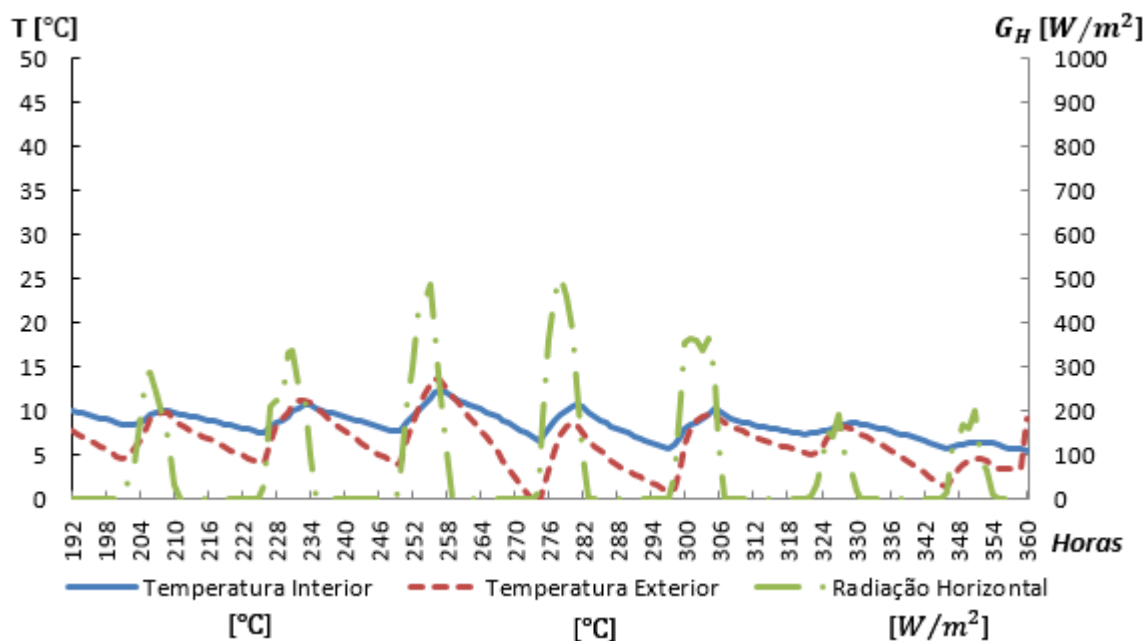


Figura 2.12: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

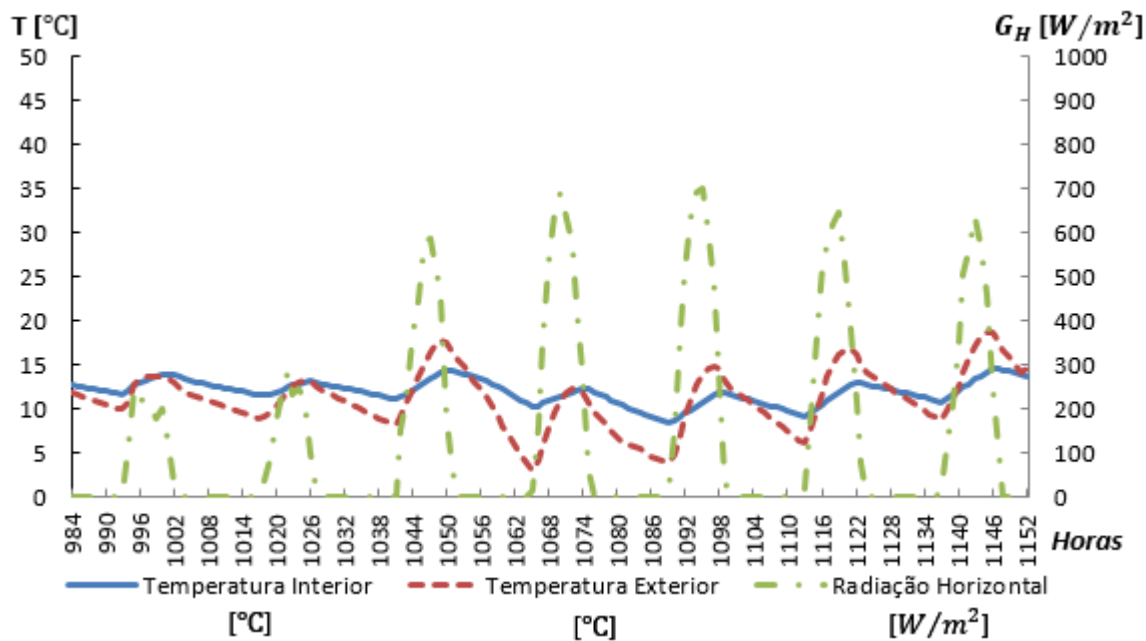


Figura 2.13: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

As figuras 2.14, 2.15 e 2.16 mostram a evolução da temperatura no interior para o mesmo edifício, para as 3 localidades em estudo perante as condições exteriores nos dias escolhidos para a estação de arrefecimento.

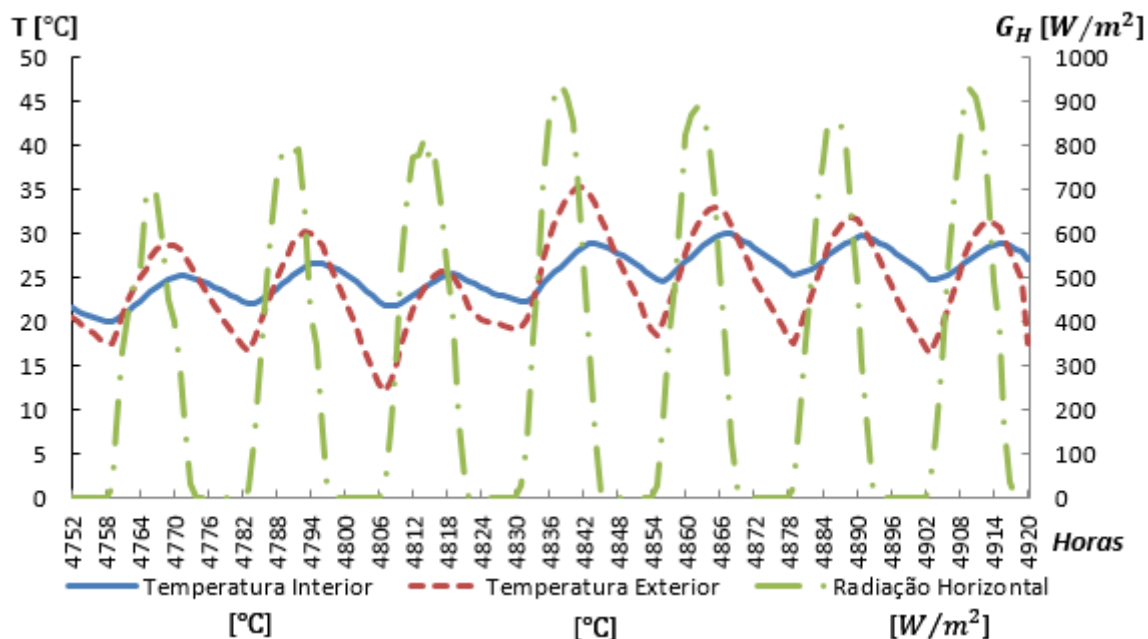


Figura 2.14: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

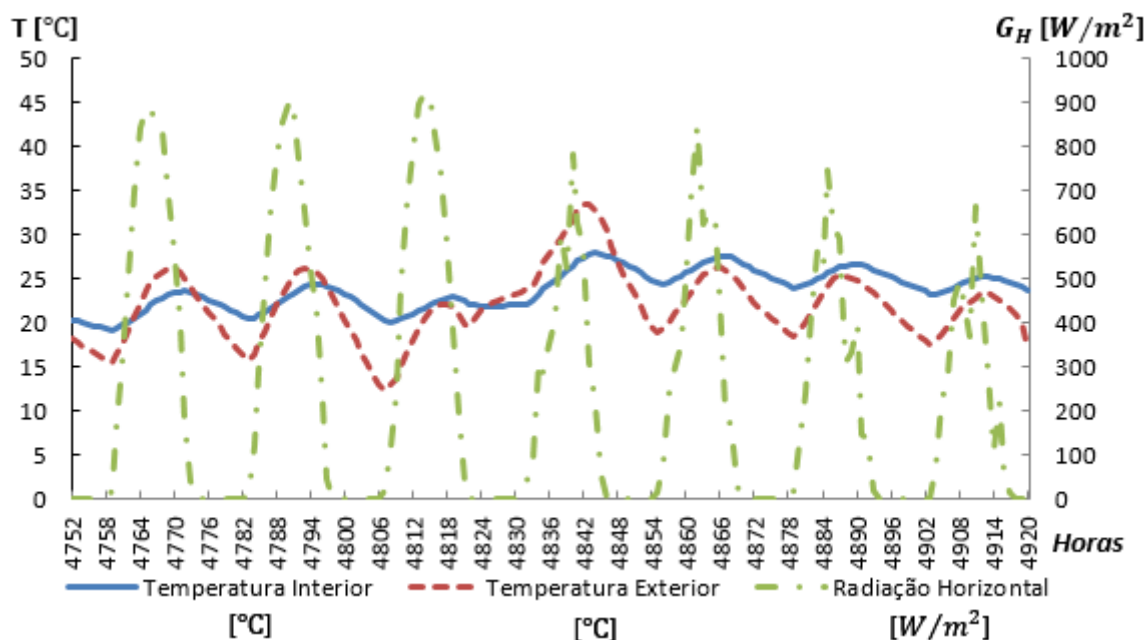


Figura 2.15: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

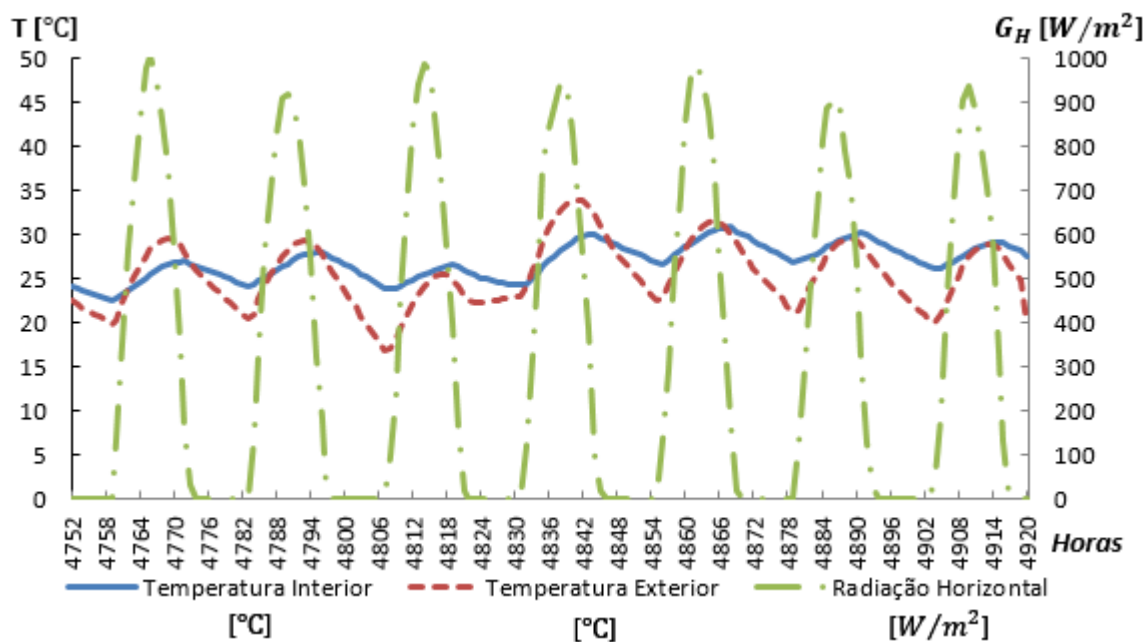


Figura 2.16: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

2.9 Caudal mínimo de Ar Novo por Espaço

A legislação de cada país impõe valores mínimos para o caudal de ar novo necessário de insuflar no interior do edifício, de modo a diluir a carga poluente introduzida pelos seus ocupantes. Na legislação nacional os seus valores encontram-se especificados na Portaria n.º 349-D/2013 [36], a nível internacional para além dos limites impostos por cada país, a norma *ASHRAE* 62.1-24 [37] define os limites para os valores do caudal de ar mínimo que deve ser insuflado

A ventilação, é definida como a introdução intencional do ar exterior para o interior do edifício, existindo dois tipos de ventilação [38]:

- ventilação natural: realizada através de aberturas intencionais ou controladas, as perdas de carga das condutas e grelhas usadas por este tipo de ventilação, têm que ser portanto muito reduzidas para permitir a entrada do ar no edifício de forma livre;
- ventilação mecânica: é a insuflação forçada do ar, onde os ventiladores forçam a passagem do ar por condutas, sendo este de seguida insuflado no edifício através dos difusores;

A ventilação mecânica tem como principal vantagem a garantia da insuflação do caudal mínimo necessário em qualquer momento, no entanto, um projecto de ventilação mecânica é mais dispendioso em termos económicos, devido aos custos adicionais inerentes à utilização de ventiladores e difusores, estando também associados maiores valores de perdas de carga. Em projectos de geometria complexa, é difícil a garantia dos requisitos mínimos para a renovação do ar através da ventilação natural, devido aos vários fenómenos não controláveis nela envolvidos, como a velocidade do vento,

sendo impossível de assegurar um valor fixo para o ar insuflado. Os projectos de ventilação natural em Portugal, são assim realizados tendo por base os caudais assegurados através de aberturas intencionais, segundo a norma NP-1037 [39].

As infiltrações correspondem à entrada e saída de ar, de forma não controlável ou não intencional, através de aberturas que são consideradas defeitos na envolvente, como frinchas. A entrada e saída de ar pelas frinchas é feita de forma não controlável, pois a entrada e saída de ar destas não tem um valor previsto, dependendo das condições interiores e exteriores do local que são variáveis. O seu valor, pode ser determinado através do teste da porta ventiladora. As infiltrações são indesejáveis, pois o aumento da taxa de infiltração, leva a um aumento das necessidades energéticas para a climatização do edifício.

A equação que traduz as perdas de calor devidas à ventilação existente na fracção autónoma em estudo é a seguinte:

$$\dot{Q}_{vent.} = \rho_{ar} \cdot c_{p,ar} \cdot rph \cdot \frac{(T_{int.} - T_{ext.})}{3600} \quad [W] \quad (2.11)$$

Sendo que:

- $\dot{Q}_{vent.}$: Perdas de calor devido à ventilação existente na fracção autónoma do edifício em estudo [W];
- ρ_{ar} : Massa volúmica do ar [kg/m^3];
- $c_{p,ar}$: Calor específico do ar [$J/kg \cdot ^\circ C$];
- rph : Número de renovações horárias do ar interior [h^{-1}];
- V : Volume da fracção autónoma [m^3];
- $T_{int.}$: Temperatura no interior da fracção autónoma [$^\circ C$];
- $T_{ext.}$: Temperatura exterior de projecto [$^\circ C$];

Contudo a equação anterior pode ser simplificada, pois o valor do termo $\frac{\rho \cdot c_{p,ar}}{3600} = 0,34$ [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

$$\dot{Q}_{vent.} = 0,34 \cdot rph \cdot V \cdot (T_{int.} - T_{ext.}) \quad [W] \quad (2.12)$$

Segundo o conceito *Passivhaus*, é recomendado que o sistema de recuperação de calor, tenha uma eficiência de pelo menos 75% [21]. Um sistema de ventilação neste tipo de edifícios, deve portanto funcionar da seguinte maneira [21]:

- O fluxo de ar fresco deve ser insuflado nas áreas de maior permanência, como as salas ou quartos;
- O ar é extraído nas casas de banho e na cozinha;
- Os corredores são zonas de transferência de ar e a sua ventilação é automática;
- A recuperação do calor do ar extraído é fundamental para um edifício com consumos energéticos quase nulos, situado no centro da Europa, sendo possível recuperar até 90% do calor do ar extraído, dependendo da eficiência do permutador de calor;

- As necessidades de aquecimento deste tipo de edifícios são tão reduzidas que o sistema de ventilação pode ser usado ao mesmo tempo para a distribuição do calor. As serpentinas de aquecimento aquecem o ar fresco que é insuflado nos compartimentos, sempre que necessário;
- De modo a proteger o sistema contra o gelo, o ar deve ser pré-aquecido, este pré-aquecimento pode ser feito (opcionalmente) com um permutador de calor com o subsolo [21];

Um equipamento de recuperação de calor é obrigatório para as habitações construídas em climas na Europa Ocidental. Este sistema aliado a uma boa projecção do edifício e boas práticas em termos de consumos da energia, possibilita a satisfação das necessidades de aquecimento e arrefecimento das habitações, sem a utilização de qualquer sistema de climatização activo. No entanto, para o clima português nos edifícios de habitação uma solução que utilize este equipamento poderá não ser a mais rentável em termos económicos devido ao seu maior custo inicial, mas é expectável que seja uma solução interessante em termos de poupanças energéticas.

A verificação do caudal mínimo de ar novo necessário em cada zona (V_{OZ}), é fundamental para o correcto dimensionamento do sistema de climatização de um edifício. A norma *ASHRAE* 62.1-24 [37], aconselha o seguinte método de cálculo:

$$V_{OZ} = \frac{V_{BZ}}{\epsilon_v} \quad [l/s] \quad (2.13)$$

$$V_{BZ} = R_P \cdot P_z + R_a \cdot A_z \quad [l/s] \quad (2.14)$$

Em que:

- R_P : Caudal de ar novo necessário por pessoa, determinado a partir da *table* 6-1 [37] [$l/s \cdot ocup.$];
- R_A : Caudal de ar novo necessário por área, determinado a partir da *table* 6-1 [37] [$l/s \cdot m^2$];
- A_Z : Área da zona em análise [m^2];
- P_Z : número de ocupantes máximo previsto para o espaço [-];
- ϵ_v : Eficiência da ventilação [-];

Após consulta da *table* 6-3 da mesma norma e pela descrição das condições em que este valor é considerado, foi considerado que o sistema de ventilação mecânica tem uma eficiência de 0,8, que será considerado constante. Segunda esta norma, obtiveram-se os valores de caudal mínimo necessário a insuflar representados na tabela 2.10.

Tabela 2.10: Valores do caudal mínimo necessário, a insuflar para cada espaço, segundo a norma *ASHRAE* 62.1-24 [37]

Compartimento	V_{OZ} [l/s]
Sala	20,53
Quarto 1	6,25
Quarto 2	6,25
Quarto 3	9,38

O caudal de extracção, foi obtido através da *table* 6-4 da norma *ASHRAE* 62.1-24 [37], os resultados obtidos estão representados na tabela 2.11.

Tabela 2.11: Caudal mínimo de extracção, para as respectivas zonas de extracção, segundo a norma *ASHRAE* 62.1-24 [37]

Compartimento	$\dot{V}_{extr.}$ [l/s]
Cozinha	13,5
Casa-de-Banho	25

Para efectuar a verificação regulamentar foi usado o método prescritivo descrito na Portaria n.º 349-D/2013 [36]. Através da consulta da tabela I.04 da mesma portaria, obtiveram-se os resultados representados nas tabelas 2.12 e 2.13.

Tabela 2.12: Caudal de ar novo mínimo necessário, segundo a regulamentação em vigor em Portugal

Compartimento	V_{OZ} [l/s]
Sala	33,61
Quarto 1	6,67
Quarto 2	6,67
Quarto 3	13,33

Tabela 2.13: Caudal de ar mínimo extraído segundo a regulamentação em vigor em Portugal

Compartimento	$\dot{V}_{extr.}$ [l/s]
Cozinha	-
Casa-de-Banho	25

Para a cozinha foi consultado o Quadro 1 da norma NP-1037.1 [39], em que é indicado que para o volume da nossa cozinha, deve ser extraído pelo menos 33 l/s. Serão assim usados para efeitos de dimensionamento os maiores valores de caudais mínimos exigidos obtidos, por arredondamento por excesso às unidades dos valores obtidos.

Os caudais mínimos necessários de garantir no edifício, estão representados na tabela 2.14.

Tabela 2.14: Caudais mínimos necessários de garantir nas zonas de insuflação

Compartimento	$\dot{V}_{ins.} [m^3/h]$	$\dot{V}_{extr.} [m^3/h]$
Sala	96	-
Quarto 1	24	-
Quarto 2	24	-
Quarto 3	48	-
Cozinha	-	120
Casa-de-Banho	-	90

Uma pequena saliência nas portas permite a insuflação de ar novo, sendo expectável com estas aberturas satisfazer o valor mínimo de renovações por hora, sendo este cerca de $0,3 h^{-1}$ na maioria dos países [21] (no caso de Portugal é de $0,4 h^{-1}$ [10]).

A insuflação do ar devido à ventilação natural, pode ser assegurada através da inclusão de aberturas auto-reguláveis, instaladas nas janelas da cozinha, sala e dos quartos⁶, sendo que cada uma permite insuflar até um máximo de $45 m^3/h$, estas foram retiradas do catálogo da *France-Air*. A insuflação do ar mínimo é assim satisfeita, pois o edifício possui uma taxa de infiltração no valor de $0,6 h^{-1}$ (também será testada uma solução no valor de $0,3 h^{-1}$), para além de ter que ser considerada a transmissão de ar entre elementos da envolvente e o ar proveniente de pequenas aberturas.

O quadro 6 da norma NP-1037.1 [39], indica que é possível garantir através de condutas, com $120 cm^2$ de área útil, garantir a insuflação de $60 m^3/h$, através do quadro 5, verifica-se que é possível através de aberturas auto-reguláveis, obter o mesmo caudal para uma área útil de $70 m^2$ ⁷, sem a utilização de condutas, o que sustenta a validade do uso das aberturas auto-reguláveis. No entanto, as perdas de carga das condutas instaladas não são muito elevadas, sendo possível garantir o valor necessário de ar novo insuflado.

Para a extracção do ar no edifício, terá que ser garantida a extracção de um caudal de $90 m^3/h$ na casa-de-banho e de $120 m^3/h$ na cozinha. Segundo a norma NP 1037-1 [39] é possível instalar aberturas de evacuação com uma perda de carga de $10 Pa$ para garantir a evacuação do ar pelas condutas de extracção.

A tabela 2.15, mostra os valores da área das aberturas para cada compartimento para garantir os caudais de insuflação e extracção necessários, através de um projecto de ventilação natural.

Tabela 2.15: Caudais de ar novo possíveis de garantir e respectiva área de aberturas

Compartimento	Área da abertura [cm^2]	$\dot{V}_{ins.} [m^3/h]$	$\dot{V}_{extr.} [m^3/h]$
Sala	120	60^8	-
Quarto 1	120	60	-
Quarto 2	120	60	-
Quarto 3	120	60	-
Cozinha	150	-	120
Casa-de-Banho	120	-	90

Num sistema de ventilação mecânica, o valor do caudal de extracção, deve verificar a relação estabelecida pela seguinte equação:

⁶Estas aberturas, encontram-se representadas no anexo H.5

⁷Embora este valor seja para a zona de exposição I, variando ligeiramente para a zona de exposição em estudo

$$\frac{\dot{V}_{ins.} - \dot{V}_{extr.}}{V} \quad [h^{-1}] \quad (2.15)$$

Com o valor resultante da 2.15 (em $\dot{V}_{ins.}$, representa o caudal insuflado), utilizando o gráfico da figura 2.17, é determinada a influência da taxa de infiltração no caudal de ar insuflado.

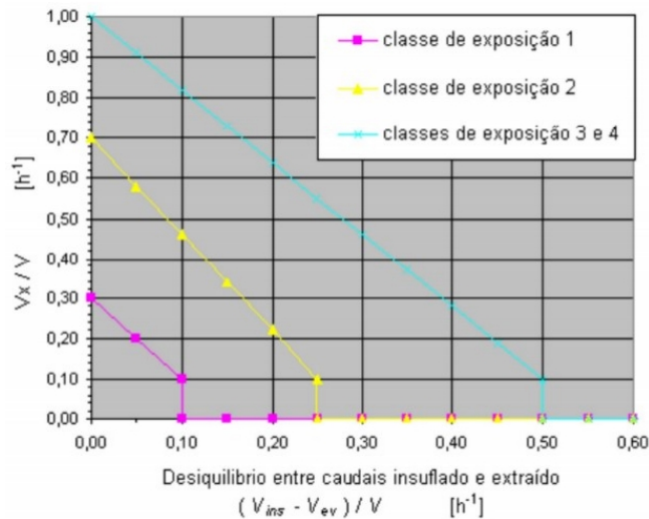


Figura 2.17: Relação entre o desiquilíbrio de caudais e a taxa de infiltrações. Retirado de [40]

Considerando que o edifício tem uma classe de exposição II, ou seja que se situa numa zona rural com algum relevo, para a zona A (isto significa, que o edifício situa-se em Portugal Continental).

Analisando a figura 2.17 para uma taxa de infiltração de $0,3 h^{-1}$, o valor de V deve ser de $0,167$, para $0,6 h^{-1}$, deverá ser de $0,033$, assim como as pessoas podem ir para a casa-de-banho ou ligar um aparelho da cozinha a qualquer momento, para efeitos de simulação considera-se que quando existem pessoas em casa é sempre insuflado. Assim, para uma taxa de infiltração de $0,6 h^{-1}$ é insuflado um caudal correspondente a $215 m^3/h$ e para $0,3 h^{-1}$, um caudal correspondente a $235 m^3/h$.

Alternativamente a *ASHRAE*, permite o cálculo analítico do caudal de ar insuflado através da ventilação natural [38], recorrendo a certas expressões. A equação 2.16, permite obter o caudal de ar proveniente de grandes aberturas.

$$\dot{V}_{aber.} = C_D \cdot A_{aber.} \cdot \sqrt{2 \cdot \Delta P / \rho_{ar}} \quad [m^3/s] \quad (2.16)$$

Sendo:

- $\dot{V}_{aber.}$: Caudal de ar proveniente das aberturas [m^3/s];
- C_D : Coeficiente de arrasto [-];
- $A_{aber.}$: Área das aberturas [m^2];
- ΔP : Variação da pressão na abertura [Pa];

- ρ_{ar} : Massa volúmica do ar [kg/m^3];

A equação 2.17, permite obter o caudal de ar que entra no edifício devido à velocidade do vento.

$$\dot{V}_v = C_v \cdot A_{aber.} \cdot v_{vento} \quad [m^3/s] \quad (2.17)$$

Em que:

- \dot{V}_{vento} : Caudal de ar proveniente das aberturas [m^3/s];
- C_v : Coeficiente de eficiência das aberturas [-];
- v_{vento} : Velocidade do vento [m/s];

A equação 2.18, permite obter o caudal de ar insuflado no edifício devido à diferença de temperaturas entre o interior e o exterior da habitação.

$$\dot{V}_{\Delta T} = C_D \cdot A_{aber.} \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot \Delta H_{NPL} \cdot (T_{int.} - T_{out.})/T_{int.}} \quad [m^3/s] \quad (2.18)$$

Sendo que:

- $\dot{V}_{\Delta T}$: Caudal de ar proveniente das aberturas [m^3/s];
- ΔH_{NPL} : Distância entre o ponto médio da abertura e o ponto por onde o caudal é insuflado [m];
- $T_{int.}$: Temperatura do ar interior [$^{\circ}C$];
- $T_{ext.}$: Temperatura do ar exterior [$^{\circ}C$];

2.10 Determinação da Classe de Eficiência Energética para um Edifício de Habitação

Em Portugal, a determinação da classe energética de um edifício é realizada segundo as regras do Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013.

Inicialmente é necessário determinar o valor de R_{Nt} , através da equação 2.19.

$$R_{Nt} = \frac{N_{tc}}{N_t} \quad (2.19)$$

Sendo:

- R_{Nt} : Valor adimensional usado para determinar a classe energética em pré-certificados e certificados pelo SCE (Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 [8] para habitação);

- N_{tc} : Necessidades anuais de energia primária, calculado de acordo com o disposto pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Portaria n.º 349-B/2013 [10]) [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- N_t : Valor limite para as Necessidades anuais de energia primária calculado de acordo com o disposto pelo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (Portaria n.º 349-B/2013 [10]) [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

A classe energética do Edifício é obtida comparando o valor de R_{Nt} , com os valores dos intervalos representados na Tabela 01 do Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 [12].

O valor da variável N_t é calculado em função do somatório dos valores das necessidades de aquecimento, arrefecimento e de AQS para um edifício de referência.

Para a selecção da parede de referência é usada a tabela 22 do Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23].

Como o volume do espaço não útil em contacto com a envolvente (o tecto falso) é superior a $50 m^3$ e inferior a $200 m^3$, e a sua área é sempre superior à área útil do edifício mas nunca superior ao dobro do valor de b_{tr} sendo este 0,9, pois o espaço é fortemente ventilado.

Os valores e fórmulas necessárias para o cálculo das necessidades energéticas estão especificados na Portaria n.º 349-B/2013 [10] e no Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013 [23].

O Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013 [41] define os valores dos factores de conversão entre energia final e energia primária. Os valores para as diferentes fontes de energia em estudo são:

- $F_{pu} = 2,5 kWh_{EP}/kWh$ para a electricidade, independentemente da sua proveniência (esta pode ser proveniente ou não, de fontes de energia renováveis ou não renováveis);
- $F_{pu} = 1,0 kWh_{EP}/kWh$ para combustíveis sólidos, líquidos e gasosos não renováveis e para energia térmica de origem renovável;

Para o cálculo das necessidades de referência, a Portaria n.º 349-B/2013 [10] assume os seguintes valores:

- Para o cálculo das Necessidades de Energia Primária de Aquecimento de referência é considerado um valor η de 1, e um valor de F_{pu} de $2,5 kWh_{EP}/kWh$;
- Para o cálculo das Necessidades de Energia Primária de Arrefecimento de referência é considerado um valor η de 2,8, e um valor de F_{pu} de $2,5 kWh_{EP}/kWh$;
- Para o cálculo das Necessidades de Energia Primária de AQS de referência é considerado um valor η de 0,95, e um valor de F_{pu} de $2,5 kWh_{EP}/kWh$;

Apesar do valor do coeficiente de energia primária, para energia eléctrica que provem ou que pode ser exportada para a rede, é de $2,5 kWh_{EP}/kWh$, segundo as indicações do manual da *REHVA* se toda energia eléctrica for de origem não renovável,

no entanto como é possível verificar na figura 1.3 da secção 1.3, cerca de 76,51 % da energia eléctrica da rede é de origem renovável, sendo o valor do coeficiente de energia primária renovável para electricidade em Portugal de 1,91 e o de energia primária não renovável de 0,59.

As necessidades de energia primária para o edifício de referência são calculadas através da equação 2.20.

$$N_i = \frac{f_{i,ref.} \cdot E_{i,ref.} \cdot F_{pu,iref.}}{\eta_{i,ref.}} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (2.20)$$

Em que:

- $f_{i,ref.}$ - Fracção das necessidades supridas pelo sistema de referência (o seu valor é 1,0 para o sistema de referência);
- $E_{i,ref.}$ - Necessidades de aquecimento, arrefecimento, ou AQS do sistema de referência [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- $F_{pu,iref.}$ - Factor de conversão em energia primária do sistema de referência [kWh_{EP}/kWh];
- $\eta_{i,ref.}$ - Coeficiente de performance do sistema de referência⁹;

O valor $\eta_{i,ref.}$ corresponde a 1,0 para o sistema de aquecimento de referência, 2,8 para o sistema de arrefecimento de referência e de 0,95 para o sistema de referência para a satisfação das necessidades de AQS.

Para o cálculo do N_t , não é contabilizado qualquer tipo de energia proveniente das fontes de energia renováveis, ou a energia gasta na ventilação mecânica do edifício em estudo para as condições de referência. Assim, o valor de $F_{pu,iref.}$ será de 2,5, para os sistemas de referência.

As necessidades de energia primária de referência (N_t), encontram-se representadas na tabela 2.16.

Tabela 2.16: Necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento e AQS obtidas para o edifício de referência [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	N_t
Bragança	195,1	9,5	134,5	339,0
Porto	122,8	8,2	134,5	264,9
Faro	92,5	17,0	134,5	243,9

De modo a ser possível, um maior aproveitamento da energia proveniente da radiação solar, o edifício foi alvo de um redimensionamento (como irá ser mostrado na secção 3.5), as necessidades de energia primária para este novo edifício encontram-se representadas na tabela 2.17.

⁹Para o caso dos sistemas de Arrefecimento, o valor utilizado é o *EER* (*Energy Efficiency Ratio*), ou se disponibilizado o *SEER* (*Seasonal Energy Efficiency Ratio*)

Tabela 2.17: Necessidades de energia primária para aquecimento, arrefecimento e AQS obtidas para o edifício de referência, após o seu redimensionamento [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	N_t
Bragança	189,3	9,5	134,5	333,2
Porto	118,7	8,2	134,5	261,3
Faro	89,4	17,0	134,5	240,9

O cálculo do N_{tc} , é realizado de forma analoga, no entanto o valor dos coeficientes $\eta_{i,ref.}$ depende dos equipamentos utilizados.

O seu valor é obtido através da seguinte expressão:

$$N_{tc} = N_{aq.} + N_{arref.} + N_{AQS} + N_{elec.,mec} - N_{Ren.} \quad [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)] \quad (2.21)$$

Sendo:

- $N_{aq.}$: Necessidades de energia primária para o aquecimento da habitação [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- $N_{arref.}$: Necessidades de energia primária para o arrefecimento da habitação [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- N_{AQS} : Necessidades de energia primária para a preparação das águas quentes sanitárias da habitação (para o seu cálculo será também considerada a energia para activação do sistema, de AQS) [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- $N_{elec.,mec}$ Energia eléctrica usada para accionar o sistema de ventilação mecânica do edifício [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];
- $N_{Ren.}$ Energia proveniente de fontes de energia renováveis [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$];

2.11 Sistemas em Estudo

Para o edifício em estudo foram analisadas duas soluções para o sistema de climatização, três soluções para o sistema solar de AQS e uma solução para a geração de energia eléctrica proveniente de fontes de energia renováveis, através do uso de colectores solares fotovoltaicos (PV), foram testados para o mesmo sistema dois colectores solares fotovoltaicos de marcas diferentes¹⁰.

Os sistemas em estudo, são portanto:

Sistema de Climatização $\left\{ \begin{array}{l} \text{Ventiloconvector} \\ \text{Ventilação Mecânica com Recuperador de Calor} \end{array} \right.$

Sistema de aquecimento das AQS $\left\{ \begin{array}{l} \text{Com Colectores Solares, Reservatório e Caldeira} \\ \text{Com Reservatório e Caldeira} \\ \text{Com Caldeira} \end{array} \right.$

¹⁰Estes encontram-se representados no anexo G.3

Sistema Solar Fotovoltaico = { PV

O sistema de AQS¹¹ encontra-se representado na figura 2.18¹².

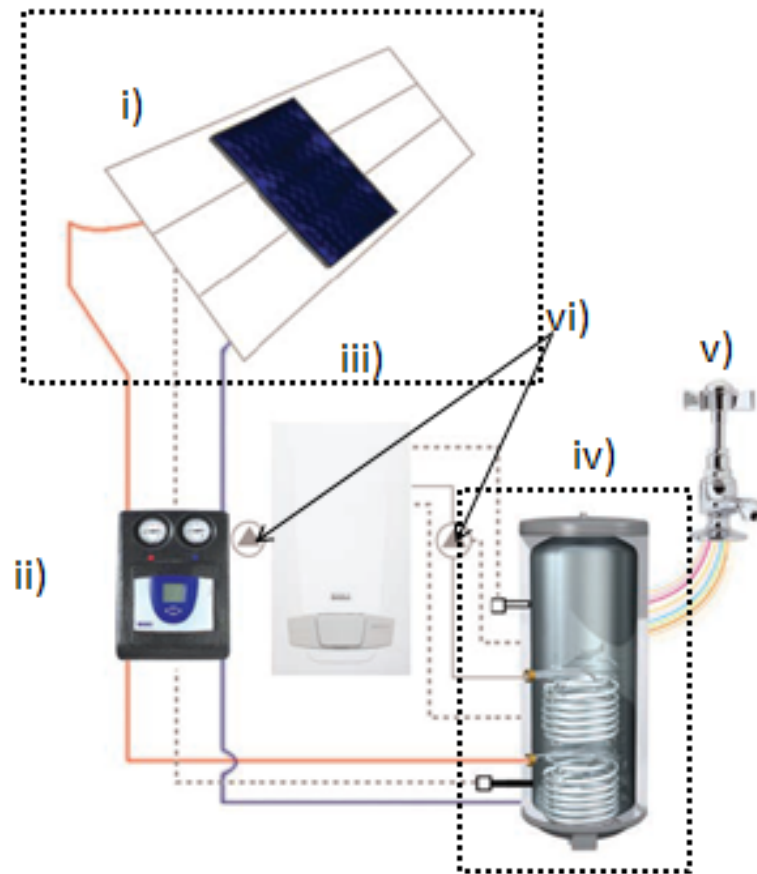


Figura 2.18: Representação do sistema utilizado para AQS. Adaptado de [42]

¹¹Os perfis do consumo de água encontram-se representados no anexo B.3

¹²Os elementos a tracejado, poderão não ser utilizados, na solução final

Sendo que:

- i) Colector Solar Térmico;
- ii) Mecanismo de Controlo;
- iii) Caldeira auxiliar;
- iv) Reservatório;
- v) Água da rede;
- vi) Bomba de Circulação;

O sistema de aquecimento das AQS¹³ consumirá em qualquer uma das soluções em análise, energia proveniente de fontes renováveis, para aquecer a água que circula pelo sistema, contudo as bombas de circulação do sistema consomem energia eléctrica que pode ou não ser de origem renovável. A caldeira¹⁴ utilizada, cuja eficiência mínima é 93,2%, consome *pellets* (que é considerado uma fonte de energia renovável, pois o seu consumo não traz emissões de CO_2 [41]) como combustível, no entanto, sempre que for conveniente serão feitos paralelismos com uma caldeira que consome gás natural, de modo a realçar as vantagens da utilização das *pellets* em relação ao gás natural.

A bomba de circulação¹⁵ permite que a água circule no circuito hidráulico, desde que a bomba consiga vencer as perdas de carga deste, até ao reservatório, a água é aquecida pelos colectores solares antes de chegar ao reservatório. O reservatório armazena a água da rede, após esta ser aquecida pelos colectores solares (se não existirem colectores, o reservatório poderá ou não ser utilizado).

A caldeira auxiliar garante que a água utilizada para autoconsumo, saia do depósito à temperatura de $60^\circ C$. A água antes de chegar ao reservatório, é aquecida por um colector solar, ou qualquer outro equipamento alternativo que permita o seu aquecimento.

A bomba de circulação é activada, quando a diferença entre a temperatura no topo do reservatório e a temperatura média do fluido no reservatório for de $3^\circ C$, desactivando-se quando esta for nula.

Nos sistemas de AQS com reservatório, o sistema é também activado semanalmente para o tratamento da bactéria da *legionella*. A legislação portuguesa, define a concentração máxima da bactéria *legionella* no valor de $100 UFC/l$ [10]. De forma a ser possível, manter este mínimo estabelecido, é necessária a instalação de resistências eléctricas no depósito que façam semanalmente o choque térmico do depósito, elevando a temperatura até pelo menos $80^\circ C$ durante o período de uma hora. Alternativamente pode ser utilizado o sistema auxiliar para fazer este aquecimento (que no sistema em estudo é a caldeira a *pellets*), ou o sistema de captação solar se garantir semanalmente que a água dentro do depósito, esteja a uma temperatura de pelo menos $80^\circ C$ durante uma hora.

¹³Os componentes utilizados deste sistema encontram-se representados nos Anexos, E.4, G.1 H.1 e H.2

¹⁴O dimensionamento da caldeira, encontra-se no Anexo F

¹⁵O seu dimensionamento encontra-se realizado, no anexo E.4, para as bombas encarregues da circulação da água, usada nos sistemas de climatização e no anexo H.3, para as bombas encarregues da circulação da água, no sistema de AQS

Por questões de segurança é aconselhável a utilização das resistências eléctricas (que já vêm incluídas com o depósito de armazenamento), ou do sistema auxiliar para fazer este aquecimento semanal, por ser muito difícil garantir que um sistema solar mantenha semanalmente a água no depósito, a uma temperatura de 80°C , durante 1 hora. Para o edifício em estudo a água do depósito será aquecida até 80°C , todas as semanas no sábado da meia-noite até às 3 horas da manhã, pois neste período não é expectável a utilização de água por parte dos ocupantes. O tratamento da *legionella* só é obrigatório para os sistemas que utilizam reservatórios, assim este tratamento, não será realizado para a solução que não contém reservatório.

O sistema de AQS, será também utilizado para a satisfação das necessidades de aquecimento do edifício, servindo de apoio ao sistema de climatização. A figura 2.19, representa uma possível utilização do reservatório, para o aquecimento do ar insuflado no edifício, através de um sistema ar-água¹⁶.

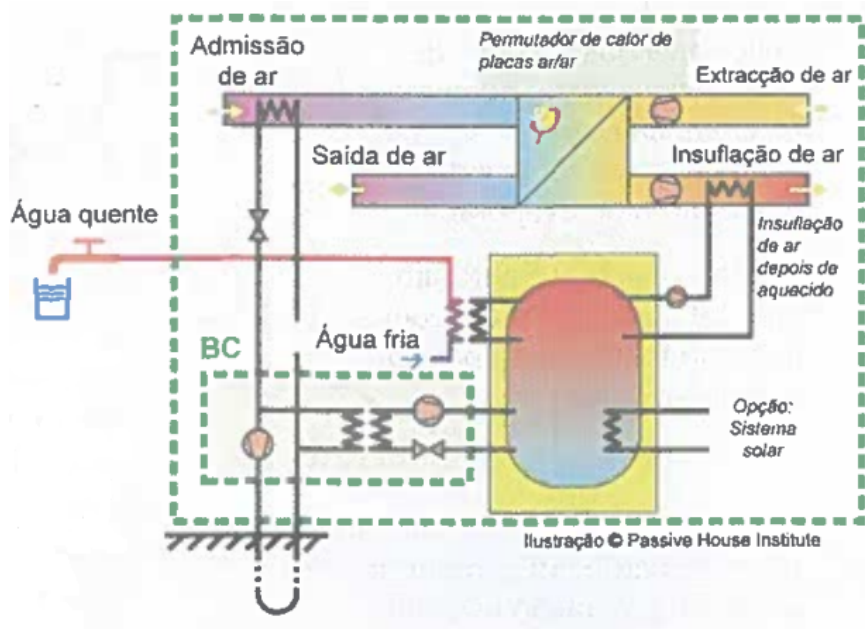


Figura 2.19: Representação de um sistema de climatização utilizando o reservatório, para o aquecimento do ar novo. Retirado de [21]

A caldeira poderá ser utilizada em vez do reservatório, para efectuar o aquecimento do ar. Ambas as possibilidades serão analisadas, a não ser que o sistema de AQS final não inclua um reservatório, situação que se verifica se for comprovado que não é rentável a nível económico a sua utilização. Uma das soluções em análise para o sistema de climatização, é o sistema que utiliza um ventiloincovecutor¹⁷, este equipamento aquece ou arrefece o ar que se encontra no interior do edifício.

A insuflação do valor mínimo de ar novo para esta solução, será assim garantida recorrendo à ventilação natural, cujas estratégias foram discutidas na secção 2.9.

¹⁶Uma explicação mais detalhada dos tipos de sistemas de climatização existentes, encontra-se explicada nos anexos E.1 e E.1.1

¹⁷O seu dimensionamento encontra-se representado no anexo E.2, enquanto que as suas especificações técnicas, encontram-se representadas na figura E.3

A figura 2.20 representa esquematicamente, como a energia proveniente da caldeira ou do reservatório, pode chegar ao ventiloconvetor (em vez de um ventiloconvetor encontra-se representado um radiador, no entanto o esquema seria idêntico se estivesse representado um ventiloconvetor em vez de um radiador).

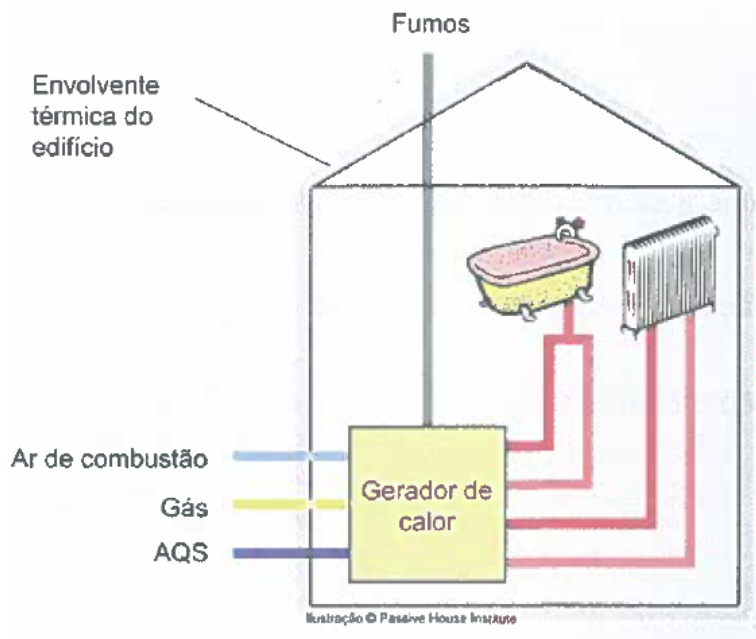


Figura 2.20: Ligações hidráulicas, das tubagens até ao radiador, o esquema representado é análogo ao que seria para um ventiloconvetor. Retirado de [21]

O funcionamento deste sistema, encontra-se representado no diagrama da figura 2.21.

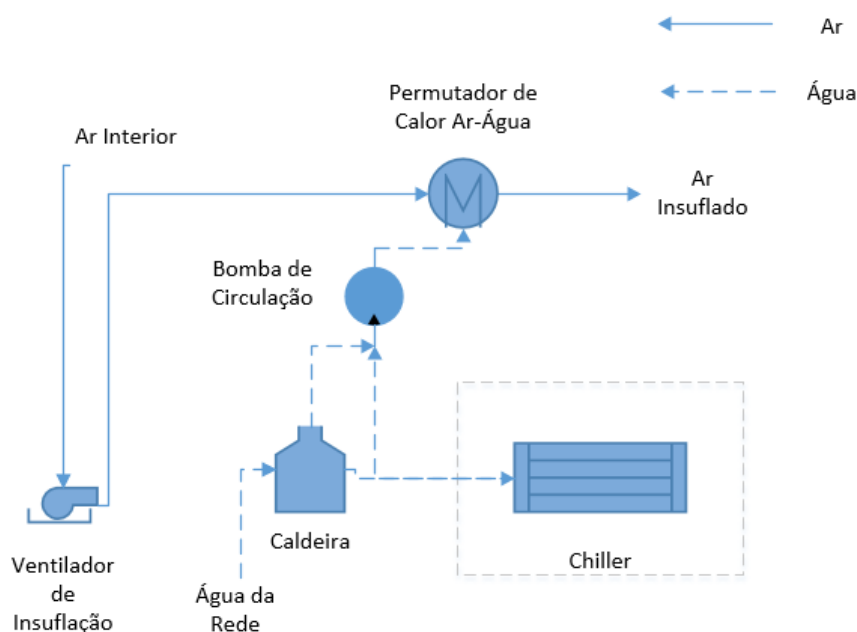


Figura 2.21: Diagrama representativo do sistema com ventiloconvetor usado para climatizar o edifício em estudo

Com este sistema é também possível o arrefecimento do espaço com o ventiloconvector, contudo esta aplicação será evitada, pois é necessária a instalação de um *mini-chiller*, aumentando assim o custo inicial do sistema e os seus consumos de energia.

A segunda solução testada para o sistema de climatização, baseia-se nos princípios de um *Passivhaus*, em que um *Passivhaus* é um edifício cujas necessidades de aquecimento são tão reduzidas, que bastará um sistema de ventilação mecânica com recuperação de calor¹⁸, para a satisfação das necessidades de aquecimento. Esta solução não é incompatível com um sistema de aquecimento auxiliar, no entanto num cenário ideal a sua utilização não será realizada, pois o ar extraído, consegue garantir o aquecimento do ar insuflado vindo do exterior. Através da ventilação mecânica, a quantidade mínima de ar novo, que deve ser insuflada no edifício segundo a legislação em vigor, é sempre assegurada.

O sistema de climatização com recuperador de calor (a eficiência deste é 90%), encontra-se representado na figura 2.22.

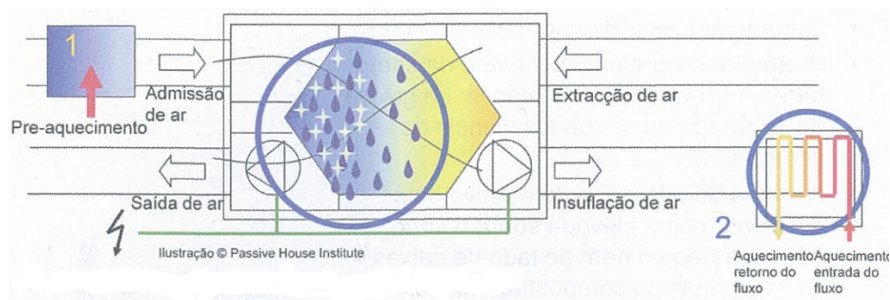


Figura 2.22: Sistema de climatização com recuperador de calor. Retirado de [21]

Este sistema permite também um controlo mais fiável da humidade no interior do edifício, pois é aquecida ou arrefecida uma maior quantidade de ar novo relativamente ao sistema anterior, visto que na solução anterior o ar novo era insuflado no edifício através da ventilação natural e das infiltrações, não havendo qualquer controlo das suas propriedades antes de este chegar ao espaço. Idealmente, deve existir sempre no sistema, uma unidade que controla o valor da humidade, deste modo obtém-se um melhor nível de conforto térmico e de qualidade do ar interior. No entanto, é pouco comum a utilização de UTAs (Unidades de Tratamento de Ar) nas habitações portuguesas, devido ao seu elevado custo inicial em comparação com outros sistemas mais baratos (como por exemplo, o ventiloconvector), tornando um sistema que permita a regulação humidade inviável em termos económicos.

As necessidades de arrefecimento, deverão ser satisfeitas através de estratégias passivas que permitem a utilização eficiente da ventilação natural, como o *free-cooling* nos períodos nocturnos, tentando evitar-se uma vez mais, a utilização de um *mini-chiller*. Este sistema encontra-se representado na figura 2.23.

¹⁸O dimensionamento do sistema, é feito no anexo E.3, as curvas dos ventiladores utilizados nesta solução, quer para insuflação, quer para extracção do ar, encontram-se representados no anexo E.4

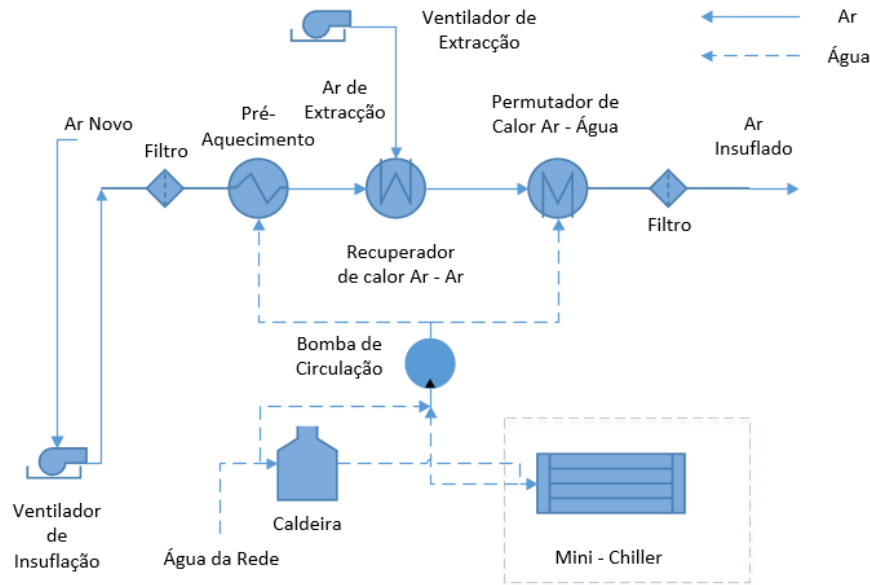


Figura 2.23: Diagrama representativo, do sistema com recuperação de calor através da ventilação mecânica, usado para climatizar o edifício em estudo

A nível de funcionamento, este sistema é idêntico ao proposto para um *Passivhaus*, no entanto, por limitações do *software*, a solução em estudo não terá controlo de humidade. No presente trabalho serão analisadas duas variáveis deste sistema, uma em que a insuflação do ar é feita continuamente (tal como acontece num *Passivhaus*) e outra em que esta só acontece quando necessário ou para diluir a carga poluente dos ocupantes quando a ventilação natural não é suficiente ou para o aquecimento ambiente. Ambos os sistemas irão incluir uma unidade de pré-aquecimento do ar, que garante que este entra no sistema de ventilação mecânica, a uma temperatura mínima de 5°C , para evitar o seu congelamento.

Para os sistemas de climatização, foram adoptadas algumas estratégias de controlo, quer para a estação aquecimento, quer para a de arrefecimento. Na estação de aquecimento, o sistema é activado quando a temperatura no interior do edifício é menor do que 20°C e desliga-se quando esta atinge os 23°C , enquanto que na estação de arrefecimento, desliga-se quando atinge os 24°C , devido à gama de temperaturas de conforto ser diferente em ambas as estações. As aberturas auto-reguláveis e outras aberturas como janelas e portas, na estação de aquecimento, encontrando-se completamente abertas se a temperatura interior estiver acima dos 24°C e for superior à exterior (caso contrário só admitem o caudal de ar mínimo necessário), quando a temperatura voltar a atingir os 23°C , considera-se que passa por estas apenas o caudal de ar mínimo que deve ser insuflado. Na estação de arrefecimento o funcionamento assumido para as aberturas é idêntico, no entanto elas encontram-se completamente abertas quando a temperatura interior atinge os 25°C , quando esta volta a atingir os 24°C apenas é admitida a quantidade de ar novo mínima necessária. Se for adicionado um sistema de arrefecimento auxiliar, o seu controlo é idêntico ao descrito para as aberturas. Para os sistemas que utilizam recuperador de calor, o recuperador de calor será desligado durante a estação de arrefecimento.

Os únicos momentos em que a ventilação mecânica é desligada no sistema com recuperador de calor, em que a insuflação do ar é contínua e insuflada com o auxílio do sistema de ventilação mecânica, é quando a temperatura no interior do edifício excede

os 25°C , recorrendo-se nesse período preferencialmente a estratégias para a insuflação do ar, através da ventilação natural, caso tal não seja suficiente, deverá ser instalado um sistema de arrefecimento auxiliar. Deste modo, a estratégia de arrefecimento usada na estação de arrefecimento, é idêntica para ambos os sistemas. O REH, aceita como o intervalo de temperaturas indicado para a obtenção do conforto térmico entre os 19 e os 27°C [10], sendo uma gama de valores de temperaturas mais baixas dentro deste intervalo, o indicado para a estação de aquecimento e uma mais elevada a indicada para a estação de arrefecimento. Concluí-se assim, que os valores referidos anteriormente são apenas recomendações, podendo ser admissível mediante o vestuário utilizado pelos ocupantes outras temperaturas para a garantia do conforto térmico, como se pode verificar na figura 2.24 (as temperaturas indicadas neste gráfico são alvo de correcções, devido à actividade metabólica das pessoas e do seu vestuário indicadas em [43]).

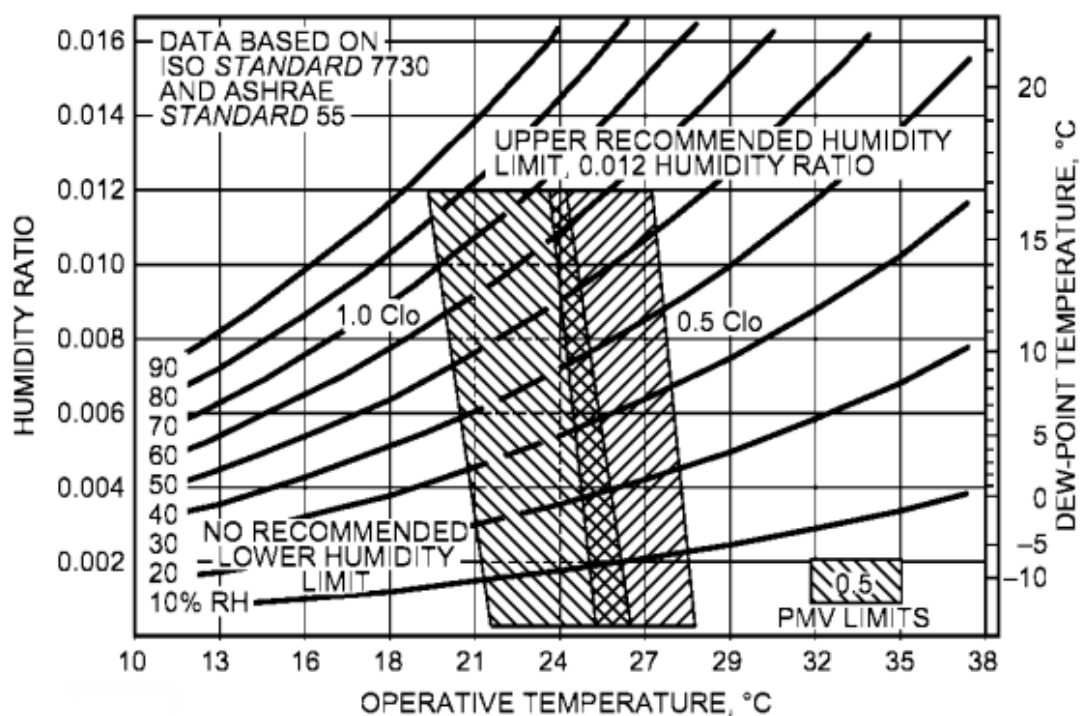


Figura 2.24: Diagrama usado para a determinação das temperaturas para a obtenção do conforto térmico, nas estações de aquecimento e arrefecimento, segundo a norma *ASHRAE* 55 [44]. Retirado de [44]

A temperatura interior dos *Passivhaus*, pretende-se que nunca esteja abaixo dos 20°C e que só ultrapasse os 25°C , durante 10% das horas num ano. No entanto, como é visível na figura 2.24, uma temperatura de 26°C pode ser aceitável em termos de conforto térmico, especialmente na estação de arrefecimento, sendo por isso os 25°C adoptados para um *Passivhaus*, um valor de referência.

A figura 2.25, representa o diagrama de um sistema solar fotovoltaico.

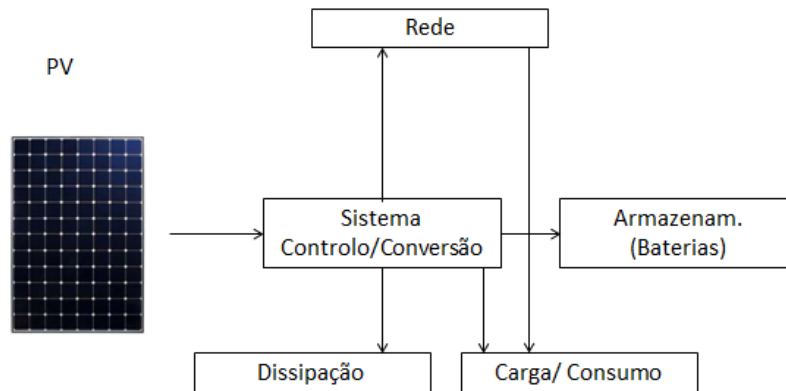


Figura 2.25: Sistema fotovoltaico genérico. Adaptado de [45] e [46]

A energia eléctrica proveniente do colector solar fotovoltaico, é produzida normalmente para uma corrente *AC* (*Alternate Current*), no entanto, normalmente a corrente da energia da rede, ou das habitações é *DC* (*Direct Current*). Através desta conversão, como os aparelhos encarregues desta função têm um rendimento associado, alguma desta energia é dissipada, embora os rendimentos destes aparelhos sejam muito elevados (90-95% [45]). No entanto, nem todos os sistemas fotovoltaicos utilizam baterias de armazenamento, pois estas são demasiado caras, não sendo expectável que seja obtido retorno económico a curto ou médio prazo. A restante energia produzida, ou é armazenada em baterias, exportada para a rede, ou utilizada para autoconsumo.

As figuras 2.26 e 2.27 mostram como os sistemas em estudo se associam entre si e com o edifício em estudo, as figuras representam as ligações hidráulicas e as condutas usadas para os respectivos sistemas.

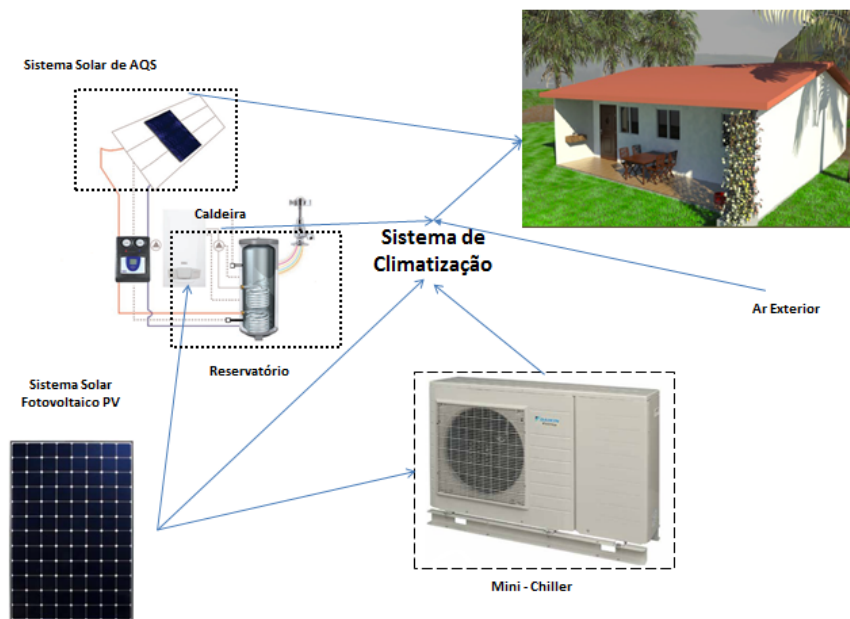


Figura 2.26: Representação das interligações entre o edifício e os sistemas em estudo, usando o ventiloconvetor para a climatização do edifício. Adaptado de [42], [46] e [47]

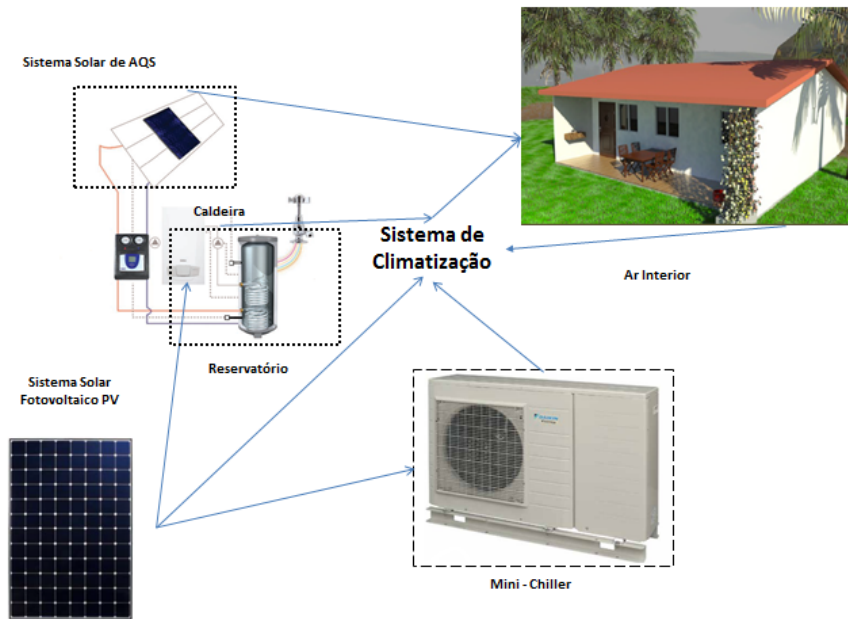


Figura 2.27: Representação das interligações entre o edifício e os sistemas em estudo, usando o sistema com recuperador de calor para a climatização do edifício em análise. Adaptado de [42], [46] e [47]

Através destas figuras¹⁹, é possível verificar uma vez mais, que o sistema com ventiloconvetor modifica as propriedades do ar no interior do edifício, enquanto que o sistema com ventilação mecânica, modifica as propriedades do ar no exterior, insuflando ar novo no edifício.

Nas figuras 2.28 e 2.29, encontram-se representadas imagens ampliadas para uma melhor visualização de cada um dos sistemas de climatização, das condutas e das redes de tubagens para cada uma das soluções.

¹⁹Uma planta mais detalhada do edifício, encontra-se representada no anexo A.1

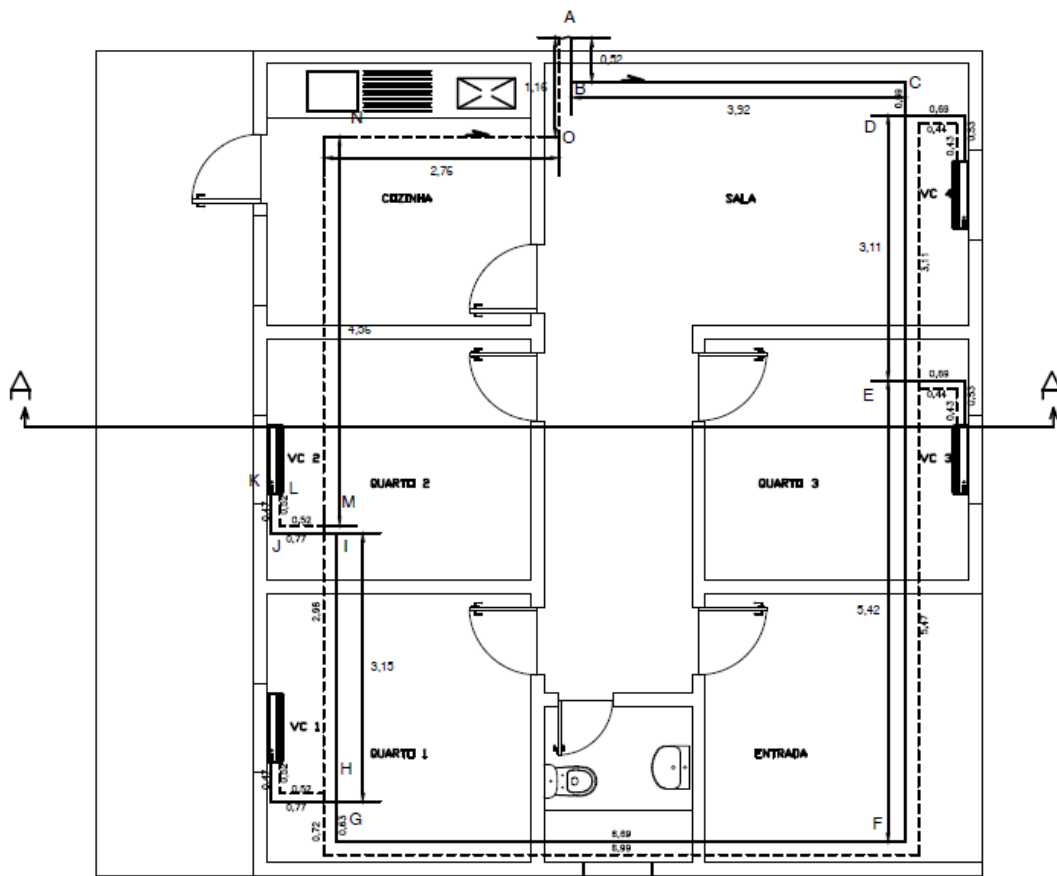


Figura 2.28: Planta ampliada do edifício, com as redes de tubagem, para a solução que utiliza o ventiloconvector, para a climatização do espaço

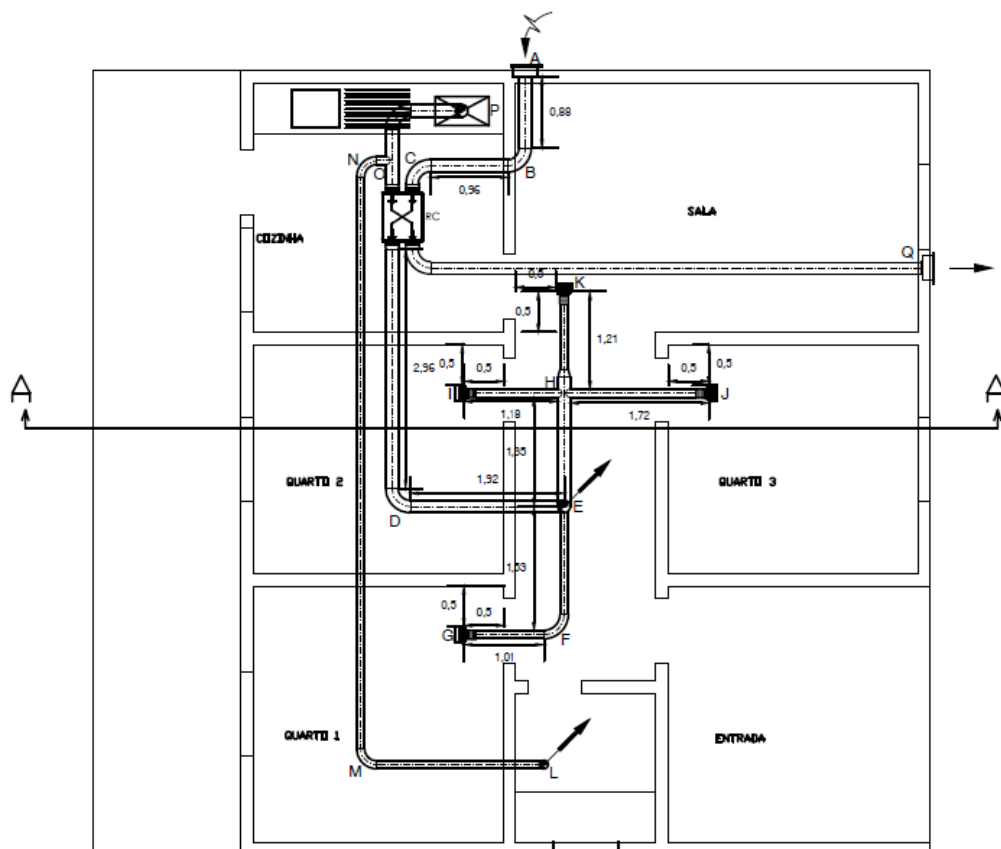


Figura 2.29: Planta ampliada do edifício, com a rede de condutas e o recuperador de calor (RC), para o sistema de climatização que utiliza recuperador de calor

O preço da electricidade considerado para a análise económica, é de $0,1367 \text{ €/kWh}$ [48] (assumindo uma tensão menor que $2,3 \text{ kVA}$).

O preço do gás natural é obtido recorrendo à tarifa LisboaGás, dependendo este do volume consumido, o preço das *pellets* é de 100 €/ton . [49], ou seja $0,1 \text{ €/kg}$.

Utilizando o valor do PCI (Poder Calorífico Inferior), de cada um dos combustíveis ($45,1 \text{ MJ/kg}$ para o Gás Natural e $16,8 \text{ MJ/kg}$ para as *pellets* [50]), é possível calcular o preço das *pellets* em €/kWh , dado pela equação 2.22, em que $c_{pel.}$ representa o custo das *pellets* por kg .

$$C_{e_{Pel.}} = \frac{c_{Pel.}}{\frac{16,8 \cdot 10^3}{3600}} \quad (2.22)$$

Em que:

- $C_{e_{pel.}}$: Custo da energia, consumida pela caldeira a *pellets* [€/kWh];
- $c_{pel.}$: Custo da quantidade de *pellets* consumidas [€/kg];

Utilizando a equação 2.22, obtém-se que o preço das *pellets* em função da energia consumida, que é de aproximadamente $0,0214 \text{ €/kWh}$.

2.12 Simulação Dinâmica do Edifício através do *TRNSYS*

O *TRNSYS* (*Transient System Simulation program*), é uma ferramenta computacional utilizada para a simulação energética de sistemas transientes, desenvolvida pelo *Solar Energy Laboratory da University of Wisconsin-Madison*. O programa encontra-se em desenvolvimento contínuo, devido ao envolvimento por parte de empresas especializadas no estudo do comportamento térmico dos edifícios, como a *TESS (Thermal Energy Systems Specialists)* e a *TRANSSOLAR Energietechnik GmbH* na sua programação. O *TRNSYS* é um programa de simulação de sistemas transitórios com uma estrutura modular e flexível, sendo a sua utilização adequada para a análise de sistemas em regime transitório. A versatilidade do programa *TRNSYS* permite a simulação de edifícios e dos vários sistemas a eles associados, como o sistema de água quente sanitária, sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado, sistemas de recolha de energia solar, entre outros. A elaboração de um sistema consiste na definição dos seus modelos de componentes (*Types*) e a interligação dos seus dados (*Connections*), possuindo cada componente um conjunto pré-definido de dados de entrada e saída.

O software é composto por 3 programas:

- *TRNSYS Simulation Studio* - Cria um sistema e os componentes e conexões necessários;
- *TRNBuild* - Introduce as informações necessárias acerca do edifício;
- *TRNEdit* - Permite editar os componentes da biblioteca do *TRNSYS*;

Para além destes programas o *TRNSYS Add-ons*, permite melhorar as potencialidades do programa, recorrendo a *plug-ins* compatíveis com o *software*.

O *TRNSYS* efectua simulações dinâmicas de sistemas num ambiente externo, simulado através do uso de "*weather files*" desenvolvidos pelo programa *Meteonorm v.5*, publicado pela *METEOTEST* [51], a base de dados contém mais de 1000 localizações em mais de 150 países, incluindo as cidades Portuguesas: Angra do Heroísmo, Bragança, Castelo Branco, Coimbra, Corvo, Évora, Faro, Lisboa, Penhas Douradas, Ponta Delgada, Porto e Porto Santo.

A avaliação que o *TRNSYS* efectua do comportamento térmico dos edifícios, foi estudada no "*Building Energy Simulation Test*", da "*Energy's International Agency*", com exemplos como o *HVAC BESTEST* [52], ou o "*Dynamic simulation of a complete solar assisted conditioning system in an office building using TRNSYS*" [53], trabalhos relacionados com os sistemas em estudo no presente trabalho.

Os principais componentes utilizados para a simulação quer do edifício, quer dos sistemas de climatização e dos sistemas utilizados para o aquecimento das águas quentes sanitárias, são os seguintes:

- Edifício (*Type 56b*): Modela no *TRNSYS*, o edifício em estudo e as suas características como a geometria, as infiltrações e os seus *set-points*;
- Caldeira (*Type 6*): Permite a simulação no *TRNSYS*, da energia consumida por uma caldeira para o aquecimento do ar insuflado no edifício, ou para o aquecimento das águas quentes sanitárias;
- Bomba de Circulação (*Type 3*): Este componente permite que o *TRNSYS* simule a energia consumida por uma bomba de circulação, para permitir a circulação da água pelo circuito de tubagens do edifício;
- Ventilador (*Type 91*): Modela no *TRNSYS*, a energia consumida por um ventilador para a insuflação do ar através das condutas usadas na ventilação mecânica, até ao interior do edifício;
- Recuperador de calor e Ventiloinvector (*Type 111*): Permite a modelação no *TRNSYS*, as trocas de calor que ocorrem nos permutador de calor ar-água para a solução com ventiloinvector e no permutador ar-ar para a solução com recuperador de calor;
- *Equations*: Modelam outras funções das quais o *TRNSYS* não tem componentes disponíveis, como a introdução da ventilação natural no modelo dinâmico.

A simulação dinâmica do edifício e os respectivos *inputs* e *outputs* que são possíveis de obter para o edifício e a relação entre este e os restantes equipamentos em estudo, encontram-se representados nas tabelas 2.30 e 2.31.

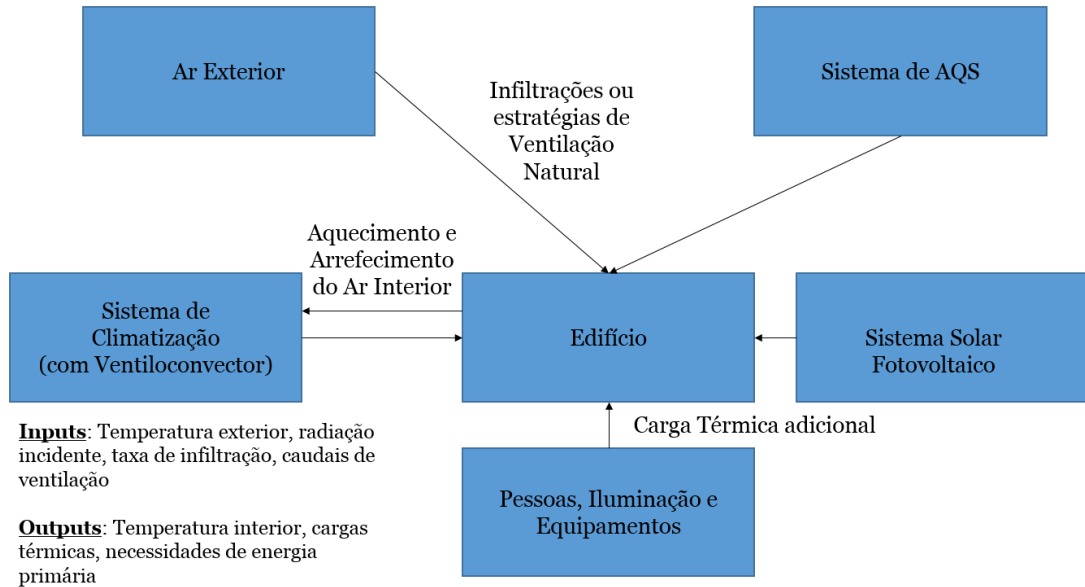


Figura 2.30: Diagrama que estabelece a ligação entre o edifício e os restantes elementos considerados para a simulação dinâmica no *TRNSYS*, considerando para o sistema de climatização a solução com ventiloconvetor, os *inputs* utilizados no edifício e *outputs* obtidos para o edifício

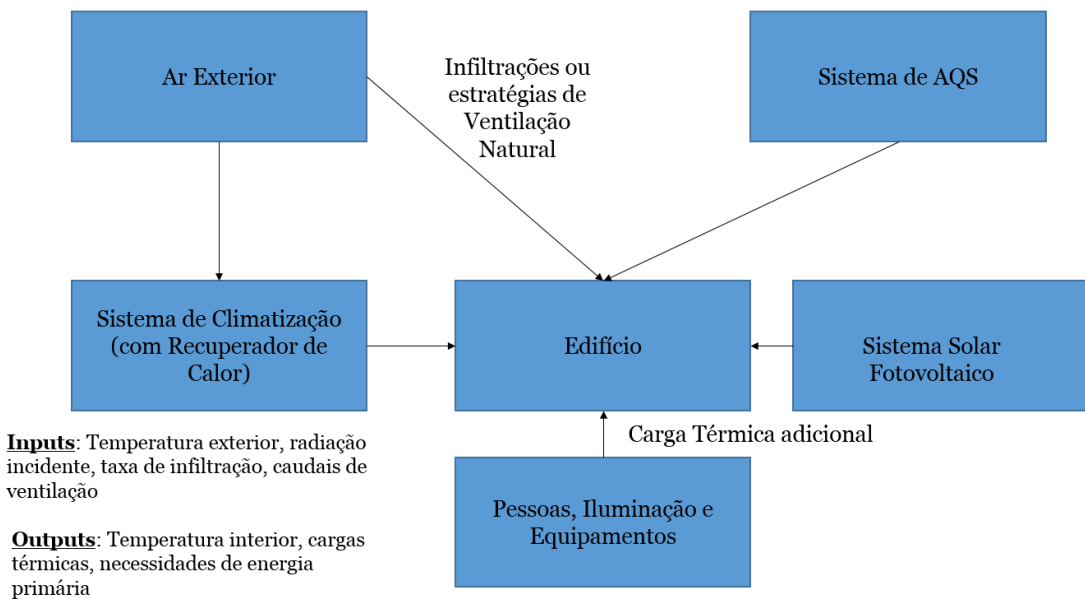


Figura 2.31: Diagrama que estabelece a ligação entre o edifício e os restantes elementos considerados para a simulação dinâmica no *TRNSYS*, considerando para o sistema de climatização a solução com recuperador de calor, os *inputs* utilizados no edifício e *outputs* obtidos para o edifício

Como já foi referido anteriormente, os restantes sistemas têm como grande objetivo a satisfação das necessidades de energia primária do edifício.

O *TRNBuild* permite a introdução de informação relativamente aos elementos constituintes da envolvente do edifício. Na figura 2.32 encontram-se representadas, as paredes e as janelas, utilizadas para a simulação dinâmica do edifício em estudo e algumas das suas características.

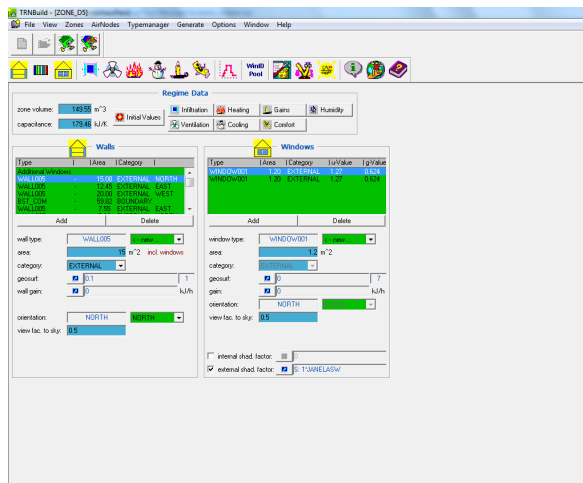


Figura 2.32: Representação no *TRNBuild* das paredes e das janelas, utilizadas para a simulação do edifício em estudo

Na figura 2.33, encontra-se um exemplo da introdução de um novo material, na biblioteca do *TRNBuild*.

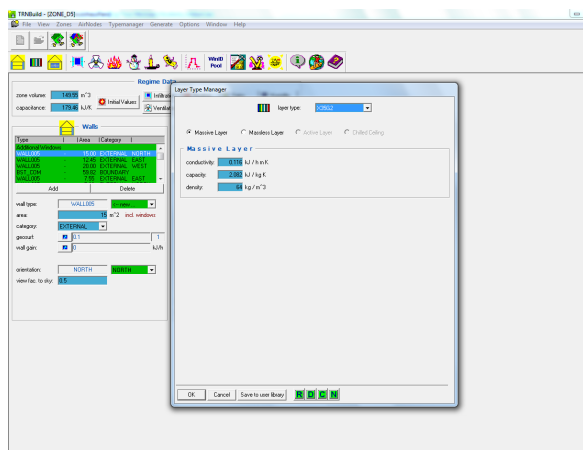


Figura 2.33: Janela, que permite a introdução de um novo material, na biblioteca do *TRNBuild*

2.13 Simplificações para a análise do Caso de Estudo

A análise do edifício em estudo foi alvo de simplificações, estas são inerentes à tentativa linearização do comportamento das pessoas (atendendo a que este é impossível de prever com exactidão), mas também por restrições inerentes ao *software* utilizado para a simulação do edifício.

As simplificações e considerações efectuadas, foram as seguintes:

- O edifício tem um tecto falso de 0,9 m de altura;
- Para o cálculo do valor das necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como das potencias nominais a actividade dos ocupantes foi considerada 1,2 Met para todos os momentos, sem distinção entre o sexo dos ocupantes;

- A potência dos equipamentos da cozinha e da lavandaria é de 500 W , sendo estes ganhos unicamente sensíveis, o valor é baseado nas indicações da *ASHRAE* [32], 30% desta potência foi considerada como radiativa, sendo este um valor típico para estes equipamentos e aceitável;
- A análise do edifício foi realizada sendo este considerado uma mono-zona, pois para uma correcta modelação do edifício em 3D, seria necessário o software *TRN-FLOW*, sendo, no entanto para uma habitação familiar uma aproximação aceitável, pois o volume é muito reduzido e a temperatura é idêntica em quase todos os compartimentos;
- Os envidraçados utilizados para a simulação são os disponíveis pelo *TRNSYS*, tendo propriedades equivalentes a outros envidraçados existentes;
- A eficiência do recuperador e as características termodinâmicas do ar foram consideradas constantes;
- Para o dimensionamento quer dos sistemas de climatização, quer do sistema de AQS, foram considerados valores constantes para a temperatura do fluido (ar ou água);
- A eficiência da caldeira foi considerada constante e igual a 0,932 (as suas características encontram-se representadas no anexo H.1), o seu menor valor, para representar a situação crítica;
- As perdas térmicas do reservatório foram consideradas nulas, pois para um reservatório de dimensões muito reduzidas, estas não serão significativas, sendo praticamente nulas com uma espessura de isolamento relativamente reduzida;
- Não será feita qualquer tentativa de controlo directa, da humidade no interior do edifício, devido a restrições dos componentes disponibilizados pela biblioteca do *TRNSYS*, usada para a realização da presente dissertação;
- A energia térmica de alguns aparelhos eléctricos, será idêntica à eléctrica, senão existirem dados relativamente aos seus consumos;
- Os valores da potência consumida para o ventilador e as bombas foram considerados constantes durante a simulação²⁰;

²⁰O seu cálculo encontra-se realizado, no anexo E.4

Capítulo 3

Análise e Discussão dos Resultados Obtidos

"O capítulo inicia-se com a análise das necessidades energéticas do edifício. De seguida, serão analisados os consumos energéticos dos sistemas referidos no capítulo anterior e o seu impacto, na evolução da temperatura no interior do edifício. No final, serão acrescentados colectores solares fotovoltaicos, para tornar o balanço energético do edifício pelo menos nulo.

Análise e Discussão dos Resultados Obtidos

O presente capítulo inicia-se, com a simulação dinâmica do edifício através do *software TRNSYS*¹, sem qualquer sistema de climatização incorporado obtendo-se as necessidades de aquecimento e arrefecimento, usadas para atribuir uma classificação energética ao edifício e as potências nominais, que serão utilizadas para o dimensionamento dos sistemas de climatização². De seguida, será realizada a análise dos sistemas de AQS, com vista a obter a solução mais favorável em termos económicos.

Após o dimensionamento dos sistemas, é realizada a simulação dinâmica do edifício com os sistemas de climatização activos, com vista à determinação dos seus consumos energéticos.

Alguns elementos da envolvente serão redimensionados, com vista a tornar o edifício mais eficiente em termos de consumos energéticos.

No final do capítulo, serão acrescentados ao sistema colectores solares fotovoltaicos, de modo a tornar o balanço entre a energia primária não renovável do edifício, pelo menos nulo.

3.1 Necessidades de Aquecimento e Arrefecimento

O valor das necessidades de aquecimento e arrefecimento, varia consoante os elementos e a geometria utilizada para o dimensionamento de um edifício, os tipos de sistemas de climatização utilizados, as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, a constituição da sua envolvente, a sua localização, ou as potências nominais de aquecimento e arrefecimento. Para o dimensionamento dos sistemas de climatização nas localidades em estudo, foi realizado um levantamento das condições climáticas de projecto.

Num edifício de habitação, são consideradas condições de projecto, com uma probabilidade de ocorrência de 5%, para o dimensionamento do sistema de climatização. Devido à inexistência de recomendações relativamente à humidade relativa a considerar para a sua projecção, em cada região, foi usado o maior valor obtido no Inverno e o menor valor no Verão, para cada região (segundo os dados da *Meteonorm* [51]). As diferentes condições de projecto³ para o dimensionamento do edifício nas três localidades em estudo, encontram-se representadas nas tabelas 3.1, 3.2 e 3.3.

¹Os modelos utilizados encontram-se explicados no anexo D

²O seu dimensionamento encontra-se nos apêndices E.2 e E.3

³A variação dos valores obtidos de h e w , para pares idênticos T e ϕ é devido à variação da altitude dos locais em análise, contabilizada através da utilização do diagrama psicrométrico dinâmico da *Daikin* [54]

Tabela 3.1: Condições de projecto para o dimensionamento do sistema de climatização, se o edifício em estudo estiver localizado em Bragança [55]

Estação	Espaço	Bragança			
		T [$^{\circ}C$]	ϕ [%]	h [$kJ/kg_{a.s.}$]	w [$g/kg_{a.s.}$]
Inverno	Interior do edifício	20	50	40,1	7,9
	Exterior do edifício	-2,2	100	6,3	3,4
Verão	Interior do edifício	25	50	52,5	10,7
	Exterior do edifício	29,8	27	49,5	7,6

Tabela 3.2: Condições de projecto para o dimensionamento do sistema de climatização, se o edifício em estudo estiver localizado no Porto [55]

Estação	Espaço	Porto			
		T [$^{\circ}C$]	ϕ [%]	h [$kJ/kg_{a.s.}$]	w [$g/kg_{a.s.}$]
Inverno	Interior do edifício	20	50	38,7	7,3
	Exterior do edifício	3	100	14,9	4,7
Verão	Interior do edifício	25	50	50,6	10,0
	Exterior do edifício	26,4	46	52	10,0

Tabela 3.3: Condições de projecto para o dimensionamento do sistema de climatização, se o edifício em estudo estiver localizado em Faro [55]

Estação	Espaço	Faro			
		T [$^{\circ}C$]	ϕ [%]	h [$kJ/kg_{a.s.}$]	w [$g/kg_{a.s.}$]
Inverno	Interior do edifício	20	50	38,9	7,4
	Exterior do edifício	6,2	100	21,2	6,0
Verão	Interior do edifício	25	50	50,7	10,1
	Exterior do edifício	29,1	42,5	57,1	10,9

As necessidades de aquecimento e arrefecimento, assim como as potências nominais são obtidas definindo determinadas temperaturas limites, quando a temperatura interior do edifício encontra-se fora deste intervalo de temperaturas, o sistema de climatização é activado para aquecer ou arrefecer o edifício, estas temperaturas são denominadas *set-points*⁴. Para o presente projecto os *set-points* adoptados, tomam o valor de $20^{\circ}C$ para aquecimento e $25^{\circ}C$ para arrefecimento, estes valores foram definidos com base nos valores previsto pela norma *Passivhaus* [21] e também referidos pelo manual da *REHVA* [16]. As necessidades de aquecimento e arrefecimento, obtidas para o edifício em estudo através do *TRNSYS*, são dependentes do valor dos *set-points* pré-definidos.

Inicialmente deve ser escolhida, a orientação mais favorável para o edifício em estudo, será tida como base a figura 2.2 da secção 2.1, onde se encontram definidas as 3 orientações possíveis do edifício. Os valores das necessidades de aquecimento e arrefecimento, encontram-se representados na tabela 3.4, juntamente com o somatório destas ($N_{t'}$) enquanto que a tabela 3.5 apresenta os valores das potências nominais obtidas.

Tabela 3.4: Valor das necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, nas orientações e localidades em estudo em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$

Localidade	e [mm]	Sul			Poente			Norte		
		$N_{aq.}$	$N_{arref.}$	$N_{t'}$	$N_{aq.}$	$N_{arref.}$	$N_{t'}$	$N_{aq.}$	$N_{arref.}$	$N_{t'}$
Bragança	80	80,0	2,7	82,8	109,1	1,9	111,0	77,6	4,0	81,6
	100	67,6	2,7	70,3	92,5	1,9	94,4	65,3	4,0	69,3
Porto	80	43,8	1,3	45,1	64,0	1,1	65,0	38,1	2,2	40,3
	100	35,7	1,4	37,1	53,0	1,2	54,2	33,4	2,3	35,7
Faro	80	24,2	5,3	29,5	37,9	3,6	41,5	23,0	7,1	30,2
	100	18,8	5,4	24,2	30,3	3,8	34,0	17,7	7,3	25,0

Tabela 3.5: Potências nominais para o aquecimento e arrefecimento do edifício, nas orientações e localidades em estudo em $[kW]$

Localidade	e [mm]	Sul		Poente		Norte	
		$\dot{Q}_{aq.}$	$\dot{Q}_{arref.}$	$\dot{Q}_{aq.}$	$\dot{Q}_{arref.}$	$\dot{Q}_{aq.}$	$\dot{Q}_{arref.}$
Bragança	80	2,28	1,45	1,86	1,72	2,37	1,78
	100	2,00	1,32	1,68	1,62	1,68	1,67
Porto	80	1,74	1,29	1,42	1,44	1,73	1,44
	100	1,54	1,20	1,28	1,36	1,62	1,51
Faro	80	1,50	1,38	1,19	1,76	1,53	1,66
	100	1,32	1,27	1,06	1,66	1,35	1,55

Através dos resultados obtidos, verifica-se que a orientação da fachada principal a poente é a mais desfavorável, devido à área de envidraçados da fachada (C) orientada a Sul, ser muito reduzida, em comparação com a área de envidraçados das outras fachadas. Apesar do valor das potências nominais de aquecimento serem as menores

⁴Valores a partir dos quais o sistema de climatização é activado para o aquecimento ou arrefecimento

para esta orientação, as necessidades de energia primária para aquecimento têm os valores mais elevados, isto significa que o interior do edifício encontra-se mais tempo a uma temperatura inferior a $20^{\circ}C$, embora a diferença entre os $20^{\circ}C$ e a temperatura mínima que seria atingida não seja a maior, relativamente às outras orientações.

A fachada principal (A) possui a maior área de envidraçados, no entanto as menores necessidades de aquecimento ocorrem quando a fachada B se encontra direccionada a Sul, pois apesar da área de envidraçados ser inferior, a fachada A tem um comprimento das palas para o sombreamento excessivo, diminuindo os ganhos que seriam possíveis de adquirir com a orientação da fachada principal a Sul.

É também possível de verificar, que o aumento da espessura das paredes constituídas pelo CSP, favorece a diminuição das necessidades de aquecimento, enquanto que as necessidades de arrefecimento quase não sofrem alteração, apesar de aumentarem ligeiramente. No entanto, a orientação a Sul será a escolhida para a análise do edifício em estudo, pois a sua potência nominal é inferior à do edifício a Norte, quer para o aquecimento, quer para o arrefecimento e as suas necessidades de aquecimento e arrefecimento não variam significativamente. Outra das razões, é a potencial melhoria do desempenho energético do edifício, através da alteração das dimensões das palas.

3.2 Sistemas para o Aquecimento da Água Quente Sanitária

Na presente secção, são apresentados os resultados da simulação dinâmica dos sistemas para aquecimento das AQS, com colectores solares acoplados (este sistema também pode ser denominado como sistema solar para AQS), por fim será feita a comparação entre esta solução e as soluções que não utilizam colectores solares, já referidas na secção 2.11.

Para a análise do funcionamento do sistema solar para AQS, deve ser escolhido o caudal de circulação mais favorável, de modo a não comprometer o rendimento dos colectores solares, para o aquecimento das AQS uma das recomendações indica a utilização de um caudal de circulação de $60 \text{ kg}/(h \cdot m^2)$ [56], no entanto, outra recomendação, indica que deve ser usado um valor compreendido na gama de caudais de $36 \text{ kg}/(h \cdot m^2)$ a $72 \text{ kg}/(h \cdot m^2)$, sendo o valor mais comum $72 \text{ kg}/(h \cdot m^2)$ [57], valor para o qual a fracção solar é maior e os consumos de energia na bomba são menores.

Devido ao aumento das perdas de carga, não serão testados caudais de circulação com valores acima dos $72 \text{ kg}/(h \cdot m^2)$. Apesar da quantidade de energia obtida pela circulação do fluido através do colector solar ser maior, poderá ter que ser utilizada uma bomba de circulação de maior potência, e consequentemente será consumida uma maior quantidade de energia eléctrica, para permitir a circulação da água no circuito hidráulico, tornando a solução inviável em termos económicos.

Para a análise do sistema de AQS, será utilizada a seguinte nomenclatura:

- E_{Col}^{AQS} : Energia proveniente da radiação solar captada pelo colector [kWh];
- E_{Aux}^{AQS} : Energia proveniente da caldeira auxiliar ao sistema solar para AQS [kWh];

- $f_{Sol.}$: Fracção Solar, ou seja parcela de energia solar utilizada pelo sistema solar de AQS, para aquecimento térmico [-];
- E_B^{AQS} : Energia eléctrica consumida pela bomba no sistema de AQS [kWh];
- $E_{Cald.}^{AQS}$: Energia gasta pela caldeira, no sistema sem colector solar [kWh];

Em que a $f_{Sol.,m}$ (a fracção solar mensal) é calculada através da equação:

$$f_{Sol.,m} = \frac{E_{Col.,m}^{AQS}}{E_{Col.,m}^{AQS} + E_{Aux.,m}^{AQS}} \quad (3.1)$$

Em que:

- $f_{Sol.,m}$: Fracção Solar, ou seja parcela de energia solar utilizada pelo sistema solar de AQS, para aquecimento térmico [-];
- $E_{Col.,m}^{AQS}$: Energia proveniente da radiação solar, captada mensalmente pelo colector [kWh];
- $E_{Aux.,m}^{AQS}$: Energia utilizada mensalmente pela caldeira auxiliar para AQS [kWh];

No entanto, o valor anual da fracção solar ($f_{Sol.,a}$) é calculado através da equação:

$$f_{Sol.,a} = f_{Sol.,m} \cdot \frac{(\sum_m^n E_{Col.,m}^{AQS} + E_{Aux.,m}^{AQS})}{E_{Col.,a}^{AQS} + E_{Aux.,a}^{AQS}} \quad (3.2)$$

Sendo que:

- $E_{Col.,a}^{AQS}$: Energia proveniente da radiação solar, captada anualmente pelo colector [kWh];
- $E_{Aux.,a}^{AQS}$: Energia proveniente da caldeira auxiliar, usada anualmente para auxiliar o sistema solar para AQS [kWh];

Para verificar qual das recomendações indicadas é a mais correcta, o sistema de AQS foi testado em Faro para os caudais 50, 60 e 72 $kg/(h \cdot m^2)$ com a inclinação dos colectores a 37,02° em Faro, de modo a verificar qual o caudal de circulação mais favorável, os resultados encontram-se apresentados nas tabelas 3.6 e 3.7.

Tabela 3.6: Energia em kWh , necessária para a satisfação das necessidades de AQS em Faro para os 3 caudais de circulação em análise

Mês	$\dot{m}_{AQS} [kg/(h \cdot m^2)]$								
	50			60			72		
	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$
Jan.	239,5	75,9	0,76	240,3	75,7	0,76	241,2	75,8	0,76
Fev.	217,3	57,5	0,79	218,2	57,5	0,79	218,9	57,6	0,79
Março	326,5	18,5	0,95	327,9	18,4	0,95	329,1	18,5	0,95
Abril	280,3	32,1	0,90	281,5	32,1	0,90	282,5	32,2	0,90
Mai	316,3	11,6	0,96	317,7	11,7	0,96	318,9	11,7	0,96
Junho	316,9	14,6	0,96	318,3	14,6	0,96	319,5	14,6	0,96
Julho	359,6	0,0	1,00	361,4	0,0	1,00	362,8	0,0	1,00
Agosto	372,2	0,2	1,00	374,0	0,1	1,00	375,6	0,2	1,00
Set.	349,3	4,8	0,99	351,1	4,8	0,99	352,5	4,8	0,99
Out.	315,6	17,7	0,95	317,1	17,7	0,95	318,2	17,8	0,95
Nov.	207,5	67,1	0,76	208,3	67,1	0,76	209,0	67,1	0,76
Dez.	191,7	104,1	0,65	192,2	104,1	0,65	192,8	104,3	0,65
Total	3492,5	404,0	0,90	3508,1	403,8	0,90	3521,1	404,6	0,90

Tabela 3.7: Energia consumida pela bomba em kWh , para o sistema solar para AQS, em Faro para os 3 caudais de circulação em análise

Mês	$\dot{m}_{AQS} [kg/(h \cdot m^2)]$		
	50	60	72
Jan.	5,5	5,4	5,2
Fev.	4,6	4,5	4,3
Março	7,0	6,8	6,7
Abril	6,3	6,1	5,9
Mai	7,3	7,3	7,3
Junho	7,7	7,5	7,4
Julho	8,6	8,4	7,9
Agosto	8,3	8,2	7,9
Set.	7,7	7,6	7,4
Out.	6,9	6,8	6,7
Nov.	4,7	4,5	4,3
Dez.	4,8	4,6	4,4
Total	79,4	77,7	75,6

Assim, para a estratégia de controlo (previamente referida na secção 2.11), verifica-se que os melhores resultados em termos de consumos energéticos, foram obtidos para um caudal de circulação de $72 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, sendo a energia gasta pela bomba de circulação idêntica, no entanto menor para um caudal de circulação de $72 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, o que verifica a recomendação do livro "*Solar Engineering of Thermal Processes*" [57].

Através da equação 3.3, é calculado o lucro que se obtém com a instalação dos colectores solares de AQS.

$$Le_{Sol.} - CE_{Cald.}^{AQS} - CE_B^{AQS} = Luc_{Sol.} \quad [€] \quad (3.3)$$

Em que:

- $Le_{Sol.}$: Preço da energia térmica proveniente do colector, usada para AQS⁵ [€];
- $CE_{Cald.}^{AQS}$: Custo da energia auxiliar consumida pela caldeira para AQS [€];
- CE_B^{AQS} : Custo da energia consumida pela bomba, usada para a circulação da água no sistema de AQS [€];
- $Luc_{Sol.}$: Lucro total obtido pela utilização do sistema solar para AQS [€];

O lucro anual obtido para cada um dos 3 caudais em análise, encontram-se representados na tabela 3.8.

Tabela 3.8: Custo anual da energia consumida pelo sistema solar testado

Custos	$m_{AQS} \text{ [kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)]$		
	50	60	72
$Le_{Sol.} \text{ [€]}$	74,84	75,17	75,45
$CE_{Cald.}^{AQS} \text{ [€]}$	8,66	8,65	8,67
$CE_B^{AQS} \text{ [€]}$	10,86	10,62	10,33
$Luc_{Sol.} \text{ [€]}$	55,32	55,90	56,45

Concluí-se deste modo, que o caudal mais favorável economicamente para o sistema solar de AQS é $72 \text{ kg}/(\text{h} \cdot \text{m}^2)$, para além de ser o que permite um menor consumo de energia eléctrica por parte das bombas de circulação sendo que esta pode ou ser proveniente de fontes de energia renováveis, logo este será o caudal que irá circular no sistema de AQS.

A análise do sistema será realizada para duas inclinações diferentes, a latitude do local e a inclinação do tecto ($10,49^\circ$), de modo a ser possível tomar a melhor decisão, relativamente à posição em que o colector deverá ser instalado.

Em todas as localidades foram analisados dois colectores solares ligados em série, pois, como se encontra indicado no REH [10], deve existir uma área de colectores solares de $0,65 \text{ m}^2/\text{ocupante}$.

⁵Como o sistema auxiliar utiliza peletes como combustível, o seu preço será equivalente ao das *pellets*

Os resultados encontram-se representados nas figuras 3.1 e 3.2 e nas tabelas 3.9, 3.10 e 3.11.

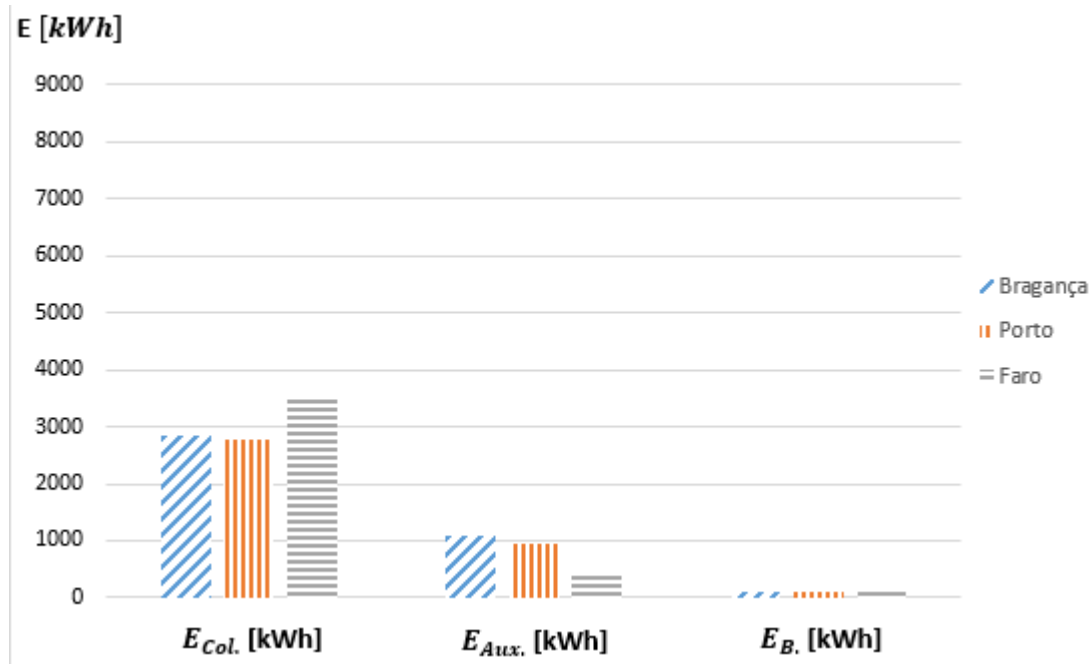


Figura 3.1: Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, para uma inclinação equivalente à latitude do local

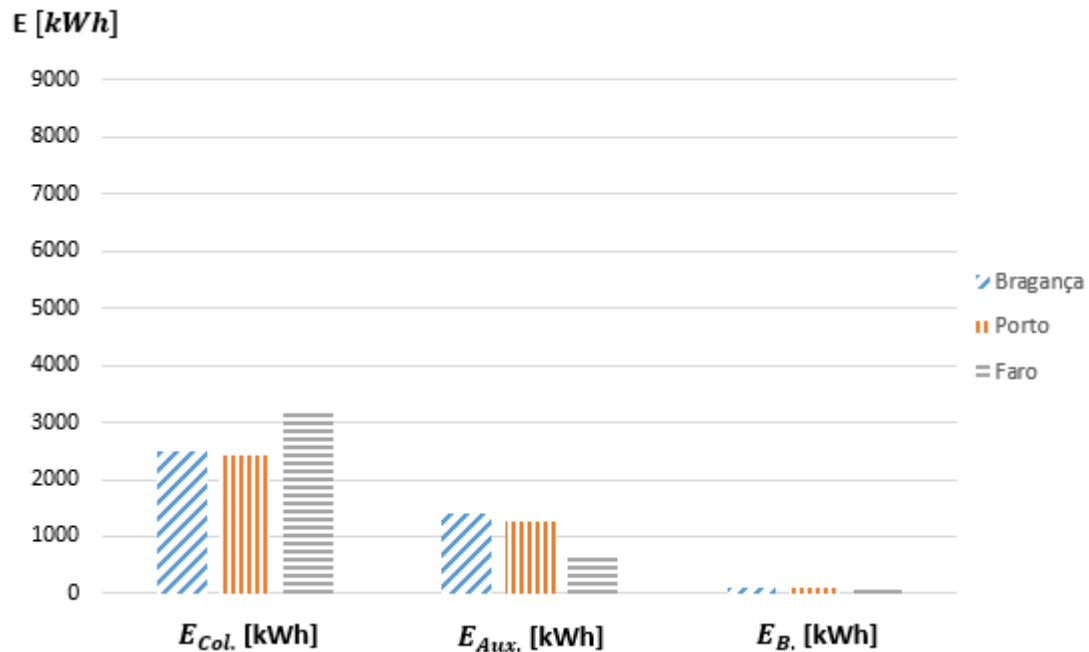


Figura 3.2: Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, para a inclinação de $10,49^\circ$

Tabela 3.9: Energia fornecida pelo colector e pela caldeira auxiliar em kWh , para uma inclinação do colector idêntica à inclinação da latitude local

Inclinação	Bragança			Porto			Faro		
	41,82°			41,15°			37,02°		
Mês	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$
Jan.	164,2	174,2	0,49	172,3	146,3	0,54	241,2	75,8	0,76
Fev.	174,5	134,6	0,56	165,4	116,6	0,59	218,9	57,6	0,79
Março	259,6	82,8	0,76	247,3	79,8	0,76	329,1	18,5	0,95
Abril	223,2	83,8	0,73	238,4	64,5	0,79	282,5	32,2	0,90
Mai	257,9	63,1	0,80	263,2	44,5	0,86	318,9	11,7	0,96
Junho	285,2	36,9	0,89	276,7	44,2	0,86	319,5	14,6	0,96
Julho	339,9	9,1	0,97	280,7	24,9	0,92	362,8	0,0	1,00
Agosto	361,5	11,7	0,97	309,2	30,0	0,91	375,6	0,2	1,00
Set.	297,3	23,9	0,93	283,6	37,4	0,88	352,5	4,8	0,99
Out.	223,1	82,2	0,73	247,7	58,7	0,81	318,2	17,8	0,95
Nov.	145,3	153,5	0,49	155,4	125,3	0,55	209,0	67,1	0,76
Dez.	98,4	220,2	0,31	119,9	174,3	0,41	192,8	104,3	0,65
Total	2830,0	1076,1	0,72	2759,7	946,5	0,74	3521,1	404,6	0,90

Tabela 3.10: Energia fornecida pelo colector e pela caldeira auxiliar em kWh , para uma inclinação do colector idêntica à inclinação do tecto (10,49°)

Mês	Bragança			Porto			Faro		
	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$
Jan.	84,4	252,4	0,25	94,3	220,4	0,30	151,4	153,5	0,50
Fev.	115,7	188,1	0,38	108,7	170,0	0,39	160,0	100,4	0,61
Março	207,4	124,0	0,63	198,8	112,8	0,64	273,7	36,9	0,88
Abril	212,8	87,9	0,71	227,1	67,0	0,77	273,5	34,1	0,89
Mai	275,5	52,6	0,84	283,7	37,1	0,88	351,3	10,3	0,97
Junho	323,7	26,8	0,92	325,0	36,6	0,90	378,7	12,2	0,97
Julho	386,0	6,6	0,98	316,8	19,0	0,94	425,5	0,0	1,00
Agosto	356,3	10,3	0,97	312,8	28,7	0,92	384,6	0,4	1,00
Set.	252,1	40,9	0,86	241,3	47,7	0,84	304,5	10,3	0,97
Out.	161,5	124,5	0,56	177,2	103,6	0,63	240,7	36,9	0,87
Nov.	81,5	213,6	0,28	91,8	185,0	0,33	138,1	121,9	0,53
Dez.	40,4	278,9	0,13	56,1	241,0	0,19	111,1	176,3	0,39
Total	2497,4	1406,7	0,64	2433,7	1268,9	0,66	3193,1	693,0	0,82

A tabela 3.11 mostra os consumos energéticos das bombas de circulação, usadas no sistema solar para AQS.

Tabela 3.11: Energia consumida pelas bombas de circulação do sistema de AQS em *kWh*, para as localidades em estudo

Mês	Bragança		Porto		Faro	
	41,82°	10,49°	41,15°	10,49°	37,02°	10,49°
Jan.	5,5	5,1	5,8	5,5	6,9	6,4
Fev.	5,8	5,5	5,8	5,4	6,4	6,1
Março	7,7	7,4	7,6	7,3	7,9	7,7
Abril	7,2	7,6	7,3	7,8	7,3	7,8
Mai	8,2	9,1	8,3	9,0	8,8	9,3
Junho	9,1	9,8	8,5	9,5	9,1	9,9
Julho	9,3	10,3	8,9	9,6	8,9	10,1
Agosto	8,8	9,5	8,5	9,0	8,3	9,4
Set.	7,8	7,9	7,6	7,5	8,3	8,2
Out.	6,8	6,4	7,0	6,7	7,7	7,3
Nov.	5,1	4,6	5,9	5,4	6,3	6,1
Dez.	4,3	3,7	5,2	4,7	6,3	5,6
Total	85,6	86,9	86,5	87,5	92,4	93,9

Verifica-se que a instalação no tecto é a mais desfavorável em termos de captação da radiação, os resultados continuam a ser bastante satisfatórios, como se pode verificar pela quantidade de energia captada pelo colector. O seu custo inicial é também maior, pois o custo dos suportes de instalação no tecto são maiores⁶, logo a instalação do tecto deve ser evitada, a menos que não seja possível colocar o colector, noutra posição mais favorável.

Apesar da instalação de colectores com uma inclinação equivalente à latitude do local ser mais favorável quer em termos energéticos, quer em termos económicos em relação à instalação no tecto, pode não ser possível montar os colectores em posições livres de obstrução e ao mesmo tempo seguras. Os resultados obtidos, representam portanto um cenário ideal, podendo na realidade a instalação dos colectores no tecto, ser mais favorável em termos de captação da energia solar.

Não é recomendado que o valor da fracção solar mensal ultrapasse os 70%, uma vez que as simulações são realizadas utilizando os valores médios obtidos, provenientes de análises das condições climáticas do local durante vários anos.

Nos dias atípicos, em que os valores de radiação estão acima dos valores utilizados, poderá ser transmitida à água energia térmica em excesso, sendo este o principal motivo pelo qual os colectores solares, aquecem a água do reservatório até temperaturas tão elevadas.

Para o reservatório em estudo, quando as temperaturas ultrapassam os 100°C, é necessário que haja dissipação de energia térmica, pois a partir dos 100°C a água entra em ebulição iniciando-se a sua passagem para o estado gasoso e o vapor de água corroi as paredes do reservatório, danificando-o. Devido ao elevado valor das fracções solares obtidas, sobretudo em Faro, é expectável que existam momentos em que as temperaturas no interior do reservatório atinjam valores na ordem dos 100°C.

As figuras 3.3, 3.4 e 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 representam a temperatura no interior do reservatório, para as respectivas localidades em estudo, mediante uma variação da

⁶O seu valor encontra-se representado no anexo F

inclinação do colector solar.

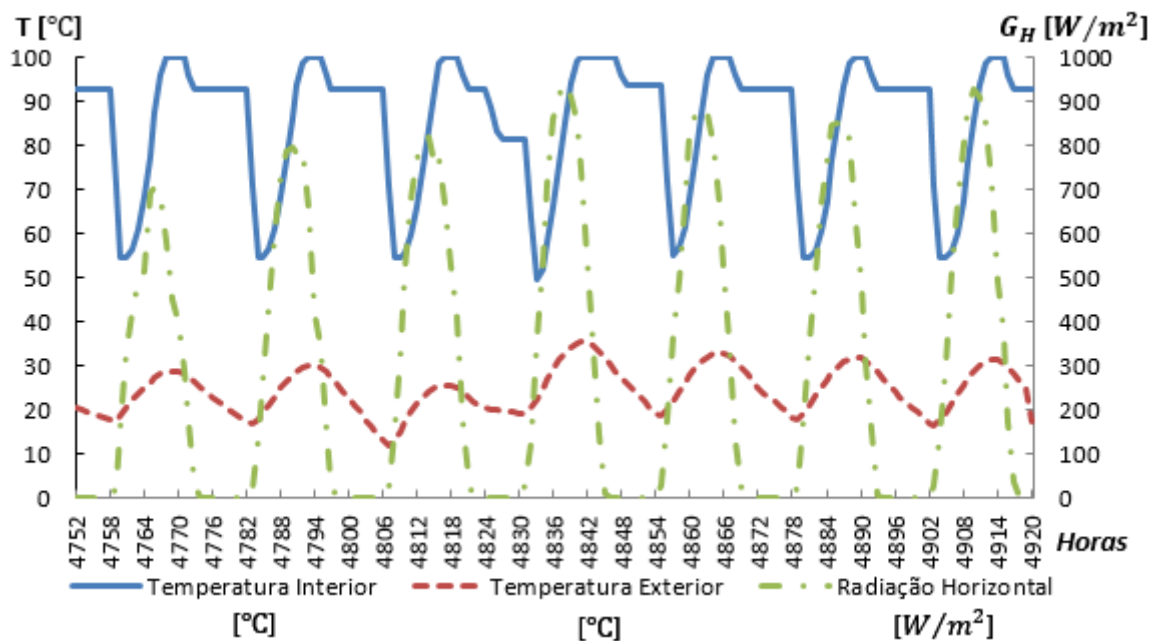


Figura 3.3: Evolução da temperatura interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $41,82^\circ$

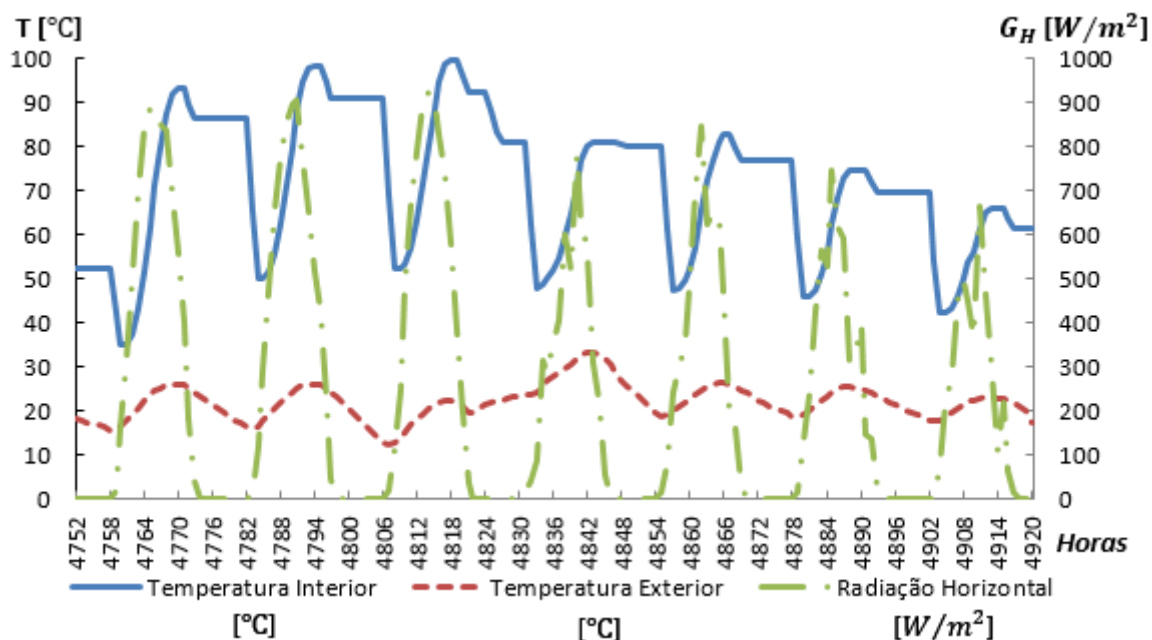


Figura 3.4: Evolução da temperatura interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $41,15^\circ$

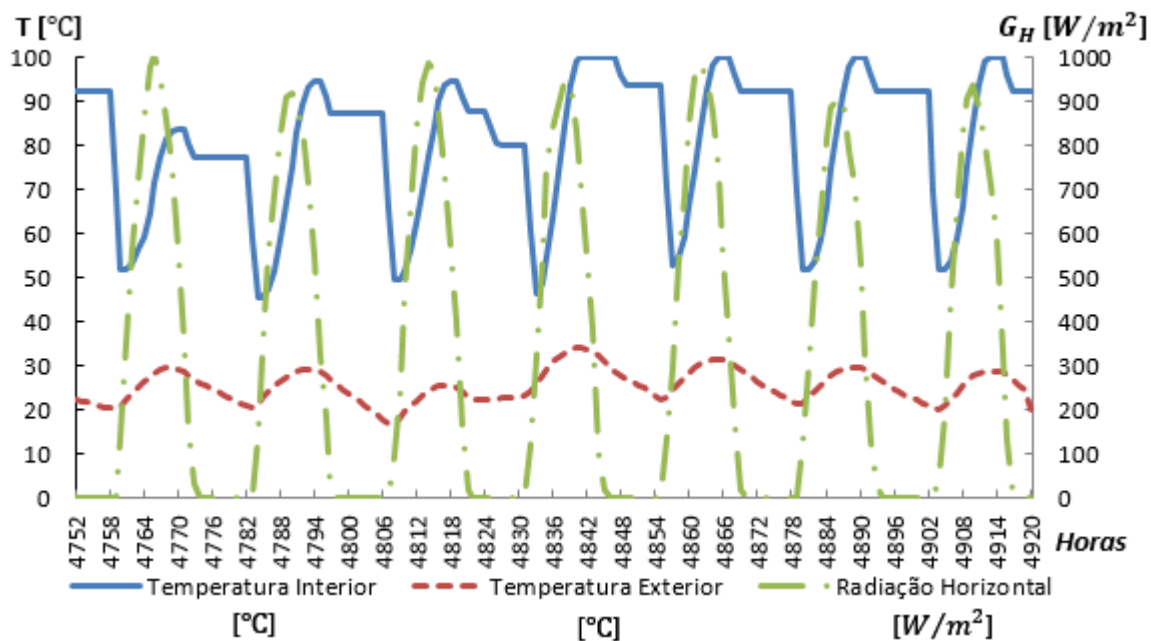


Figura 3.5: Evolução da temperatura interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $37,07^\circ$

Analisando as figuras 3.3, 3.4 e 3.5, é possível verificar que o aumento da radiação incidente conduz a um aumento da temperatura da água. Quando a radiação diminuí, a temperatura da água do reservatório não diminuí, pois considera-se que o isolamento é tão espesso que não permite perdas de calor para o ambiente, a diminuição ocorre apenas quando é insuflada água proveniente da rede no reservatório. De seguida será analisada a mesma variação, mas para uma inclinação de $10,49^\circ$, estando estas representadas nas figuras 3.6, 3.7 e 3.8.

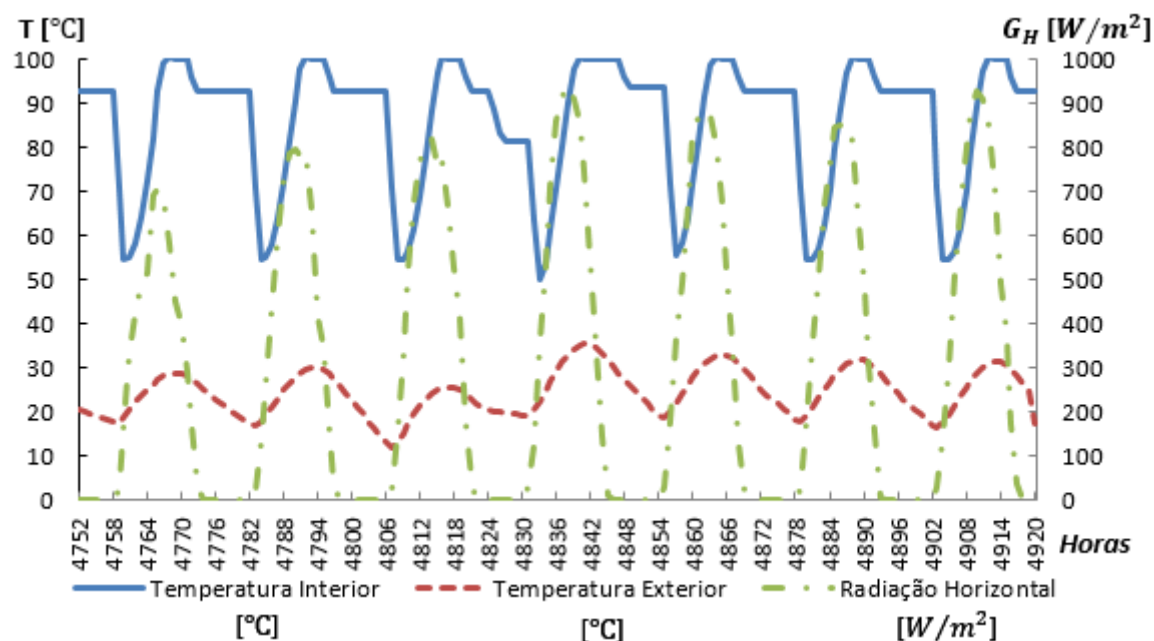


Figura 3.6: Evolução da temperatura interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$

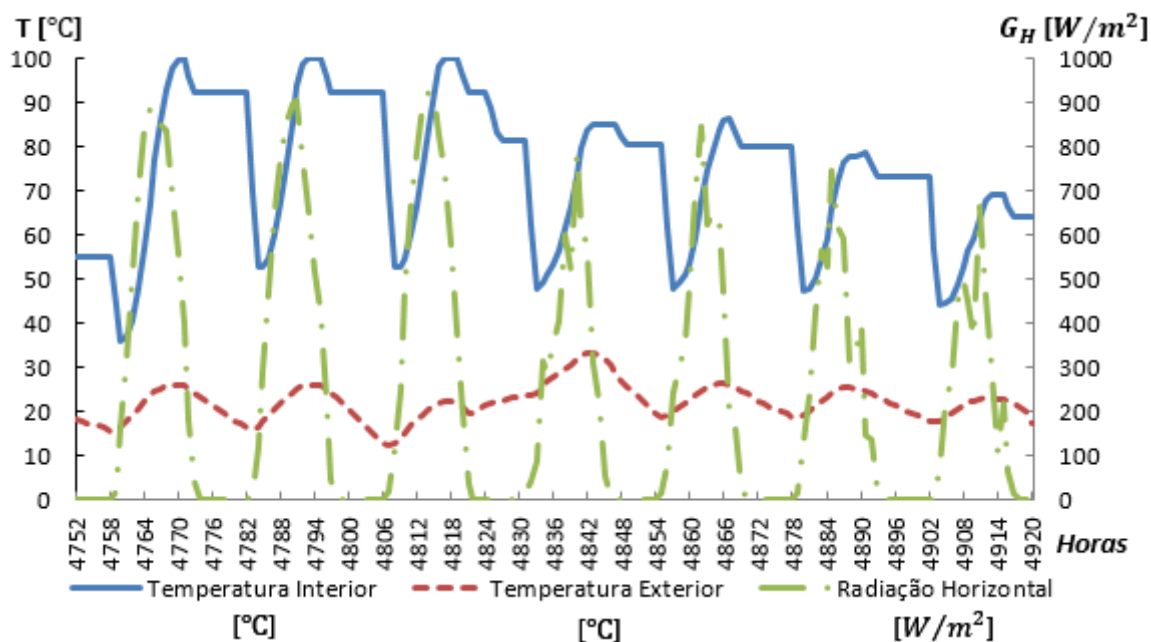


Figura 3.7: Evolução da temperatura interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$

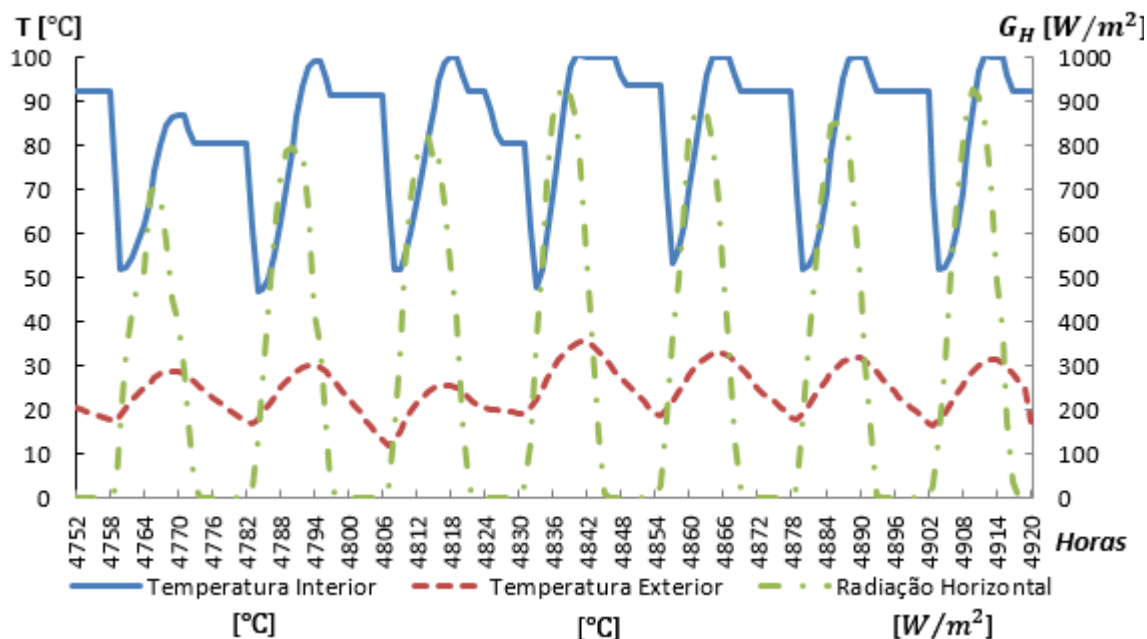


Figura 3.8: Evolução da temperatura interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$

A evolução da temperatura interior do reservatório, quando a inclinação dos colectores é $10,49^\circ$, é idêntica à verificada para as inclinações anteriores. Verifica-se uma vez mais, que existem momentos em que a temperatura no interior do reservatório, ultrapassa os 100°C , deste modo, serão analisadas soluções, cujo objectivo é a redução ou controlo do seu valor.

Uma das possibilidades é a redução do número de colectores, ficando a sua área final em $2,45\text{ m}^2$, ligeiramente inferior aos $2,6\text{ m}^2$ imposto pela legislação para 4 habitantes, sendo expectável que uma diferença tão reduzida permita a aprovação do projecto, principalmente se for comprovado que a solução é favorável em termos de consumos energéticos. No entanto, antes de se proceder à análise de uma solução em que a área de colectores instalada é alterada, serão analisadas outras alternativas, até porque uma diminuição da sua área implica maiores consumos de energia, por parte das bombas de circulação, devido à sua maior utilização. Uma forma de diminuir o valor da fracção solar sem alterar a área dos colectores, é através da alteração da inclinação dos colectores para regular o valor da fracção solar, dependendo do valor da radiação solar incidente na localidade em questão. No entanto, esta alternativa não resolve a questão do sobreaquecimento, pois existem momentos em que este continuará a ocorrer. Outra possibilidade, seria a utilização de um dissipador de calor, no entanto, esta solução implica, para além de um maior investimento adicional, um maior consumo de energia eléctrica.

Antes de se proceder à análise de qualquer uma das soluções já referidas, será realizada uma modificação do sistema anterior, em que é incorporado um mecanismo de controlo, que permite a entrada de água da rede no reservatório, no valor de 200 l/h de modo a diminuir a temperatura do fluido no interior do reservatório, quando a temperatura no seu topo é de 100°C , até esta atingir um valor de 90°C .

As figuras 3.9, 3.10 e 3.11, 3.12, 3.13 e 3.14 representam a temperatura interior

do reservatório com a nova estratégia de controlo implementada, para as respectivas localidades em estudo mediante uma variação da inclinação do colector solar.

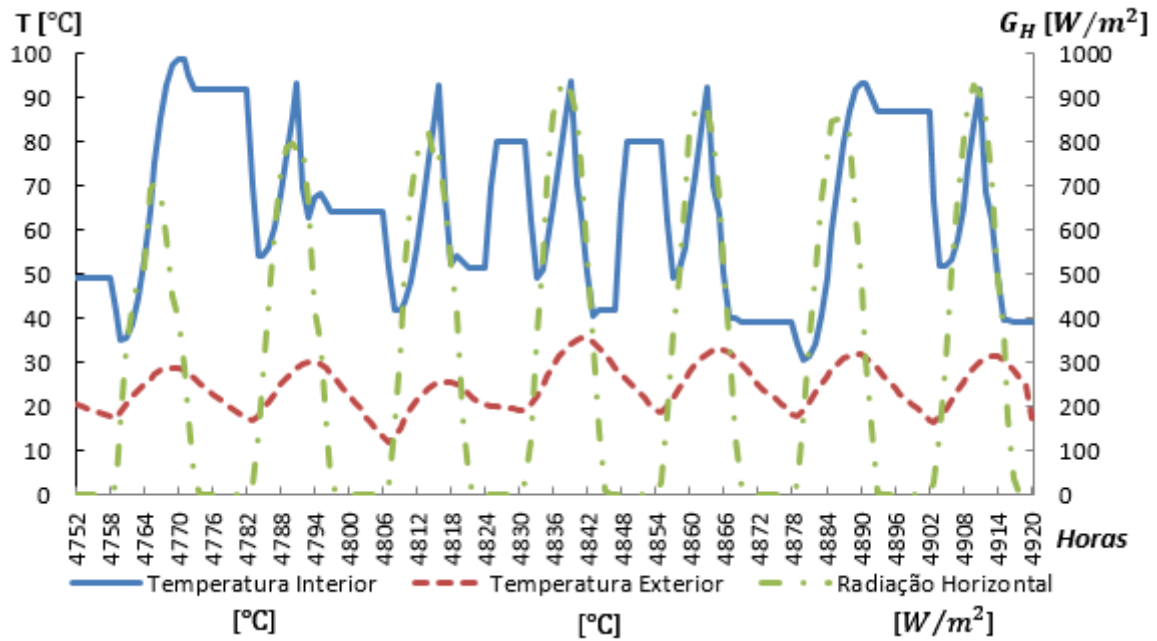


Figura 3.9: Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $41,82^\circ$ e com a nova estratégia de controlo implementada

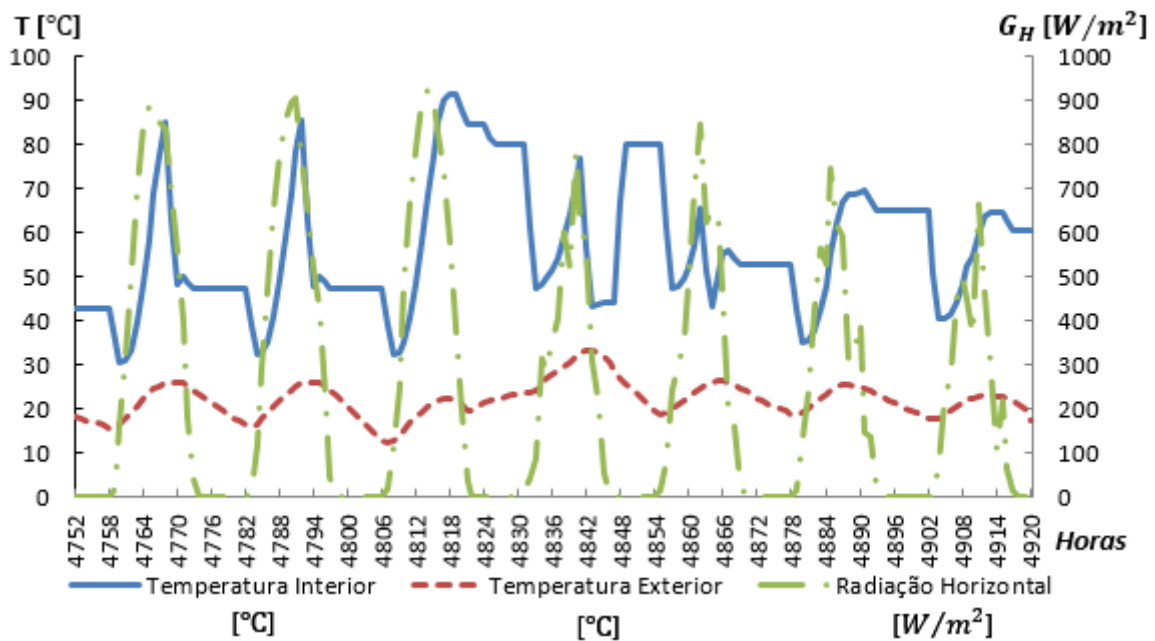


Figura 3.10: Evolução da temperatura da água no interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $41,15^\circ$ e com a nova estratégia de controlo implementada

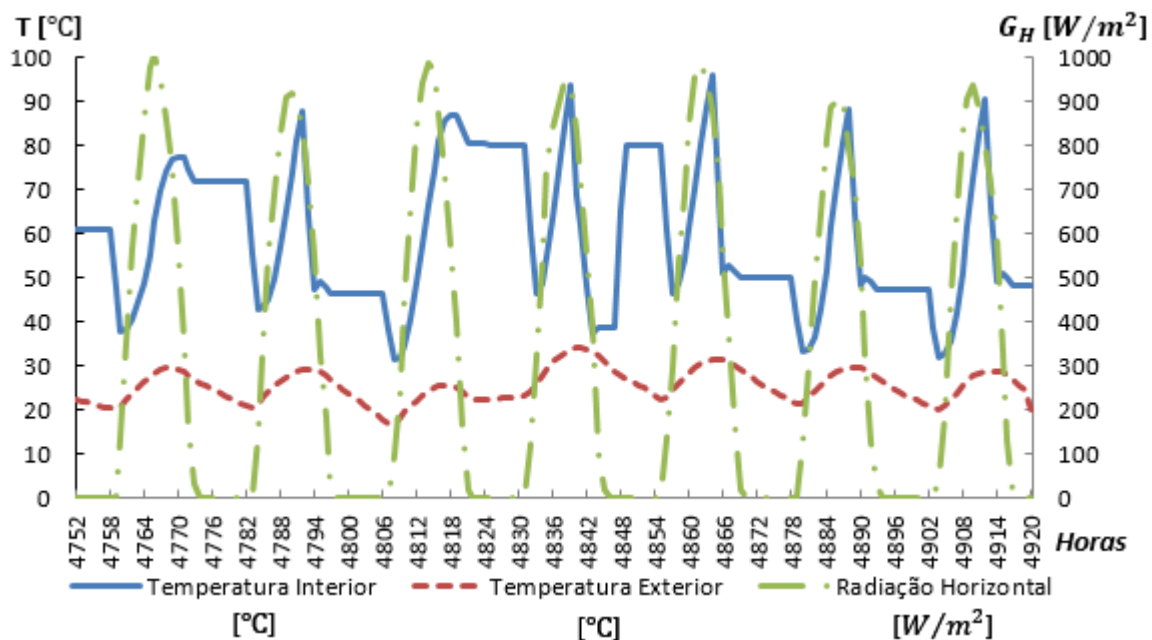


Figura 3.11: Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $37,02^\circ$ e com a nova estratégia de controlo implementada

Analisando as variações das temperaturas obtidas, é visível o aparecimento de picos, que ocorrem quando existe uma grande quantidade de radiação solar e a água da rede não é insuflada no reservatório, voltando apenas a entrar quando a temperatura no topo do reservatório atinge os 100°C e a temperatura média da água neste é de 90°C , neste momento a temperatura da água volta a diminuir.

Verifica-se que com a nova estratégia de controlo, a temperatura dos reservatórios, com a inclinação dos colectores equivalente à latitude do local, nunca atinge os 100°C .

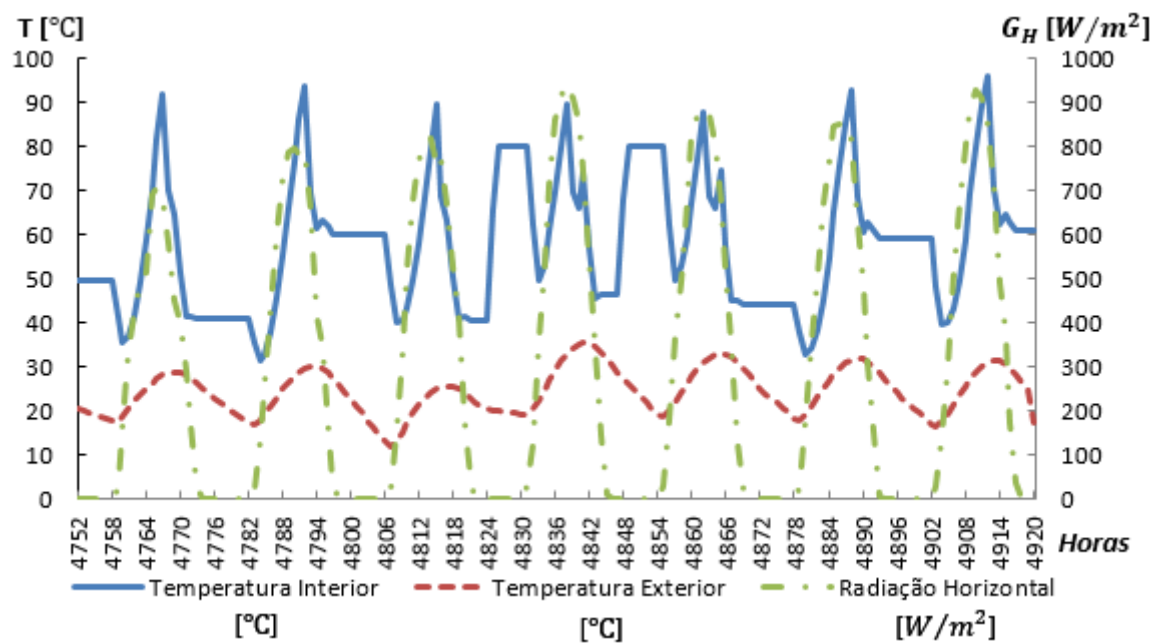


Figura 3.12: Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$, com a nova estratégia de controlo implementada no sistema

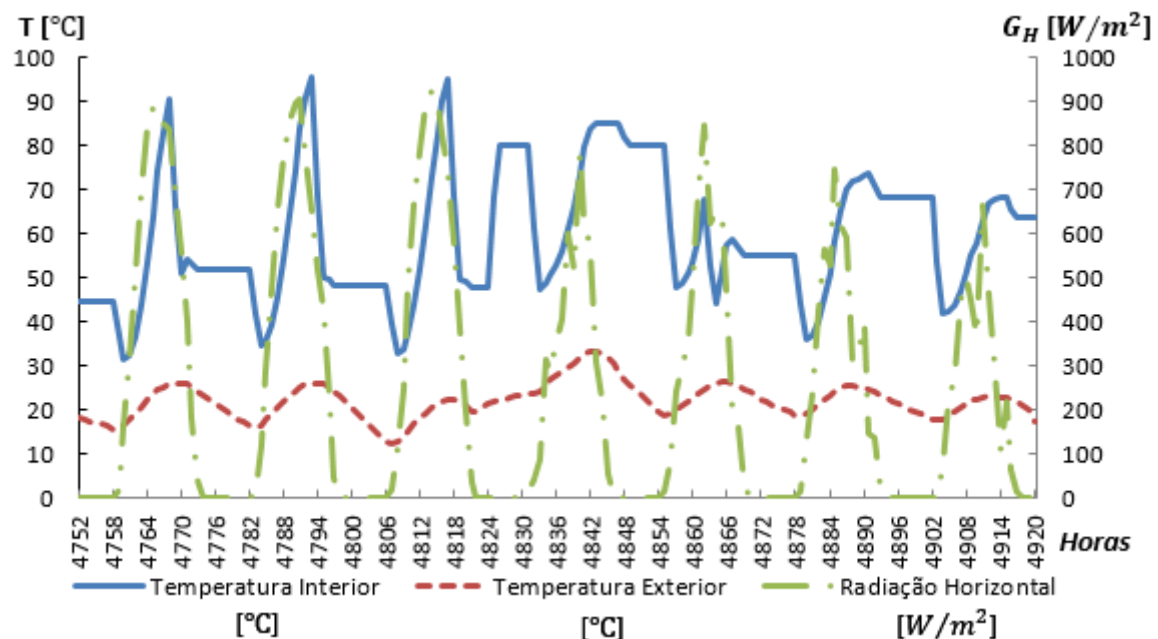


Figura 3.13: Evolução da temperatura da água no interior do reservatório no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$, com a nova estratégia de controlo implementada

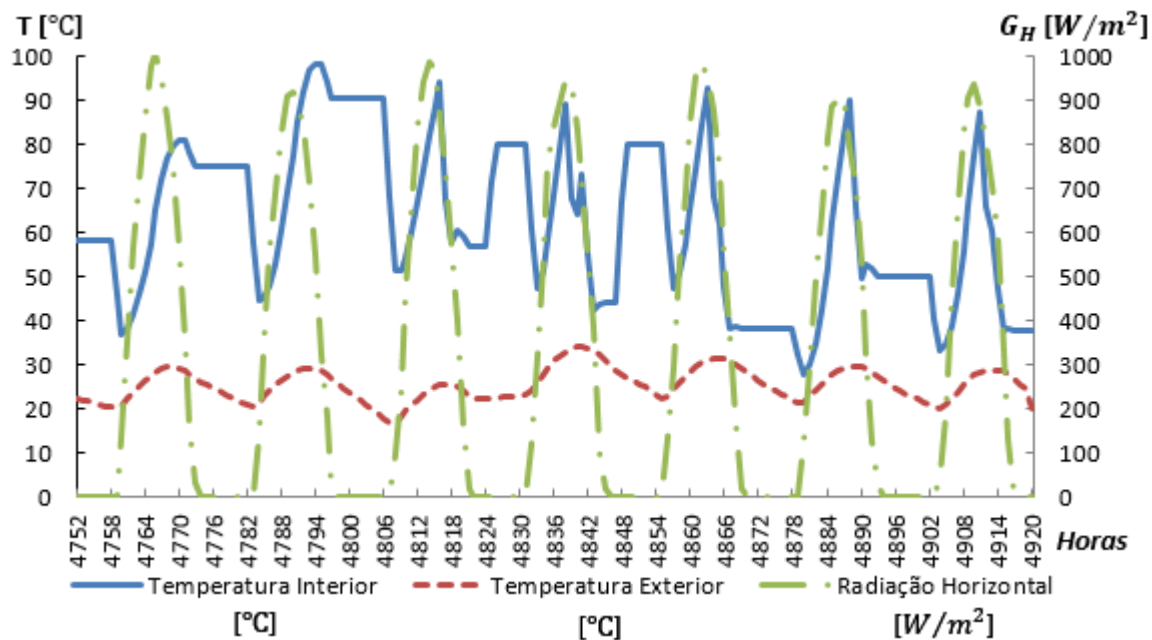


Figura 3.14: Evolução da temperatura da água no interior do reservatório em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a semana crítica da estação de arrefecimento, com a inclinação dos colectores equivalente a $10,49^\circ$, com a nova estratégia de controlo implementada

É possível verificar uma vez mais, uma evolução idêntica para uma inclinação de $10,49^\circ$, em relação às restantes.

Os consumos energéticos da nova solução encontram-se representados nas figuras 3.15 e 3.16 e nas tabelas 3.12, 3.12 e 3.14.

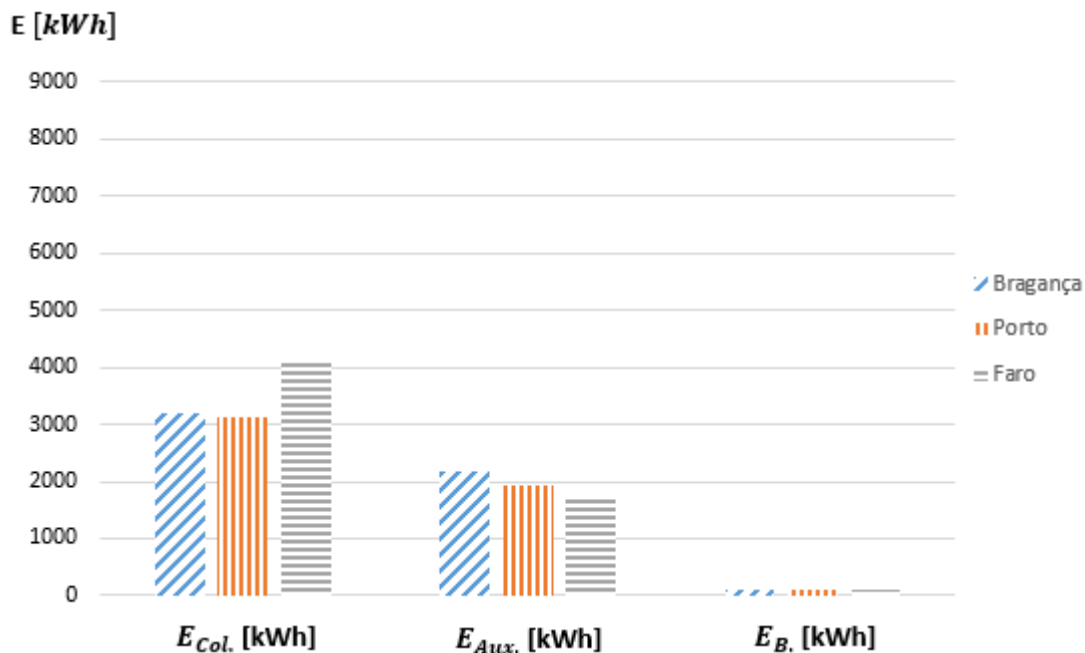


Figura 3.15: Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, com a nova estratégia de controlo implementada, para uma inclinação equivalente à latitude do local

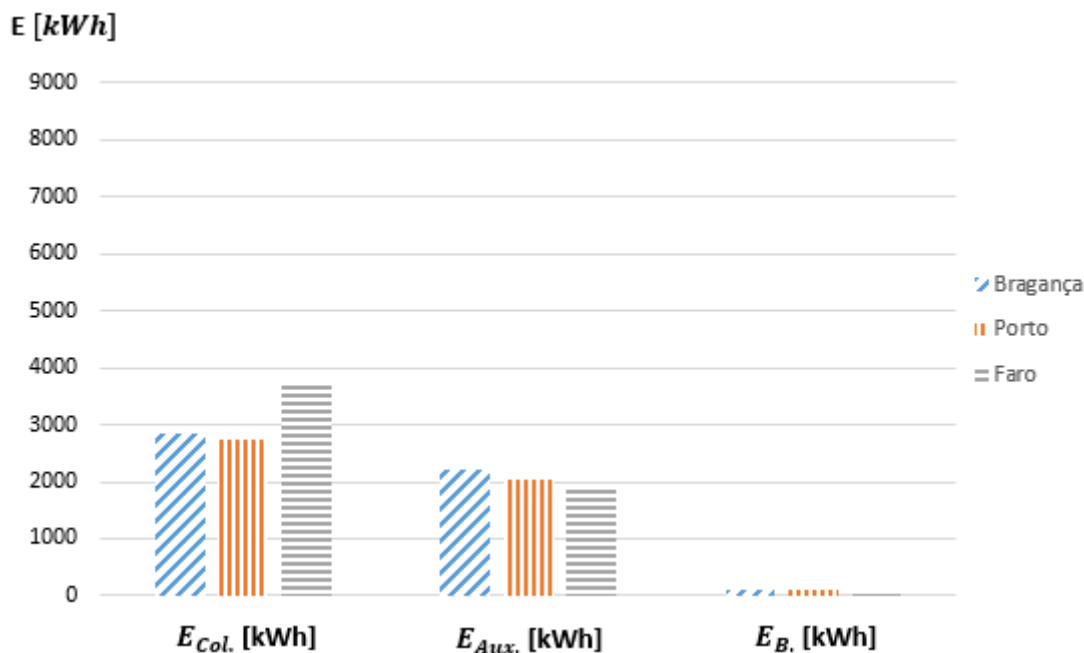


Figura 3.16: Consumos energéticos anuais do sistema solar de AQS, com a nova estratégia de controlo implementada, para uma inclinação equivalente a $10,49^\circ$

Tabela 3.12: Consumos energéticos em *kWh* dos equipamentos utilizados pelo sistema solar para AQS, com a nova estratégia de controlo implementada e com a inclinação do colector, equivalente à da latitude do local, para as localidades em estudo

Inclinação	Bragança			Porto			Faro		
	41,82°			41,15°			37,02°		
Mês	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$
Jan.	168,4	192,6	0,47	178,5	212,1	0,46	265,6	209,0	0,56
Fev.	186,6	201,3	0,48	179,3	186,6	0,49	245,8	147,7	0,62
Março	295,0	206,6	0,59	284,3	199,0	0,59	380,1	153,1	0,71
Abril	246,0	152,8	0,62	262,3	145,1	0,64	325,0	139,8	0,70
Mai	278,4	174,7	0,61	298,3	154,1	0,66	372,3	136,4	0,73
Junho	328,3	175,3	0,65	314,0	153,6	0,67	434,8	120,6	0,78
Julho	406,7	146,2	0,74	327,0	127,8	0,72	459,6	137,0	0,77
Agosto	437,0	141,7	0,76	366,3	125,6	0,74	427,8	107,3	0,80
Set.	343,3	111,9	0,75	341,1	144,2	0,70	427,7	101,9	0,81
Out.	253,1	214,0	0,54	274,2	149,3	0,65	371,8	145,5	0,72
Nov.	153,6	196,6	0,44	164,4	154,8	0,52	228,6	150,3	0,60
Dez.	101,1	261,9	0,28	122,1	192,9	0,39	211,2	180,8	0,54
Total	3197,5	2175,7	0,60	3111,8	1945,1	0,62	4150,4	1729,5	0,71

Tabela 3.13: Consumos energéticos em kWh do sistema solar para AQS, com a nova estratégia de controlo implementada, com a inclinação do colector equivalente a $10,49^\circ$, para as localidades em estudo

Mês	Bragança			Porto			Faro		
	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$	$E_{Col.}^{AQS}$	$E_{Aux.}^{AQS}$	$f_{Sol.}$
Jan.	84,4	252,4	0,25	94,3	220,4	0,30	151,4	153,5	0,50
Fev.	115,7	188,1	0,38	108,7	170,0	0,39	168,3	140,9	0,54
Março	225,1	216,8	0,51	210,6	171,7	0,55	305,0	181,4	0,63
Abril	232,8	162,8	0,59	247,4	135,4	0,65	313,7	129,8	0,71
Mai	301,6	146,5	0,67	323,1	158,6	0,67	423,9	157,2	0,73
Junho	383,0	169,9	0,69	394,1	190,7	0,67	471,2	167,3	0,74
Julho	484,1	170,7	0,74	386,4	143,5	0,73	538,2	189,4	0,74
Agosto	441,6	172,4	0,72	371,8	147,6	0,72	476,3	178,3	0,73
Set.	281,8	115,5	0,71	277,1	150,0	0,65	360,7	128,4	0,74
Out.	163,3	133,0	0,55	178,9	111,4	0,62	258,2	104,0	0,71
Nov.	81,5	213,6	0,28	91,9	185,2	0,33	142,8	152,0	0,48
Dez.	40,4	278,9	0,13	56,1	241,0	0,19	111,1	176,3	0,39
Total	2835,2	2220,5	0,56	2740,4	2025,4	0,58	3720,7	1858,6	0,67

Tabela 3.14: Energia eléctrica em kWh , consumida pelas bombas de circulação para o sistema de AQS com sistema solar auxiliar, e controlo da temperatura do reservatório, para as localidades em estudo

Mês	Bragança		Porto		Faro	
	$41,82^\circ$	$10,49^\circ$	$41,15^\circ$	$10,49^\circ$	$37,02^\circ$	$10,49^\circ$
Jan.	5,5	5,1	5,8	5,5	6,9	6,4
Fev.	5,8	5,5	5,8	5,4	6,4	6,1
Março	7,7	7,4	7,6	7,3	7,9	7,7
Abril	7,2	7,6	7,3	7,8	7,3	7,8
Mai	8,2	9,1	8,3	9,0	8,8	9,3
Junho	9,1	9,8	8,5	9,5	9,1	9,9
Julho	9,3	10,3	8,9	9,6	8,9	10,1
Agosto	8,8	9,5	8,5	9,0	8,3	9,4
Set.	7,8	7,9	7,6	7,5	8,3	8,2
Out.	6,8	6,4	7,0	6,7	7,7	7,3
Nov.	5,1	4,6	5,9	5,4	6,3	6,1
Dez.	4,3	3,7	5,2	4,7	6,3	5,6
Total	85,6	86,9	86,5	87,5	92,4	93,9

Verifica-se deste modo, que utilizando a nova estratégia de controlo, não só se verifica que a temperatura interior do reservatório nunca atinge os $100^{\circ}C$, os valores das fracções solares são bastante razoáveis, especialmente em Faro, apesar de em alguns meses, a fracção solar ser superior a 70%, principalmente na estação de arrefecimento. Através da estratégia de controlo utilizada, é possível regular a temperatura do reservatório para que esta nunca atinja os $100^{\circ}C$, através do caudal de água da rede insuflado no reservatório. Verificam-se fracções solares inferiores a 50% em alguns meses da estação de aquecimento, no entanto, estes valores são expectáveis de acordo com as condições climáticas dos locais. Como o sobreaquecimento não é problemático, para efeitos de cálculo, serão utilizados colectores, cuja inclinação é equivalente à latitude do local.

Os consumos energéticos, quer da bomba, quer da caldeira são praticamente idênticos aos do sistema anterior. Os resultados obtidos, são no entanto bastante positivos, não sendo necessária a análise desta solução.

Para determinar o número de anos necessários, para a instalação do colector solar se tornar rentável, deve ser verificada a equação 3.4.

$$C.I.Sol. = Le_{Sol.} \cdot n_a \quad [€] \quad (3.4)$$

Sendo:

- $C.I.Sol.$: Custo da instalação do sistema solar para AQS, neste valor encontra-se incluído o valor dos colectores, o valor das suas ligações e do reservatório⁷ [€];
- n_a : Número de anos apartir do qual, através do investimento inicial, se obtém retorno económico [anos];

O número de anos necessário para se obter retorno económico, com a instalação do sistema solar de AQS, encontra-se representado na tabela 3.15.

Tabela 3.15: Número de anos necessários para ser obtido retorno económico, com a instalação do sistema solar

	Bragança	Porto	Faro
n_a	49,2	50,5	37,9

Outra forma de regular o valor da fracção solar, seria através da colocação de objectos para a obstrução da radiação solar captada pelo colector solar, no entanto esta análise não será feita, pois a versão do *TRNSYS* utilizada, apenas possui uma obstrução disponível para os componentes (podem ser o *Type 64*, *Type 67* ou *Type 68*) [58], que reduz significativamente os valores da fracção solar.

Será agora realizada a comparação entre os resultados obtidos por esta solução com os das soluções, que não utilizam colectores solares para AQS. Uma destas soluções, utiliza apenas a caldeira já testada (*SSR*) para o aquecimento da água proveniente da

⁷O valor de cada componente encontra-se calculado no anexo G.1 sendo este no total 3364 €

rede, enquanto a outra incluí a caldeira e o reservatório(*SSC*)⁸.

Os resultados encontram-se representados nas figuras 3.17 e 3.18 e nas tabelas 3.16 e 3.17.

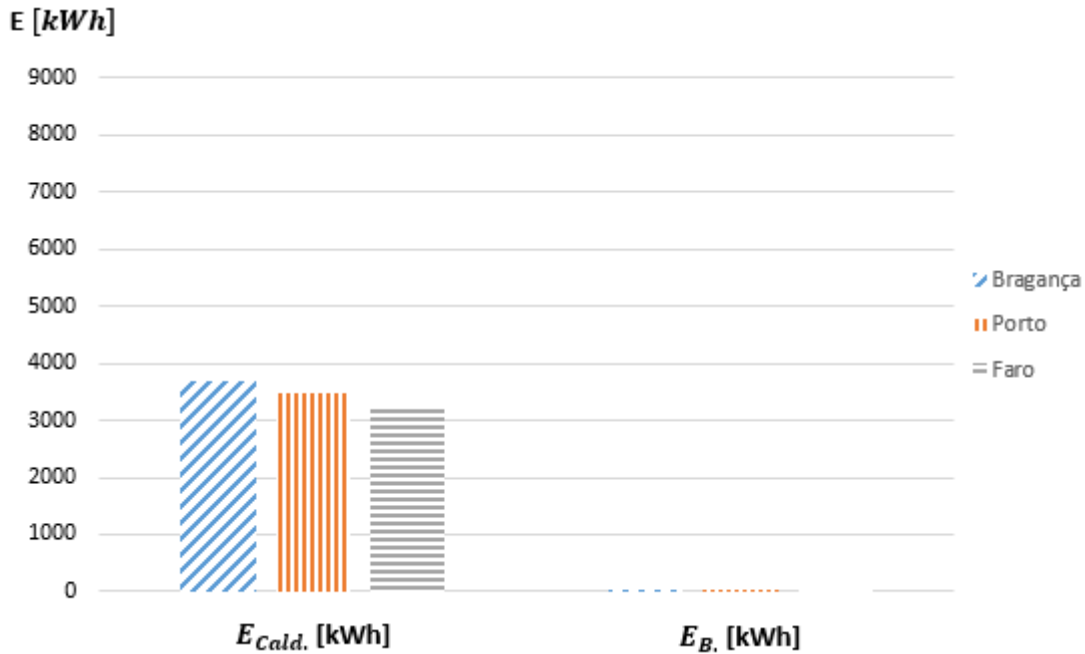


Figura 3.17: Consumos energéticos anuais para o sistema de AQS, sem reservatório nem colectores solares

⁸Como já foi referido na secção 2.11, as soluções que utilizam o reservatório, necessitam de um aquecimento semanal, para a eliminação da *legionella*, no entanto, não é expectável que os 100°C sejam atingidos, até porque o reservatório encontra-se perfeitamente isolado, a evolução das suas temperaturas, encontra-se representada no anexo 2.11

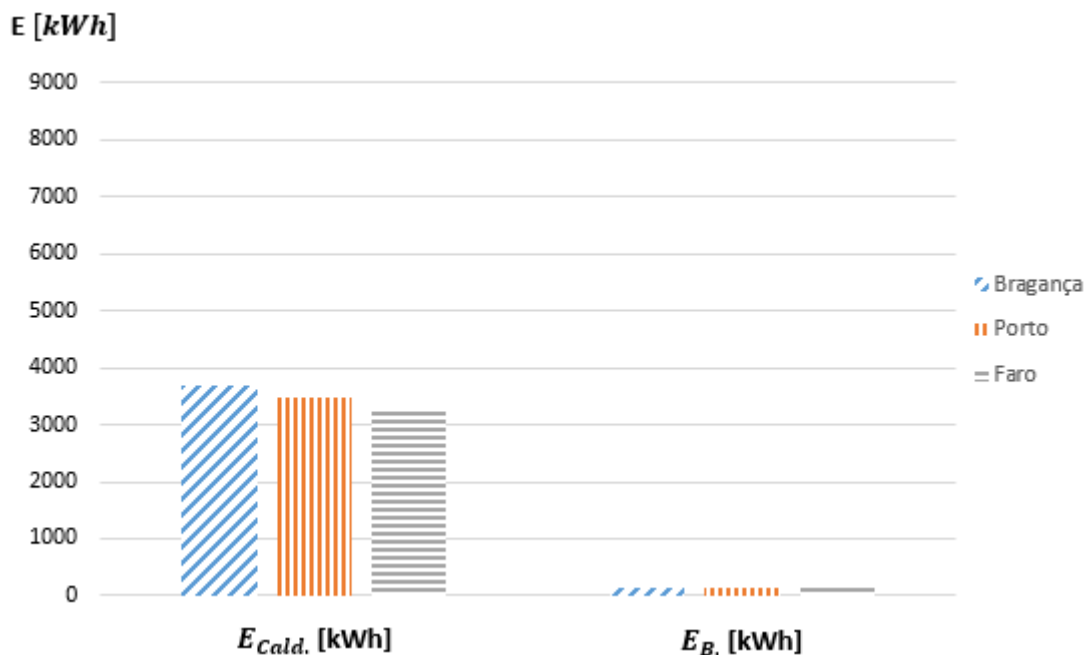


Figura 3.18: Consumos energéticos anuais para o sistema de AQS, com reservatório mas sem colectores solares

Tabela 3.16: Energia consumida pela caldeira em kWh , para os sistema de AQS sem colectores solares, para as localidades em estudo

Mês	Bragança		Porto		Faro	
	<i>SSR</i>	<i>SCR</i>	<i>SSR</i>	<i>SCR</i>	<i>SSR</i>	<i>SCR</i>
Jan.	339,7	351,3	315,8	327,4	300,1	312,5
Fev.	308,6	305,3	285,7	282,4	270,8	268,3
Março	336,0	336,9	311,6	312,5	293,7	296,0
Abril	316,1	307,8	295,3	287,5	276,2	270,0
Maio	312,1	308,9	295,0	292,8	273,8	273,1
Junho	284,1	301,1	272,2	290,2	251,0	270,8
Julho	285,5	279,0	276,6	270,8	254,6	250,6
Agosto	282,8	281,3	275,5	274,5	254,2	254,8
Set.	277,3	275,2	269,4	268,0	250,4	250,7
Out.	302,1	299,4	290,8	288,9	272,5	271,9
Nov.	306,1	302,8	290,9	288,4	274,7	273,3
Dez.	329,0	325,0	308,8	304,9	293,0	290,6
Total	3679,3	3673,7	3487,6	3488,4	3265,0	3282,5

Tabela 3.17: Energia consumida em kWh , pelas bombas de circulação do sistema de AQS, para as localidades em estudo

Mês	Bragança		Porto		Faro	
	<i>SSR</i>	<i>SCR</i>	<i>SSR</i>	<i>SCR</i>	<i>SSR</i>	<i>SCR</i>
Jan.	2,5	13,1	2,5	13,0	2,5	13,0
Fev.	2,3	11,6	2,3	11,5	2,3	11,5
Março	2,5	12,8	2,5	12,7	2,5	12,7
Abril	2,5	12,4	2,5	12,3	2,5	12,3
Mai	2,5	12,9	2,5	12,9	2,5	12,9
Junho	2,0	11,3	2,0	11,3	2,0	11,3
Julho	2,1	11,5	2,1	11,5	2,1	11,5
Agosto	2,2	11,7	2,2	11,7	2,2	11,7
Set.	2,0	11,1	2,0	11,1	2,0	11,1
Out.	2,5	12,9	2,5	12,9	2,5	12,9
Nov.	2,5	12,4	2,5	12,4	2,5	12,4
Dez.	2,5	12,7	2,5	12,6	2,5	12,6
Total	28,2	86,9	28,2	87,5	28,2	93,9

Verifica-se deste modo, que os consumos energéticos são muito mais reduzidos para o sistema que utiliza apenas uma caldeira, sendo por isso a solução mais favorável.

Para determinar qual a melhor solução em termos económicos, será necessário determinar o tempo que demora para a instalação do sistema solar se tornar viável, através da seguinte igualdade.

$$C.I.Sol. + (CE_{Aux.,Sol.}^{AQS} + CE_{B.,Sol.}^{AQS}) \cdot n_{anos} = (CE_{Cald.}^{AQS} + CE_{B.}^{AQS}) \cdot n_{anos} \quad [€] \quad (3.5)$$

Em que:

- $CE_{Aux.,Sol.}^{AQS}$: Custo da energia consumida pela caldeira auxiliar, usada no sistema solar para AQS [€];
- $CE_{B.,Sol.}^{AQS}$: Custo da energia consumida pela bomba de circulação, usada no sistema solar para AQS [€];
- $CE_{Cald.}^{AQS}$: Custo da energia consumida pela caldeira auxiliar, usada para o sistema de AQS que não utiliza energia solar [€];
- $CE_{B.}^{AQS}$: Custo da energia consumida pela bomba de circulação, usada para o sistema de AQS que não utiliza energia solar [€];

Considerando uma vez mais, que o custo inicial do sistema solar é de 3364 €.

Utilizando a equação 3.5, obtêm-se os resultados apresentados na tabela 3.18.

Tabela 3.18: Custo anual da energia consumida pelos vários equipamentos

$CE_{Aux.,Sol.}^{AQS}$ [€]	47,52	43,34	39,77
$CE_{B.,Sol.}^{AQS}$ [€]	11,87	12,00	12,81
$CE_{Cald.}^{AQS}$ [€]	78,74	74,63	69,87
CE_B^{AQS} [€]	3,85	3,85	3,85
n_a	145,0	145,4	159,1

Os resultados da tabela 3.18, comprovam que o número de anos necessários para o sistema solar de AQS se tornar a solução mais rentável em termos económicos, é muito superior à esperança média de vida humana para qualquer uma das localidades em estudo. Estes resultados foram obtidos devido à simplificação que advém da não existência de um projecto das redes hidráulicas do edifício, para as duas soluções, sendo que, provavelmente, o circuito para a solução solar seria ligeiramente mais caro.

A não inclusão do preço dos isolantes térmicos que devem ser utilizados, quer para as redes hidráulicas, quer para o reservatório, faz com que seja expectável que o número de anos para o investimento se tornar rentável a nível económico, seja ainda maior.

Apesar de não ter sido analisada uma solução com glicol no reservatório, não é expectável que haja uma melhoria significativa dos resultados para as aplicações em estudo, como foi verificado em [59]. Assim, para os cálculos que serão efectuados nos próximos capítulos, serão utilizados os dados obtidos para o sistema de AQS que apenas utiliza a caldeira. Outro dos motivos, que irá ser verificado na secção 3.6, é que devido a este sistema possuir menores consumos de energia eléctrica, será necessária a instalação de uma menor quantidade de colectores solares fotovoltaicos, para a obtenção de um balanço energético nulo de energia primária não renovável, uma vez que a electricidade da rede não é 100% renovável.

3.3 Sistema de Climatização

Para a presente secção e para as secções seguintes, será adoptada a seguinte nomenclatura para a análise do comportamento, do sistema de climatização implementado no edifício em estudo, em que:

- $E_{Cald.}^{SC}$: Energia consumida pela caldeira, usada para o sistema de climatização [kWh];
- E_B^{SC} : Energia consumida pela bomba, usada pelo sistema de climatização [kWh];
- E_V^{SC} : Energia eléctrica consumida pelo ventilador, ou pelo ventiloconvetor, ou seja pelo aparelho usado para a insuflação do edifício, do ar proveniente do sistema de climatização [kWh];
- $E_{Ch.}^{SC}$: Energia consumida pelo mini-*chiller* [kWh];
- $H_{sobreaq.,25}$: Número de Horas num ano em que a temperatura interior do edifício se encontra acima dos $25^\circ C$ [horas];

- $\%H_{sobreaq.,25}$ [%]: Percentagem anual das horas em que a temperatura interior do edifício se encontra acima dos 25°C , em relação ao número de horas num ano (foram consideradas 8760 horas) [%];
- $H_{sobreaq.,26}$: Número de Horas num ano em que a temperatura interior do edifício se encontra acima dos 26°C [horas];
- $\%H_{sobreaq.,26}$ [%]: Percentagem anual das horas em que a temperatura interior do edifício se encontra acima dos 26°C , em relação ao número de horas num ano (foram consideradas 8760 horas) [%];

A evolução da temperatura no interior do edifício para os dias de projecto, usando o sistema de climatização que utiliza o venttiloconvector, encontra-se representada nas figuras 3.19, 3.20 e 3.21 para o intervalo de dias considerado na estação de aquecimento⁹.

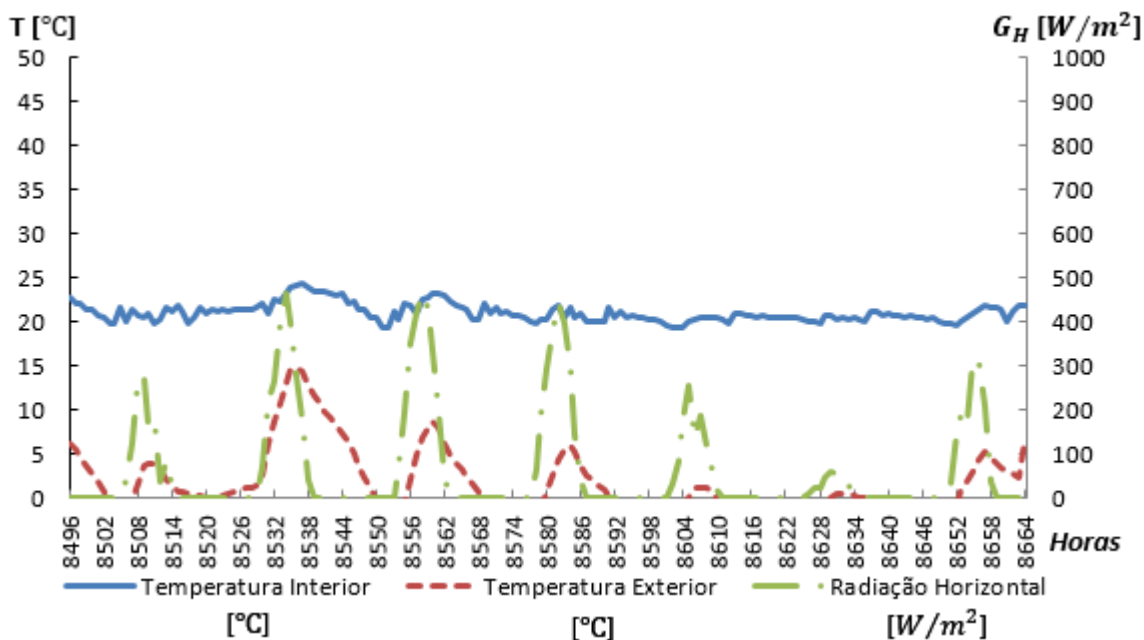


Figura 3.19: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na estação de aquecimento, para os dias de projecto, com o sistema de climatização activo

⁹A variação das temperaturas para esta solução com uma espessura de 100 mm, encontra-se representada no anexo C.2

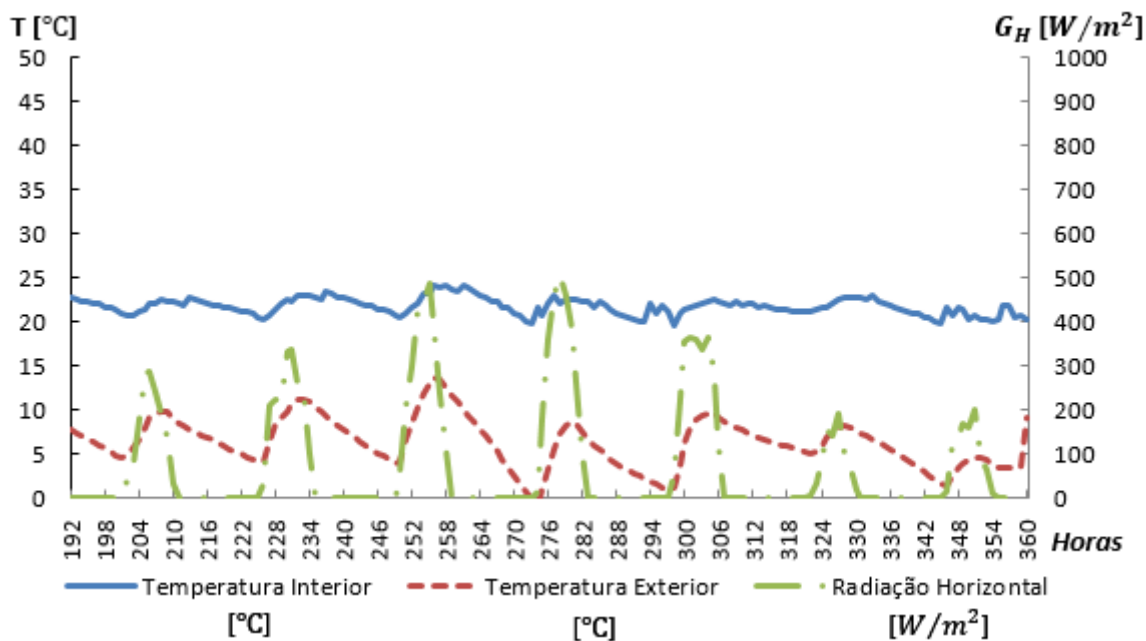


Figura 3.20: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na estação de aquecimento, para os dias de projecto, com o sistema de climatização activo

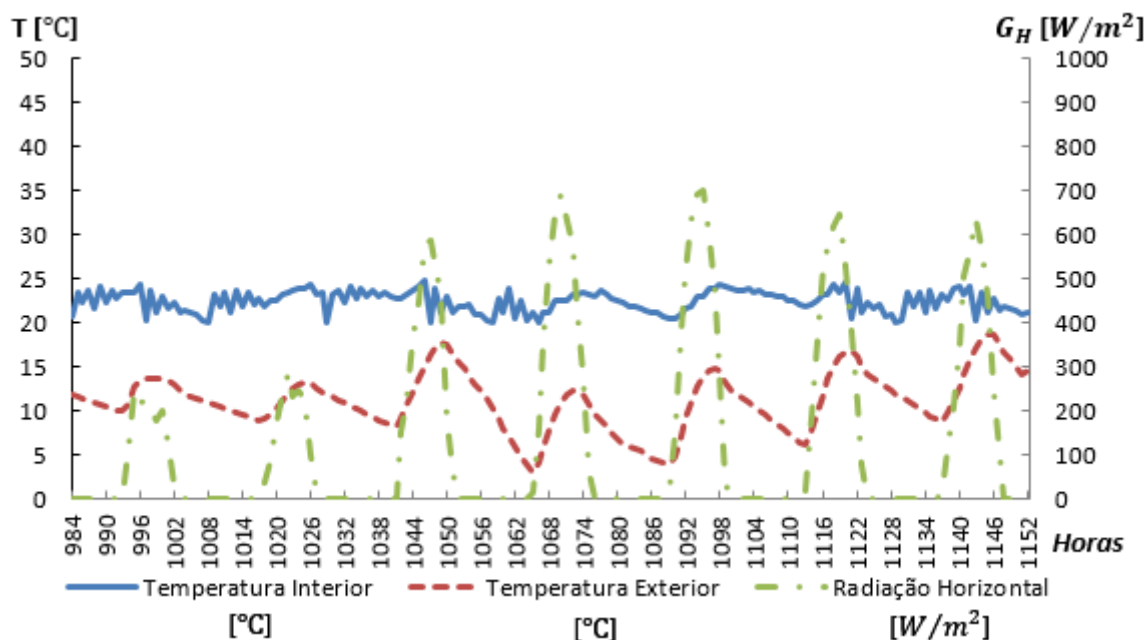


Figura 3.21: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na estação de aquecimento, para os dias de projecto, com o sistema de climatização activo

A evolução das temperaturas no interior do edifício, para o sistema com ventilo-convector na estação de aquecimento, é idêntica em Bragança e no Porto, sendo mais uniforme no Porto, pois existe menor radiação solar incidente, sendo necessário aquecer menos vezes o ar no interior do edifício. Em Faro existem vários picos, pois a radiação solar incidente é superior às outras localidades em estudo, os períodos de maior radiação provocam o aquecimento do interior da habitação, mesmo sem o sistema de climatização estar ligado.

As figuras 3.22, 3.23 e 3.24 para o intervalo de dias considerado na estação de arrefecimento, nas respectivas localidades.

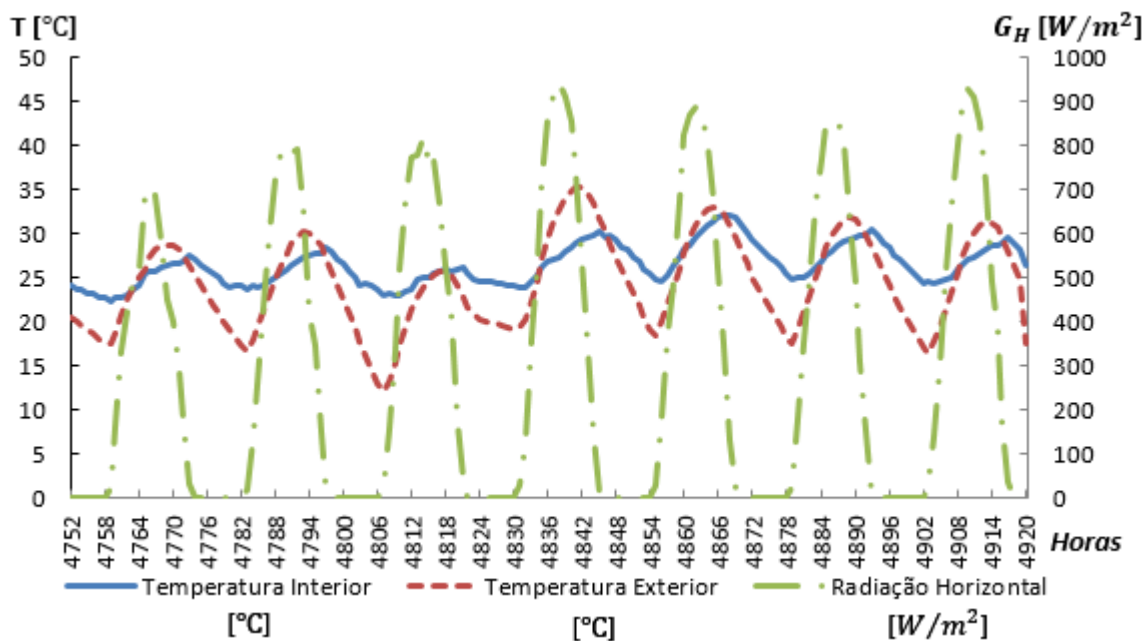


Figura 3.22: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, sem o sistema de arrefecimento activo

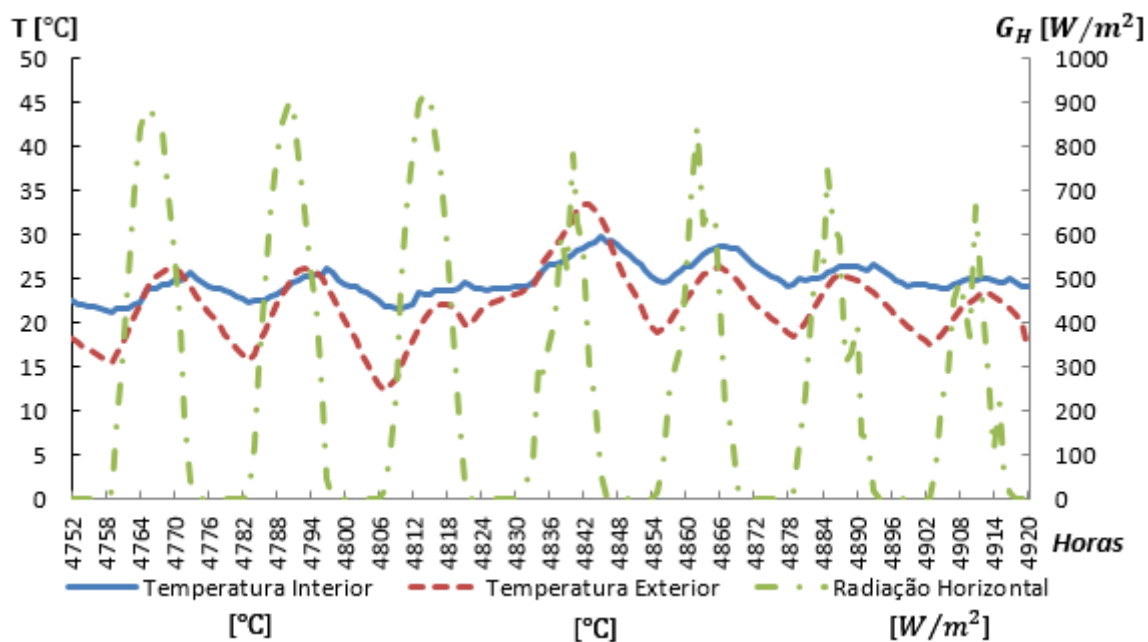


Figura 3.23: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, sem o sistema de arrefecimento activo

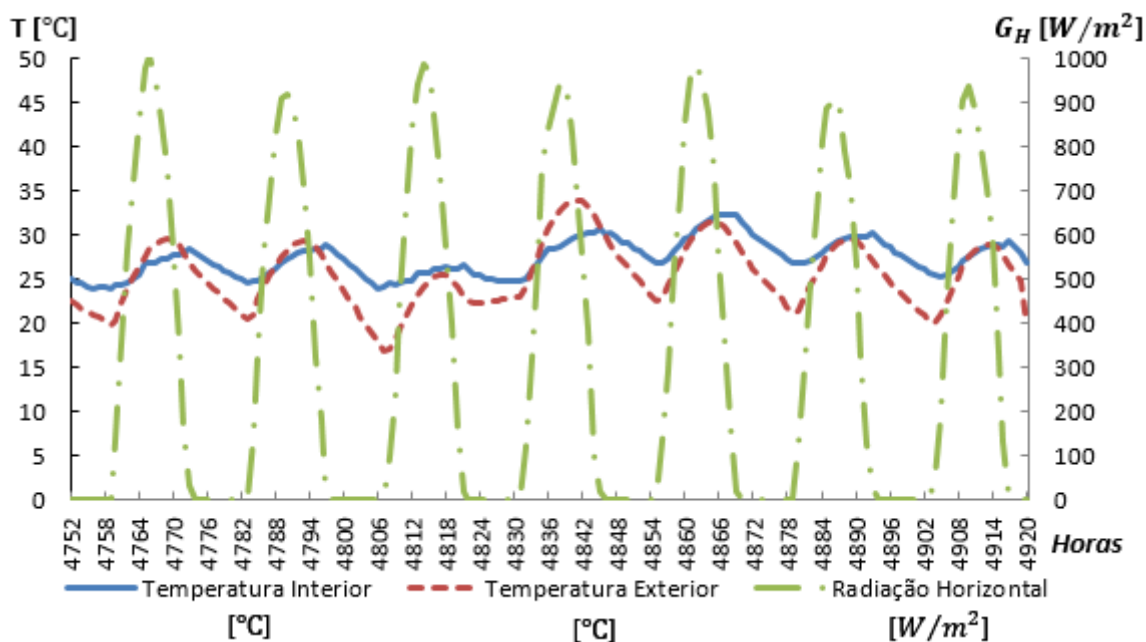


Figura 3.24: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, sem o sistema de arrefecimento activo

A evolução da temperatura interior na estação de arrefecimento é idêntica para qualquer das localidades em estudo, pois existe uma relação a temperatura interior do edifício e a radiação solar incidente estão directamente relacionadas, fruto da inexistência de um sistema de climatização activo, que modifica a temperatura interior para um determinado valor desejado. Assim, a temperatura aumenta com o aumento da radiação, diminuindo também quando a radiação diminuí. É também possível de verificar, que as temperaturas interiores são muito elevadas em determinados momentos (acima dos 30°C), coincidindo com os momentos onde a radiação solar é maior.

As figuras 3.25, 3.26 e 3.27 representam as evoluções da temperatura interior em função da radiação e da temperatura exterior para os dias de projecto de Verão da respectiva localidade.

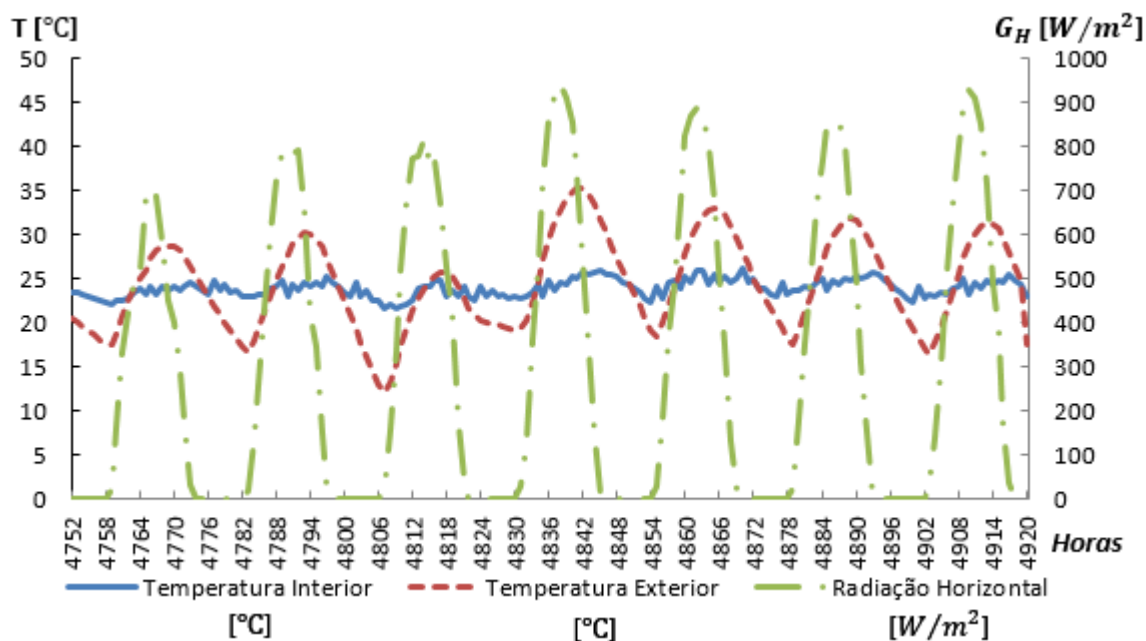


Figura 3.25: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, com o sistema de arrefecimento activo

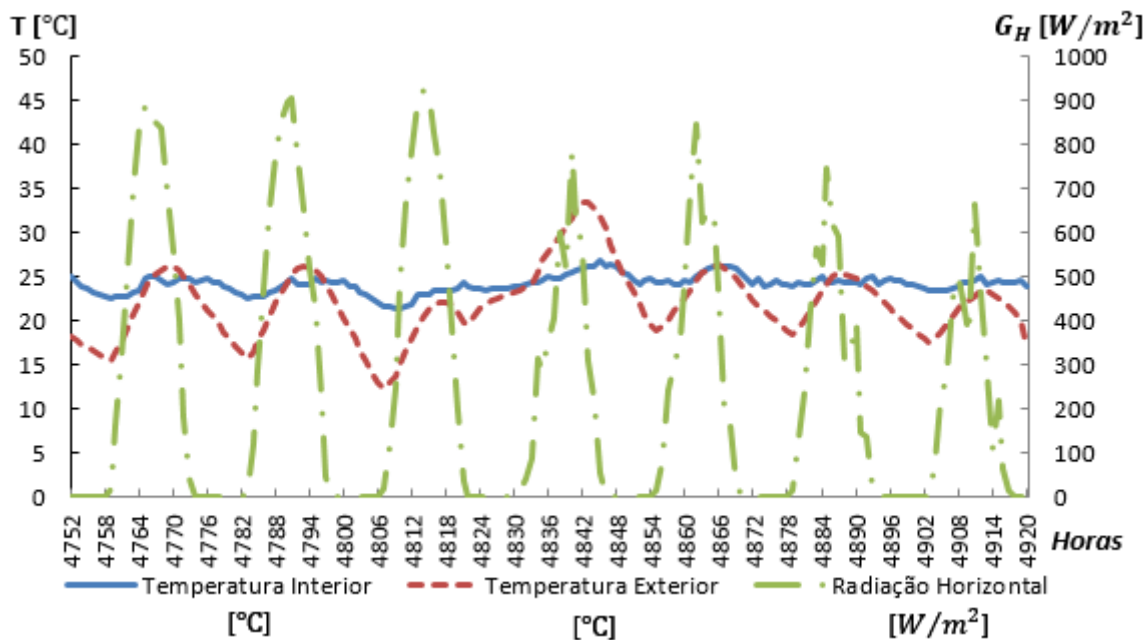


Figura 3.26: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, com o sistema de arrefecimento activo

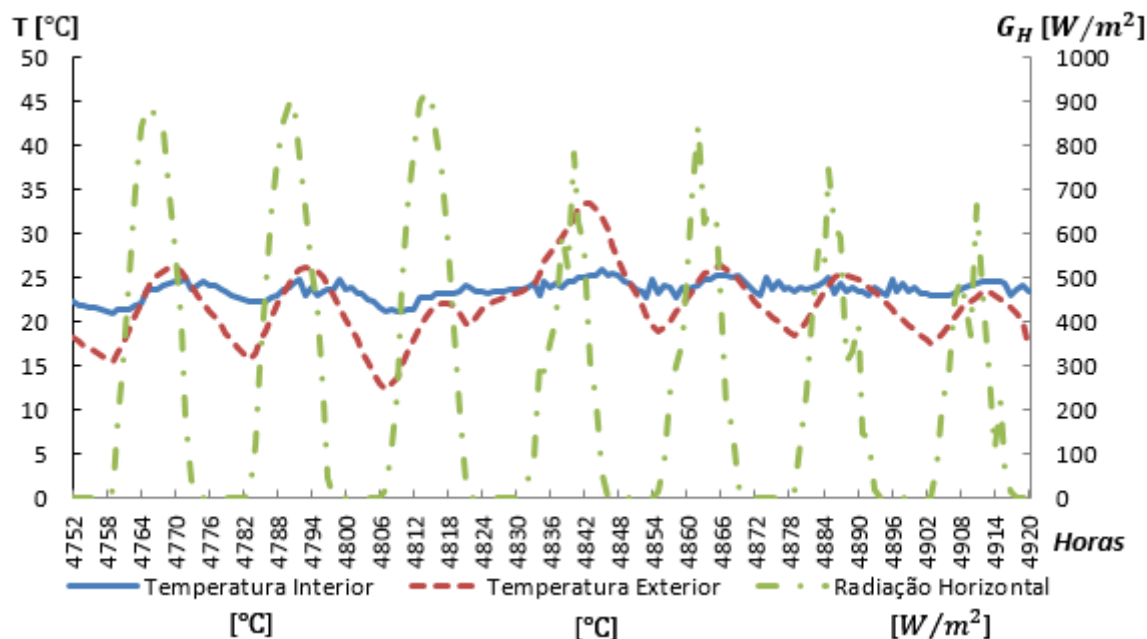


Figura 3.27: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na estação de arrefecimento, para os dias de projecto, com o sistema de arrefecimento activo

A energia consumida pelos equipamentos do sistema de climatização em análise encontra-se representada nas figuras 3.28 e 3.29 e na tabela 3.19.

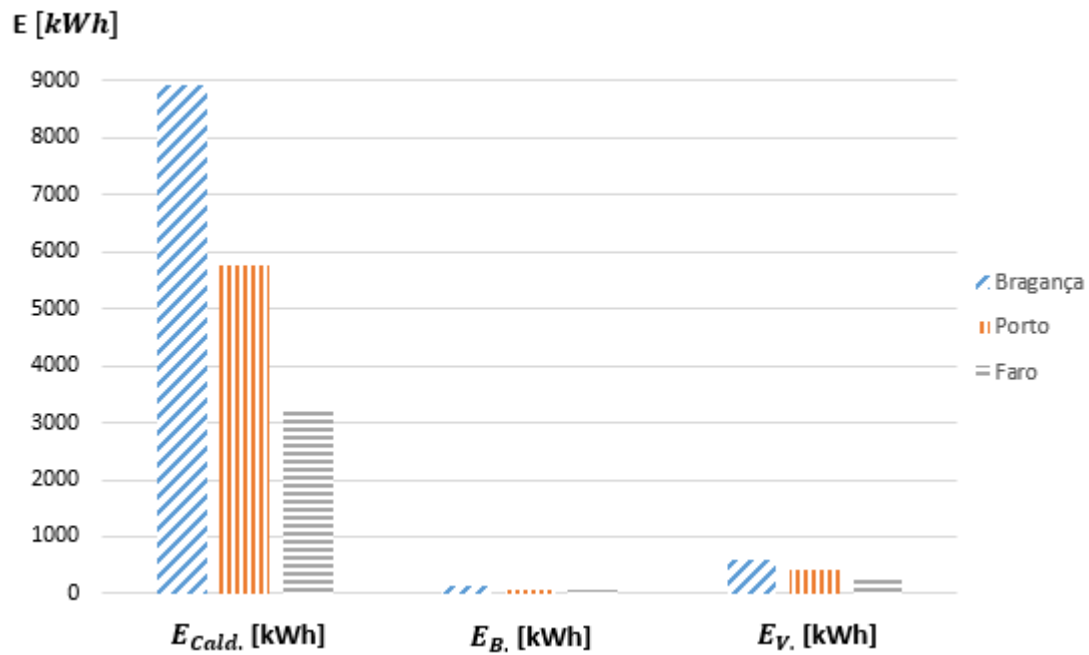


Figura 3.28: Consumo de energia anual, dos equipamentos utilizados, para a climatização do edifício, para cada uma das localidades, com os painéis *CSP* de 80 mm de espessura

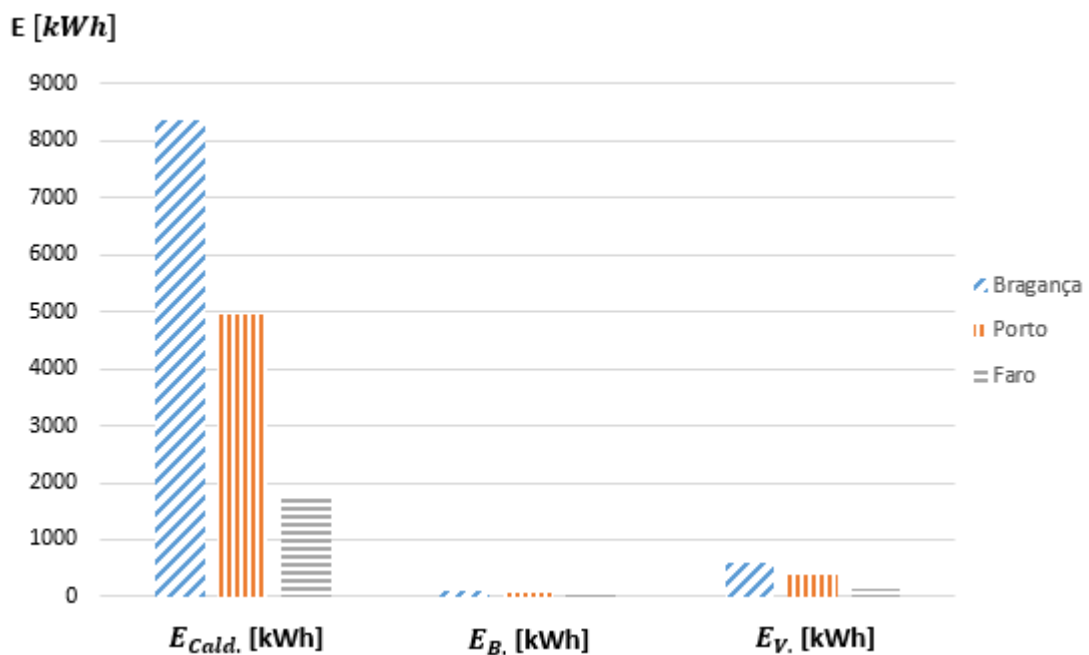


Figura 3.29: Consumo de energia anual dos equipamentos utilizados, para a climatização do edifício, para cada uma das localidades em estudo, com os painéis *CSP* de 100 mm de espessura

Tabela 3.19: Energia anual consumida para a climatização do Edifício, sem sistema de arrefecimento auxiliar

	$F_{pu,i}$ [kWh_{EP}/kWh]	Bragança		Porto		Faro	
		80	100	80	100	80	100
$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	1,0	8913,4	8366,2	5751,1	4950,9	3268,4	1763,4
E_B^{SC} [kWh]	2,5	124,4	117,4	83,4	76,9	55,5	47,8
E_V^{SC} [kWh]	2,5	596,4	579,8	429,6	384,3	279,3	126,2
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC}$ [kWh_{EP}]	-	10715,3	10109,1	7033,8	6104,0	4105,4	2198,4

Através dos resultados obtidos para os consumos energéticos, é possível verificar que estes são maiores em Bragança e menores em Faro, tal como era expectável face aos valores das necessidades energéticas, obtidos na secção 3.1, assim como a evolução da temperatura no interior do edifício para cada localidade.

O número de horas em que a temperatura no interior do edifício ultrapassa os $25^\circ C$, encontra-se representada na tabela 3.20.

Tabela 3.20: Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^\circ C$, sem a ajuda de um sistema de arrefecimento auxiliar

	Bragança		Porto		Faro	
	80	100	80	100	80	100
$H_{sobreaq.,25}$	751	777	370	376	1372	1425
$\%H_{sobreaq.,25}$ [%]	8,6	8,9	4,2	4,3	15,7	16,3
$H_{sobreaq.,26}$	484	479,0	170	171	892	918
$\%H_{sobreaq.,26}$ [%]	5,5	5,5	1,9	2,0	10,2	10,5

Analisando os resultados obtidos, é possível verificar que aumentado a espessura de isolamento das paredes, os seus consumos energéticos também sofrem uma diminuição. No entanto, como era expectável devido ao aumento das necessidades de arrefecimento, o número de horas de sobreaquecimento aumentou.

Apenas em Faro o limite de 10% foi ultrapassado, no entanto durante menos de 10% do tempo a temperatura encontra-se acima dos $26^\circ C$, como já foi referido na secção 2.11, este valor é aceitável para assegurar o conforto térmico dos ocupantes.

Para o mesmo sistema de aquecimento, mas auxiliado por um mini-*chiller* para o arrefecimento no Verão foram obtidos os resultados representados nas figuras 3.30 e 3.31 e nas tabelas 3.21 e 3.22.

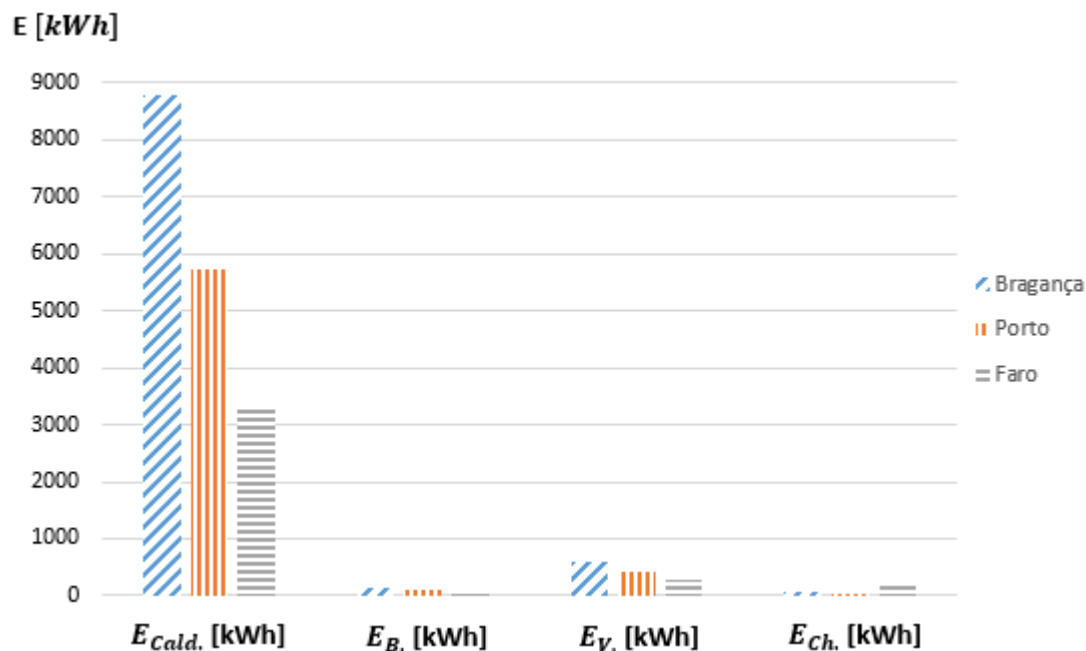


Figura 3.30: Representação dos consumos energéticos dos equipamentos utilizados para a climatização do edifício em estudo, com os painéis *CSP* de 80 mm de espessura, com o sistema de arrefecimento auxiliar activo

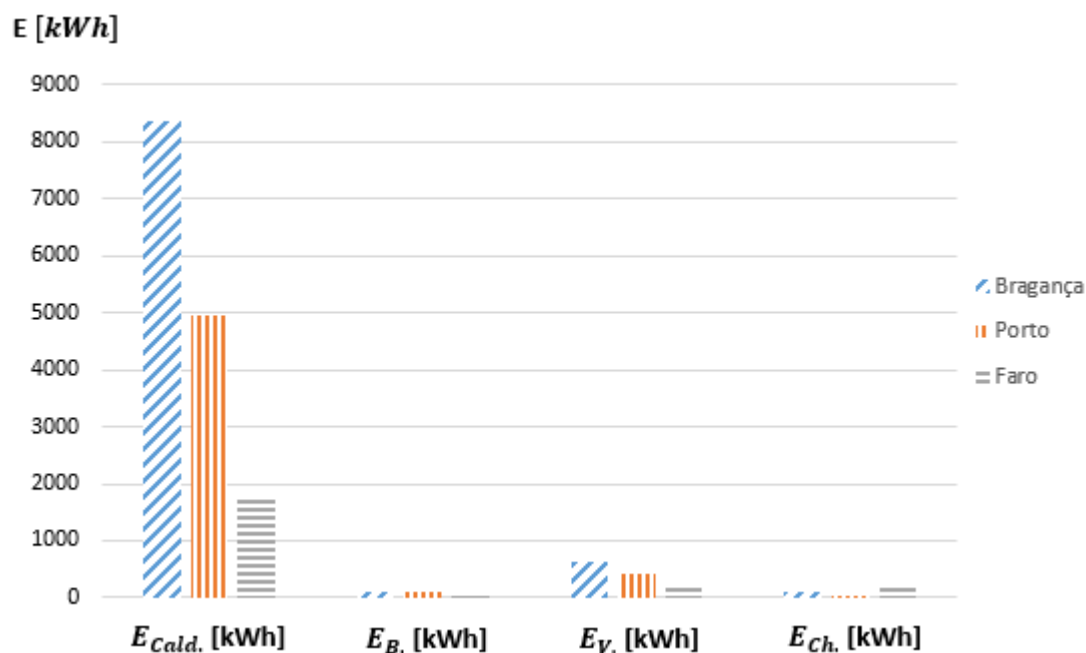


Figura 3.31: Representação dos consumos energéticos dos equipamentos utilizados para a climatização do edifício em estudo, com os painéis *CSP* de 100 mm de espessura, com o sistema de arrefecimento auxiliar activo

Tabela 3.21: Energia anual consumida para a climatização do Edifício com o sistema de arrefecimento auxiliar activo

	$F_{pu,i}$ [kWh _{EP} /kWh]	Bragança		Porto		Faro	
		80	100	80	100	80	100
$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	1,0	8793,1	8366,2	5713,2	4939,9	3268,9	1763,4
E_B^{SC} [kWh]	2,5	142,0	117,4	91,9	85,2	83,2	47,8
E_V^{SC} [kWh]	2,5	603,7	626,3	432,1	406,2	279,5	212,0
$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	2,5	68,6	87,6	37,8	38,1	163,6	208,7
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC}$ [kWh _{EP}]	-	10828,6	10444,1	7117,8	6263,8	4584,5	2934,9

Tabela 3.22: Número de horas em que a temperatura interior do edifício, excede os 25°C, com o sistema auxiliar activo

	Bragança		Porto		Faro	
	80	100	80	100	80	100
$H_{sobreaq.,25}$	216	179	77	67	205	323
% $H_{sobreaq.,25}$ [%]	2,5	2,0	0,9	0,8	2,3	3,7

Tal como foi verificado anteriormente, uma maior espessura de isolamento continua a ser favorável para uma utilização mais eficiente da energia, algo expectável, em conformidade com os resultados verificados na secção 3.1, pois as necessidades de aquecimento, são muito superiores às de arrefecimento. Como era esperado, de acordo com a evolução horária das temperaturas na semana crítica analisada para a estação de arrefecimento, o tempo de sobreaquecimento com o mini-chiller é muito mais reduzido, nunca sendo atingidas temperaturas interiores muito elevadas.

Para determinar o tempo necessário, para que a escolha de um edifício, cujas paredes têm uma espessura de 100 mm, traga retorno económico, relativamente a um edifício que utilize as outras paredes, é usada a equação:

$$Ce_{Edif.,100} \cdot n_a + CI_{Edif.,100} = Ce_{Edif.,80} \cdot n_a + CI_{Edif.,80} \quad [€] \quad (3.6)$$

Em que $Ce_{Edif,i}$ [€/ano], representa o custo anual da energia consumida pelo edifício cuja espessura do CSP, toma o valor "i" em [mm] e $CI_{Edif,i}$, o custo inicial do mesmo edifício [€].

O número de anos necessário, para que a solução cujo custo inicial é maior, relativamente à que tem o custo mais baixo, tenha retorno económico devido às poupanças a nível energético, deve ser como já foi visto anteriormente, razoável para o ciclo de vida de um ser humano. O valor aceitável depende do que se pretende, para avaliar as emissões de carbono, normalmente considera-se cerca de 50 anos [3], no entanto para avaliar se o negócio é ou não rentável em termos económicos, normalmente costuma ser admissível um período de tempo até 20 anos, pois a maioria dos equipamentos têm um ciclo de vida que ronda este período. No entanto, não foram fornecidos os dados relativamente ao preço de ambas as soluções, para esta análise ser realizada.

Outra análise, cuja realização é no entanto, impossível, por falta de dados disponíveis, seria a análise dos consumos energéticos do edifício variando as propriedades dos envidraçados utilizados, no entanto mantendo a sua área.

Esta análise poderia ser realizada através da equação:

$$Ce_{env.,Ui} \cdot n_a + CI_{env.,Ui} = Ce_{env.,Uj} \cdot n_a + CI_{env.,Uj} \quad [€] \quad (3.7)$$

Em que $Ce_{env.,Ui}$ [€/ano], representa o custo anual da energia do edifício com envidraçado, com o coeficiente global de transferência de calor, cujo valor é Ui [$W/(m^2 \cdot K)$] e $CI_{env.,Ui}$ [€], representa o custo inicial do edifício com os mesmos envidraçados. Os coeficientes do segundo membro têm um significado análogo, mas para envidraçados, cujo coeficiente toma o valor definido por Uj .

A equação 3.7, assume que todos os envidraçados instalados no edifício, possuem as mesmas características, o que normalmente se verifica, caso contrário a análise teria que ser ajustada em conformidade.

3.4 Classificação Energética do Edifício

Utilizando a equação 2.19 presente na secção 2.10 e utilizando a Tabela I.01 do Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013 [12], é possível a classificação do edifício em estudo, em termos energéticos.

As necessidades de aquecimento e arrefecimento contabilizadas foram as obtidas através da simulação do edifício sem sistema de climatização, presente na secção 3.1, considerando que o sistema satisfaz todas as necessidades de aquecimento e no caso dos sistemas que usam o mini-*chiller* também as de arrefecimento, caso contrário estas últimas não serão consideradas para o cálculo da classe energética.

Como o factor de energia primária não renovável da electricidade em Portugal, é de aproximadamente 0,59, este valor terá que ser retirado às necessidades de arrefecimento previamente calculadas, pois o mini-*chiller*, consome energia eléctrica.

A classificação energética do edifício, juntamente com as suas necessidades energéticas, encontram-se representada nas tabelas 3.23 e 3.24.

Tabela 3.23: Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis CSP de espessura 80 mm, sem sistema de arrefecimento auxiliar, com a energia em [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	195,1	9,5	134,5	-	0,3	7,1	0,02	A+
Porto	122,3	8,2	134,5	-	0,3	5,1	0,02	A+
Faro	92,5	17,0	134,5	-	0,3	3,3	0,02	A+

Tabela 3.24: Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis CSP de espessura 80 mm, e com o auxílio de um mini-*chiller* para o arrefecimento, com a energia em [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	195,1	9,5	134,5	1,6	0,3	8,0	0,03	A+
Porto	122,3	8,2	134,5	0,8	0,3	5,5	0,02	A+
Faro	92,5	17,0	134,5	3,1	0,3	5,2	0,04	A+

Através dos resultados obtidos, é possível concluir que o edifício possui um desempenho energético elevado, segundo a legislação em vigor, um edifício novo, tem que pertencer a uma classe energética não inferior à B^- [10], mesmo no caso mais desfavorável o edifício pertence à classe A^+ , a melhor classificação ao nível do desempenho energético, prevista pela legislação Portuguesa em vigor [8].

Avaliando a classe energética para o edifício com uma espessura de 100 mm obtêm-se os resultados representados nas tabelas 3.25 e 3.26.

Tabela 3.25: Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis CSP de espessura 100 mm e com o auxílio de um mini-chiller para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	195,1	9,5	134,5	-	0,3	6,9	0,02	A^+
Porto	122,3	8,2	134,5	-	0,3	4,5	0,02	A^+
Faro	92,5	17,0	134,5	-	0,3	1,7	0,01	A^+

Tabela 3.26: Necessidades energéticas e classe energética do edifício em análise, com painéis CSP de espessura 100 mm e com o auxílio de um mini-chiller para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	195,1	9,5	134,5	1,6	0,3	8,2	0,03	A^+
Porto	122,3	8,2	134,5	0,8	0,3	5,2	0,02	A^+
Faro	92,5	17,0	134,5	3,2	0,3	4,6	0,03	A^+

Analisando os resultados obtidos, verifica-se que o desempenho energético do edifício melhora com o aumento da espessura de isolamento, excepto em Faro, com o sistema de arrefecimento auxiliar activo, embora continue a ser um edifício A^+ . Isto é devido ao facto de este consumir uma maior quantidade de energia não renovável, devido aos maiores consumos de energia por parte do mini-chiller em Faro.

As necessidades de aquecimento, são nulas, pois é utilizado um sistema de aquecimento, que utiliza energia proveniente exclusivamente de fontes renováveis (como as pellets), enquanto que as necessidades de arrefecimento e de AQS, possuem valores quase desprezáveis.

É também possível verificar que se não for instalado qualquer aparelho para o arrefecimento, o desempenho energético do edifício melhora, embora a diferença seja quase insignificante, a classificação continua no entanto a ser A^+ para qualquer um dos casos. Em Faro, como foi visto na secção 3.3, é sempre aconselhável a sua instalação, se o objectivo for assegurar o cumprimento das horas de sobreaquecimento de um *Passivhaus*.

No caso hipotético, de ser utilizada uma caldeira que utiliza o gás natural como combustível, em vez de uma caldeira a pellets, seriam obtidos os resultados apresentados na tabela 3.27.

Tabela 3.27: Classificação energética do edifício em análise, com painéis *CSP* de espessura 100 mm e com o auxílio de um mini-*chiller* para o arrefecimento, com a energia em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{aq.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	195,1	9,5	134,5	168,9	1,6	11,8	34,7	0,64	B
Porto	122,3	8,2	134,5	89,3	0,8	11,8	22,1	0,47	A
Faro	92,5	17,0	134,5	47,1	3,2	11,8	19,6	0,33	A

Concluí-se que a utilização do gás natural, para além de prejudicial para o meio-ambiente, faz com que os edifícios tenham uma classificação energética inferior em relação aos que usam sistemas que consomem *pellets*, não sendo por isso aconselhável a sua utilização, para a obtenção de edifícios de elevado desempenho energético, segundo a legislação em vigor. No entanto, não quer dizer que seja uma solução menos interessante economicamente, pois a energia proveniente de fontes renováveis também tem um custo, podendo não ser mais favorável economicamente. É expectável que o edifício mais económico utilize energia de ambas as fontes [17].

3.5 Optimização da Envolvente do Edifício

Como é possível verificar pelos resultados obtidos na secção 3.4, o edifício em estudo tem um desempenho energético muito elevado, encontrando-se dentro do previsto para um *Passivhaus*. No entanto, através de uma alteração das propriedades da envolvente como as dimensões dos seus elementos, como por exemplo, a espessura do isolamento, o tipo de envidraçado utilizado ou o redimensionamento das palas, é possível uma diminuição ainda maior dos consumos de energia.

Na presente secção alguns destes elementos serão redimensionados, na tentativa de melhorar o desempenho energético do edifício.

As palas representadas na planta do edifício (2.2 da secção 2.1) têm um comprimento, que parece ser demasiado elevado (1,8 m), assim estas serão redimensionadas para verificar se é possível deste modo, melhorar o desempenho energético do edifício. As palas serão dimensionadas, como estando colocadas apenas na horizontal. Deste modo, elas permitem que na estação de aquecimento estas consigam captar a maior quantidade possível de radiação solar e na estação de arrefecimento, evitam que seja captada uma grande quantidade de radiação solar nas horas críticas, ou seja, o período em que a radiação solar incidente é maior e a altura solar é também menor (normalmente entre as 9 e as 15 horas). No dimensionamento das palas, foi tomada como hora de referência o meio-dia solar.

A figura 3.32 representa esquematicamente os ângulos e as distâncias envolvidas no redimensionamento das palas.

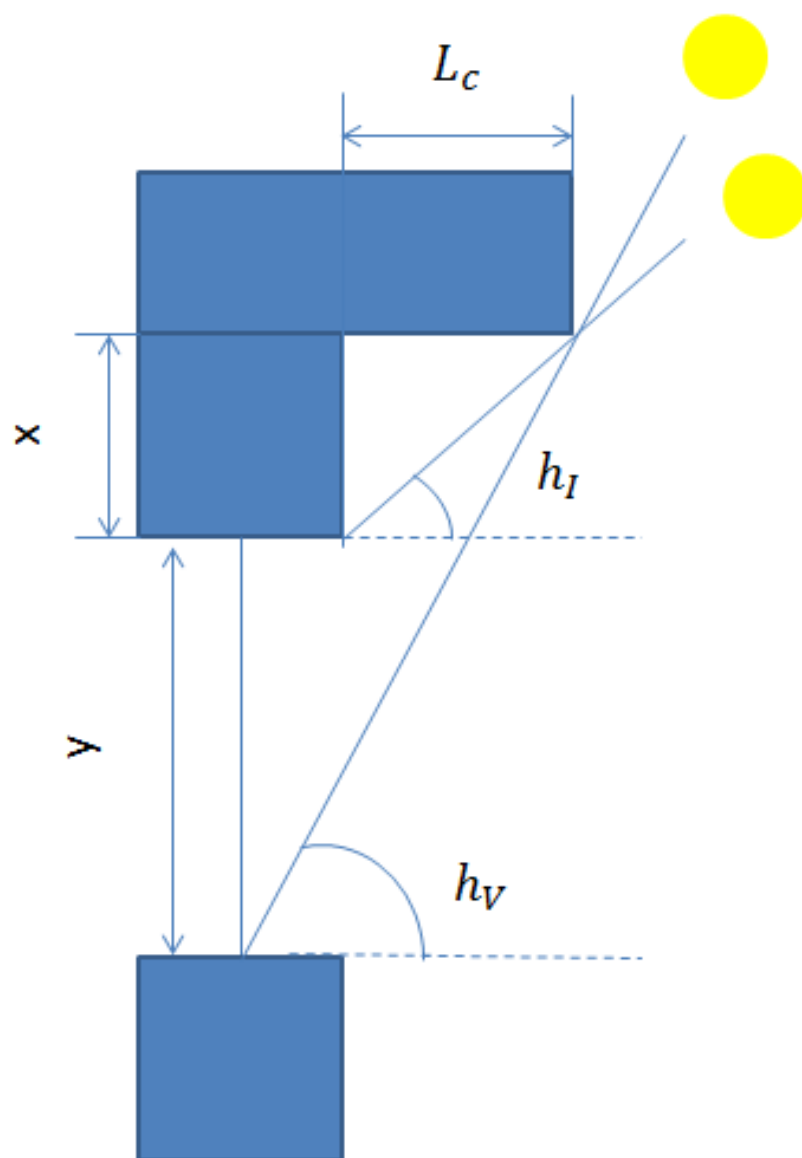


Figura 3.32: Representação esquemática do dimensionamento das palas

Para o redimensionamento das palas obtém-se assim, um sistema de 2 equações e 2 incógnitas, usando as equações 3.8 e 3.9.

$$tg(h_{sV}) = \frac{x}{L_c} \quad (3.8)$$

$$tg(h_{sI}) = \frac{x + y}{L_c} \quad (3.9)$$

Em que:

- h_{sV} - Altura Solar máxima na estação de arrefecimento, quando o tempo solar verdadeiro se encontra no meio-dia solar [°];
- h_{sI} - Altura Solar mínima na estação de aquecimento, quando o tempo solar verdadeiro encontra-se no meio-dia solar [°];
- x - Distância vertical desde o topo do envidraçado à pala [m];
- L_c - Comprimento da pala [m];
- y - Altura do vidro [m];

Os valores das alturas solares encontram-se representados na tabela 3.28.

Tabela 3.28: Valor das alturas solares para as localidades em estudo

Alturas Solares	Localidade		
	Bragança	Porto	Faro
h_{sV} [°]	72	72	76
h_{sI} [°]	25	25	29

Na tabela 3.29 encontram-se representados os valores das variáveis presentes nas equações 3.8 e 3.9, para as diferentes localidades.

Tabela 3.29: Valor das distâncias x e L_c [em m], em função dos ângulos solares para as Localidades em estudo

Distâncias	Localidade		
	Bragança	Porto	Faro
x [mm]	179	179	160
L_c [mm]	383	383	279

Na tabela 3.30 encontram-se representados os valores das necessidades de aquecimento e arrefecimento para o edifício após o redimensionamento das palas e a tabela 3.31, mostra o valor das potências nominais obtidas para o mesmo edifício.

Tabela 3.30: Necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, após o redimensionamento das palas, para as localidades em estudo

Localidade	e [mm]	$N_{aq.} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	$N_{arref.} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	$N_{t'} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$
Bragança	80	64,7	4,3	69,0
	100	54,6	4,1	58,7
Porto	80	33,3	2,7	35,9
	100	25,9	2,7	28,6
Faro	80	14,1	8,5	22,6
	100	10,3	8,7	18,9

Tabela 3.31: Potências nominais de aquecimento e arrefecimento do edifício, após o redimensionamento das palas

Localidade	e [mm]	$\dot{Q}_{aq.} [kW]$	$\dot{Q}_{arref.} [kW]$
Bragança	80	2,14	1,65
	100	1,90	1,54
Porto	80	1,67	1,47
	100	1,49	1,39
Faro	80	1,36	1,59
	100	1,19	1,49

O desempenho energético dos edifícios melhorou relativamente à solução anterior, como se pode verificar através da diminuição das necessidades energéticas, apesar das necessidades de aquecimento, serem satisfeitas exclusivamente por energia primária proveniente de fontes renováveis, como já foi visto anteriormente. A energia proveniente das *pellets* tem um custo associado e a diminuição das necessidades de aquecimento, implicará também uma diminuição do seu consumo.

Numa tentativa de melhorar ainda mais, o desempenho energético do edifício nas restantes localidades, foram analisadas outras soluções.

Os envidraçados a Sul foram redimensionados para uma altura (y) de 2,1 m, praticamente atingindo o chão. O novo valor de L_c é de 0,804 m e o novo valor de x é de 0,375 m. Deste modo, a solução D representa o edifício após o novo redimensionamento dos envidraçados, a solução E, representa a mesma solução, mas com palas verticais incluídas, a solução E é idêntica à F, mas os envidraçados a norte foram redimensionados para terem as mesmas dimensões que os envidraçados a Sul, por fim a solução G é idêntica à D mas com palas verticais colocadas. As palas verticais, têm o mesmo comprimento que as horizontais.

A tabela 3.32 mostra os resultados para as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento no Porto para as novas soluções propostas.

Tabela 3.32: Necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, para as novas soluções no Porto

Solução	e [mm]	$N_{aq.} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	$N_{arref.} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$	$N_{t'} [kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$
D	100	19,1	6,8	25,9
E	100	19,5	6,3	25,7
F	100	9,9	7,9	17,8
G	100	26,5	2,5	29,0

Através dos resultados representados na tabela 3.32, verifica-se que a solução G tem maiores necessidades energéticas que a solução anteriormente obtida. A diferença

entre os valores de ambas as soluções não é significativa e o seu custo inicial aumentou, devido à área das palas ser maior. A mesma conclusão foi retirada, analisando os resultados obtidos para as soluções D e E.

Como a variação das necessidades energéticas entre o redimensionamento anteriormente realizado e a solução E é muito reduzida, não deverá ser obtido retorno económico num tempo inferior ao ciclo de vida humano, ou pelo menos abaixo dos 20 anos referidos anteriormente, pois a utilização de uma área maior de envidraçados, implicará um aumento do custo inicial. O aumento significativo das necessidades de arrefecimento, será também prejudicial se a intenção for não instalar um mini-*chiller*, ou qualquer outro sistema auxiliar para arrefecimento, pois a probabilidade de tal se tornar recomendável para manter o conforto térmico dos ocupantes aumenta.

Relativamente à solução F, a redução das necessidades energéticas é maior, assim como o aumento do custo inicial do edifício. Para se poder determinar com precisão, se existe ou não retorno económico teriam que existir dados para o preço do envidraçado por m^2 , que não estão disponibilizados em catálogos como os da *Saint-Gobain*, pois o seu preço só pode ser avaliado após a sua construção e instalação, não existindo um valor fixo. Apesar desta solução estar dentro dos limites energéticos de um *Passivhaus*, o problema relativo ao sobreaquecimento do edifício agrava-se ainda mais relativamente às soluções D e E, de facto é provável que tal ocorra, visto que as necessidades de arrefecimento são superiores às primeiras soluções obtidas para Faro.

Será assim escolhido, o edifício após o seu primeiro redimensionamento, para os cálculos que serão efectuados para o resto deste capítulo. De seguida, de modo a melhorar ainda mais a performance do edifício foi reduzida a taxa de infiltrações para $0,3 h^{-1}$.

A tabela 3.33 mostra o valor das necessidades de aquecimento e arrefecimento obtidas para o novo edifício, enquanto que a tabela 3.34 mostra as potências nominais, obtidas para o novo edifício.

Tabela 3.33: Necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, com as palas redimensionadas nas orientações e localidades em estudo

Localidade	e [mm]	$N_{aq.}$ [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]	$N_{arref.}$ [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]	$N_{t'}$ [$kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$]
Bragança	100	37,4	4,7	42,1
Porto	100	15,5	3,7	19,3
Faro	100	3,7	11,1	14,7

Tabela 3.34: Potências nominais de aquecimento e arrefecimento do edifício em kW com as palas redimensionadas

Localidade	e [mm]	$\dot{Q}_{aq.}$ [kW]	$\dot{Q}_{arref.}$ [kW]
Bragança	100	1,51	1,42
Porto	100	1,18	1,32
Faro	100	0,93	1,39

Relativamente aos resultados apresentados nas tabelas 3.30 e na tabela 3.31, é possível verificar uma diminuição quer da energia necessária para o aquecimento, quer da potência nominal para o aquecimento. Analogamente, verifica-se um aumento das necessidades de arrefecimento e das potências nominais de arrefecimento. Estes resultados

são expectáveis, pois uma diminuição da taxa de infiltrações, implica uma diminuição das necessidades de aquecimento. Tal ocorrência deve-se à insuflação de uma menor quantidade de ar exterior não controlável, no edifício, pois como é do conhecimento comum, no clima português o ar exterior encontra-se normalmente a uma temperatura inferior à do interior do edifício, excepto durante a estação de arrefecimento¹⁰.

É possível deste modo concluir, que uma boa projecção da envolvente do edifício é fundamental para a redução dos seus consumos energéticos. Boas práticas, que não comportam encargos adicionais e que permitem a diminuição do impacto de imprevistos como as infiltrações, são vantajosas em termos de consumos energéticos. É também possível verificar que nem sempre um maior investimento, é aquele que utiliza a energia de forma mais eficiente, a fase de projecto do edifício é portanto fundamental, para criar condições que permitam a redução dos custos do edifício quer na sua concepção, quer para a sua utilização futura.

Um dimensionamento ainda mais otimizado das palas, permitiria a redução das necessidades de arrefecimento, sem afectar significativamente as necessidades de aquecimento, e fazendo com que haja uma diminuição do tempo de sobreaquecimento, no interior do edifício.

3.5.1 Consumos Energéticos dos Sistemas de Climatização, para o Edifício Optimizado

Nesta secção, são analisados os resultados das simulações dinâmicas do edifício com a sua envolvente optimizada, para dois sistemas de climatização diferentes, sendo estes:

- O sistema com ventiloconvector, representado por VC;
- O sistema com recuperador de calor, representado por RC (este sistema não funciona em contínuo);

As figuras 3.33, 3.34 e 3.35, representam as evoluções das temperaturas interiores do edifício, nas localidades em estudo para cada um dos sistemas de climatização, durante a semana em análise para a estação de aquecimento.

¹⁰Durante o período diurno, no período nocturno pela falta de radiação, a temperatura será menor

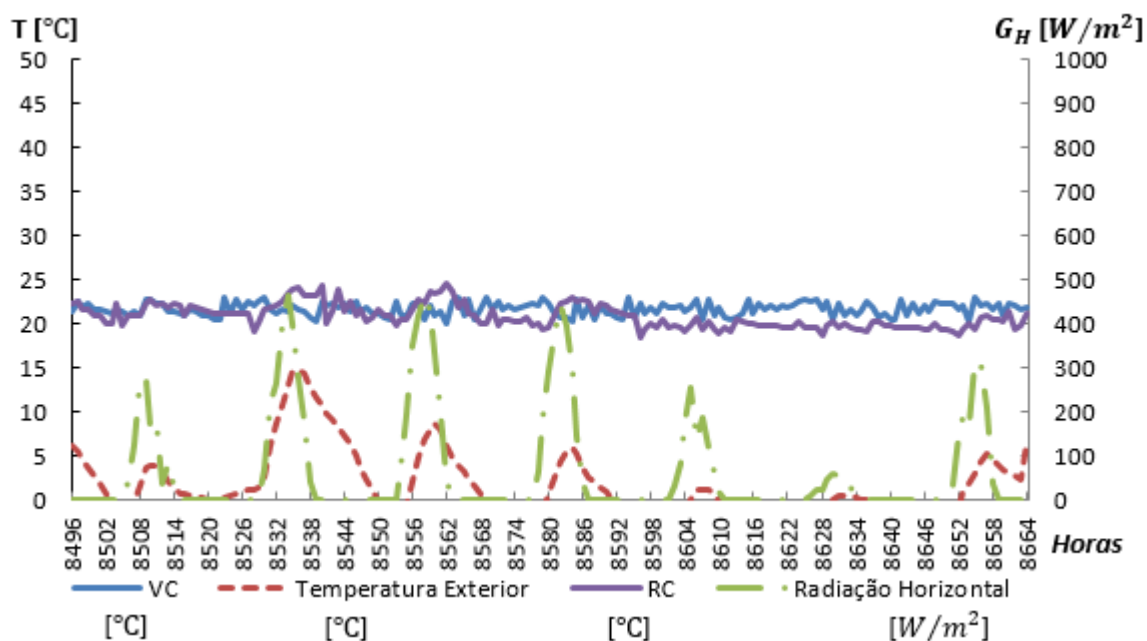


Figura 3.33: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo para a estação de aquecimento

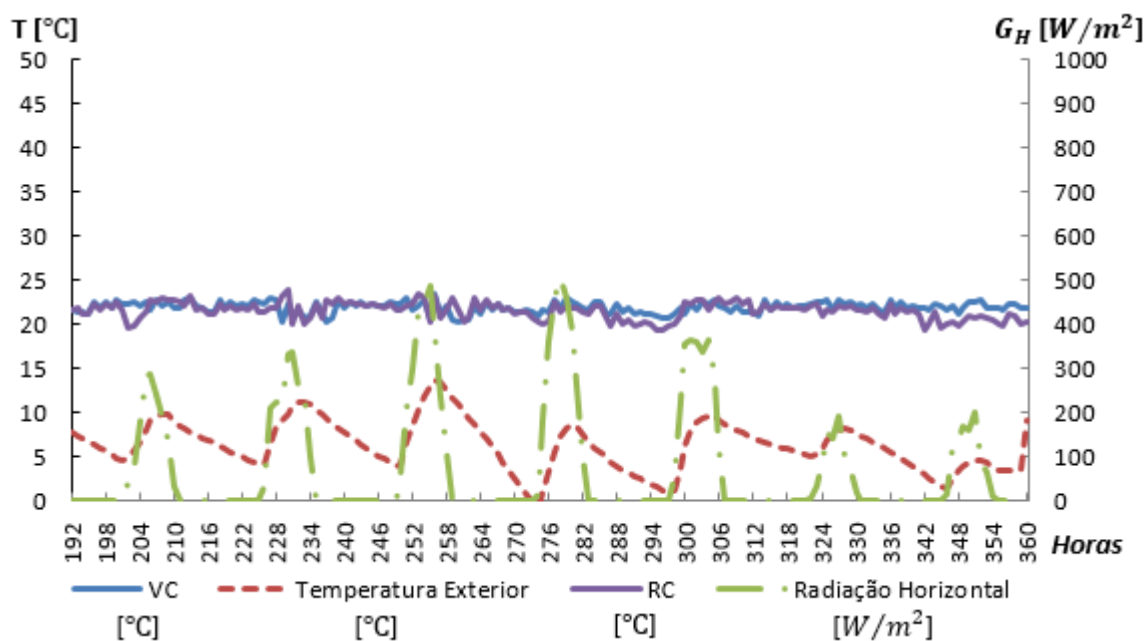


Figura 3.34: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo para a estação de aquecimento

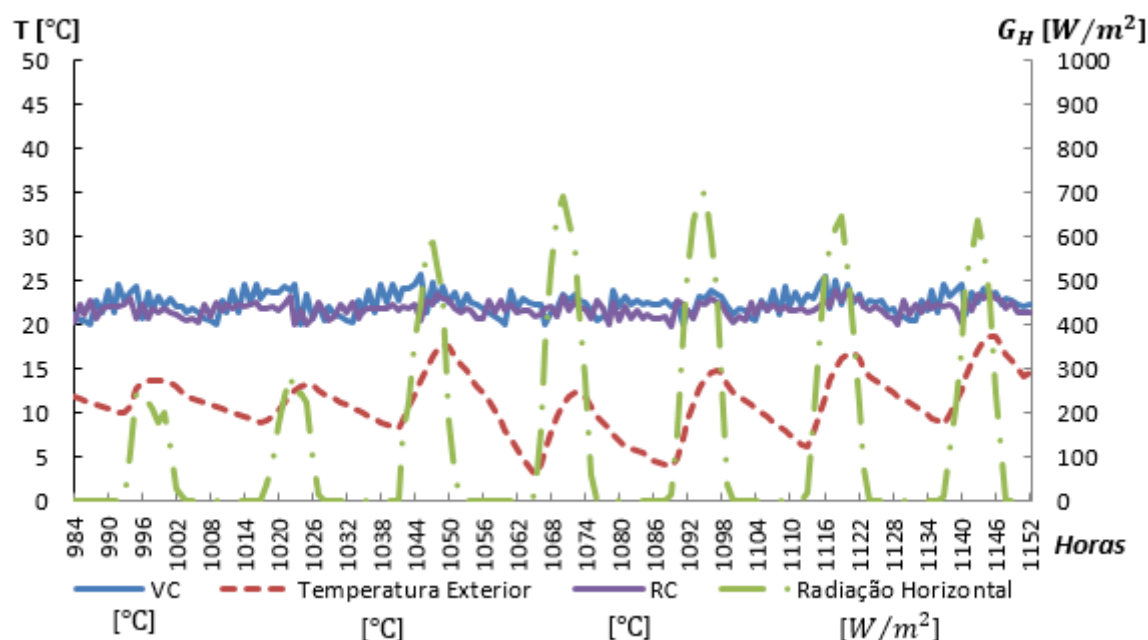


Figura 3.35: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo para a estação de aquecimento

É possível verificar através da análise das figuras 3.33, 3.34 e 3.35, que a temperatura no interior do edifício para o sistema com recuperador de calor, é inferior à temperatura verificada quando o sistema de climatização utiliza ventiloconvetor. Tal facto, é devido à solução que utiliza um recuperador de calor, o ar exterior, cuja temperatura é variável, circular no sistema de ventilação mecânica, podendo esta ser inferior à utilizada para o dimensionamento do sistema, ao contrário do que acontece no sistema com ventiloconvetor, em que o ar que entra no ventiloconvetor entra sempre a 20°C . O caudal de ar insuflado é também maior, em relação à solução que utiliza o ventiloconvetor¹¹, encontrando-se este a uma temperatura inferior, justificando-se deste modo os resultados obtidos. Os momentos em que a temperatura no interior do edifício, é superior utilizando a solução com recuperador de calor, devem-se ao facto da temperatura no seu interior atingir os $19,4^{\circ}\text{C}$, nestas condições a água usada para o aquecimento do ar que circula em cada um dos sistemas é aquecida até 60°C , em vez dos 50°C , aumentando deste modo a a temperatura do ar insuflado.

As diferentes evoluções da temperaturas interior do edifício registadas em cada localidade, justificam-se tal como já foi anteriormente referido, devido à inércia térmica do edifício é reduzida, as condições exteriores, têm um impacto significativo na temperatura interior do edifício, sendo quase idênticas sem o uso de um sistema de climatização. Logo, devido ao valores da temperatura ambiente em Bragança serem tipicamente mais reduzidos em relação às outras localidades em estudo, o valor da temperatura interior do edifício será mais reduzido, para o sistema com recuperação de calor, a recuperação da energia térmica do ar de extracção, não irá ter tanto impacto no valor da temperatura do ar insuflado no edifício, como nas outras localidades.

A evolução das temperaturas no interior do edifício para a estação de arrefecimento, sem qualquer sistema auxiliar de arrefecimento, encontra-se representado nas

¹¹ Como se pode verificar nos anexos E.2 e E.3

figuras 3.36, 3.37 e 3.38.

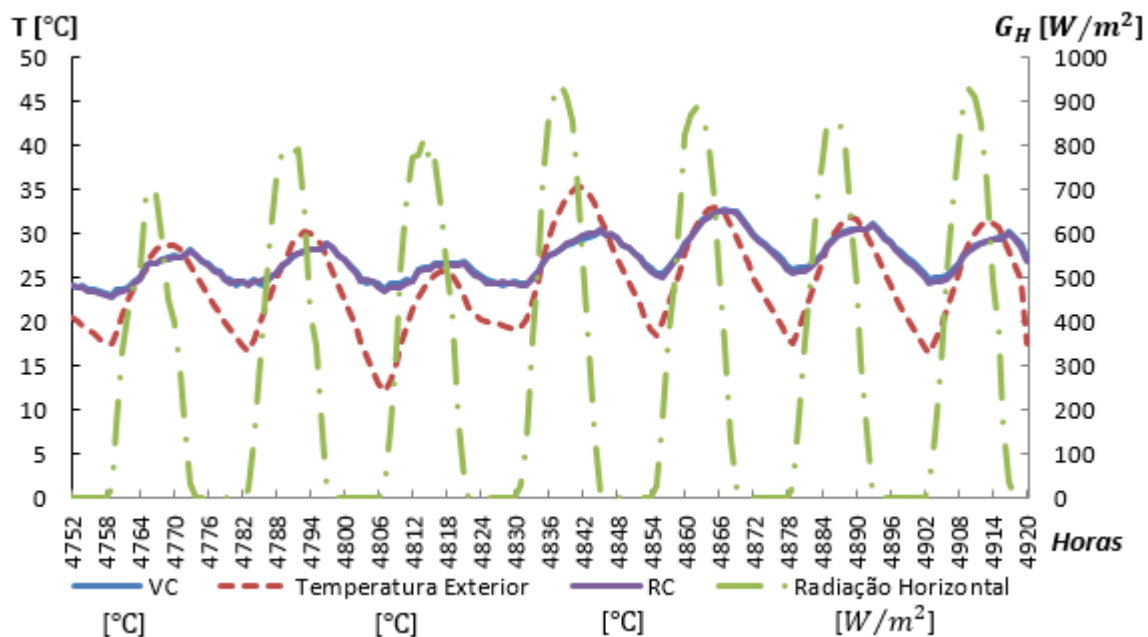


Figura 3.36: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo, para a estação de arrefecimento

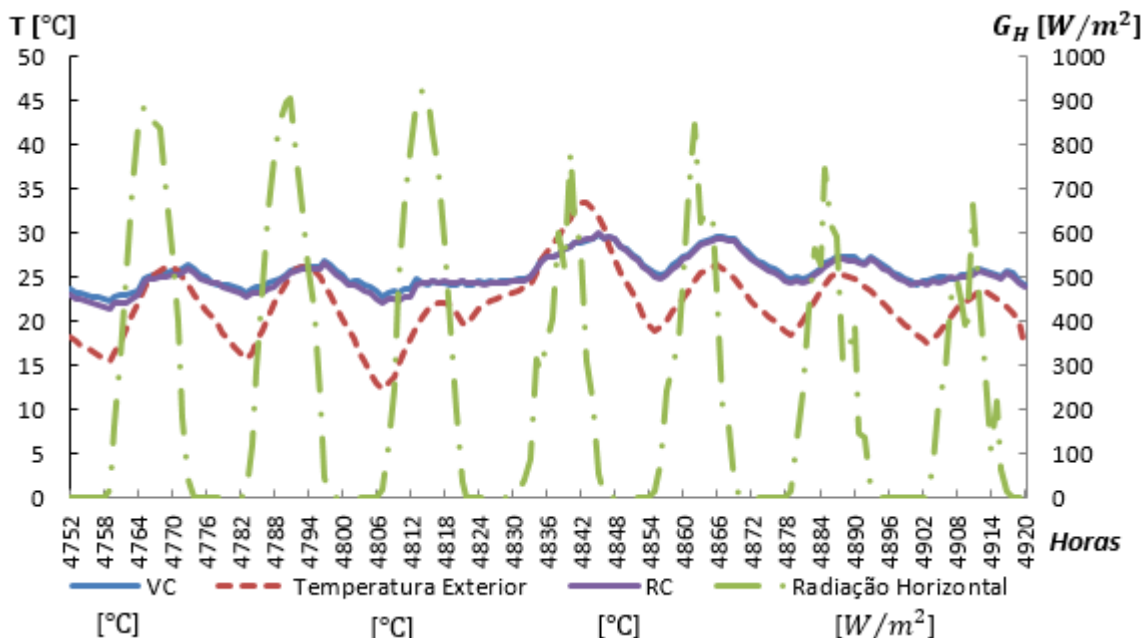


Figura 3.37: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo, para a estação de arrefecimento

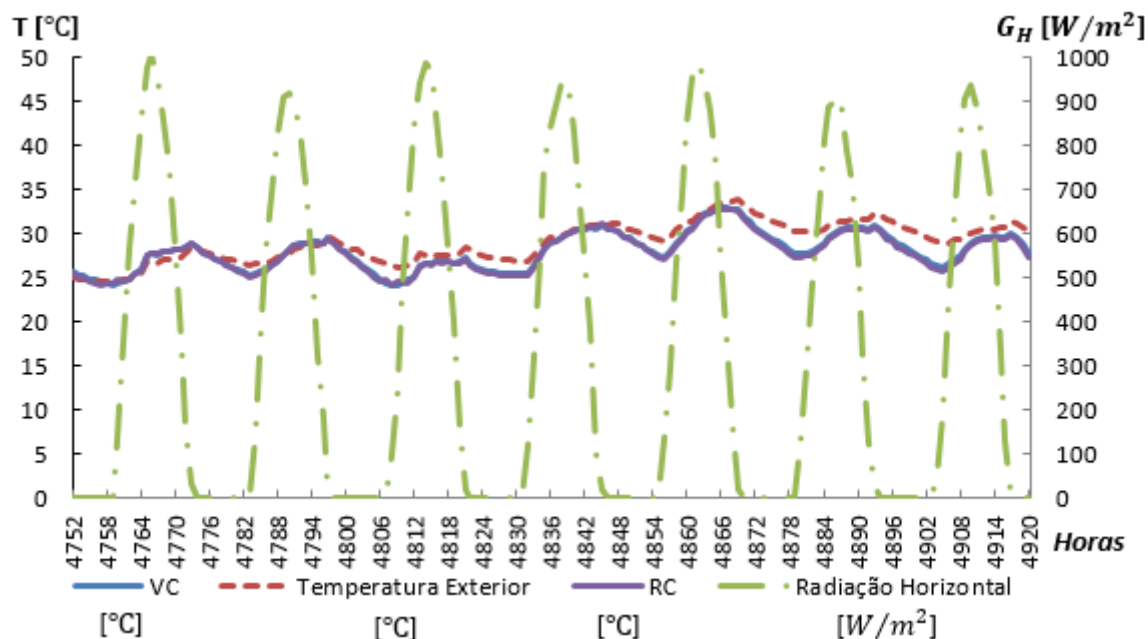


Figura 3.38: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, na semana em estudo, para a estação de arrefecimento

Como se pode ver pela evolução das temperaturas interiores do edifício, representadas nas figuras 3.36, 3.37 e 3.38, a evolução das temperaturas no interior do edifício são idênticas para ambos os sistemas, quase não se verificando variações entre os dois sistemas, tal deve-se à utilização das mesmas estratégias de arrefecimento por parte dos dois sistemas, em que o arrefecimento é feito através de estratégias passivas como o *free-cooling*. Visto que na estação de arrefecimento as necessidades de arrefecimento são muito reduzidas, sendo mesmo nulas nos dias críticos (os dias em que a temperatura ambiente é maior), o ar insuflado é o mesmo, uma vez que a ventilação natural permite garantir os valores mínimos de ar novo necessários de insuflar, segundo a legislação em vigor, como já ficou comprovado na secção 2.9.

A evolução das temperaturas no interior do edifício para a estação de arrefecimento, com a instalação de um mini-chiller, encontra-se representado nas tabelas 3.39, 3.40 e 3.41.

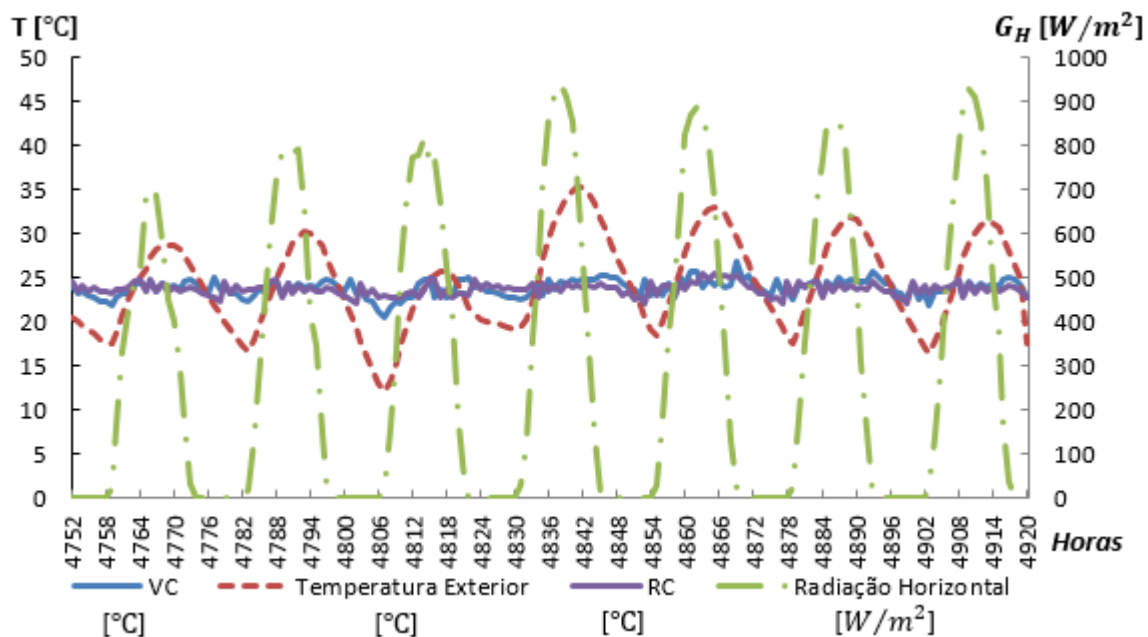


Figura 3.39: Evolução da temperatura interior do edifício localizado em Bragança, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, para semana em estudo da estação de arrefecimento, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar

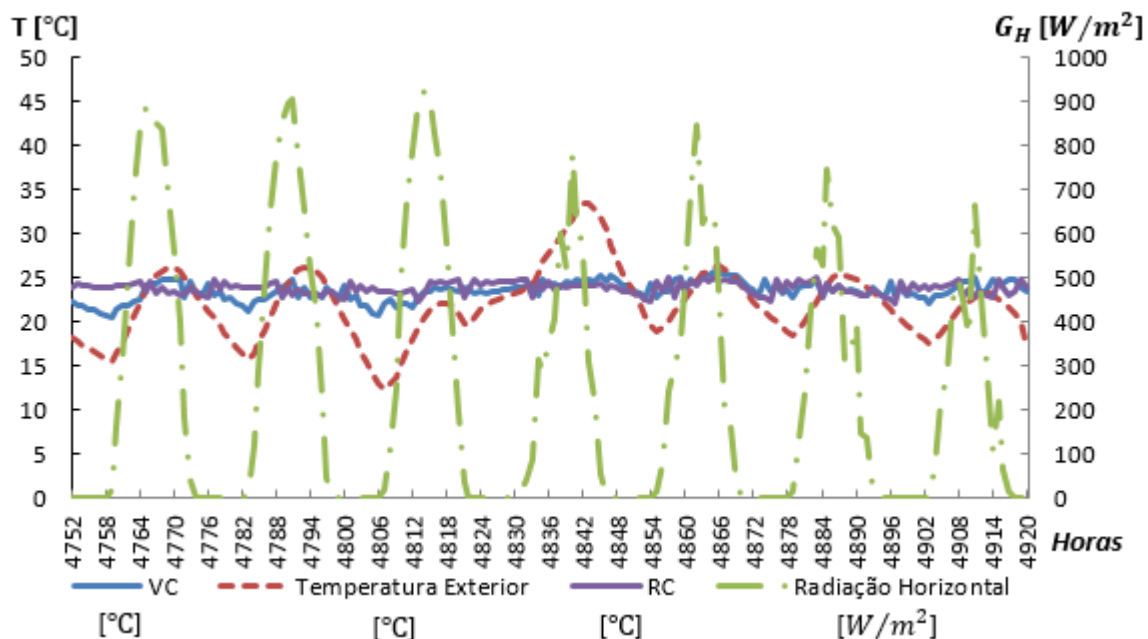


Figura 3.40: Evolução da temperatura interior do edifício localizado no Porto, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, para semana em estudo da estação de arrefecimento, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar

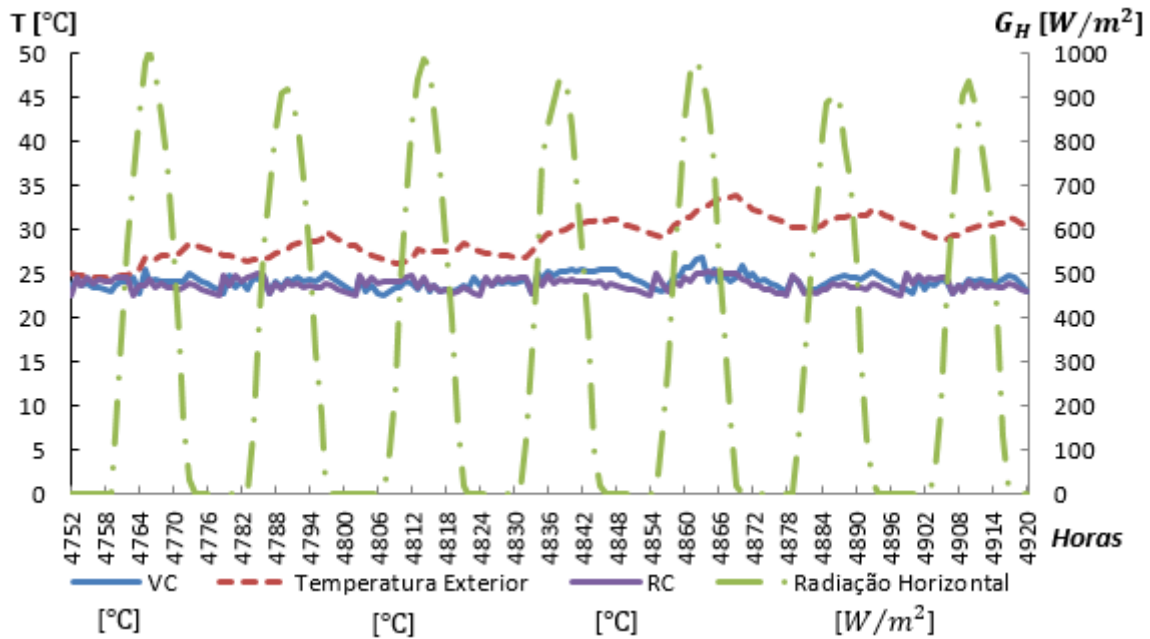


Figura 3.41: Evolução da temperatura interior do edifício localizado em Faro, devido ao funcionamento dos sistemas de climatização instalados, em função das condições exteriores, para o edifício redimensionado, para semana em estudo da estação de arrefecimento, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar

A evolução das temperaturas é uma vez mais, praticamente idêntica, no entanto, é possível verificar que a temperatura no interior do edifício, para a solução com ventiloconvetor é menor em certos momentos. Tal facto, é devido a ser insuflada uma maior quantidade de ar a 20°C , segundo as condições de projecto, como se pode verificar nos anexos E.2 e E.3, outra razão é as temperaturas ambiente serem mais elevadas que as temperaturas de projecto (para o Porto foi indicada uma temperatura de $26,4^{\circ}\text{C}$ [55], como se pode verificar na tabela da secção 3.1, sendo expectável que a temperatura ambiente seja maior), logo o ar é normalmente insuflado para a solução com recuperador de calor, a uma temperatura mais elevada que a solução com ventiloconvetor.

As figuras 3.42 e 3.43 e a tabela 3.35, mostram os consumos energéticos obtidos para os sistema de climatização testados.

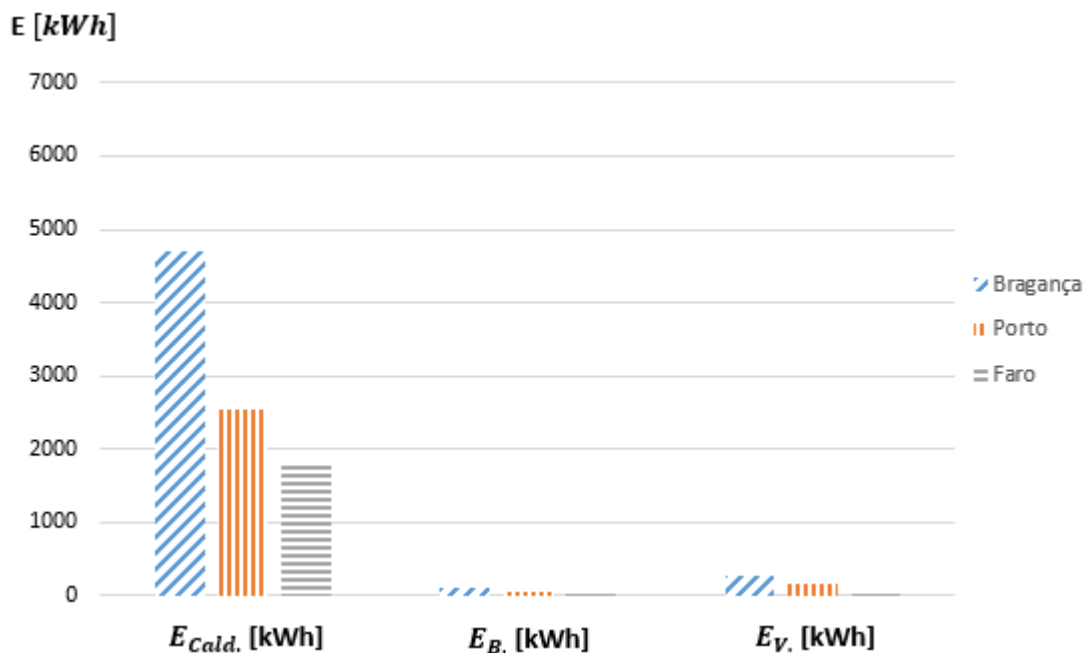


Figura 3.42: Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização com ventiloconvetor, para o edifício redimensionado

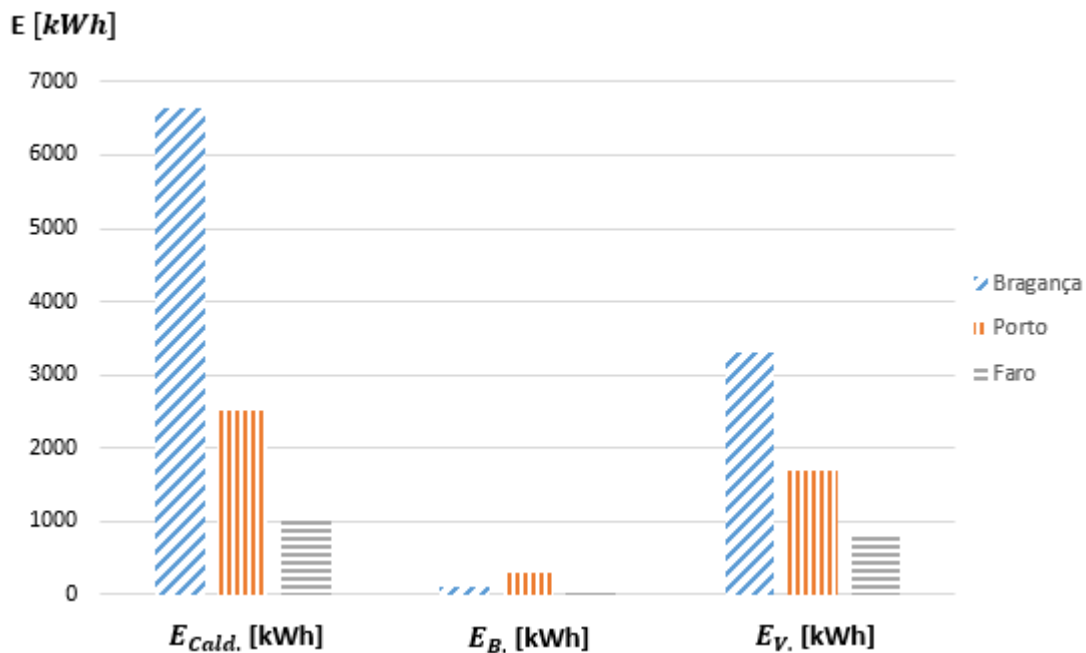


Figura 3.43: Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com recuperador de calor, para o edifício redimensionado

Tabela 3.35: Consumo de energia anual dos equipamentos, instalados nos sistema de climatização testados

	$F_{pu,i} [kWh_{EP}/kWh]$	Bragança		Porto		Faro	
		VC	RC	VC	RC	VC	RC
$E_{Cald.}^{SC} [kWh]$	1,0	4704,7	6649,7	2546,4	2519,9	1811,1	1061,0
$E_B^{SC} [kWh]$	2,5	100,4	113,0	60,6	292,8	28,6	72,9
$E_V^{SC} [kWh]$	2,5	265,1	3300,3	159,9	1683,0	75,5	782,3
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC} [kWh_{EP}]$	-	5618,3	15182,8	3097,4	7459,4	2071,3	3199,0

Relativamente aos resultados obtidos na secção 3.3, é possível observar uma diminuição dos consumos energéticos para a solução com ventiloconvector, expectável face à redução das necessidades energéticas verificadas na secção 3.5. Os consumos energéticos deste sistema são claramente inferiores aos consumos energéticos do sistema com recuperador de calor para qualquer um dos equipamentos utilizados.

A figura 3.36, representa o número de horas em que a temperatura interior do edifício, excede os $25^\circ C$.

Tabela 3.36: Número de horas, em que a temperatura interior do edifício excede os $25^\circ C$, no interior do edifício redimensionado, com os diferentes sistemas de climatização

	Bragança		Porto		Faro	
	VC	RC	VC	RC	VC	RC
$H_{sobreaq.,25}$	1086	1007	732	599	2196	1923
$\%H_{sobreaq.,25}$	12,4	11,5	8,4	6,8	25,1	22,0
$H_{sobreaq.,26}$	793	733	388	303	1510	1346
$\%H_{sobreaq.,26}$	9,1	8,4	4,4	3,5	17,2	15,4

Verifica-se, que devido ao aumento das necessidades de arrefecimento, o edifício em Bragança, deixou de cumprir um dos requisitos de um *Passivhaus*, pois a sua temperatura interior encontra-se durante mais de 10% das horas de um ano (considerou-se que 1 ano tem 8760 horas), acima dos $25^\circ C$, no entanto encontra-se durante cerca 9% deste tempo acima dos $26^\circ C$, uma temperatura típica admissível o conforto térmico dos ocupantes. Em Faro, é uma vez mais recomendável na estação de arrefecimento, a utilização de um sistema auxiliar para o arrefecimento do ar interior. Confirma-se tal como era esperado que a temperatura interior é maior para a solução com ventiloconvector.

As figuras 3.44 e 3.45 e a tabela 3.37, mostram os resultados obtidos para o sistema de climatização com ventiloconvector, usando um mini-*chiller* para o arrefecimento, em termos dos seus consumos energéticos.

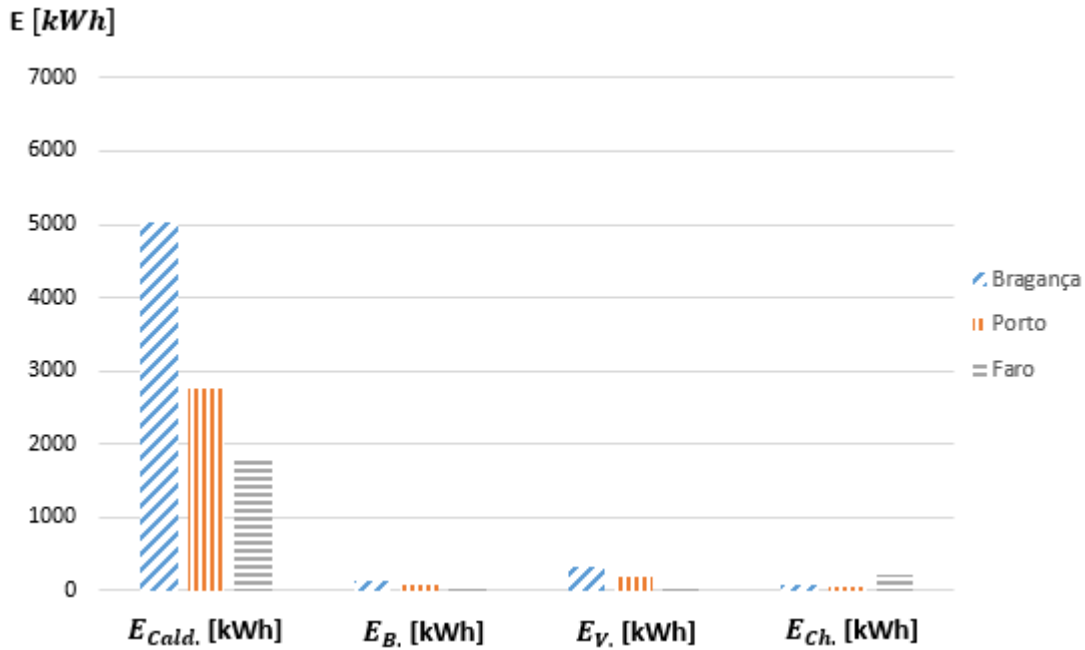


Figura 3.44: Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o mini-chiller activo, para o edifício redimensionado

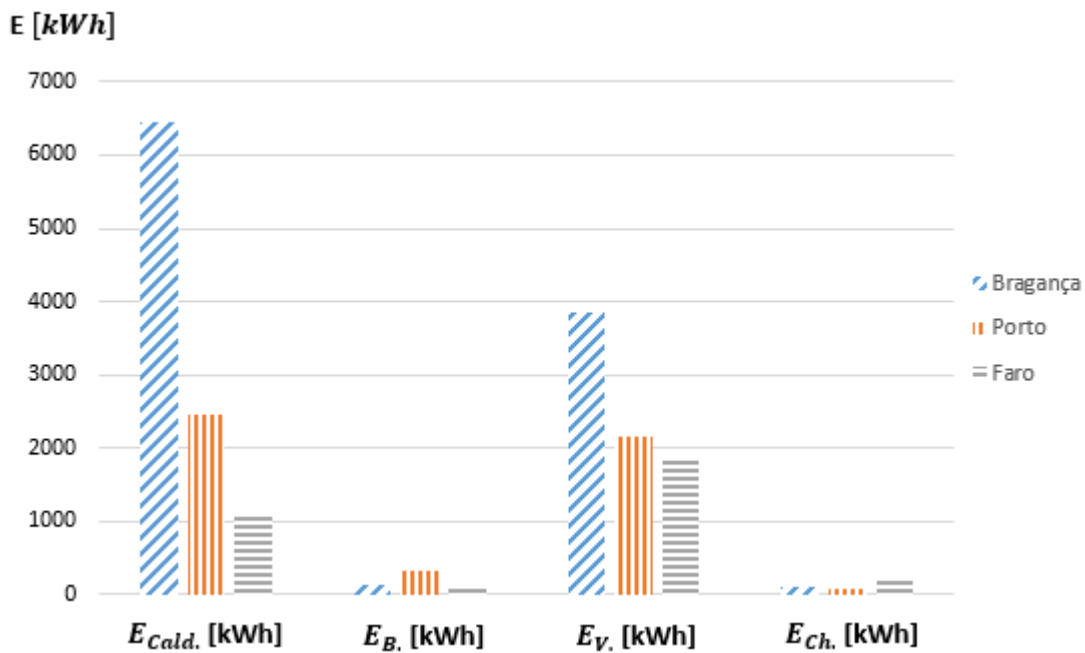


Figura 3.45: Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o mini-chiller activo, para o sistema com recuperação de calor, no o edifício redimensionado

Tabela 3.37: Consumo de energia anual dos equipamentos, instalados nos sistema de climatização testados, com um sistema auxiliar para arrefecimento

	$F_{pu,i}$ [kWh _{EP} /kWh]	Bragança		Porto		Faro	
		VC	RC	VC	RC	VC	RC
$Q_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	1,0	5038,6	6462,5	2755,3	2457,0	1827,1	1061,0
E_B^{SC} [kWh]	2,5	131,4	133,3	79,0	311,9	62,9	82,5
E_V^{SC} [kWh]	2,5	328,7	3856,9	197,4	2168,8	77,0	1820,2
$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	2,5	87,6	101,8	57,9	89,9	208,7	222,0
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC}$ [kWh _{EP}]	-	6407,7	16692,5	3591,0	8883,2	2698,5	6372,7

Como era expectável, face aos resultados anteriores, o sistema com ventiloconvector, continua a ser a solução mais eficiente em termos energéticos. É também possível de concluir, face aos resultados apresentados na secção 3.3, que os consumos energéticos são menores, algo expectável face à redução das suas necessidades energéticas.

A figura 3.38, permite confirmar se o edifício encontra-se ou não durante 10% das horas num ano abaixo dos 25°C, tal como indicado pela norma *Passivhaus*.

Tabela 3.38: Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os 25°C, no interior do edifício redimensionado, com os sistemas de climatização em estudo, auxiliados pelo mini-chiller

	Bragança		Porto		Faro	
	VC	RC	VC	RC	VC	RC
$H_{sobreaq.,25}$	113	76	58	39	541	296
$\%H_{sobreaq.,25}$	1,3	0,9	0,7	0,4	6,2	3,4

Face aos resultados obtidos, representados na tabela 3.38, confirma-se uma vez mais, que a temperatura no interior do edifício é maior, quando é utilizado o sistema de climatização com ventiloconvector.

As necessidades energéticas e a classificação do edifício, utilizando o ventiloconvector para a climatização do espaço encontra-se representada nas tabelas 3.39 e 3.40.

Tabela 3.39: Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo ventiloconvector, com as necessidades de energia primária em [kWh_{EP}/(m² · ano)]

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	189,3	9,5	134,5	-	0,3	3,6	0,01	A ⁺
Porto	118,7	8,2	134,5	-	0,3	2,2	0,01	A ⁺
Faro	89,4	17,0	134,5	-	0,3	1,0	0,01	A ⁺

Tabela 3.40:]

Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo ventiloconvector, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar e com as necessidades de energia primária em [kWh_{EP}/(m² · ano)]

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	189,3	9,5	134,5	2,8	0,3	5,4	0,03	A ⁺
Porto	118,7	8,2	134,5	2,2	0,3	3,3	0,02	A ⁺
Faro	89,4	17,0	134,5	6,5	0,3	3,4	0,04	A ⁺

A classificação energética do edifício é uma vez mais, A^+ e como esperado, os consumos energéticos da solução que utiliza o ventiloconvector, diminuíram ligeiramente em relação às soluções anteriores, ficando assim mais próximo do valor nulo de R_{Nt} . Uma vez mais, o valor de R_{Nt} aumentou para a solução com mini-*chiller*, sendo este aumento expectável face ao aumento dos consumos energéticos que ocorrem quando é acrescentado este equipamento.

As necessidades energéticas do edifício e a sua classificação energética, usando o sistema com recuperador de calor para a climatização do espaço encontra-se representada nas tabelas 3.41 e 3.42.

Tabela 3.41: Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo sistema com recuperador de calor, com as necessidades energéticas em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	189,3	9,5	134,5	-	0,3	33,7	0,10	A^+
Porto	118,7	8,2	134,5	-	0,3	19,5	0,08	A^+
Faro	89,4	17,0	134,5	-	0,3	8,4	0,04	A^+

Tabela 3.42: Classificação energética do edifício em análise redimensionado, climatizado pelo sistema com recuperação de calor, com a utilização de um sistema de arrefecimento auxiliar e com as necessidades energéticas em $[kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)]$

Localidade	$N_{aq.,ref.}$	$N_{arref.,ref.}$	$N_{AQS,ref.}$	$N_{arref.}$	N_{AQS}	$N_{elec.,mec.}$	R_{Nt}	Classe
Bragança	189,3	9,5	134,5	2,8	0,3	40,4	0,13	A^+
Porto	118,7	8,2	134,5	2,2	0,3	25,4	0,11	A^+
Faro	89,4	17,0	134,5	6,5	0,3	21,0	0,12	A^+

Verifica-se deste modo, que o valor de R_{Nt} diminuiu, em relação aos valores obtidos para a solução com ventiloconvector, este resultado é o esperado pois, os consumos energéticos aumentam com a utilização desta solução.

3.5.2 Consumos Energéticos mediante o Período de Ocupação da Habitação

Com o objectivo de obter uma diminuição ainda maior dos consumos energéticos do edifício, mas também uma análise mais realista dos seus consumos, foi considerado que o sistema de climatização apenas se activa, quando a casa estiver habitada e a sua temperatura interior estiver fora dos *set-points* definidos. Devido aos resultados obtidos anteriormente serem favoráveis em termos energéticos, para a solução que utiliza o ventiloconvector, será analisado em primeiro lugar o comportamento do edifício com este sistema de climatização. É importante referir, que o caudal da água de circulação no sistema de climatização, duplicou em relação à solução anterior, pois a temperatura de projecto passou a ser de $15^{\circ}C$ para a estação de aquecimento e $30^{\circ}C$ para a estação de arrefecimento, duplicando o diferencial de temperaturas usado para o dimensionamento dos sistemas. Esta solução será referida com $S1$ e a solução anterior que utiliza o ventiloconvector será referida com $S2$

A evolução das temperaturas no interior do edifício, encontram-se representadas nas figuras 3.46, 3.47 e 3.48, para a estação de aquecimento.

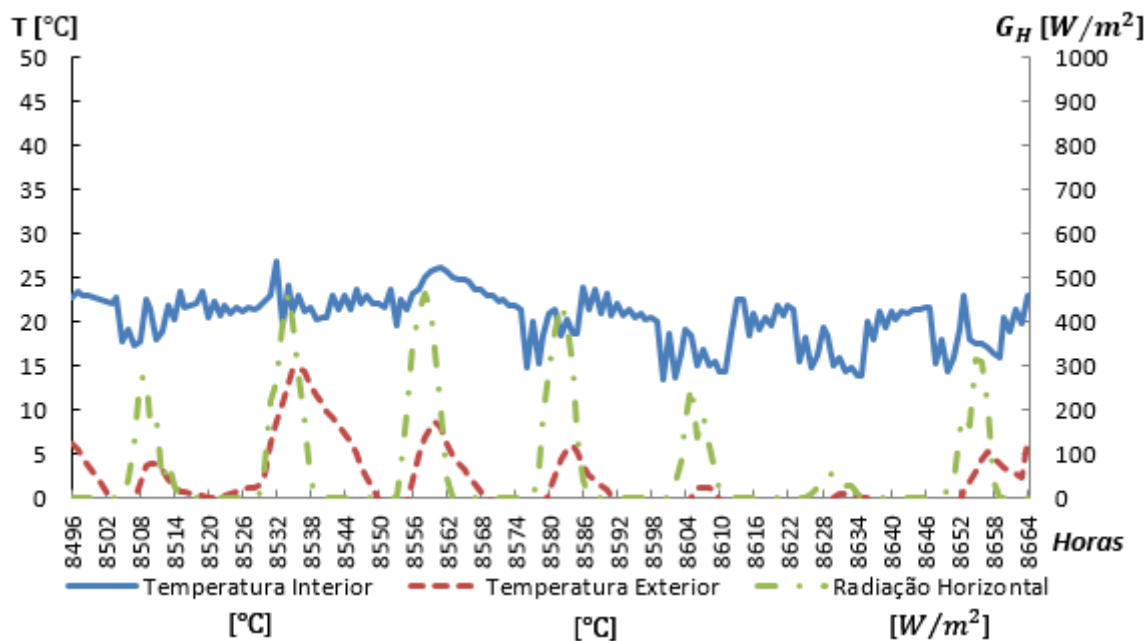


Figura 3.46: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de aquecimento

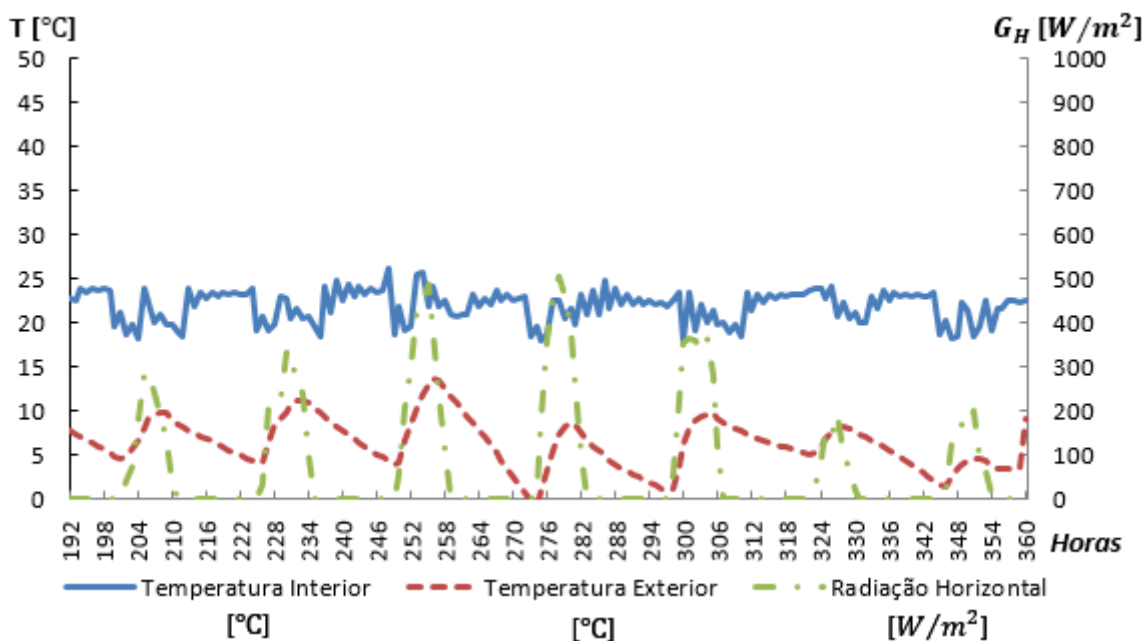


Figura 3.47: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de aquecimento

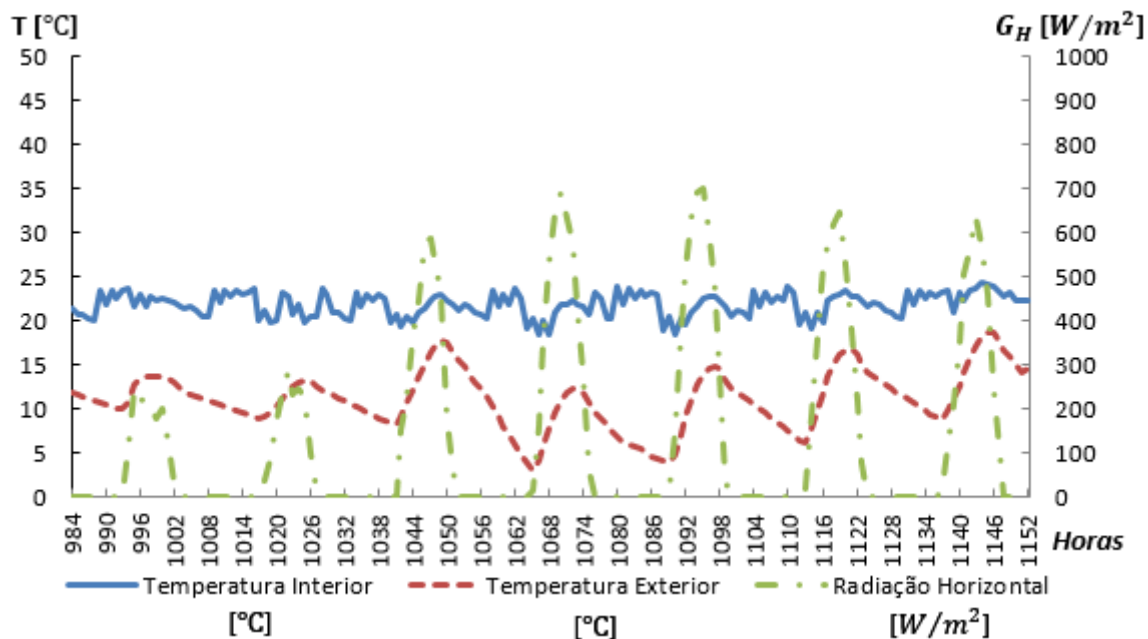


Figura 3.48: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de aquecimento

É possível verificar flutuações relativamente às evoluções obtidas pelos mesmos sistemas nas secções anteriores, tal é expectável devido ao sistema se activar apenas quando a habitação se encontra ocupada e a temperatura fora dos *set-points* definidos, aumentando a potência de aquecimento necessária para atingir a temperatura pretendida.

A variação da temperatura no interior do edifício encontra-se representada nas figuras 3.49, 3.50 e 3.51, durante a estação de arrefecimento.

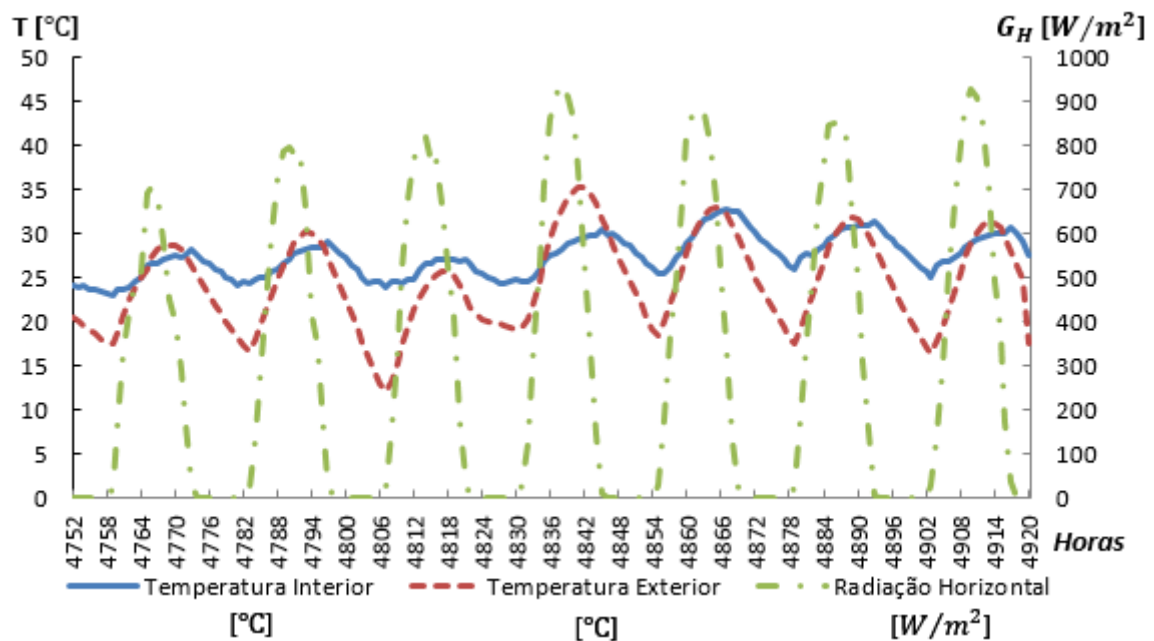


Figura 3.49: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, sem o auxílio do *mini-chiller*

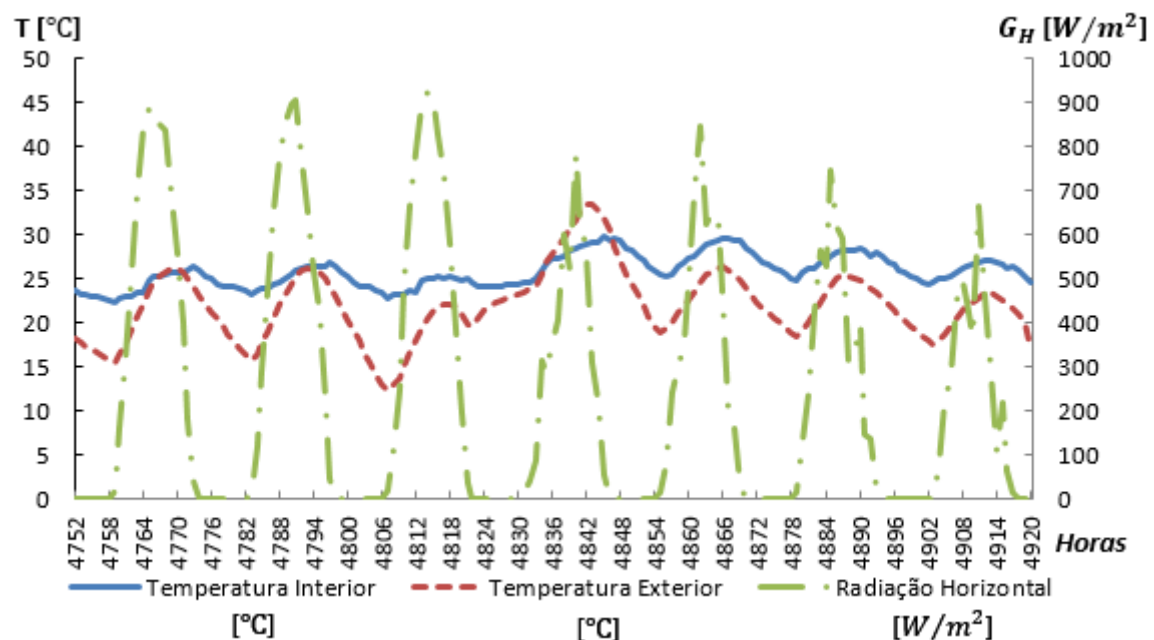


Figura 3.50: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, sem o auxílio do *mini-chiller*

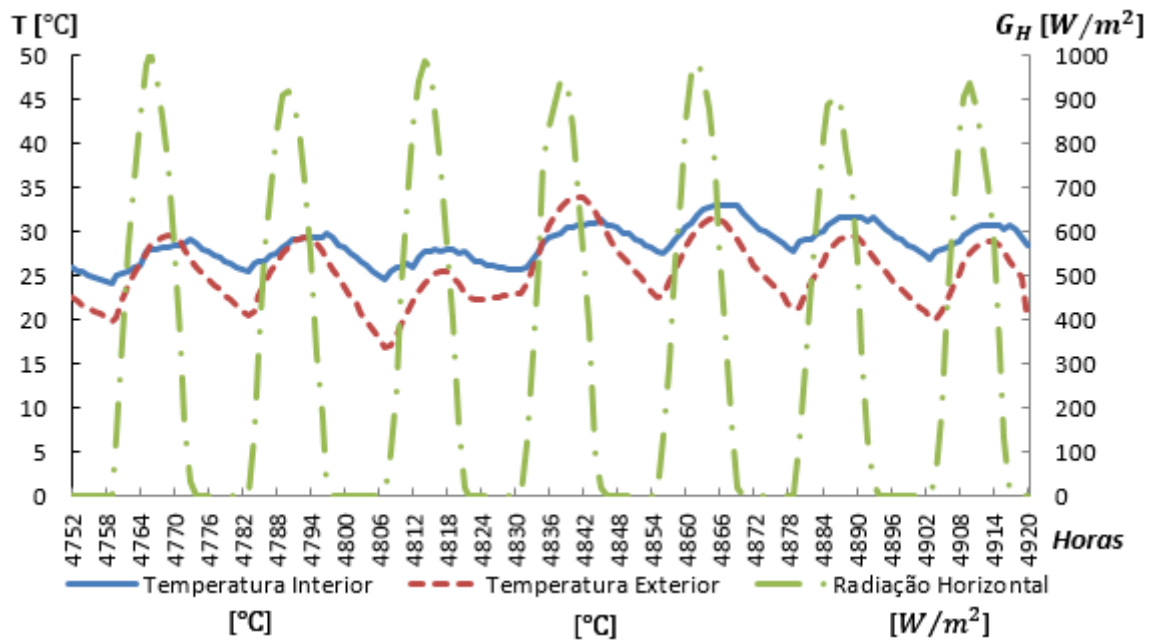


Figura 3.51: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, sem o auxílio do mini-chiller

Como o impacto dos sistemas de climatização activos na temperatura interior do edifício, é muito reduzido ou nulo nesta solução, as evoluções quase não sofrem flutuações em relação às obtidas nas secções anteriores, quando comparadas com as evoluções verificadas para o aquecimento. É uma vez mais aconselhável, a utilização de um mini-chiller em Faro, pois a temperatura no seu interior é muito elevada. A evolução do sistema com mini-chiller em Faro, encontra-se representada na figura 3.52.

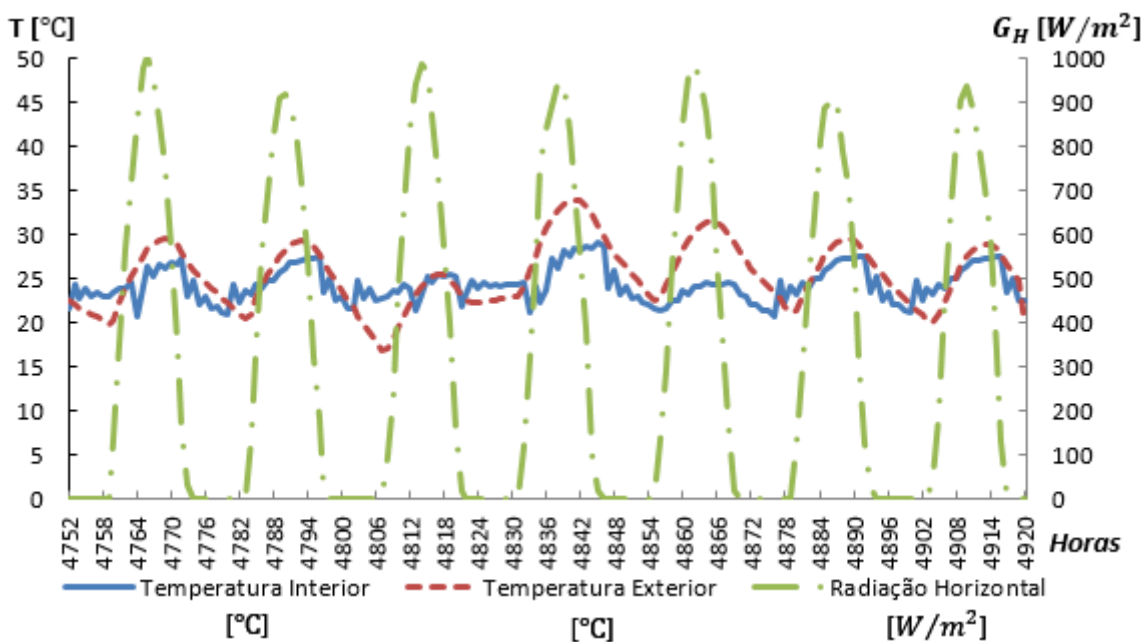


Figura 3.52: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, com o auxílio do mini-chiller

As figuras 3.53 e 3.54, mostram a evolução da temperatura interior do edifício para as restantes localidades, com o mini-*chiller* activo.

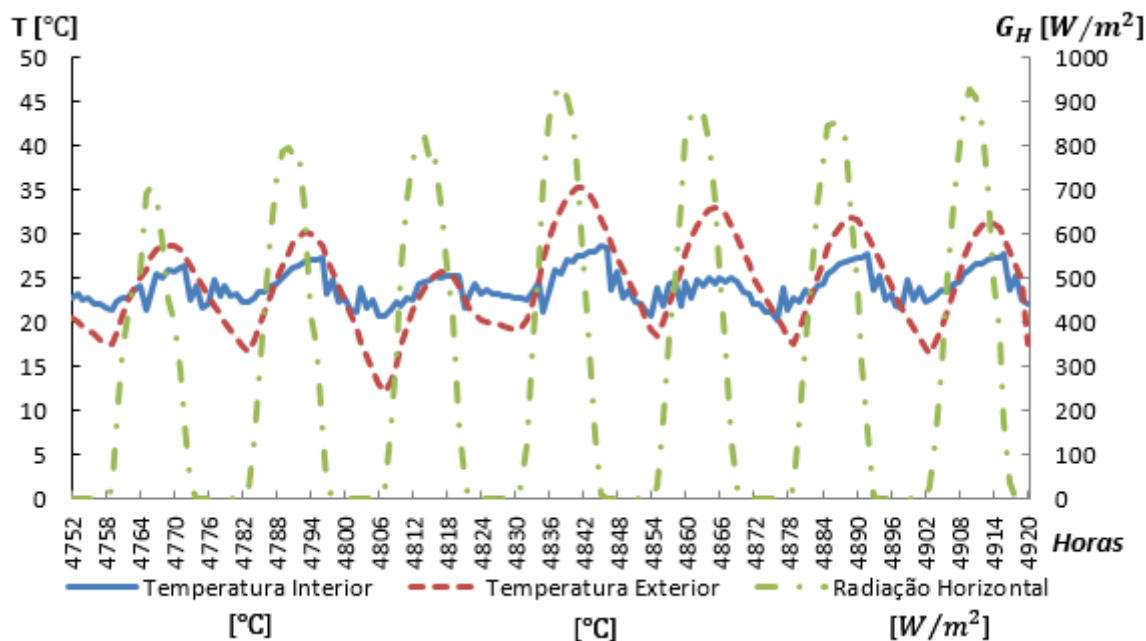


Figura 3.53: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, com o auxílio do mini-*chiller*

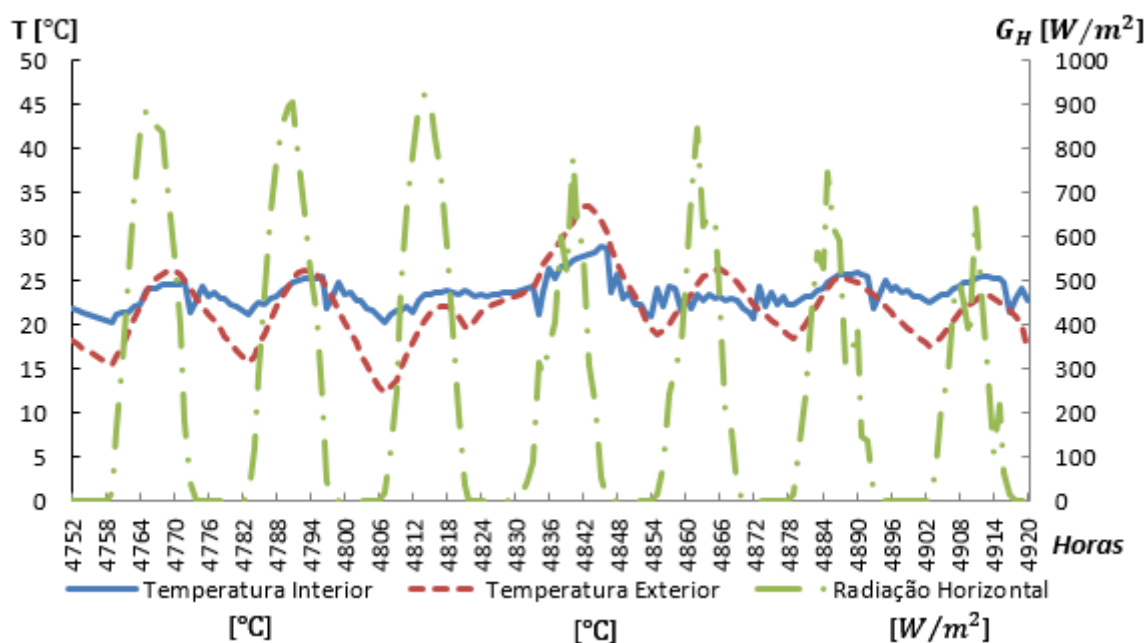


Figura 3.54: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, dependendo das condições exteriores, em função do horário de ocupação dos ocupantes, para a semana em estudo da estação de arrefecimento, com o auxílio do mini-*chiller*

É possível verificar, que existem flutuações inerentes à utilização intermitente do sistema de climatização activo (o mini-*chiller*), usado para o arrefecimento do edifício,

verificando-se evoluções diferentes das obtidas, com as flutuações que se verificaram para o aquecimento, para a solução anterior em que o arrefecimento era efectuado de forma passiva.

Os consumos de energia do sistema, encontram-se representados nas figuras 3.55 e 3.56 e na tabela 3.43 e 3.44, para além dos novos valores, encontram-se os valores apresentados na secção anterior para a mesma solução, mas com a condição anterior para a activação dos sistemas.

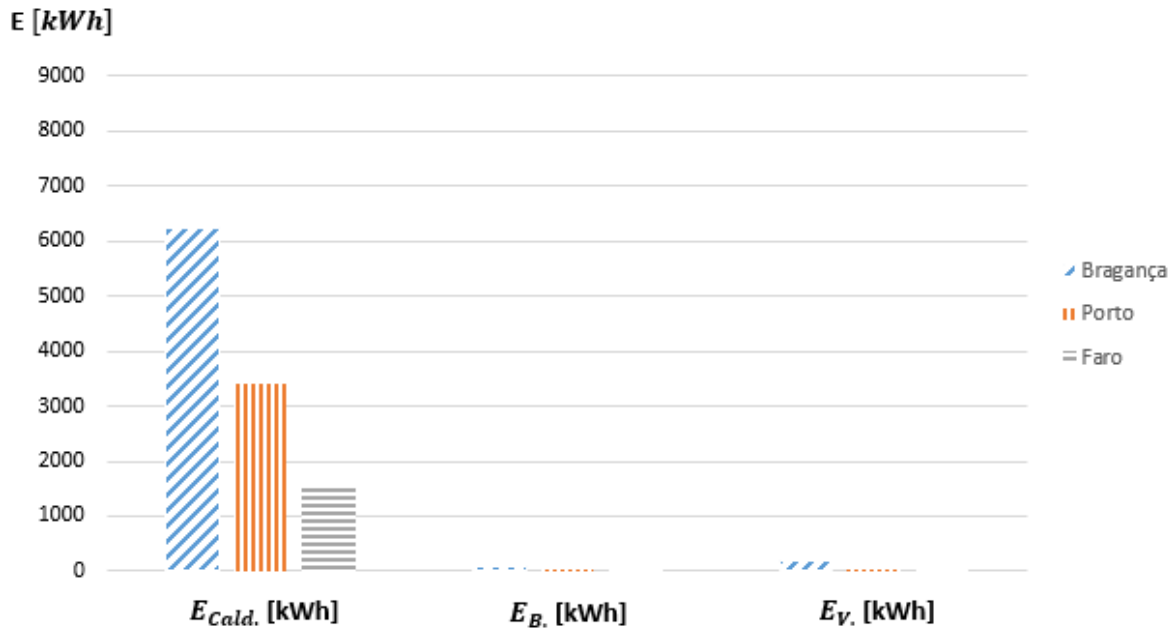


Figura 3.55: Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o controlo do sistema dependente do factor de ocupação das pessoas

Tabela 3.43: Consumo de energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector

	$F_{pu,i}$ [kWh _{EP} /kWh]	Bragança		Porto		Faro	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	1,0	6224,6	4704,7	3391,2	2546,4	1501,2	1811,1
E_B^{SC} [kWh]	2,5	67,1	100,4	41,9	60,6	21,0	28,6
E_V^{SC} [kWh]	2,5	177,0	265,1	22,7	159,9	13,2	75,5
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC}$ [kWh _{EP}]	-	6834,7	5618,3	3552,7	3097,4	1586,7	2071,3

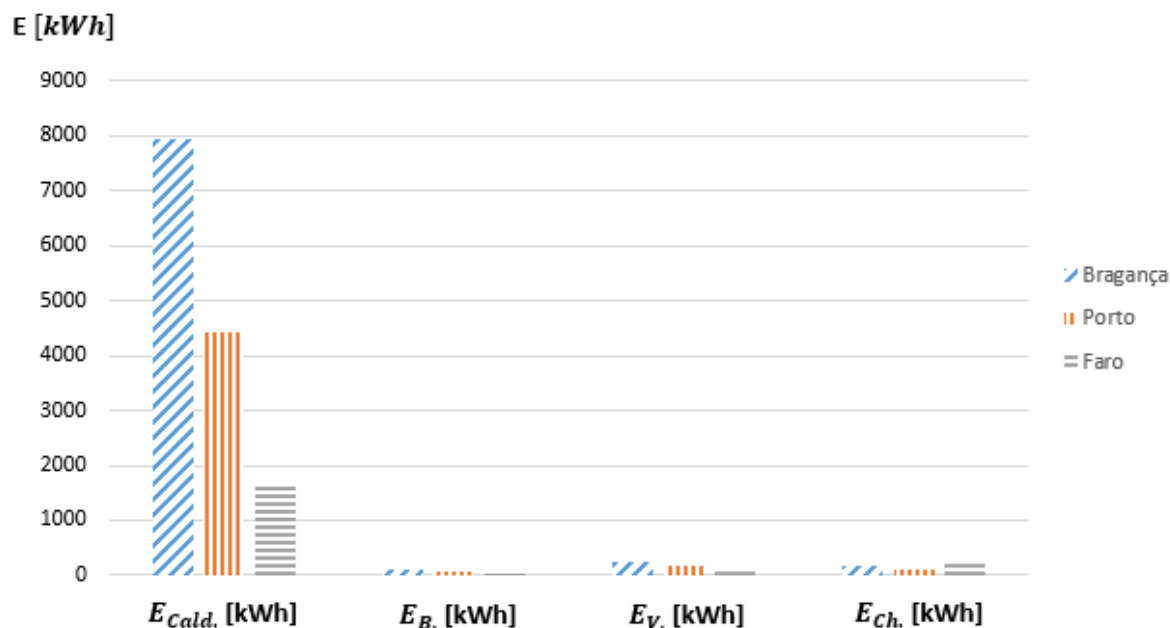


Figura 3.56: Consumo de energia anual dos equipamentos usados pelo sistema de climatização, com o mini-chiller activo, com o controlo do sistema dependente do factor de ocupação das pessoas

Tabela 3.44: Consumo de energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventilconvector, com mini-chiller incorporado

	F_{pu} [kWh _{EP} /kWh]	Bragança		Porto		Faro	
		S1	S2	S1	S2	S1	S2
$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	1,0	7940,5	4809,2	4431,5	2755,3	1647,4	1827,1
E_B^{SC} [kWh]	2,5	96,3	131,4	59,6	79,0	39,8	62,9
E_V^{SC} [kWh]	2,5	254,2	217,6	157,2	197,4	105,1	77,0
$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	2,5	171,1	63,6	112,1	57,9	224,4	208,7
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC}$ [kWh _{EP}]	-	9244,6	5840,6	5253,7	3591,0	2570,5	2698,5

É possível verificar, que a nova estratégia de controlo permite obter uma diminuição dos consumos energéticos de todos os equipamentos em Faro, excepto para o *mini-chiller* se este for utilizado.

Para as restantes localidades, se o sistema não utilizar um *mini-chiller*, verifica-se uma redução dos consumos dos equipamentos eléctricos e um aumento do consumo de energia por parte da caldeira. Se for utilizado um *mini-chiller*, verifica-se que os os ventiloconvectores passaram a consumir uma maior quantidade de energia eléctrica, para além de o *mini-chiller* consumir mais energia, o que indica que quando as pessoas chegam os equipamentos têm que estar constantemente ligados, para serem atingidas as condições de conforto térmico nestas localidades. Para estas localidades deve-se portanto aumentar o caudal de água que circula pelo ventiloconvector, ou o caudal de ar que este insufla, para o conforto térmico ser atingido mais rapidamente e de forma mais eficiente.

As tabelas 3.45 e 3.46, mostram o valor dos custos relativos à energia consumida, por cada uma das soluções que utilizam o ventiloconvector, em que o custo da energia eléctrica é de 0,1367 €/kWh e o custo da energia consumida pela caldeira é de 0,0214 €/kWh.

Tabela 3.45: Custo da energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector, sem *mini-chiller* incorporado

	Bragança		Porto		Faro	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
$CE_{Cald.}^{SC}$ [€]	133,2	100,7	72,6	54,5	32,1	38,8
CE_B^{SC} [€]	9,2	13,7	5,7	8,3	2,9	3,9
CE_V^{SC} [€]	24,2	36,2	3,1	21,9	1,8	10,3
$\sum_i^n CE_i^{SC}$ [€]	166,6	150,6	81,4	84,6	36,8	53,0

Tabela 3.46: Custo da energia anual dos equipamentos instalados, para as duas soluções que utilizam o ventiloconvector, com *mini-chiller* incorporado

	Bragança		Porto		Faro	
	S1	S2	S1	S2	S1	S2
$CE_{Cald.}^{SC}$ [€]	168,3	102,9	94,8	59,0	35,3	39,1
CE_B^{SC} [€]	13,2	18,0	8,1	10,8	5,4	8,6
CE_V^{SC} [€]	34,8	29,7	21,5	27,0	14,4	10,5
$CE_{Ch.}^{SC}$ [€]	23,4	8,7	15,3	7,9	30,7	28,5
$\sum_i^n CE_i^{SC}$ [€]	239,6	159,3	139,8	104,7	85,7	86,7

Em que:

- $CE_{Cald.}^{SC}$: Custo da energia consumida pela caldeira, utilizada pelo sistema de climatização [€];
- CE_B^{SC} : Custo da energia eléctrica consumida pela bomba de circulação, utilizada

pelo sistema de climatização [€];

- CE_V^{SC} : Custo da energia eléctrica consumida pelo ventiloconvector, usado pelo sistema de climatização [€];
- CE_{Ch}^{SC} : Custo da energia eléctrica consumida pelo mini-*chiller*, usado pelo sistema de climatização [€];

Para as condições de funcionamento testadas, verifica-se que a nova estratégia de controlo, é sempre a mais rentável em Faro, para as restantes localidades esta estratégia é apenas a mais rentável no Porto se não for adicionado um mini-*chiller*. Através dos resultados obtidos, é possível concluir que é necessário, ou de circular um maior caudal de água no sistema, ou de insuflar uma maior quantidade de ar a uma temperatura mais elevada, para o Porto e Bragança para tornar esta estratégia de controlo mais rentável. Apesar destas medidas poderem conduzir a um aumento da energia consumida pela caldeira, os restantes equipamentos deverão consumir uma quantidade inferior de energia eléctrica, sendo esta mais cara.

As tabelas 3.47, e 3.48 mostram o número de horas, em que a temperatura no interior do edifício esteve acima dos $25^{\circ}C$ e os habitantes estiveram dentro do edifício.

Tabela 3.47: Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, no interior do edifício redimensionado, em função da ocupação dos habitantes

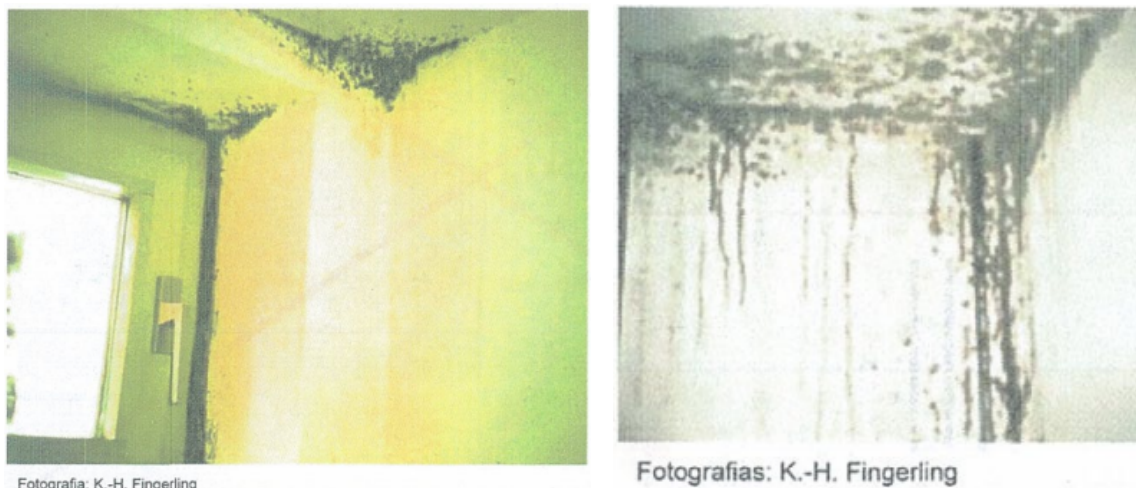
	Bragança	Porto	Faro
$H_{sobreaq.,ocup.,25}$	787	866	1404
$\%H_{sobreaq.,ocup.,25}$ [%]	9,0	9,9	16,0

Tabela 3.48: Número de horas em que a temperatura interior do edifício excede os $25^{\circ}C$, no interior do edifício redimensionado, em função da ocupação dos ocupantes, com os sistemas de climatização em estudo auxiliados pelo mini-*chiller*

	Bragança	Porto	Faro
$H_{sobreaq.,ocup.,25}$	321	146	125
$\%H_{sobreaq.,ocup.,25}$ [%]	3,7	1,7	1,4

Uma vez mais, o valor de 10% é ultrapassado em Faro, sem recurso a um equipamento de arrefecimento auxiliar, enquanto que nas outras localidades as horas de sobreaquecimento encontram-se abaixo deste valor. É possível verificar que houve uma redução do número de horas de sobreaquecimento, relativamente à estratégia de controlo usada anteriormente.

As soluções analisadas têm um grave problema, a falta de controlo da humidade por parte do sistema de climatização, faz com que a humidade relativa no interior do edifício atinja valores muito elevados, e por vezes valores muito baixos, estando fora do intervalo recomendado pela norma *ASHRAE* 55-2013 [44], como pode ser verificado através da figura 2.24 da secção 2.11. Devido à humidade não ser controlada neste edifício, e as temperaturas serem muito reduzidas no seu interior, são favoráveis ao desenvolvimento de patologias e à danificação da envolvente do edifício, como se pode verificar pelos exemplos das figuras 3.57a e 3.57b.



(a) Formação de bolor nas janelas. Retirado de [21] (b) Formação de bolor nas paredes. Retirado de [21]

Figura 3.57: Exemplos da formação de bolores na envolvente do edifício, devido à falta de controlo, quer da temperatura interior, quer da humidade relativa do edifício

A figura 3.58 mostra a evolução normalmente registada pelas bactérias, mediante a temperatura e a humidade relativa no interior do edifício.

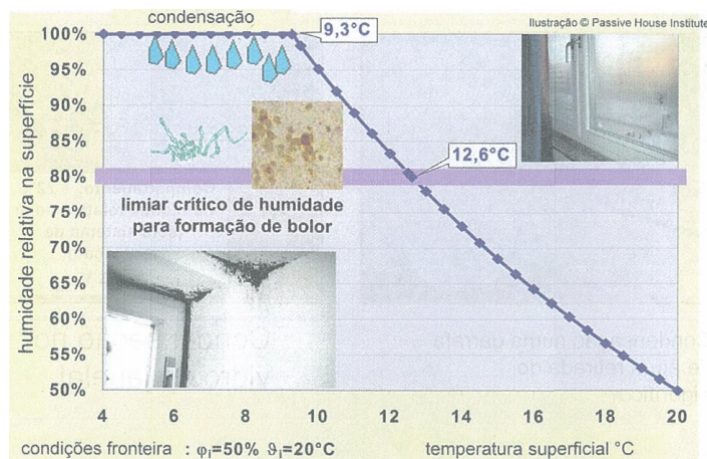


Figura 3.58: Condições para a condensação no interior do edifício e para a formação de bolores. Retirado de [21]

A tabela 3.49 mostra os valores mais reduzidos, atingidos pela humidade relativa, pela temperatura no interior do edifício e pela temperatura interior nos seus envidraçados ($T_{env.}$), para a nova estratégia de controlo, no edifício redimensionado.

Tabela 3.49: Valores mínimos atingidos pela temperatura e humidade relativa no interior do edifício e pela temperatura interior do envidraçado, para o sistema com ventiloconvetor que se activa mediante a ocupação da habitação

Localidade	$T_{int.}$ [$^{\circ}C$]	$\phi_{int.}$ [%]	$T_{env.}$ [$^{\circ}C$]
Bragança	13,3	18,5	10,7
Porto	17,9	22,9	15,1
Faro	18,3	30,4	16,4

É possível verificar que para o controlo realizado, existe a forte possibilidade de ocorrer formação de patologias na envolvente do edifício em Bragança. Nas outras localidades, por sua vez, o risco aparenta ser bastante reduzido. Por este motivo, o *Passivhaus Institut* propõe como já referido anteriormente, um sistema em que as necessidades de aquecimento são satisfeitas totalmente ou quase, por um sistema de recuperação do calor, que usa o ar de extracção do edifício para aquecer o ar insuflado, funcionando o sistema em contínuo, não existindo nesta solução qualquer recirculação do ar, por sua vez as necessidades de arrefecimento são supridas por estratégias passivas.

Analisando este sistema, obtêm-se os resultados, que serão de seguida apresentados, em que a sigla *SA*, representa o sistema sem arrefecimento auxiliar, e *CA*, com arrefecimento auxiliar.

A evolução da temperatura no interior do edifício, para os dias de projecto usando o sistema de climatização em estudo encontra-se representada nas figuras 3.59, 3.60 e 3.61 para o intervalo de dias considerado na estação de aquecimento.

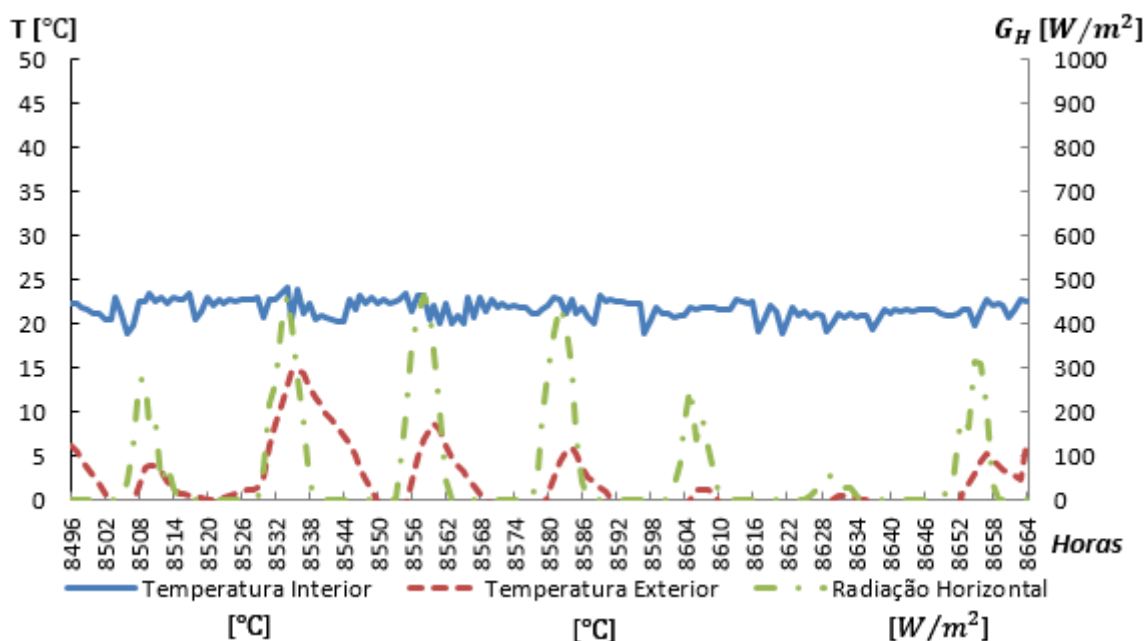


Figura 3.59: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na semana em estudo para a estação de aquecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* activo

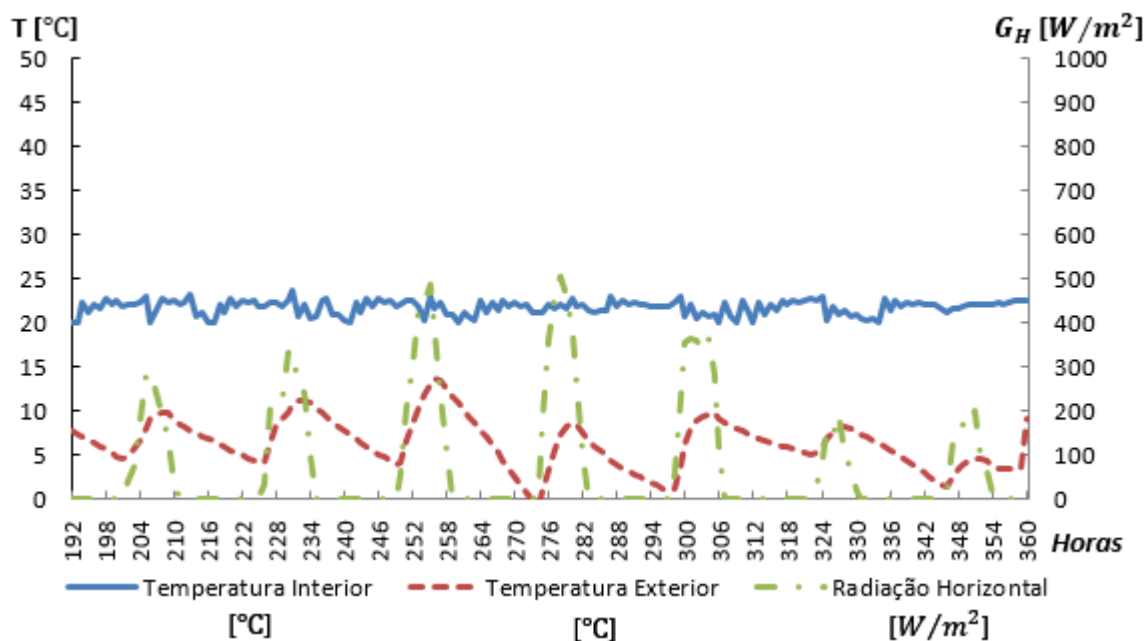


Figura 3.60: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na semana em estudo para a estação de aquecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* activo

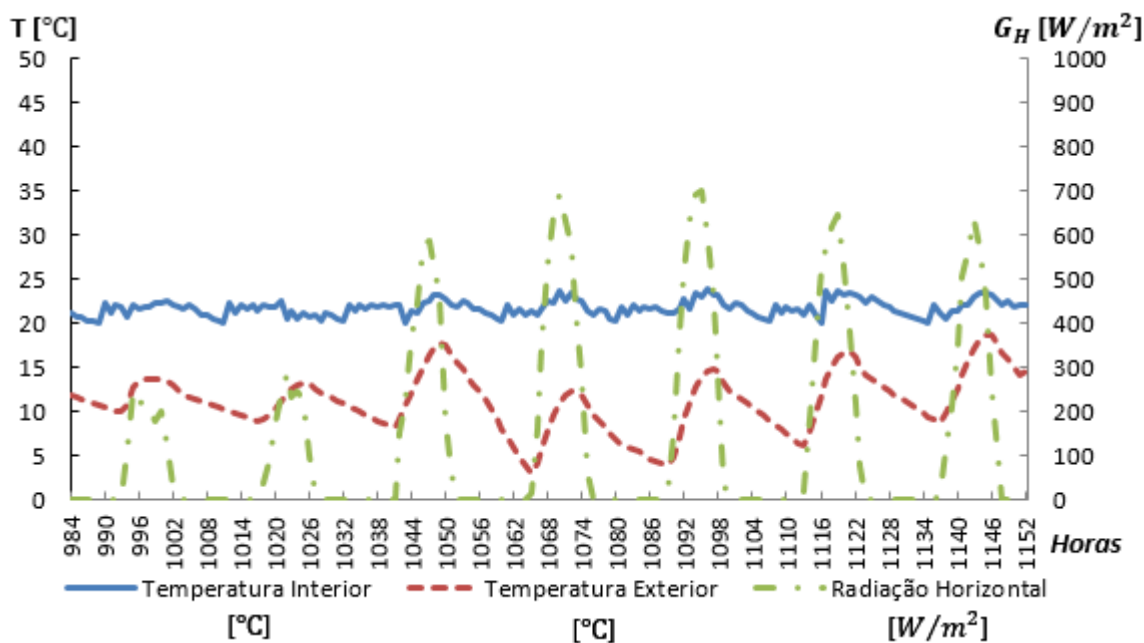


Figura 3.61: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na semana em estudo para a estação de aquecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* activo

É possível verificar, que a evolução da temperatura no interior do edifício é mais uniforme, em comparação com as verificadas nas outras soluções anteriormente analisadas, devido ao facto do sistema de climatização se encontrar sempre activo, uniformizando a temperatura interior do espaço. É expectável, que neste sistema haja uma maior satisfação por parte dos ocupantes ao nível do conforto térmico, uma vez que a temperatura interior encontra-se em todos os momentos dentro da gama de valores recomendados.

As figuras 3.62, 3.63 e 3.64 para a estação de arrefecimento, nas respectivas localidades.

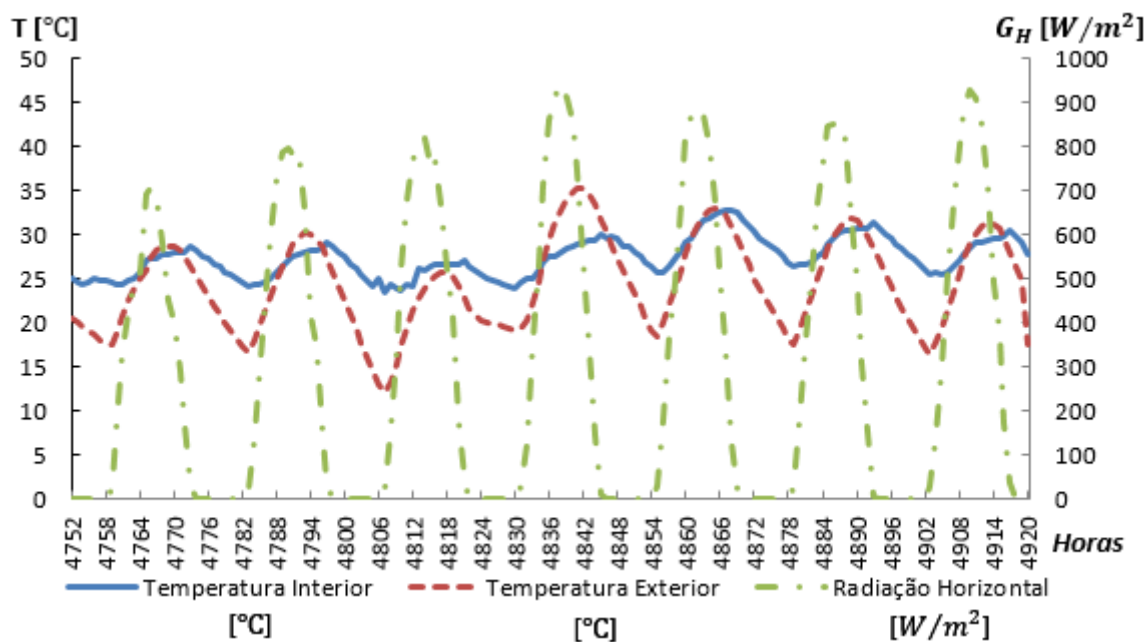


Figura 3.62: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* activo

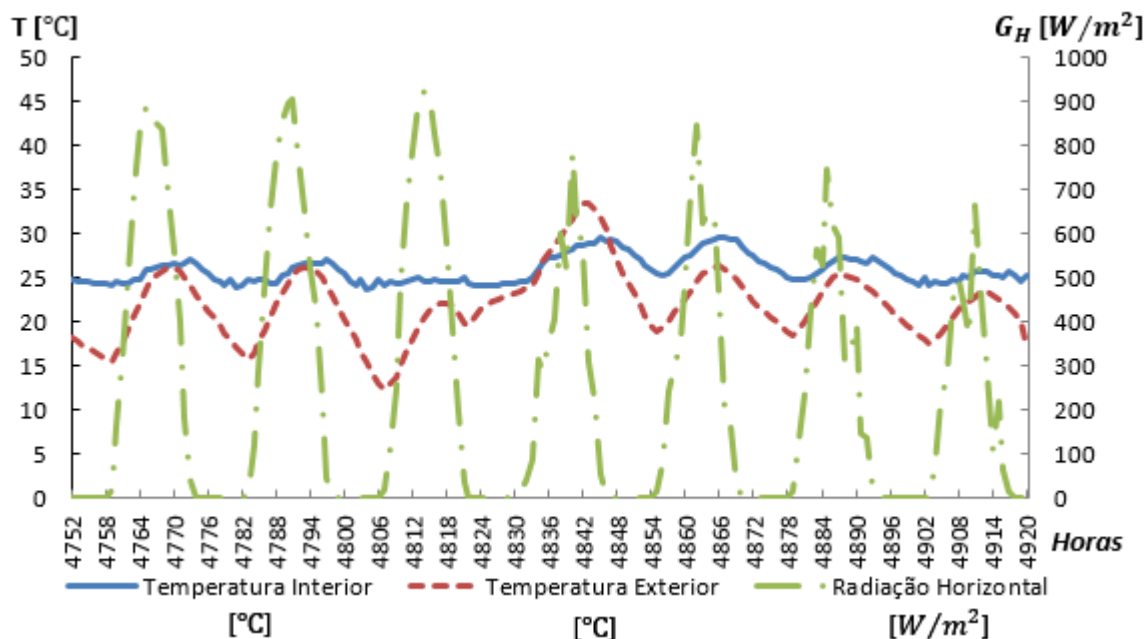


Figura 3.63: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* activo

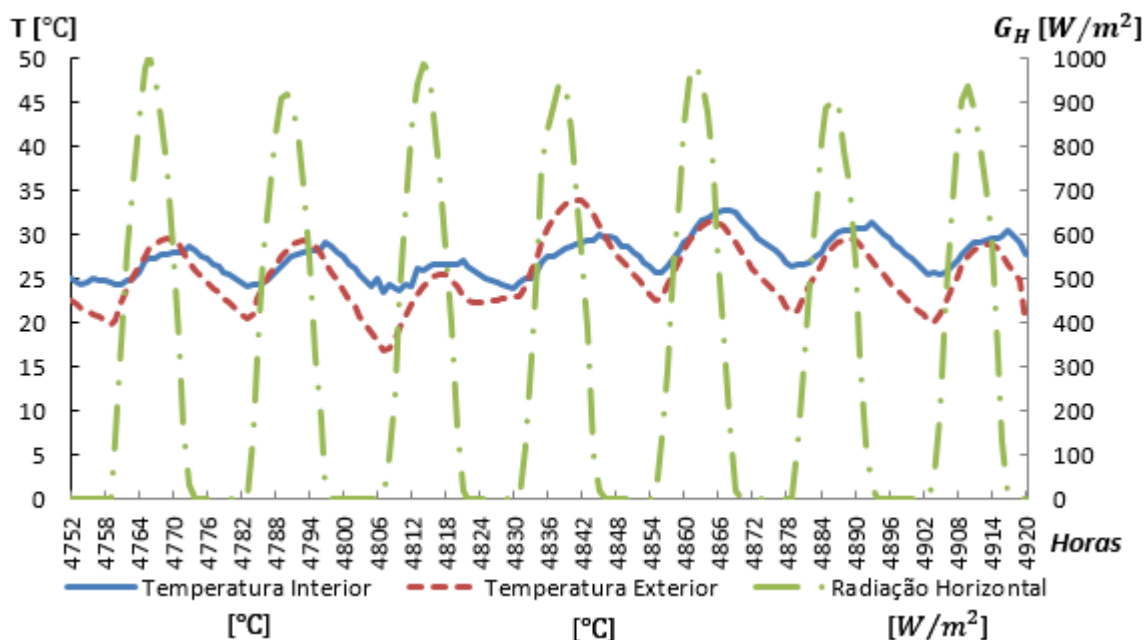


Figura 3.64: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* activo

As evoluções da temperatura interior na estação de arrefecimento são ligeiramente diferentes das verificadas pelos outros sistemas, visto que o sistema de ventilação mecânica é accionado quando a temperatura interior se encontra a 24°C , podendo em certos momentos aquecer novamente o edifício provocando alguns picos visíveis nestas evoluções.

As figuras 3.65, 3.66 e 3.67 representam as evoluções da temperatura interior em função da radiação e da temperatura exterior para os dias de projecto da estação de arrefecimento da respectiva localidade.

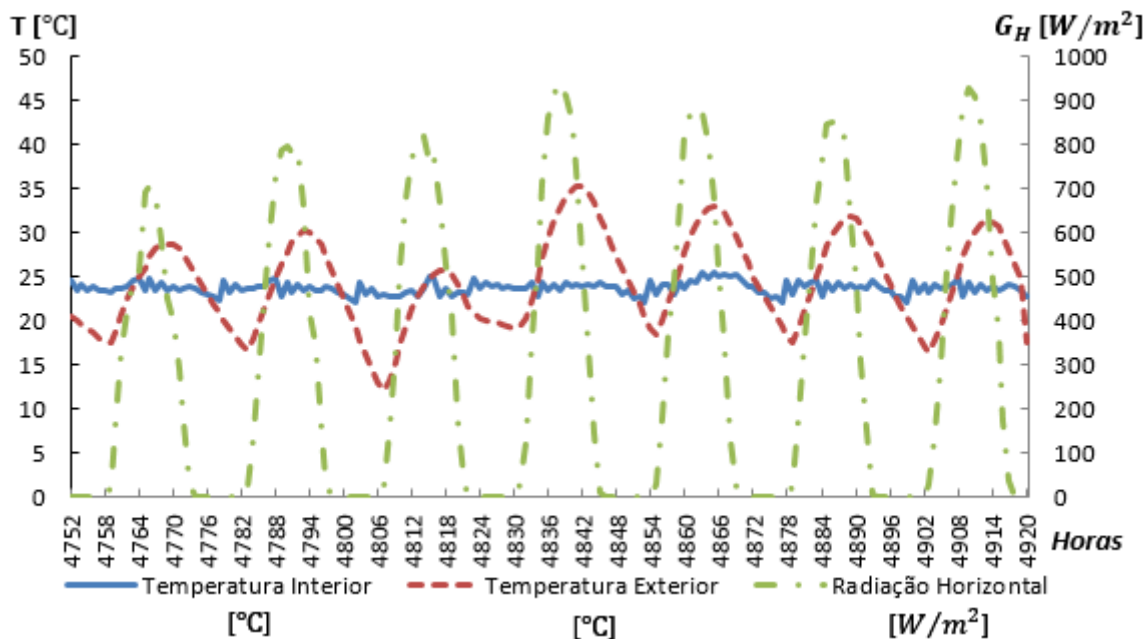


Figura 3.65: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* implementado e auxiliado por um *mini-chiller*

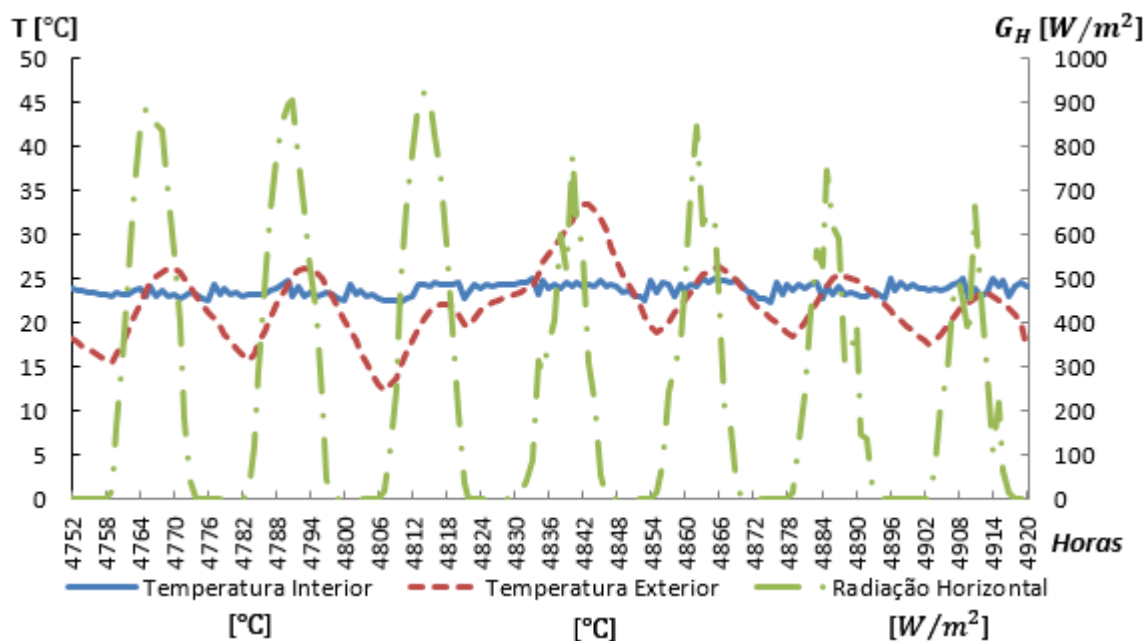


Figura 3.66: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* implementado e auxiliado por um mini-chiller

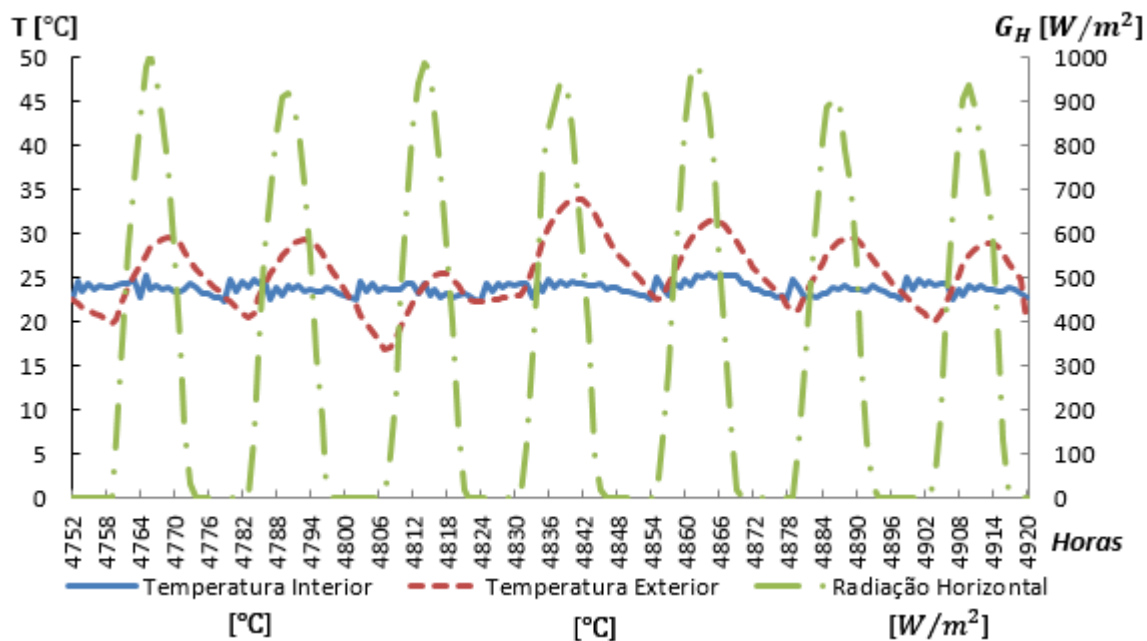


Figura 3.67: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, na semana em estudo para a estação de arrefecimento, com o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus* implementado e auxiliado por um mini-chiller

Verifica-se que a temperatura interior do edifício é quase uniforme quando é utilizado um *mini-chiller*, num momento o ar é arrefecido, sendo de seguida novamente aquecido devido à radiação solar incidente. Devido à reduzida variação dos valores da temperatura interior do edifício e, de estes se encontrarem dentro da gama de conforto térmico, é expectável que a sensação térmica esteja mais perto da neutra, relativamente às restantes soluções.

As figuras 3.68 e 3.69 e as tabelas 3.50 e 3.51 apresentam os valores dos consumos de energia para o sistema *Passivhaus*.

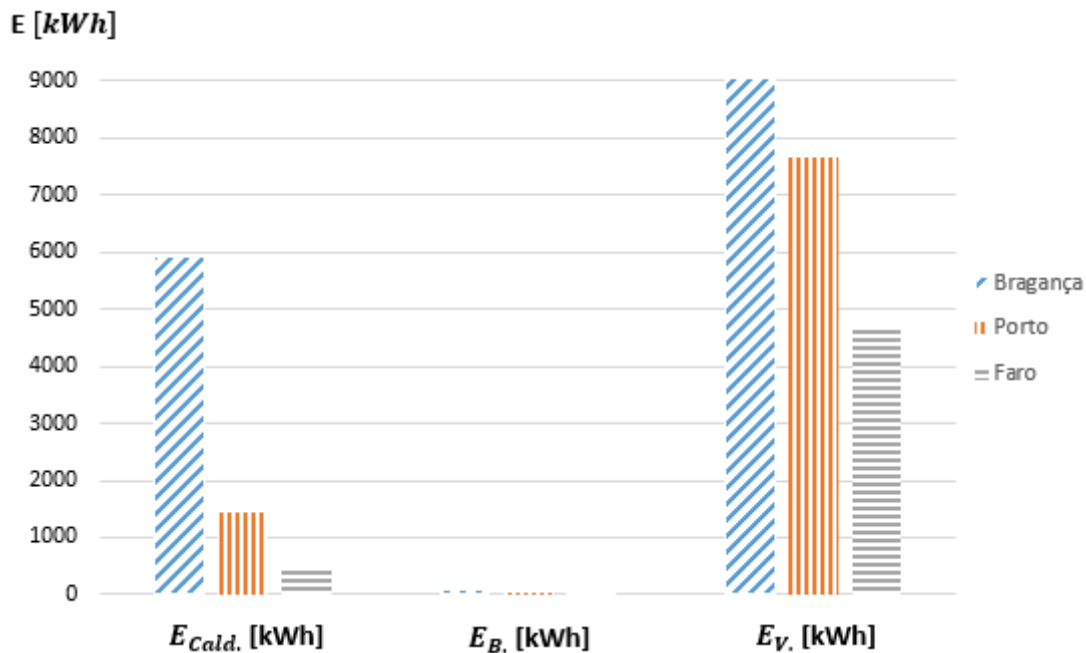


Figura 3.68: Consumo energético anual do sistema recomendado pelo *Passivhaus Institut*

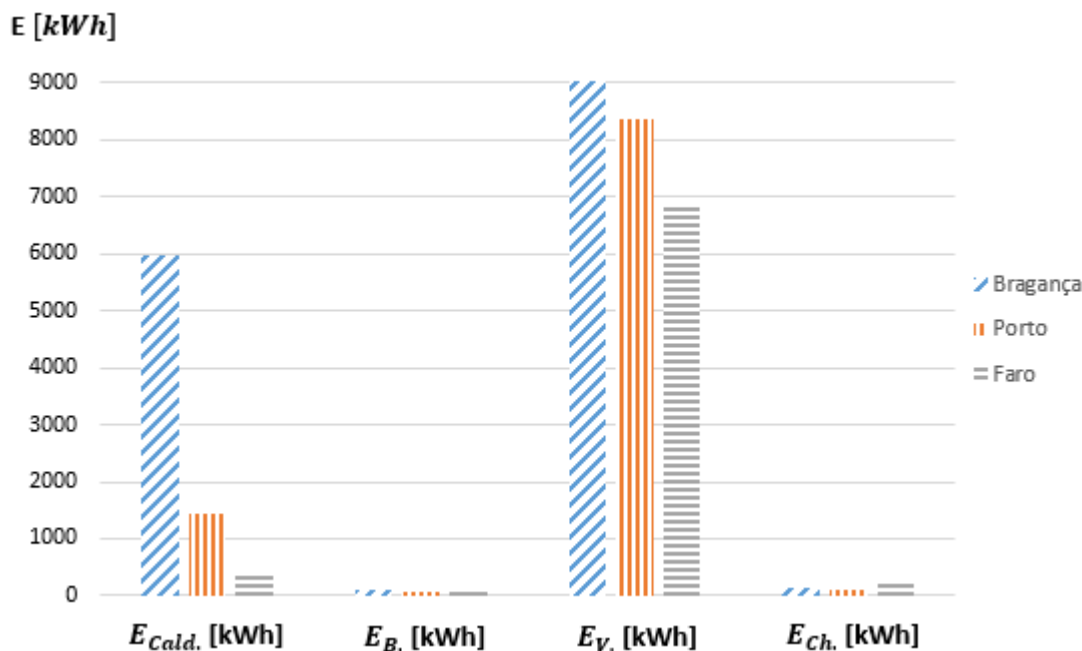


Figura 3.69: Consumo energético anual do sistema recomendado pelo *Passivhaus Institut*, com o auxílio de um mini-chiller auxiliar

Tabela 3.50: Consumo de energia anual dos equipamentos, do sistema de climatização recomendado para um edifício *Passivhaus*

	$F_{pu,i}$ [kWh_{EP}/kWh]	Bragança		Porto		Faro	
		SA	CA	SA	CA	SA	CA
$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	1,0	5916,5	5972,7	1443,9	1443,9	413,0	413,0
E_B^{SC} [kWh]	2,5	79,9	104,1	41,3	64,6	18,8	57,5
E_V^{SC} [kWh]	2,5	9446,4	9833,3	7814,6	8495,9	4760,4	7010,7
$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	2,5	-	130,2	-	105,0	-	222,0
$\sum_i^n F_{pu,i} \cdot E_i^{SC}$ [kWh_{EP}]	-	29732,3	30816,0	21083,6	22845,1	12361,1	18083,5

Tabela 3.51: Número de horas em que a temperatura interior do edifício, excede os $25^\circ C$, utilizando o sistema de climatização recomendado para um *Passivhaus*

	Bragança		Porto		Faro	
	SA	CA	SA	CA	SA	CA
$H_{sobreaq.,25}$	1086	524	732	350	2196	1096
$\%H_{sobreaq.,25}$ [%]	12,4	6,0	8,4	4,0	25,1	12,5
$H_{sobreaq.,26}$	793	-	338	-	1510	-
$\%H_{sobreaq.,26}$ [%]	9,1	-	4,4	-	17,2	-

Analisando os resultados obtidos, é possível verificar que em termos económicos esta solução nunca será a ideal, devido à elevada quantidade de energia consumida pelos ventiladores. No entanto, é a solução mais interessante em termos de conforto térmico, como se pode verificar pelas evoluções da temperatura interior da sua envolvente, em que as temperaturas interiores assumem os valores mais constantes. É também possível verificar, que esta solução é a que tem os menores consumos energéticos, por parte

das bombas de circulação. Os resultados da tabela 3.51, permitem confirmar que o edifício encontra-se perfeitamente ajustado ao clima do Porto, pois a sua temperatura interior não ultrapassa os $25^{\circ}C$ durante 10% das horas num ano para todas as soluções analisadas no presente projecto. Como a temperatura no interior do edifício, encontra-se durante mais de 10% das horas num ano acima dos $25^{\circ}C$, isto significa que o ar deve ser insuflado no edifício a uma temperatura inferior a $25^{\circ}C$, ou que deve ser insuflada uma maior quantidade de ar a $20^{\circ}C$.

Os consumos energéticos dos ventiladores, são muito superiores aos $400 kWh_{EP}$, indicados pelo *Passivhaus Institut* [21]. O que significa, que os ventiladores utilizados na simulação não são os mais eficientes, ou que a estratégia planeada para a sua utilização não é a ideal. Com estes consumos, esta solução tornar-se-ia mais interessante em termos económicos, apesar do seu custo inicial ser superior à solução com ventiloconvector. A nova solução para o sistema com recuperador de calor, permite relativamente à solução anterior para este sistema, uma redução dos consumos energéticos de todos os equipamentos, excepto para o ventilador, sendo os consumos deste equipamento demasiado elevados, tornando mesmo a solução inviável em termos económicos.

A temperatura interior mínima dos envidraçados é de cerca de $14,9^{\circ}C$, a humidade do interior do edifício é controlável, algo que não foi possível simular. Este sistema iria assim consumir, uma maior quantidade de energia, no entanto, é o sistema que dá mais garantias ao nível da qualidade do ar interior.

Face aos resultados obtidos e às vantagens de cada um dos sistemas, caberá ao consumidor, decidir se pretende um edifício mais barato, ou um edifício mais "saudável", mas também mais caro.

3.6 Balanço Energético

Como é possível observar pelos resultados obtidos ao longo do presente capítulo, o edifício possui um desempenho energético elevado segundo a legislação em vigor em Portugal, para qualquer solução escolhida. No entanto, para a obtenção de um balanço energético de energia primária não renovável nulo, é necessária a geração da quantidade necessária de energia proveniente de fontes renováveis, para a satisfação total das necessidades energéticas do edifício.

Idealmente, devem ser instalados equipamentos, que permitam em todos os momentos a satisfação das necessidades energéticas do edifício, algo que como será verificado não é obrigatório para a obtenção de um balanço energético nulo, se for gerada energia suficiente para compensar a energia não renovável consumida. A utilização de uma caldeira, que consome *pellets* como combustível, permite a satisfação quer das necessidades de aquecimento, quer das necessidades de aquecimento das águas quentes sanitárias. No entanto, estes equipamentos não têm qualquer influência directa relativamente, à energia eléctrica consumida pelos equipamentos utilizados. Para a produção local de energia eléctrica através de fontes renováveis, são utilizados equipamentos como os painéis solares fotovoltaicos (*PV*) para a satisfação das necessidades de energia eléctrica, sendo que no presente trabalho será analisada uma solução *PV*, para a satisfação destas necessidades.

Os ganhos internos devido à utilização dos equipamentos eléctricos (computadores,

televisões e impressora), foram obtidos através do *TRNSYS*. Os seus valores, assim como os valores dos restantes equipamentos, considerados para a simulação dinâmica do edifício, encontram-se representados na tabela 3.52.

Tabela 3.52: Energia consumida anualmente pelos equipamentos domésticos

Equipamento	$E_{elec.}$ [kWh]	$F_{pu,elec.} \cdot E_{elec.}$ [kWh _{EP}]
Frigorífico	112,0 [60]	280,0
Congelador	234,0 [61]	585,0
Máquina de lavar loiça	262,0 [62]	655,0
Máquina de lavar roupa	166,0 [63]	415,0
Equipamentos Eléctricos	232,4	581,1

Foi considerado que a energia consumida pelos equipamentos eléctricos¹², é idêntica à térmica e que os computadores encontram-se ligados à rede, sempre que são utilizados, uma consideração que não é realista, mas que representa, o caso mais crítico.

Estas necessidades, serão consideradas no balanço energético de um *nZEB*, apesar da energia consumida por alguns destes equipamentos (como os computadores) não ser contabilizado no balanço energético, por ser demasiado reduzida ou difícil de prever.

Inicialmente o desempenho de uma caldeira a *pellets*, será comparado com o de uma caldeira de características idênticas, mas cujo combustível utilizado é o gás natural, de modo a determinar qual o combustível mais barato e qual a melhor solução para a obtenção de um balanço de energia não renovável nulo.

Nesta secção, será realizado um balanço energético, para a solução em que a climatização do edifício é feita através do ventiloinvector, em que este se activa sempre que a temperatura se encontra fora dos *set-points* definidos. Outra consideração é que o mini-*chiller*, deste modo é possível garantir que a solução adoptada consegue a satisfação das necessidades de energia primária do edifício seja qual for o seu perfil de ocupação.

Através do somatório dos consumos mensais das caldeiras, obtiveram-se os resultados representados na tabela 3.53.

Tabela 3.53: Necessidades de energia primária totais do edifício, para caldeiras que utilizam cada um dos combustíveis em análise

	Bragança	Porto	Faro
$E_{pel.}$ [kWh/ano]	8717,9	6242,8	5092,1
$E_{G.N.}$ [kWh/ano]	8717,9	6242,8	5092,1
$F_{pu,pel.} \cdot E_{pel.}$ [kWh _{EP} /ano]	8717,9	6242,8	5092,1
$F_{pu,G.N.} \cdot E_{G.N.}$ [kWh _{EP} /ano]	21794,7	15607,1	12730,4

Os dados da tabela 3.53, comprovam que para a obtenção de um edifício de balanço energético nulo, a utilização de caldeiras que consomem *pellets* como combustível, é muito mais favorável que as caldeiras que consomem gás natural.

O preço do gás natural é obtido recorrendo à tarifa LisboaGás [64], dependendo este do volume utilizado e da quantidade de energia produzida, o preço das *pellets* é de

¹²Este valor inclui todos os equipamentos utilizados na habitação, excluindo os utilizados pelos sistemas de climatização e de AQS

100 €/ton. [49]. Utilizando o valor do PCI de cada um dos combustíveis (45,1 MJ/kg para o gás natural e 16,8 MJ/kg para as *pellets* [50]), é possível calcular a quantidade consumida por cada um deles em kg, dada pela seguinte equação:

$$E_{Cald.} = m_i \cdot \frac{PCI_i \cdot 10^3}{3600} \quad [kWh] \quad (3.10)$$

Sendo:

- $E_{Cald.}$: Energia consumida pela caldeira para a satisfação das necessidades energéticas do edifício [kWh];
- m_i : Quantidade de combustível consumido para a satisfação das necessidades energéticas do edifício [kg];
- PCI_i : Poder calorífico inferior do combustível utilizado [MJ];

Recorrendo à equação 3.10, obtiveram-se os consumos anuais para cada combustível, na respectiva localidade, representados na tabela 3.54.

Tabela 3.54: Massa de combustível consumida pela caldeira (em kg), para as *pellets* e para o gás natural

	Bragança	Porto	Faro
$m_{pel.} [kg]$	1868,1	1337,7	1091,2
$m_{G.N.} [kg]$	695,9	498,3	406,5

É possível verificar que é necessário, uma menor quantidade de gás natural para fornecer a mesma energia térmica que as *pellets*, não significa no entanto, que esta seja a alternativa mais económica.

O preço da tarifa LisboaGás, é obtido em função do volume de gás natural (em m^3) consumido. O volume será calculado recorrendo à equação:

$$m_{G.N.} = \rho_{G.N.} \cdot V_{G.N.} \quad [kg] \quad (3.11)$$

Em que o valor de $\rho_{G.N.}$ é de 0,8404 kg/ m^3 [50]. O volume de gás natural consumido em cada localidade, encontra-se representado na tabela 3.55.

Tabela 3.55: Volume de Gás Natural (m^3), consumido pela caldeira

	Bragança	Porto	Faro
$V_{G.N.} [m^3]$	828,0	593,0	483,7

O preço do gás natural é variável ao longo do tempo, mas tomando como referência os valores da tarifa LisboaGás, o seu preço será de 0,0649 €/kWh [64] para Porto e Bragança e de 0,0690 €/kWh [64] para Faro.

É possível deste modo concluir, que as *pellets* são combustível mais barato, para as aplicações em estudo.

A equação 3.12 representa o balanço energético do edifício, ao nível da energia primária proveniente de fontes de energia não renováveis, em que o segundo membro representa a diferença entre a energia primária provenientes de fontes não renováveis, consumida pelo edifício e a energia primária não renovável, que é possível obter localmente.

$$E_{EP,nren} = \sum_i^n E_{del.,i} \cdot f_{del.,nren,i} - \sum_i^n E_{exp.,i} \cdot f_{exp.,nren,i} \quad [kWh_{EP,nren}] \quad (3.12)$$

Em que:

- $E_{EP,nren}$: Energia primária não renovável [$kWh_{EP,nren}$];
- $E_{del.,i}$: Energia primária consumida proveniente da rede, ou de outras fontes de energia locais, para autoconsumo [kWh_{EP}];
- $f_{del.,nren,i}$: Factor não renovável da energia primária consumida [$kWh_{EP,nren}/kWh_{EP}$];
- $E_{exp.,i}$: Energia primária exportada para a rede [kWh_{EP}];
- $f_{exp.,nren,i}$: Factor não renovável da energia primária gerada localmente [$kWh_{EP,nren}/kWh_{EP}$];

A energia eléctrica gerada pelos colectores, é 100% renovável, logo se o seu valor, for igual ou superior, ao da energia não renovável que seria consumida, o balanço será nulo ou menor que 0, respectivamente.

Devido à utilização obrigatória de inversores para converter a corrente da energia eléctrica gerada, nem toda a energia gerada pelos colectores é aproveitada, para efeitos de cálculo será considerado o pior rendimento dos disponíveis no mercado, que é de cerca de 90% [45]. A energia primária que é necessária de gerar pelos colectores, terá portanto que ser pelo menos cerca de 1,11 vezes maior que as necessidades de energia eléctrica do edifício, de modo a atingir-se de um balanço energético nulo.

As tabelas 3.56 e 3.57 mostram o número de módulos necessários, para ser possível a obtenção deste balanço, se o combustível utilizado pelas caldeiras for *pellets*, dependendo este número, de parâmetros como a radiação incidente em cada localidade, a inclinação dos colectores, ou o seu rendimento, que depende da marca.

A energia primária obtida através de cada um dos colectores é representada por $E_{SUN.,EP}$, para o colector *E20/27* e por $E_{Ren.,EP}$, para o colector *JC235M-24/Bb*.

Tabela 3.56: Energia primária anual gerada, através da utilização de colectores fotovoltaicos da marca *E20/327* de modo a obter um balanço de energia primária não renovável, nulo ou maior se o combustível for *pelletes*

Localidade	Inclinação do Colector [°]	Número de Módulos	$E_{del.}$ [kWh _{EP}]	$f_{del.,nren}$ [kWh _{EP,nren} /kWh _{EP}]	$E_{del.,nren}$ [kWh _{EP,nren}]	$E_{SUN.,EP}$ [kWh _{EP}]
Bragança	41,82	4	5395,5	0,59	3183,3	3802,3
	10,49	4	5395,5	0,59	3183,3	3581,3
Porto	41,15	4	4328,5	0,59	2553,8	3735,0
	10,49	4	4328,5	0,59	2553,8	3522,8
Faro	37,02	3	4399,8	0,59	2596,0	3029,5
	10,49	4	4399,8	0,59	2596,0	4287,8

Tabela 3.57: Energia primária anual gerada, através da utilização do colector da *Renosola, JC235M-24/Bb* de modo a obter um balanço de energia primária não renovável nulo, ou maior se o combustível for *pellets*

Localidade	Inclinação do Colector [°]	Número de Módulos	$E_{del.}$ [kWh _{EP}]	$f_{del.,nren}$ [kWh _{EP,nren} /kWh _{EP}]	$E_{del.,nren}$ [kWh _{EP,nren}]	$E_{Ren.,EP}$ [kWh _{EP}]
Bragança	41,82	5	5395,5	0,59	3183,3	3853,5
	10,49	5	5395,5	0,59	3183,3	3647,8
Porto	41,15	5	4328,5	0,59	2553,8	3799,8
	10,49	5	4328,5	0,59	2553,8	3599,0
Faro	37,02	4	4399,8	0,59	2596,0	3478,8
	10,49	4	4399,8	0,59	2596,0	3295,5

É possível verificar, que é necessária uma menor quantidade de colectores solares fotovoltaicos *E20/27* da *Sunpower*, para a satisfação das necessidades de energia eléctrica, em relação aos colectores solares fotovoltaicos *JC235M-24/Bb* da *Renosola*. A única excepção verifica-se em Faro, no entanto, é visível a produção de uma maior quantidade de energia eléctrica, para o colector da *Sunpower*.

Uma vez mais, verifica-se que a inclinação equivalente à latitude do local, permite a captação de uma maior quantidade de energia, relativamente à inclinação equivalente à do tecto. Logo, se for possível a instalação dos colectores, num local seguro e sem obstruções, a sua instalação será mais favorável que a instalação no tecto, até porque, se a sua inclinação for fixa no tecto, ele só poderá ser instalado numa posição, sendo estas conclusões idênticas às verificadas para os colectores do sistema de aquecimento das AQS.

Apesar de ser mais caro, poderá compensar a instalação de colectores solares da marca *E20/27* da empresa *Sunpower*, pois é possível obter uma quantidade de energia de origem renovável muito superior, podendo deste modo compensar o seu maior custo individual. Estes colectores têm uma elevada durabilidade e melhores condições de manutenção, assim como uma garantia de 25 anos, pelo que os seus custos de manutenção serão assim menores relativamente aos colectores *JC235M-24/Bb* da marca *Renosola*¹³, é também expectável que o colector da *Sunpower* tenha um tempo de vida maior. Não existe contudo, informação suficiente disponibilizada por ambas as empresas, para uma análise económica com rigor suficiente para determinar qual a

¹³As características de ambos os colectores encontram-se representadas no anexo G.2

melhor solução em termos económicos.

O custo de um painel *E20/27* da *Sunpower* não se encontra disponível no site da empresa, enquanto que um painel *JC235M-24/Bb* da *Reconsola* tem o seu preço avaliado em 177,60 € [65]. A equação 3.13, permite calcular o valor recebido pela venda da energia em excesso à rede [66].

$$R_m = Eexc_m \cdot OMIE_m \cdot 0,9 \quad [€] \quad (3.13)$$

Em que:

- R_m : Valor recebido pela venda da energia em excesso à rede, relativa ao mês "m" [€];
- $Eexc_m$: Energia em excesso, produzida pelos colectores solares fotovoltaicos, no mês "m" [kWh];
- $OMIE_m$: Valor resultante da média aritmética simples dos preços de fecho do Operador do Mercado Ibérico de Energia (OMIE) para Portugal (mercado diário), relativos ao mês "m"¹⁴ [€/kWh];

Para uma potência instalada acima de 1,5 kW, é obrigatório o pagamento de uma compensação mensal pela potência adicional [66], traduzido pela equação 3.14.

$$C_{UPAC,m} = P_{UPAC} \cdot V_{CIEG,a} \cdot K_a \quad [€] \quad (3.14)$$

Sendo que:

- $C_{UPAC,m}$: A compensação paga no mês "m" por cada kW de potência instalada, que permita recuperar uma parcela dos custos decorrentes de medidas de política energética, de sustentabilidade ou de interesse económico geral (CIEG) na tarifa de uso global do sistema, relativa ao regime de produção de electricidade em autoconsumo [€];
- P_{UPAC} : O valor da potência instalada na UPAC, constante no respetivo certificado de exploração [kW];
- $V_{CIEG,a}$: O valor que permite recuperar os CIEG da respectiva UPAC, no ano "s" nos termos do número seguinte [€/kW];
- K_a : Coeficiente de ponderação, entre 0% e 50%, a aplicar ao $V_{CIEG,t}$ tendo em consideração a representatividade da potência total registada das UPAC no SEN (Sistema Elétrico Nacional), no ano "s";

No entanto, no final do ano 2013 a potência correspondente a 1% da potência instalada no SEN, equivalia a 180 MW [67], valor muito superior à potência instalada no presente caso de estudo, logo não será paga qualquer compensação.

¹⁴O seu preço é admitido fixo e constante no valor de 0,1367 €/kWh, admitindo uma potência inferior a 2,3 kVA [48]

Para ser possível a avaliação do retorno económico que é possível obter, através da instalação de uma área de colectores solares fotovoltaicos com a sua inclinação idêntica à latitude do local, foram utilizadas, as equações 3.13 e 3.14 e os valores anuais da energia exportada para a rede, obtendo-se o lucro anual máximo possível de obter, através da diferença entre a energia exportada (a energia em excesso, representada por $E_{exc.,SUN.}$ e $E_{exc.,Ren.}$ para os painéis da *Sunpower* e *Renosola* em estudo, respectivamente) pela utilização de cada um dos colectores. No entanto, para estes resultados serem verificados, é necessário a produção de energia eléctrica para a rede, podendo esta solução não ser a mais favorável devido à instalação de equipamentos suplementares, que aumentam o custo inicial do sistema. Os resultados, relativamente à diferença entre o lucro anual possível de obter para cada uma das soluções e a poupança económica máxima possível de obter para um regime de autoconsumo, encontram-se representados na tabela 3.58.

Tabela 3.58: Retorno económico anual obtido, devido à utilização dos colectores dos colectores da marca *Sunpower*, relativamente aos colectores da marca *Renosola*, para o mesmo número de módulos e respectiva poupança económica máxima, possível de obter para um regime de autoconsumo

Localidade	Número de Módulos	$E_{exc.,SUN.}$ [kWh]	$E_{exc.,Ren.}$ [kWh]	Lucro anual [€]
Bragança	5	754,6	268,1	59,86
Porto	5	970,4	498,3	58,08
Faro	4	779,3	353,1	52,44
	5	1654,5	1023,1	77,69

Verifica-se deste modo, que a utilização dos colectores da marca *Sunpower* permite obter retorno financeiro relativamente aos da marca *Renosola*, restando saber o tempo necessário para este se tornar economicamente viável, assim como se é mais económico adoptar o regime de autoconsumo, ou produzir energia eléctrica para a rede. O tempo de vida esperado para um colector solar, é normalmente 20 anos, embora seja expectável uma duração de 25 anos para o *E20-27*, sendo o seu maior tempo de vida e também os menores custos de manutenção, outra das vantagens deste colector relativamente ao colector *JC235M24/Bb* [46]. É também possível observar, que pelo menos para Faro, o aumento da área de colectores, permitiu o aumento do retorno económico obtido, sugerindo que existe uma área de colectores para a qual se obtém a maximização do retorno económico, no entanto com os dados disponíveis não é possível seu cálculo.

Para um regime de autoconsumo, idealmente deveria ser instalada a menor área de colectores solares fotovoltaicos, necessária para a satisfação das necessidades de energia eléctrica. A solução mais económica seria assim, o sistema cujo custo final fosse mais baixo, contudo esta situação não se verifica na vida real, pois para esta situação ser verdadeira, toda a energia que é possível gerar localmente teria que ser consumida, o que não corresponde à realidade, pois a maior parte da energia gerada pelos colectores é obtida durante o dia, momento em que muitas vezes as habitações não se encontram ocupadas. Deste modo, não é possível determinar qual a solução mais favorável para este regime, contudo como é necessário um número reduzido de colectores, para obter um balanço energético inferior a 0 kWh_{EP} , a venda de energia em excesso para a rede, deverá ser a solução mais rentável.

Apesar desta solução garantir que o balanço energético seja nulo, não garante que o edifício não consuma energia eléctrica proveniente da rede, a tabela G.2 representa

o valor da energia primária não renovável consumida pelos equipamentos eléctricos utilizados pelos sistemas de climatização e de aquecimento das águas quentes sanitárias, relativamente à energia primária gerada pelos colectores.

Tabela 3.59: Energia anual gerada pelo colector solar fotovoltaico e energia anual não renovável consumida pelos equipamentos do edifício

Mês	Bragança		Porto		Faro	
	$E_{SUN.,EP}$ [kWh _{EP}]	$E_{equip,nren}$ [kWh _{EP,nren}]	$E_{SUN.,EP}$ [kWh _{EP}]	$E_{equip,nren}$ [kWh _{EP,nren}]	$E_{SUN.,EP}$ [kWh _{EP}]	$E_{equip,nren}$ [kWh _{EP,nren}]
Jan.	250,6	42,2	248,3	29,9	223,4	17,8
Fev.	270,7	31,8	253,3	21,6	214,6	12,6
Março	405,5	26,6	383,1	17,1	318,9	8,1
Abril	361,3	20,7	377,7	12,2	286,7	6,1
Mai	401,9	12,7	419,5	5,9	325,6	2,8
Junho	433,6	21,3	422,1	16,2	319,0	24,0
Julho	483,7	30,1	426,6	15,2	340,2	59,4
Agosto	480,4	29,8	445,1	15,0	338,1	69,6
Set.	414,5	22,1	403,1	16,4	318,9	51,0
Out.	324,1	14,6	344,1	5,0	290,4	1,5
Nov.	225,9	31,6	231,6	18,8	199,3	8,1
Dez.	172,6	42,2	195,5	30,2	191,1	16,1

Através dos resultados apresentados na tabela 3.59, não é possível chegar a qualquer conclusão, relativamente ao edifício em análise necessitar ou não, de consumir energia proveniente de fontes não renováveis para a satisfação das suas necessidades. A energia proveniente de fontes renováveis, não tem um comportamento linear, sendo os dados obtidos mensais e não numa escala mais reduzida, como a horária, logo na realidade é expectável que existam momentos em que seja necessário consumir energia eléctrica de origem não renovável, pois os colectores solares fotovoltaicos não conseguem gerar a energia necessária naquele momento. Se for considerado que em cada mês é consumida igual quantidade de energia eléctrica pelos equipamentos, teriam que ser adicionados aos valores obtidos para a energia eléctrica não renovável consumida pelos equipamentos, representados na tabela 3.59, cerca de 137,5 kWh_{EP,nren}, no entanto, o balanço continua a ser inferior a 0 kWh_{EP,nren} em qualquer dos meses do ano para todas as localidades (excepto em Bragança no mês de Dezembro). O comportamento humano, é no entanto impossível de linearizar, sendo possível e até mesmo expectável que seja consumida uma maior quantidade de energia que a prevista. Apenas seria possível obter um edifício, que utiliza energia proveniente exclusivamente de fontes renováveis, através da utilização de uma bateria de armazenamento, contudo o seu custo adicional, aliado a outros problemas como a sua duração, deverá tornar esta solução inviável em termos económicos.

Para a venda da energia eléctrica gerada em excesso à rede, é necessária a instalação de equipamentos suplementares que introduzem a energia eléctrica consumida em excesso na rede, formando unidades de pequena produção. Será considerado que o custo destes equipamentos suplementares é de 500 €, o custo dos restantes equipamentos sistema solar fotovoltaico de 1500 € e o custo dos painéis da Sunpower 400 €¹⁵. Assumindo que todas as necessidades de energia primária eléctrica, são satisfeitas

¹⁵Estes valores foram assumidos, pois nenhum dos fabricantes tem um valor pré-definido para estes sistemas até porque dependem sempre do local onde são instalados e de outros factores, exclusivos para cada habitação, no entanto os valores adoptados encontram-se perto dos valores típicos para estas instalações

através da energia gerada localmente pelos colectores solares fotovoltaicos, algo improvável, como já foi anteriormente referido, obtiveram-se os resultados representados nas tabelas 3.60 e 3.61.

Tabela 3.60: Poupança económica anual obtida, devido à utilização do colector *E20/27* e tempo necessário para o investimento compensar a instalação do equipamento para a venda da energia eléctrica em excesso

Localidade	Número de Módulos	E_{SUN} [kWh]	Poupança anual [€]	n_a
Bragança	4	1520,9	204,53	17,6
Porto	4	1494,0	197,77	18,2
Faro	3	1211,8	163,28	19,6

Tabela 3.61: Poupança económica anual obtida, devido à utilização do colector da *Renosola*, *JC235M-24/Bb* e tempo necessário para o investimento compensar a instalação do equipamento para a venda da energia eléctrica em excesso

Localidade	Número de Módulos	$E_{Ren.}$ [kWh]	Poupança anual [€]	n_a
Bragança	5	1541,4	207,04	14,6
Porto	5	1519,9	200,95	14,4
Faro	4	1391,5	185,39	13,9

Com os resultados obtidos, verifica-se que utilizando o número mínimo de colectores solares, necessários para obter um edifício com o balanço energético pretendido, a solução mais favorável em termos económicos é a solução que utiliza os colectores da *Renosola*. Se for instalado um número de colectores da *Sunpower*, igual ao número mínimo de colectores da *Renosola* para ser obtido o balanço energético pretendido, utilizando os valores obtidos para o lucro anual entre estas duas soluções, representado na tabela 3.58 e as equações 3.13 e 3.14, obtém-se que é necessário pelo menos cerca de 15 anos e meio, para a solução se tornar rentável em Bragança, tendo sido esta a localidade em que a solução foi mais favorável¹⁶. Deste modo, conclui-se que para as condições em análise, é mais favorável a utilização dos colectores solares da *Renosola*.

Através dos resultados obtidos ao longo desta secção, conclui-se que é difícil a obtenção de um edifício, que consuma apenas energia proveniente de fontes renováveis, sendo necessário ligar o edifício à rede para ser possível quer a obtenção de um balanço energético nulo, quer a satisfação das necessidades de energia eléctrica do edifício.

Com a instalação das áreas de colectores solares fotovoltaicos calculadas, o edifício deixa de ser um *nZEB* e passa a ser um *Plus Energy Building (PEB)*, ou um *net Plus Energy Building*, dependendo se o edifício precisa ou não, de consumir energia proveniente da rede, pois a energia eléctrica que é possível de obter através das fontes renováveis, é maior que a energia proveniente de fontes não renováveis. A utilização de uma bateria para o armazenamento, para armazenar a energia eléctrica gerada em excesso pelos colectores durante os períodos do dia de maior radiação solar, terá o edifício em estudo um *PEB*, no entanto não é expectável que o investimento em baterias seja rentável em termos económicos, até porque têm um tempo de vida muito curto, verificando-se uma vez mais que nem sempre a solução mais ecológica é a mais rentável economicamente.

¹⁶Foi em instalado mais um colector solar em Bragança, relativamente a Faro

O edifício em estudo, poderá ser considerado ou não um "*carbon-neutral building*" dependendo da definição atribuída a esta expressão, esta pode ser apenas referente aos consumos energéticos do edifício [68], sendo esta definição satisfeita, pois os seus equipamentos permitem uma redução significativa das suas emissões. No entanto, se a definição usada, for a da *CSA (Canadian Standards Association)* [69], esta só é satisfeita, quando a redução das emissões de GHG (*Green House Gas*) dos equipamentos, permite compensar os GHG emitidos gerados pela construção do edifício e que continuam a ser emitidos durante o ciclo de vida do edifício. Assim, para a obtenção de um "*carbon-neutral building*" poderá ter que ser necessária uma área de colectores solares fotovoltaicos maior, para produzir mais energia de modo a compensar as emissões de CO_2 .

A obtenção de um "*carbon-neutral building*" é o principal objectivo dos *Plusenergie Haus*, sendo estes os edifícios mais ecológicos existentes, no entanto, não é garantido actualmente que este traga vantagens económicas, como aliás é possível verificar pelos resultados obtidos, relativamente aos *Passivhaus*, ou aos *nZEB*, pois a área de colectores instalada, ou a quantidade de aparelhos instalada para a produção de energia primária renovável, que provavelmente não será a óptima.

Com a utilização de colectores solares fotovoltaicos, é possível criar um hipotético edifício com um balanço energético nulo, em que todas as suas necessidades energéticas são satisfeitas através de energia proveniente de fontes renováveis. A energia primária produzida proveniente de fontes renováveis, consegue suprir, todas as necessidades de energia proveniente de fontes não renováveis, o edifício obtém assim, a classificação A^+ , para todas as localidades em estudo, sendo agora o valor de R_{Nt} nulo, pois não está previsto na legislação em vigor um valor inferior a este [8].

Capítulo 4

Conclusão e Trabalhos Futuros

"No presente capítulo, para além de uma análise global relativamente à contribuição dos sistemas analisados ao longo do capítulo anterior, serão também abordadas algumas perspectivas para o futuro deste sector. Por fim, serão propostos trabalhos com vista à expansão dos resultados obtidos"

4.1 Análise Global dos Resultados Obtidos

A construção de edifícios com baixos consumos energéticos, como os *nZEB* ou os *Passivhaus*, depende não só de parâmetros de projecto como, uma boa projecção da envolvente do edifício, uma selecção cuidada dos materiais para a constituição da sua envolvente, a área de envidraçados instalada e as respectivas características, mas também da utilização de equipamentos eficientes e capazes de gerar energia primária proveniente de fontes renováveis. Outro factor, é a quantidade de energia que a envolvente do edifício consegue captar e armazenar, através de estratégias de climatização passiva, ou seja a forma como o edifício se adapta ao clima da respectiva localidade.

Ao longo da presente dissertação, verificou-se que o clima da localidade escolhida para a construção do edifício, tem um grande impacto nos consumos energéticos dos seus sistemas. Os maiores consumos energéticos quer por parte dos sistemas de climatização, quer por parte dos sistemas de água quente sanitária, verificaram-se sempre em Bragança, analogamente, Faro foi a localidade onde se obtiveram sempre os menores consumos energéticos.

Faro é a localidade onde a radiação solar incidente é maior, em todas as estações do ano, verificando-se por isso as temperaturas exteriores mais elevadas ao longo do ano. Bragança apesar de em certos momentos ter uma maior quantidade de radiação solar incidente do que no Porto, na estação de aquecimento a radiação em Bragança é muito reduzida e as suas temperaturas exteriores muito baixas, por vezes até mesmo negativas. As diferenças entre os climas escolhidos, justificam assim o facto de os resultados obtidos, terem sido sempre mais favoráveis em Faro e mais desfavoráveis em Bragança.

Para o sistema de aquecimento das águas quentes sanitárias, a utilização de apenas uma caldeira a *pellets*, revelou-se a solução mais rentável em termos económicos. No entanto há que ter em conta, que não é a solução mais prática, pois tem que haver espaço para armazenar as *pellets* adquiridas e a maior parte dos comerciantes apenas vende uma quantidade mínima deste produto, que costuma ser 10 toneladas [49], podendo não existir espaço para armazenar uma grande quantidade de *pellets*. Um sistema para AQS com reservatório e colectores solares térmicos incluídos, demora cerca de 145 anos a tornar-se a solução mais viável em termos económicos (no presente estudo, a localidade em que este valor se verificou foi Bragança), logo a solução final escolhida para este sistema, usa apenas a caldeira a *pellets*, para o aquecimento das águas quentes sanitárias.

O impacto dos elementos da envolvente do edifício nos consumos energéticos do edifício, é visível através da redução verificada nos seus consumos energéticos, com a utilização de paredes compostas pelo *CSP* com espessura de 100 *mm* em relação às de 80 *mm*, verificando-se uma redução máxima de 12,5 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ em Bragança e uma mínima de 5,3 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ em Faro. A orientação do edifício é também fundamental, no presente trabalho obteve-se uma diferença máxima de 28,2 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ em Bragança entre a orientação da fachada principal do edifício a Poente e a Norte (sendo a orientação a poente a mais desfavorável).

Foi também possível de comprovar, que com uma envolvente mais estanque e, conseqüentemente uma taxa de infiltrações menor, obtém-se uma redução das necessidades energéticas para o aquecimento, nas 3 localidades estudadas, apesar das necessidades

de arrefecimento aumentarem. Verificou-se também que para o edifício em estudo, o redimensionamento das palas, para dimensões menores que as presentes no edifício original, permite a redução dos consumos energéticos do edifício, provando-se assim que as dimensões das palas do edifício original, eram demasiado grandes, para as localidades em estudo.

Através do redimensionamento das palas, o somatório das necessidades energéticas para o aquecimento e arrefecimento do edifício, diminuíram em Bragança de 69,3 para 58,7 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$, no Porto de 35,7 até 28,6 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ e em Faro de 25,0 até 18,9 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$. De seguida, com a redução das taxas de infiltrações, as necessidades energéticas anteriormente obtidas, diminuíram ainda mais, passando a ser respectivamente 42,1 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$, 19,3 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ e 14,7 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$.

Concluí-se deste modo, que através do planeamento correcto de determinados parâmetros do edifício, como uma melhoria da sua envolvente e um planeamento eficiente das palas, é possível obter melhorias ao nível dos consumos energéticos e também uma redução do custo inicial do edifício, pois a solução redimensionada usa palas menores que as do edifício original.

Apesar do valor total das necessidades de energia primária ter diminuído, com o redimensionamento previamente efectuado, o valor das necessidades de arrefecimento aumentou, ainda que de uma forma não tão acentuada quanto a redução obtida para as necessidades de aquecimento. O maior valor registado para as necessidades de arrefecimento do edifício, foi de 11,1 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$ em Faro, após o redimensionamento do edifício, no entanto, o seu valor continua a estar abaixo de 15 $kWh_{EP}/(m^2 \cdot ano)$, sendo por isso um valor admissível para um *Passivhaus*. Contudo nesta localidade, sem o auxílio de qualquer sistema de arrefecimento, a temperatura no interior do edifício esteve sempre acima dos 25°C, durante mais 10% das horas num ano (cujo valor considerado, foi de 8760 horas), para todas as soluções analisadas.

Concluí-se assim, que o dimensionamento do edifício, não foi otimizado para a obtenção do conforto térmico dos seus ocupantes em Faro, recorrendo a uma solução exclusivamente passiva, ao contrário do que se verificou nas outras localidades (apesar de em algumas soluções, as horas de sobreaquecimento em Bragança também ultrapassarem ligeiramente este valor).

Das soluções testadas, o sistema de climatização que utiliza um ventiloconvector, revelou-se a solução mais barata e eficiente em termos energéticos. Em Bragança os consumos anuais máximos para esta solução (contabilizando a energia consumida pelo mini-chiller, ou seja que este também é instalado no sistema) são de 6407,7 kWh_{EP} para o sistema de climatização, no Porto o seu valor é de 3591,0 kWh_{EP} e em Faro é de 2698,5 kWh_{EP} . Para a solução com recuperador de calor, em que o seu funcionamento não é contínuo (e uma vez mais contabilizando os consumos do mini-chiller), os consumos aumentam muito em cada uma das localidades, sendo estes de 17529,1, 9564,3 e 5615,1 kWh_{EP} respectivamente. No entanto, a solução com ventiloconvector não oferece quaisquer garantias, relativamente à qualidade do ar no interior da sua envolvente, ao contrário da solução com recuperador de calor.

Segundo o *Passivhaus Institut* o ventilador consome no máximo 400 kWh_{EP} numa *Passivhaus* [21], o que tornaria as soluções com recuperador mais atractivas a nível energético, algo que não se verificou para o ventilador utilizado, aliás para a solução que

funciona em contínuo obtiveram-se os maiores valores de energia primária consumida (o valor mínimo foi de $18083,5 \text{ kWh}_{EP}$, em Faro). Estes resultados foram obtidos para os *set-points* 20°C para o aquecimento e 25°C para o arrefecimento.

O edifício obtido, após a implementação da solução com ventiloconvector para o sistema de climatização e da solução para o aquecimento de AQS, que apenas utiliza a caldeira, tem um desempenho energético muito elevado, sendo avaliado em A^+ , segundo a norma Portuguesa [8], mesmo sem a utilização de colectores solares fotovoltaicos. O edifício obteve sempre a classificação A^+ , independentemente do sistema de climatização escolhido, contudo os consumos energéticos variam para valores superiores. Apesar deste edifício cumprir todos os requisitos de um *Passivhaus*, não deverá ser considerado um *Passivhaus*, pois seguem princípios diferentes (pelo menos se a solução escolhida utilizar um ventiloconvector), ao nível da importância atribuída à qualidade do ar interior do espaço.

Numa tentativa de reduzir ainda mais os consumos energéticos, para a solução mais favorável, foi considerado que o sistema apenas se activava, quando a temperatura estivesse fora dos *set-points* definidos e a habitação estivesse ocupada. Verificou-se que em Faro os resultados melhoraram, tendo sido registadas diminuições dos consumos energéticos de todos os equipamentos usados para a climatização do espaço, excepto para o mini-*chiller* se este for utilizado, a diferença entre os consumos deste equipamento para as duas estratégias de controlo, é no entanto, praticamente desprezável. Para os outros sistemas os resultados não tiveram muito sucesso, chegando mesmo os consumos energéticos a aumentarem em Bragança, o que demonstra que o sistema de climatização implementado encontra-se perfeitamente ajustado para Faro.

Neste trabalho verificou-se, que as *pellets*, cujo preço é de $0,0214 \text{ €/kWh}$, são mais baratas que o gás natural, cujo preço mínimo, para as aplicações em estudo, é de $0,0649 \text{ €/kWh}$ [64] (valor verificado para o Porto e Bragança) para as aplicações em questão.

No entanto, ao contrário do que este resultado pode indicar, edifícios que utilizam energia proveniente de fontes renováveis, são os que têm melhor desempenho energético de acordo com a legislação em vigor, no entanto, nem sempre são os mais favoráveis economicamente [17].

Para a obtenção de um edifício com um balanço energético nulo é necessária a instalação de 3 colectores solares fotovoltaicos em Faro e de 4 nas restantes localidades, se o colector escolhido for o *E20/27* da *Sunpower* e a inclinação for equivalente à latitude do local. Se o colector escolhido for o *JC235M-24/Bb* da *Renesola*, serão necessários 4 colectores para Faro e 5 para as restantes localidades, para as mesmas inclinações.

Estes resultados comprovam que a radiação incidente em Faro é superior à das restantes localidades, embora seja gerada mais energia nas outras localidades, se a área de colectores instalada for maior (esta afirmação é válida, se for o mesmo colector instalado em ambas as localidades e para as áreas analisadas na presente dissertação). Alterando a inclinação dos colectores para a mesma que a do tecto ($10,49^{\circ}$), o número de colectores necessários mantém-se, excepto em Faro, para o *E20/27* da *Sunpower* cujo número de módulos aumenta para 4. A energia gerada pelos colectores é menor para esta inclinação tal como era esperado, contudo, esta poderá ser a melhor opção, se não houver nenhum local onde seja possível a captação de radiação solar, sem qualquer

obstrução e se não for possível a montagem do colector solar para uma inclinação diferente da do tecto.

O colector solar fotovoltaico *E20/27* é mais caro que o *JC235M-24/Bb*, no entanto, os seus custos de manutenção são menores e a energia gerada em excesso, permite obter um lucro mínimo relativamente ao colector da *Renesola*, no valor de 52,44 € em Faro (com 4 módulos instalados) e num valor máximo de 77,69 € também em Faro (com 5 colectores instalados). Este resultado indica, que existe uma área óptima de colectores solares que maximiza o retorno económico obtido. No entanto, se o objectivo for apenas autoconsumo o colector *JC235M-24/Bb* poderá ser mais rentável, não estando disponibilizada informação suficiente para determinar, qual dos colectores seria a opção mais económica, neste regime.

Através dos resultados obtidos, não foi possível determinar se é mais favorável a utilização do sistema solar fotovoltaico para autoconsumo, ou para produção. No entanto, devido ao número reduzido de colectores instalados necessário para a satisfação das necessidades de energia eléctrica e para a obtenção de um balanço energético nulo de energia primária não renovável, é expectável seja favorável a venda da energia gerada em excesso à rede.

O preço do colector solar da *Renesola* em análise, é de 177,60 € [70], para os restantes componentes como os fornecedores não indicam um preço fixo, foi considerado que o colector solar da *Sunpower* custa 400 €, o restante equipamento do sistema solar fotovoltaico, 1500 € e os equipamento suplementares que permitem a injeção da energia eléctrica em excesso, 500 €.

Para as soluções que permitem a obtenção de um balanço energético de energia primária não renovável nulo, com o menor número de colectores solares necessário, obteve-se uma poupança anual máxima de 207,04 € (registada em Bragança, utilizando colectores solares da *Renesola*) e mínima de 163,28 € (registada em Faro, com a instalação de colectores solares fotovoltaicos da *Sunpower*). O tempo necessário em anos, para se obter retorno económico, com o investimento nestes colectores para o *E20/27* são necessários pelo menos 19,6, 18,2 e 17,6 anos para Bragança, Porto e Faro respectivamente e para o *JC235M-24/Bb*, 14,62, 14,37 e 13,9 anos respectivamente, para as mesmas localidades referidas anteriormente. Utilizando o mesmo número de colectores solares *E20/27*, relativamente ao número de colectores *JC235M-24/Bb* necessários para se obter um balanço energético nulo, não torna a solução com colectores solar da *Sunpower*, a mais favorável economicamente, necessitando de pouco mais de 15 anos e meio para a solução obter retorno económico em Bragança (localidade onde se obteve retorno económico mais rapidamente).

A utilização de uma bateria para armazenar a energia eléctrica gerada em excesso, tornaria o edifício num *PEB* (um edifício que gera mais energia, que aquela que consome) em vez de um *net PEB* (um edifício *PEB* que necessita da energia eléctrica da rede para a satisfação das suas necessidades). No entanto esta última será em princípio a mais rentável economicamente, pois a maior parte da energia consumida e da energia gerada pelos colectores *PV*, ocorre durante os períodos onde existe radiação solar (de dia e de tarde) que são também os períodos onde os consumos energéticos são maiores, pois as pessoas encontram-se mais activas, não havendo grande desperdício da energia gerada por estes colectores durante o dia, nem o investimento adicional em baterias de armazenamento.

É possível concluir, que nem sempre as soluções mais favoráveis a nível ambiental são as mais económicas (como por exemplo os edifícios *net ZEB* são à partida mais rentáveis que os *ZEB*), no entanto existem soluções ecológicas muito favoráveis em termos económicos (como a utilização da biomassa como combustível em vez do gás natural). Os *Passivhaus*, permitem obter um retorno económico a curto-médio prazo em relação aos *Low Energy Buildings* [21], não sendo contudo os mais rentáveis em termos económicos [17].

É possível a obtenção de um balanço de primária não renovável nula, para o edifício em estudo com a instalação simultânea de qualquer das soluções para os três tipos de sistemas estudados (sistema de climatização, AQS e solar fotovoltaico). As necessidades de aquecimento por serem satisfeitas com a utilização de uma caldeira que consome *pellets* e as necessidades de arrefecimento por serem geralmente muito reduzidas no clima português, não são muito problemáticas para a obtenção deste balanço e para a satisfação dos critérios impostos para as necessidades de energia primária de aquecimento e arrefecimento num *Passivhaus*. Contudo, apesar de não terem sido realizados os cálculos para todas as soluções, de modo a este balanço ser nulo, as necessidades totais de energia primária têm que ser no máximo $120 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, sendo esperado que em algumas soluções seja obrigatória a instalação de um sistema solar fotovoltaico. A área útil do edifício é de $59,82 \text{ m}^2$, como a energia consumida para a satisfação das necessidades de aquecimento e de AQS, é de origem renovável a energia eléctrica primária de origem não renovável consumida pelos equipamentos do edifício (quer para iluminação, quer por equipamentos como bombas), terá que ser no máximo $7178,4 \text{ kWh}_{EP}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$, logo para a satisfação deste critério será obrigatória em algumas soluções a instalação de um sistema solar fotovoltaico.

A solução final é um edifício com um balanço de energia primária não renovável nulo, que cumpre todos requisitos que os *Passivhaus* devem cumprir, sendo portanto esperado que o edifício seja mais eficiente que um futuro *nZEB* português.

A utilização de soluções mais ecológicas em relação às soluções economicamente optimizadas depende assim, do valor que cada pessoa atribuí à sustentabilidade do planeta.

4.2 Perspectivas para o Futuro do Sector dos Edifícios

Como foi possível verificar ao longo do presente projecto de dissertação, o futuro do sector dos edifícios, não passará apenas por uma redução dos seus consumos energéticos.

Os edifícios que respeitam os critérios energéticos dos *Passivhaus* ou dos *nZEB* (se no país onde for construído, já existir a sua definição), têm um impacto ambiental inferior (as emissões de CO_2 destes edifícios, são inferiores em cerca de 40% em relação aos edifícios comuns [17]), que os edifícios comuns, sendo portanto uma solução viável para serem atingidas as metas propostas pelo protocolo de *Kyoto* [5] para a redução das emissões de CO_2 . Através dos resultados obtidos no presente trabalho, é possível confirmar que estes edifícios apresentam vantagens claras, ao nível da eficiência energética e em termos ambientais. Verificou-se também, que uma boa conservação da envolvente, melhora as condições de higiene e conforto do edifício, comportando no entanto, um maior investimento inicial, contudo, esta boa prática pode trazer vantagens económicas

no futuro, pois haverá um menor investimento posterior na reparação dos seus danos.

A opção entre uma solução que garanta um melhor bem-estar, ou uma solução com um custo inicial menor, depende sempre do valor que o consumidor atribuí, a bens imateriais, como a sua saúde, o seu conforto, a qualidade do ar que respiram, entre outros.

Para facilitar este processo de decisão e também para tornar os *Passivhaus* e os *nZEB*, mais competitivos (normalmente estes edifícios têm um investimento inicial mais avultado [17]), devem ser atribuídos incentivos para construção destes edifícios e também deve ser feito um investimento em investigação e desenvolvimento, para definir quais as melhores estratégias e componentes para a concepção destes edifícios, em Portugal.

O *Passivhaus Institut* tem definidas as características que os componentes da envolvente (paredes e envidraçados) e os equipamentos (recuperadores de calor), devem ter nos climas da Europa Ocidental (também compatíveis com o clima Inglês), sendo estes distinguidos com os logos da figuras 4.1a, 4.1b e 4.1c.

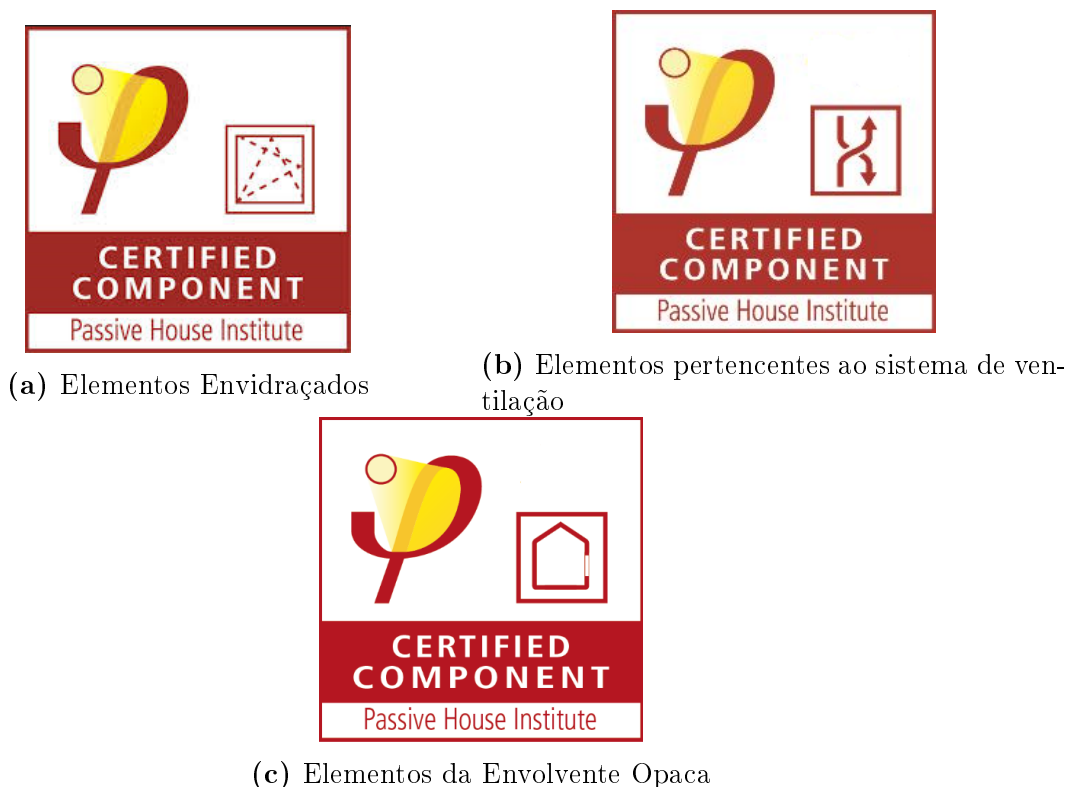


Figura 4.1: Símbolos usados para a certificação de componentes para um edifício *Passivhaus*. Retirado de [21]

Elementos com estas características são incompatíveis com o clima português, pois um edifício composto por componentes que cumpram estes requisitos, não tem uma relação ideal, ou próxima sequer, entre os custos de investimento, os custos de manutenção e os gastos energéticos, pois é possível com paredes de menor espessura de isolamento, ou utilizando vidros com menor resistência térmica, obter valores idênticos para as necessidades de aquecimento e arrefecimento, mas com um custo inicial muito mais reduzido. A falta de informação relativamente às melhores estratégias e materiais

que devem ser usados, para o clima português sustenta o investimento que deve ser feito na sua investigação, pois a um número crescente de edifícios *Passivhaus* em Portugal, corresponde também uma redução da energia consumida pelo sector dos edifícios.

Analisando os limites para os *nZEB* definidos por alguns Estados Membros da União Europeia, que se encontram representados nas tabelas *Appendix 2* do manual da *REHVA* [16], é possível verificar que o edifício cumpre os requisitos energéticos de um *nZEB*, em qualquer dos Países Europeus onde já existem limites impostos para os *nZEB*, mesmo sem a utilização de colectores fotovoltaicos, no entanto não quer isto dizer que receba a classificação mais elevada para o desempenho de um edifício de habitação, em todos os países membros da União Europeia.

A norma Dinamarquesa, cujos limites se encontram representados na *Table 1* do manual da *REHVA* [16], além de estabelecer os limites energéticos de um *nZEB*, também estabelece parâmetros mínimos que devem ser assegurados (a classe de desempenho máxima para os edifícios deste país denomina-se *BR10 - Class 2020*), relacionados com a qualidade do ar interior, que não são garantidos pela solução que utiliza um ventiloconvector, devido à falta de controlo da humidade do ar insuflado.

No ano da publicação deste manual, estava prevista uma revisão para a norma Alemã, de modo a incluir limites relativamente ao nível das emissões de carbono dos seus edifícios [16].

A norma Alemã é baseada na norma *Passivhaus*, em que para além de ter forte preocupação com a utilização eficiente de estratégias de climatização passiva, assim como da maior utilização possível de energia proveniente de fontes renováveis, como já foi analisado no presente trabalho, esta norma também recomenda a utilização de um sistema de climatização com ventilação mecânica, e recuperador de calor, que insufla apenas ar novo no espaço e de forma contínua. O edifício cumpre portanto, os limites da norma Alemã, contudo a solução com um ventiloconvector, não permite cumprir os parâmetros relativamente à QAI, desejados num *Passivhaus*.

É possível deste modo concluir, que um *Passivhaus*, pode ser igual a um *nZEB* num determinado país, podendo ser diferente noutros, dependendo se a definição de *nZEB* se refere exclusivamente a consumos energéticos, ou a parâmetros relativamente ao conforto térmico dos ocupantes (como as horas de sobreaquecimento) e à qualidade do ar interior.

Tomando a norma Alemã e a Dinamarquesa como exemplos, é possível verificar que o futuro deste sector, passa não só por uma utilização mais eficiente da energia consumida, mas também numa melhoria das condições do interior dos edifícios e uma redução das emissões de CO_2 , não só devidas à energia consumida, mas também devido aos materiais utilizados na sua construção e ao seu processo de construção. É também expectável, o aumento dos incentivos para a utilização de equipamentos capazes de gerar localmente, energia primária através de fontes renováveis. Tal já se verifica na norma Alemã, em relação à energia eléctrica obtida através dos colectores solares fotovoltaicos, sendo expectável que também se verifique noutros países. Estes incentivos poderão levar a que num futuro mais distante, como já mencionado anteriormente, os *ZEB* e os *Plusenergie Haus*, tornem os *nZEB* e os *ZEB* datados.

4.3 Trabalhos Futuros

No desenvolvimento do presente projecto de dissertação, devido às imensas possibilidades de expandir os resultados obtidos inerentes ao tema escolhido, surgiram vários tópicos que podiam ser abordados com maior detalhe e ideias que poderiam ser implementadas e aproveitadas para futuros projectos de dissertação.

De todas as ideias que surgiram, destacam-se:

- Verificação experimental dos resultados obtidos, implementando um sistema real, num edifício idêntico ao analisado;
- Dimensionamento e implementação no *TRNSYS* do sistema de climatização em que pelo menos as necessidades de aquecimento são satisfeitas, através de um pavimento radiante, utilizando as metodologias documentadas no presente relatório, comparando os resultados com os obtidos para a presente solução;
- Análise detalhada das emissões de poluentes da solução obtida e do seu desempenho em comparação com os valores presentes em normas como *LEED* ou *GreenBuild*;
- Estudo das características que os diversos elementos da envolvente devem ter, para serem componentes certificados pelo *Passivhaus Institut* para climas portugueses e a respectiva análise económica;
- Projecção de um edifício que cumpra todos os pressupostos de um *Passivhaus* não só a nível energético, mas também em termos de qualidade da envolvente e do ar interior, discussão das metodologias que devem ser usadas para a sua projecção e análise do conforto térmico dos ocupantes para as várias condições ambientais;
- Análise da influência dos padrões de consumo dos ocupantes, nos consumos energéticos edifício;
- Análise económica das soluções em estudo de modo a otimizar os resultados obtidos para a solução final, principalmente em relação à quantidade de colectores solares fotovoltaicos que devem ser instalados e se a utilização deve ser restrita ou não ao autoconsumo;
- Análise das patologias que podem ocorrer nos vários tipos de edifícios existentes e estratégias para evitar a sua ocorrência;
- Comparação entre a energia gerada pelo sistema fotovoltaico utilizado, com um sistema fotovoltaico térmico (*PVT*), um sistema mini-hídrico e um sistema mini-eólico para 3 localidades portuguesas diferentes;
- Impacto que os "*carbon-neutral buildings*" podem ter neste sector e estimativa do tempo necessário, para tornar a implementação destes edifícios rentável.

Bibliografia

- [1] J. Sousa, and S. Silva, “Energy Rehabilitation of Portuguese Residential Building Stock Through its Transformation into NZEB,” no. Tortellini 2006, pp. 41–48, 2012.
- [2] EU, “Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings,” *Official Journal of the European Union*, pp. 13–35, 2010.
- [3] C. Chau, T. Leung, and W. Ng, “A review on life cycle assessment, life cycle energy assessment and life cycle carbon emissions assessment on buildings,” *Applied Energy*, vol. 143, no. 0, pp. 395 – 413, 2015.
- [4] Comissão Europeia, “DIRECTIVA 2002/91/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 16 de Dezembro de 2002 relativa ao desempenho energético dos edifícios,” *Jornal Oficial das Comunidades Europeias*, vol. L 1, no. 11, pp. 65–71, 2003.
- [5] United Nations, “KYOTO PROTOCOL TO THE UNITED NATIONS FRAMEWORK CONVENTION ON CLIMATE CHANGE,” 1998.
- [6] D. da República, “RCCTE - Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei n.º 80/2006 Abril,” 2006.
- [7] D. da República, “RSECE - Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei n.º 79/2006,” 2006.
- [8] D. da República, “SCE - Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Decreto-Lei n.º 78/2006,” 2006.
- [9] INE (Instituto Nacional de Estatística), “Consumo de energia no sector doméstico,” 2010. Acedido em: 2015-03-05.
- [10] D. da República, “Portaria n.º 349-B/2013. D.R. n.º 232, Suplemento, Série I de 2013-11-29,” 2013.
- [11] D. da República, “Portaria n.º 349-D/2013. D.R. n.º 233, 2.º Suplemento, Série I de 2013-12-02,” 2013.
- [12] D. da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03,” 2013.
- [13] E. Maldonado, e J.L. Alexandre, “Edifícios/sistemas eficientes (low energy buildings) e NetZEBs,” 2012.

- [14] EDP, “Origem da Energia.” Publicação Online, disponível em: <http://www.edpsu.pt/pt/origemdaenergia/Pages/OrigensdaEnergia.aspx>. Acedido em: 2015-03-01.
- [15] N. Baker, *Passive and Low Energy Building Design For Tropical Island Climates*. Commonwealth Secretariat, 1987.
- [16] J. Kurnitski, *REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings: 2013 revision for uniformed national implementation of EPBD recast prepared in cooperation with European standardization organization CEN*. REHVA Report, Rehva, Federation of European Heating and Air-conditioning Associations, 2013.
- [17] C. Becchio, P. Dabbene, E. Fabrizio, V. Monetti, and M. Filippi, “Cost optimality assessment of a single family house: Building and technical systems solutions for the nzeb target,” *Energy and Buildings*, vol. 90, pp. 173 – 187, 2015.
- [18] T. L. Bergman, A. S. Lavine, and F. P. Incropera, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer, 7th Edition*. John Wiley & Sons, 2011.
- [19] Passive House Institute, “Passive House Institute.” Publicação Online, disponível em: <http://passiv.de/en/>. Acedido em: 2015-02-21.
- [20] Homegrid, “Homegrid.” Publicação Online, disponível em: <http://www.passivhaus.pt>. Acedido em: 2015-02-21.
- [21] Passivhaus Institut and Homegrid, “Curso Passive House Tradesperson.” Disponível em: <http://www.passivhausprojekte.de>. Acedido em: 2015-02-20.
- [22] G. McGill, M. Qin, and L. Oyedele, “A case study investigation of indoor air quality in UK passivhaus dwellings,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 190 – 199, 2014. 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-14.
- [23] D. da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-K/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03,” 2013.
- [24] Haus UK, Passive, “The Passivhaus Standard.” Publicação Online, disponível em: <http://www.passivhaus.org.uk/standard.jsp?id=122>. Acedido em: 2015-02-21.
- [25] Passive House Organisation, UK, “Delivering Nearly Zero-Energy Building (NZEB) with Passivhaus.” Publicação Online, disponível em: <http://www.passivhaustrust.org.uk/news/detail/?nId=416#.VbVTWvbbLIV>. Acedido em: 2015-02-20.
- [26] S. M. T. Sameni, M. Gaterell, A. Montazami, and A. Ahmed, “Overheating investigation in {UK} social housing flats built to the passivhaus standard,” *Building and Environment*, vol. 92, pp. 222 – 235, 2015.
- [27] M. Ferrara, J. Virgone, E. fabrizio, F. Kuznik, and M. Filippi, “Modelling zero energy buildings: Parametric study for the technical optimization,” *Energy Procedia*, vol. 62, pp. 200 – 209, 2014. 6th International Conference on Sustainability in Energy and Buildings, SEB-14.

- [28] Marcelo F. S. F. de Moura, Alfredo B. de Moraes, e António G. de Magalhães, “Materiais compósitos - materiais, fabrico e comportamento mecânico,” 2005.
- [29] Carlos A. Pina dos Santos, e Luís Matias, “Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios,” 2006. Lisboa 2007.
- [30] T. E. ToolBox, “Emissivity Coefficients of some common Materials.” Publicação Online, disponível em: www.engineeringtoolbox.com/emissivity-coefficients-d_447.html. Acedido em: 2015-03-20.
- [31] D. da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-F/2013. D.R. n.º243, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03,” 2013.
- [32] ASHRAE, “Residential Cooling and Heating Load Calculations,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 17., ASHRAE, 2009.
- [33] S. Firlag, and S. Murray, “Impacts of airflows, internal heat and moisture gains on accuracy of modeling energy consumption and indoor parameters in passive building,” *Energy and Buildings*, vol. 64, pp. 372–383, 2013.
- [34] E. Maldonado, e Luis Bragança, “Tabelas de CLTD,” 2014.
- [35] Philips, “Master ledluster d 6-40w e27 827 p48 cl.” Publicação Online, disponível em: <http://m.ecat.lighting.philips.pt/m/lampadas-profissionais/sistemas-de-iluminacao-led/lampadas-led/master-ledluster/64862/cat/>. Acedido em: 2015-02-20.
- [36] D. da República, “Portaria n.º 353-A/2013. D.R. n.º 235, Suplemento, Série I de 2013-12-04,” 2013.
- [37] A. K. Persily, D. S. Bulter, M. Beaton, L. G. Bellenger, J. L. Coggins, E. Feldman, F. M. Gallo, S. D. Hanson, R. L. Hedrick, T. P. Houston, R. T. Joeckel, C. O. Muller, R. D. Rasmussen, L. J. Rogers, R. S. Rushing, D. a. Stanke, D. R. Warden, M. W. Woodford, V. D. Baxter, and D. S. Borges, “ASHRAE Standard, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality,” 2004.
- [38] ASHRAE, “Ventilation and Infiltration,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 16., ASHRAE, 2009.
- [39] N. Portuguesa, “NP-1037-1 - Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural,” 2002.
- [40] J. L. Alexandre, “Aulas de Climatização,” 2014. FEUP.
- [41] D. da República, “Despacho (extrato) n.º 15793-D/2013. D.R. n.º 234, 3.º Suplemento, Série II de 2013-12-03,” 2013.
- [42] BAXIROCA, “Solarflo solar thermal domestic hotwater system.” Catálogo, 2015. Acedido em: 2015-04-16.
- [43] ASHRAE, “Thermal Confort,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 9., ASHRAE, 2009.

- [44] G. Paliaga, L. J. Schoen, P. F. Alspach, E. a. Arens, R. M. Aynsley, R. Bean, J. Eddy, T. B. Hartman, D. Int-hout, M. a. Humphreys, E. E. Khalil, M. P. O. Rourke, P. Simmonds, J. L. Stoops, S. C. Turner, K. W. Cooper, W. F. Walter, D. S. Abramson, C. S. Barnaby, S. J. Emmerich, J. M. Ferguson, R. L. Hall, and R. M. Harrold, “ANSI/ASHRAE Standard 55-2010-Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy,” 2013.
- [45] A. Oliveira, “Aulas de energia solar,” 2014. FEUP.
- [46] Sunpower, “E-series solar panels.” Publicação Online, disponível em: <http://www.sunpowercorp.co.uk>. Acedido em: 2015-03-20.
- [47] Daikin, “Applied systems catalogue.” Publicação Online, disponível em: [http://www.daikin.pt/docs/Applied systems catalogue_EC PEN14-400.pdf](http://www.daikin.pt/docs/Applied%20systems%20catalogue_EC PEN14-400.pdf). Acedido em: 2015-04-15.
- [48] EDP, “Tarifas baixa tensão normal até 20,7 kva.” Publicação Online, disponível em: <http://www.edpsu.pt/pt/particulares/tarifasehorarios/BTN/Pages/TarifasBTNate20.7kVA.aspx>. Acedido em: 2015-04-20.
- [49] SoloStocks, “Pt plus/din plus pellets de madeira.” Publicação Online, disponível em: <http://www.solostocks.pt/venda-produtos/biocombustiveis/pellets/ptplus-din-plus-pellets-de-madeira-3208925>. Acedido em: 2015-04-20.
- [50] C. M. C. T. de Pinho, “Apontamento de Gestão da Energia Térmica,” 2011. FEUP.
- [51] Meteonorm Software, “Meteonorm.” Publicação Online, disponível em: <http://www.meteonorm.com/>. Acedido em: 2015-03-01.
- [52] J. Neymark, and R. Judkoff, “International Energy Agency Building Energy Simulation Test and Diagnostic Method for Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Equipment Models (HVAC BESTEST),” *National Renewable Energy Laboratory*, vol. 2, no. December, 2004.
- [53] S. Thomas and P. André, “Dynamic Simulation of a Complete Solar Assisted Conditioning System in an Office Building Using TRNSYS,” *The 11th International IBPSA Conference*, pp. 25–32, 2009.
- [54] Daikin, “Diagrama Dinâmico da Daikin.” FEUP.
- [55] J. Casimiro Mendes, M. Rita Guerreiro, C. A. Pina dos Santos, e J. A. Vasconcelos, *Temperaturas Exteriores de Projecto e Números de Graus-dias*. IN/LNEC, 1995.
- [56] F. Peuser, K. Remmers, and M. Schnauss, *Solar Thermal Systems: Successful Planning and Construction*. Earthscan, 2002.
- [57] J. Duffie, and W. Beckman, *Solar Engineering of Thermal Processes*. Engineering-Pro collection, Wiley, 2013.
- [58] Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin-Madison, “Standard Component Library Overview,” *TRNSYS 16 Manual Vol. 6*, vol. 6, 2007.
- [59] K. Isabel, “Análise de sistemas de arrefecimento radiativo, um contributo para a obtenção de edifícios nZEB,” 2013. Tese de Mestrado, FEUP.

- [60] Bosch, “Electrodomésticos: KSV36VI30, Frigorífico de 1 porta, Porta Inox com tratamento anti-dedadas, laterais Design Inox.” Publicação Online, disponível em: <http://www.bosch-home.pt/produtos/frigor%C3%ADficos-e-congeladores/frigor%C3%ADficos/KSV36VI30.html?source=browse>. Acedido em: 2015-05-15.
- [61] Bosch, “Electrodomésticos: GSN36VI30, Portas Inox com tratamento anti-dedadas, Congelador Vertical.” Publicação Online, disponível em: <http://www.bosch-home.pt/produtos/frigor%C3%ADficos-e-congeladores/congeladores/GSN36VI30.html?source=browse>. Acedido em: 2015-05-15.
- [62] LG, “Electrodomésticos: LG direct drive F1495BDA.” Publicação Online, disponível em: <http://www.lg.com/pt/maquinas-de-lavar-roupa/lg-F1495BDA-direct-drive>. Acedido em: 2015-05-15.
- [63] Bosch, “Electrodomésticos: SMS58N68EP »ActiveWater Eco«, ActiveWater Máquina de lavar loiça 60 cm, Instalação livre.” Publicação Online, disponível em: <http://www.bosch-home.pt/produtos/electrodom%C3%A9sticos-super-eficientes/loi%C3%A7a/SMS58N68EP.html>. Acedido em: 2015-05-15.
- [64] Tarifário gás natural, “GALP.” Publicação Online, disponível em: <http://www.galpennergia.com/PT/ProdutosServicos/GasNatural/Mercado-Regulado/Tarifario/Paginas/Tarifario.aspx?tipoUtilizacao=1>. Acedido em: 2015-04-20.
- [65] Acosolar, “Renesola virtus ii 245w jc245m-24/bb-b solar panel all black.” Publicação Online, disponível em: <http://www.acosolar.com/renesola-jc250s-24-bb-b-black>. Acedido em: 2015-05-15.
- [66] D. da República, “Decreto-Lei n.º 153/2014,” 2014.
- [67] O. d. T. e. E. Ministério do Ambiente, “Enquadramento do novo regime de Produção Distribuída,” 2014.
- [68] ASHRAE, “ASHRAE Vision 2020,” *Technology*, no. January, 2008.
- [69] CSA (Canadian Standards Association), “Global Market Access.” Publicação Online, disponível em: <http://www.csagroup.org/global/en/services/global-market-access>. Acedido em: 2015-05-23.
- [70] Renesola, “Renesola virtus ii 245w jc245m-24/bb-b solar panel all black.” Publicação Online, disponível em: <http://www.acosolar.com/renesola-jc250s-24-bb-b-black>. Acedido em: 2015-05-15.
- [71] ASHRAE, “Space Air Diffusion,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 20., ASHRAE, 2009.
- [72] Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin-Madison, “Multizone Building modeling with Type56 and TRNBuild,” *TRNSYS 16 Manual Vol. 6*, vol. 6, 2007.
- [73] F. Air, “Soluções de Aerólca e Climatização 2015-17,” 2015. Acedido em: 2015-27-02.

- [74] TROX, “Ceiling Diffuser.” Publicação Online, disponível em: http://www.trox.bg/xpool/download/en/technical_documents/diffusers/leaflets/2_16_adlr_adlr_q.pdf. Acedido em: 2015-03-22.
- [75] ASHRAE, “Indoor Environmental Health,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 10., ASHRAE, 2009.
- [76] ASHRAE, “Duct Design,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 21., ASHRAE, 2009.
- [77] ASHRAE, “Pipe Design,” in *2009 ASHRAE Handbook - Fundamentals (SI Edition)*, ch. 22., ASHRAE, 2009.
- [78] BAXIROCA, “Catálogo geral de aquecimento 2014.” Catálogo, 2014. Acedido em: 2015-03-01.
- [79] TROX, “Linear Grilles.” Publicação Online, disponível em: http://www.trox.de/downloads/d4d56208d8b90678/t\1\1\1_grilles\lin.pdf?type=product\info. Acedido em: 2015-03-22.
- [80] BAXIROCA, “Energia Solar Térmica Instalação de Soluções Solares Domésticas.” Catálogo, 2015. Acedido em: 2015-05-01.
- [81] D. da República, “Decreto-lei n.º 118/2013. D.R. n.º 159, Série I de 2013-08-30,” 2013.
- [82] BAXIROCA, “Preços Recomendados de Venda a Público Março 2015.” Catálogo, 2015. Acedido em: 2015-05-01.
- [83] A. Luque, and S. Hegedus, *Handbook of Photovoltaic Science and Engineering*. Wiley, 2003.
- [84] Carneiro, “Aulas Electromagnetismo B: Módulos Fotovoltaicos Características e Associações,” 2010. Universidade do Minho.
- [85] M. C. Alonso García, and J. L. Balenzategui, “Estimation of photovoltaic module yearly temperature and performance based on Nominal Operation Cell Temperature calculations,” *Renewable Energy*, vol. 29, no. 12, pp. 1997–2010, 2004.
- [86] Renesola, “Renesola 156 Polycrystalline Solar Module.” Publicação Online, disponível em: <http://image.whiteaway.com/f/kampagner/solceller/pdf/datablade/datablad-renesola.pdf>. Acedido em: 2015-05-15.
- [87] SolarWaters, “Solarwaters eficiência energética.” Publicação Online, disponível em: <http://www.solarwaters.pt/caldeira-biomassa-domesticas/autopellets-2#a1>. Acedido em: 2015-03-10.

Anexos

Anexo A

Planta do Edifício

A.1 Planta Original do Edifício

Nas figuras A.1 e A.2, encontram-se representadas a planta original do edifício, fornecida pela empresa *N2Build*.



Figura A.1: Planta do edifício modelo

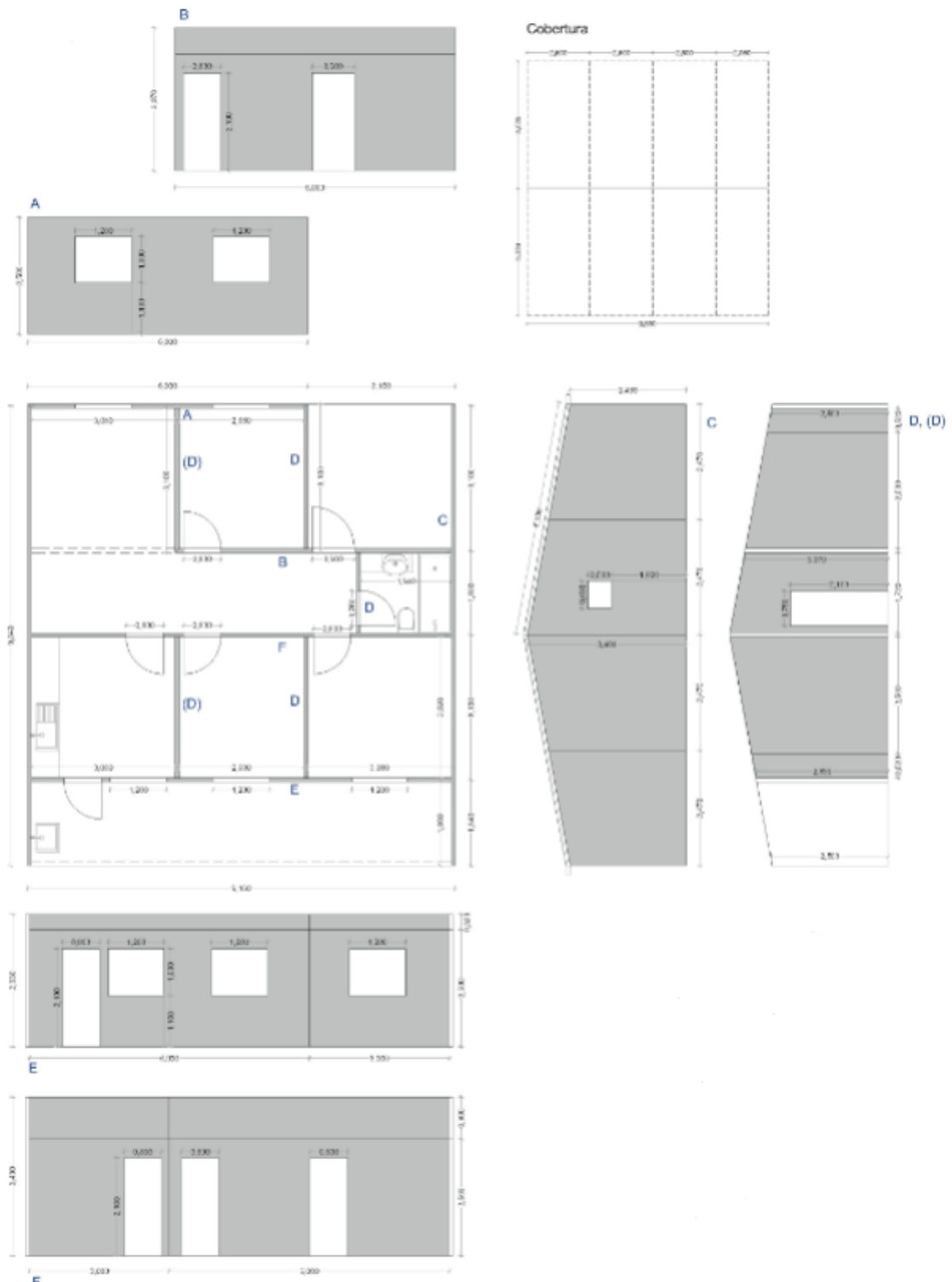


Figura A.2: Planta do edifício modelo com vistas

A.2 Edifício redimensionado

O edifício inicial sofreu uma remodelação, de modo a ser possível a obtenção de melhores resultados em termos de necessidades energéticas.

O novo edifício encontra-se representado para Faro nas figuras A.3 e A.4.

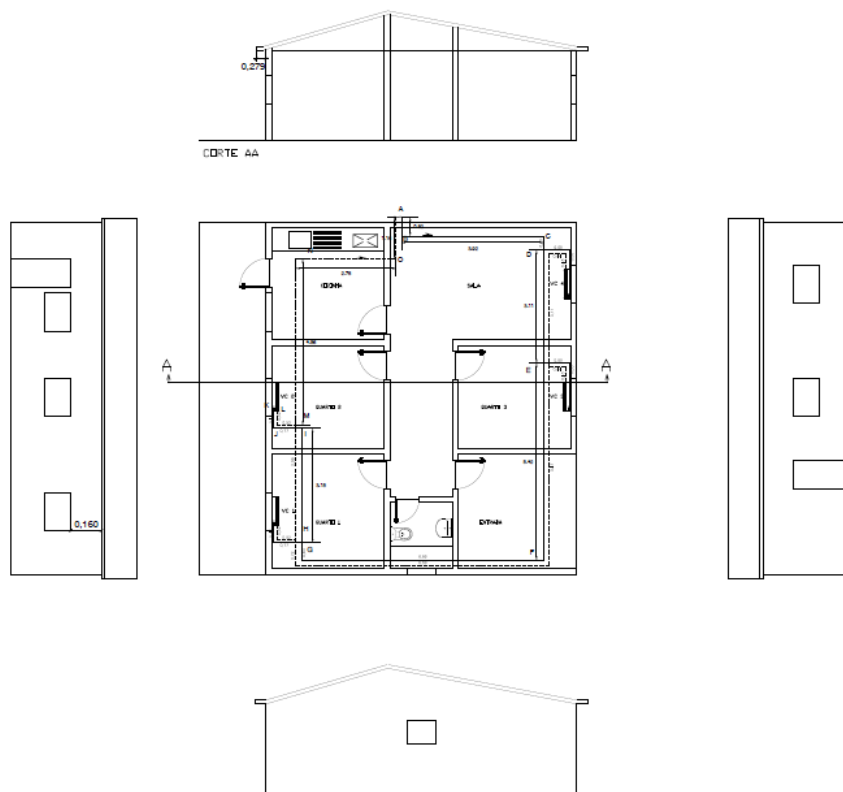


Figura A.3: Planta do edifício remodelado para Faro, com um sistema de climatização que utiliza o ventiloconvector para a climatização do espaço

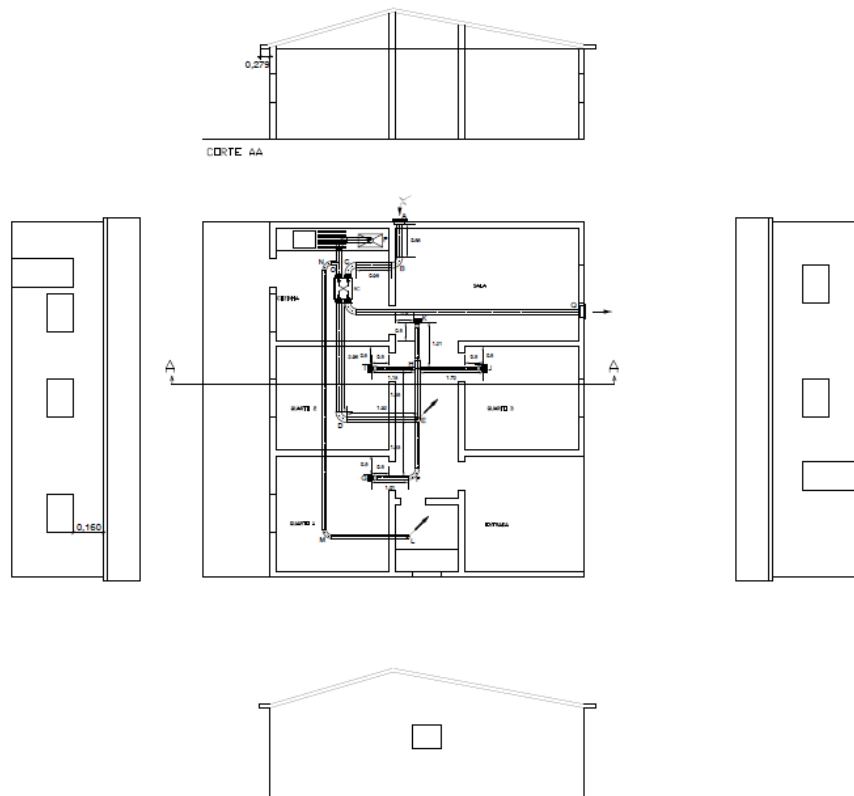


Figura A.4: Planta do edifício remodelado para Faro, com um sistema instalado baseado no sistema indicado pelo *Passivhaus Institut*

O edifício remodelado para o Porto e Bragança, encontram-se representados nas figuras A.5 e A.6.

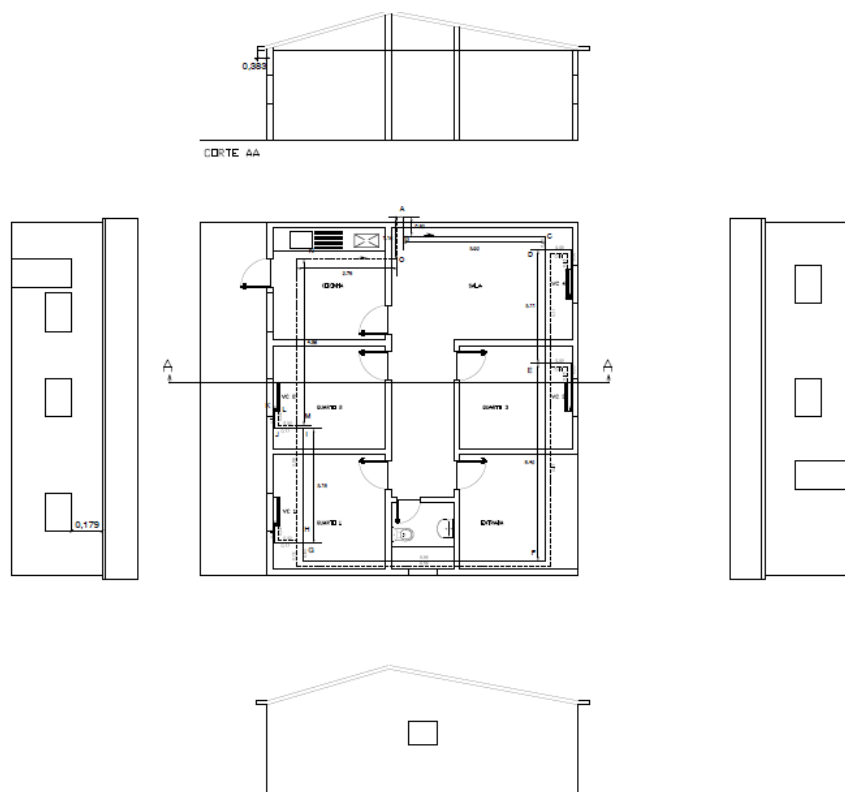


Figura A.5: Planta do edifício remodelado para o Porto e Bragança, com um sistema de climatização que utiliza o ventiloconvetor para a climatização do espaço

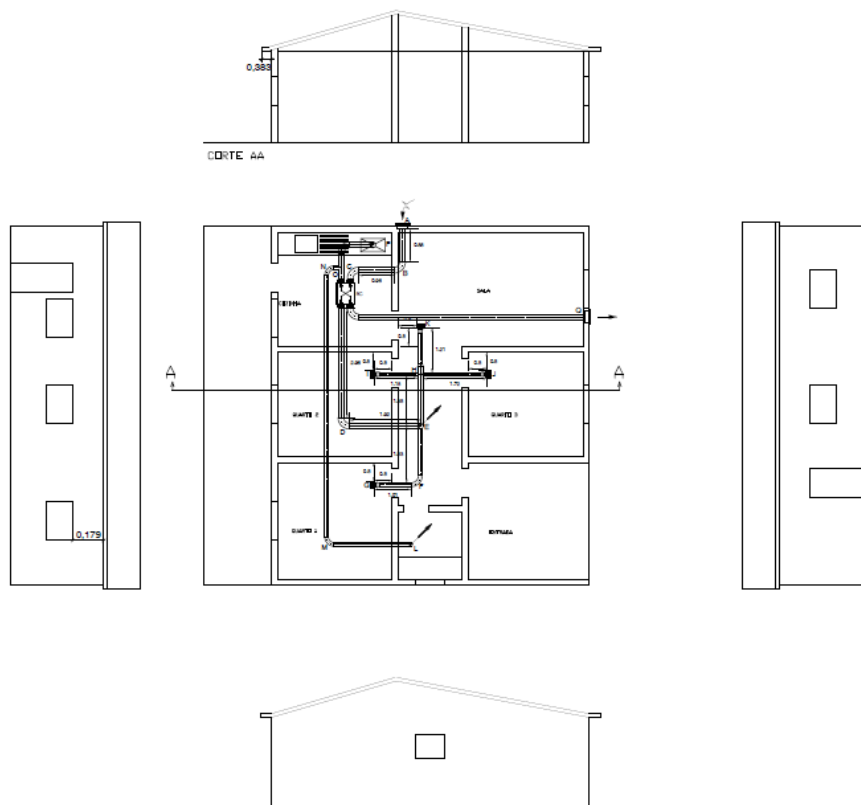


Figura A.6: Planta do edifício em estudo após remodelação, para o Porto e Bragança, com um sistema instalado baseado no sistema indicado pelo *Passivhaus Institut* implementado

Existe também um circuito hidráulico, para o sistema com recuperador de calor que permite a transmissão de calor entre a água após passar pela caldeira (ou no caso do arrefecimento, pelo mini-*chiller* se necessário), no entanto, este não será representado, pois as perdas de cargas serão mais reduzidas que o circuito representado na figura A.5. Logo a bomba de circulação escolhida, também conseguirá insuflar a água por esse circuito, com a vantagem de que gastará menos potência, como se irá verificar no anexo E.5.

Anexo B

Perfis de Utilização

No presente anexo, são apresentados os perfis de utilização dos vários equipamentos instalados na habitação.

B.1 Perfil de Utilização da Iluminação

O factor de utilização dos perfis de iluminação, é calculado, usando a percentagem da área útil ocupada por cada um dos compartimentos, representadas na tabela B.1.

Tabela B.1: Percentagem da área útil total ocupada pelos vários compartimentos

Compartimento	$\%A_{u.,oc.}$ [%]
Cozinha	15,22
Sala	35,77
Casa-de-Banho	5,59
Quarto 1	15,54
Quarto 2	13,94
Quarto 3	13,94

Em que:

- $\%A_{u.,oc.}$: Percentagem da área útil total ocupada pelo respectivo compartimento [%];

Os perfis de utilização para a iluminação encontram-se representados nas figuras B.1, B.2, B.3, B.4 e B.4 (o F.U., corresponde ao factor de utilização).

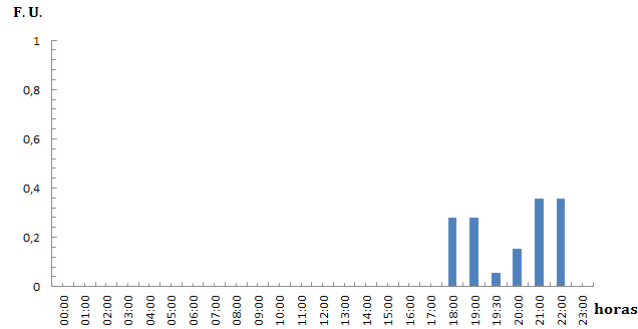


Figura B.1: Perfil de utilização da iluminação nas segundas e sextas-feiras da estação de aquecimento

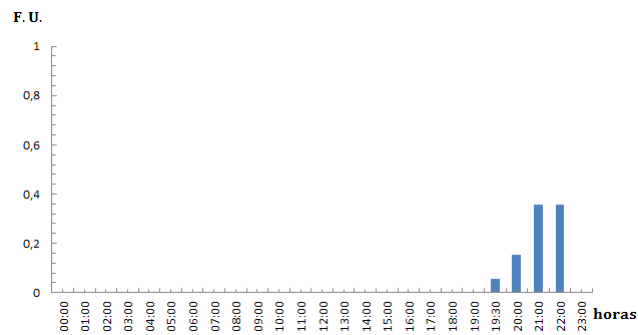


Figura B.2: Perfil de utilização da iluminação nos restantes dias da semana, para ambas as estações

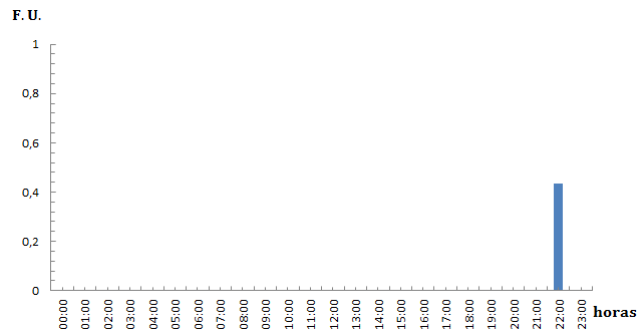


Figura B.3: Perfil de utilização da iluminação aos sábados

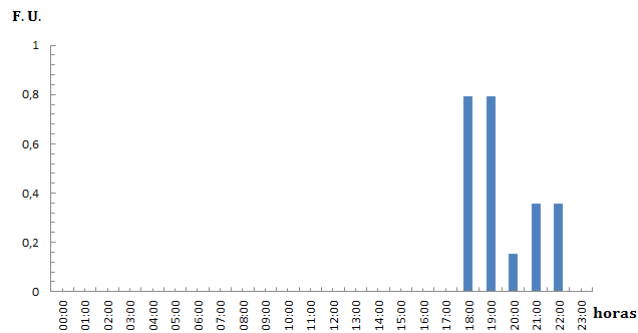


Figura B.4: Perfil de utilização da iluminação aos domingos para a estação de aquecimento

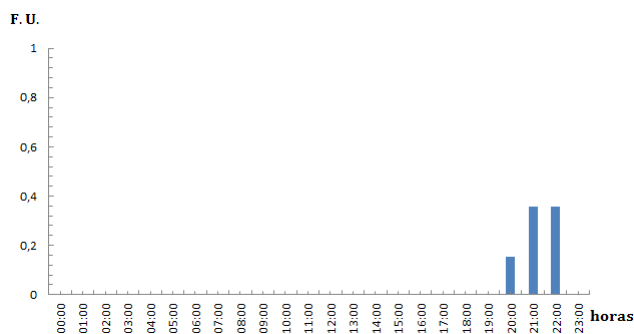


Figura B.5: Perfil de utilização da iluminação aos domingos para a estação de arrefecimento

B.2 Perfis de Utilização dos Computadores e das Televisões

Os perfis de utilização da televisão da sala encontram-se representados nas figuras B.6, B.7 e B.8.

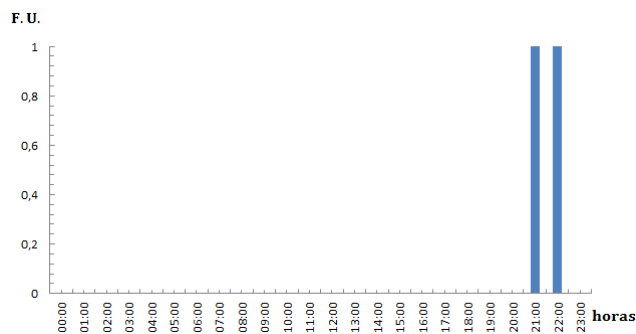


Figura B.6: Perfil de utilização da televisão da sala durante os dias da semana

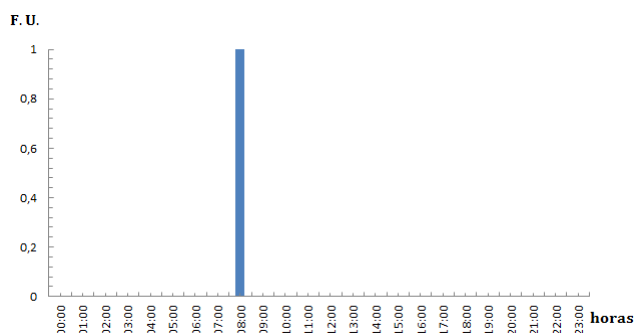


Figura B.7: Perfil de utilização da televisão da sala durante os sábados

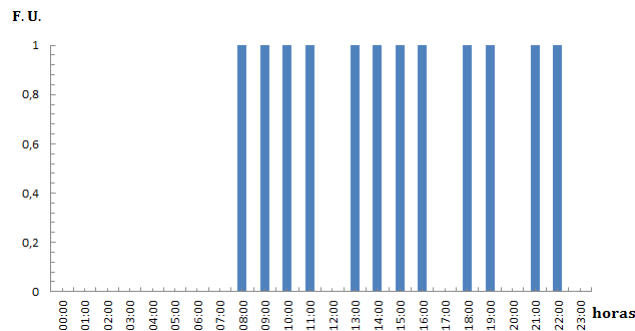


Figura B.8: Perfil de utilização da televisão da sala durante os domingos

Os perfis de utilização, para as televisões nos quartos, encontram-se representados nas figuras B.9, B.10 e B.11.

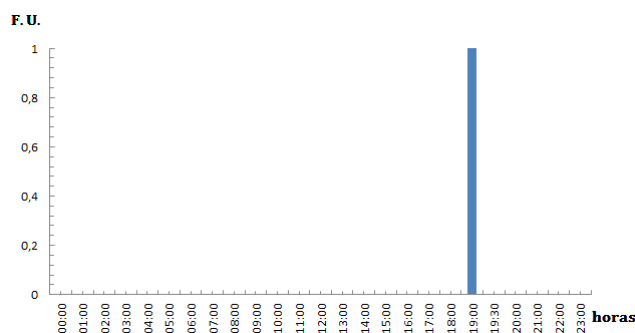


Figura B.9: Perfil de utilização das televisões nos quartos dos filhos, nas segundas e sextas-feiras da estação de aquecimento

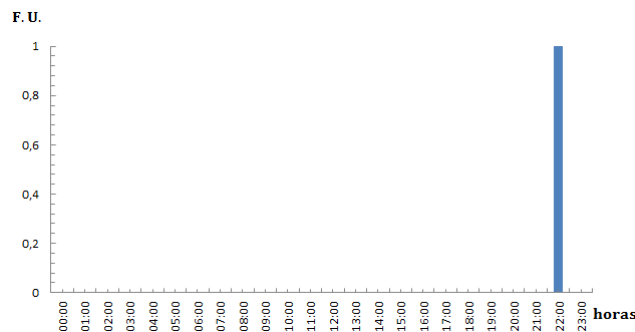


Figura B.10: Perfil de utilização das televisões nos quartos, aos sábados

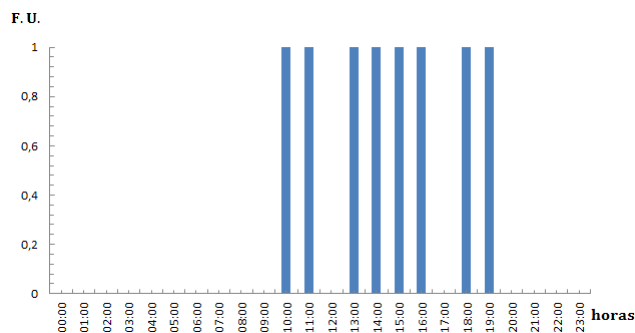


Figura B.11: Perfil de utilização das televisões nos quartos, aos domingos

As figuras B.12, B.13, B.14 mostram os perfis de utilização dos computadores pessoais.

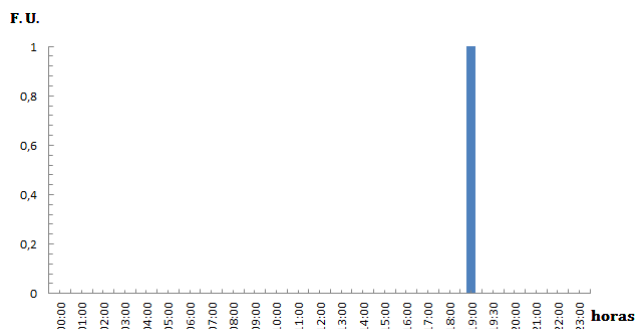


Figura B.12: Perfil de utilização dos computadores pelos filhos, nas segundas e sextas-feiras da estação de aquecimento

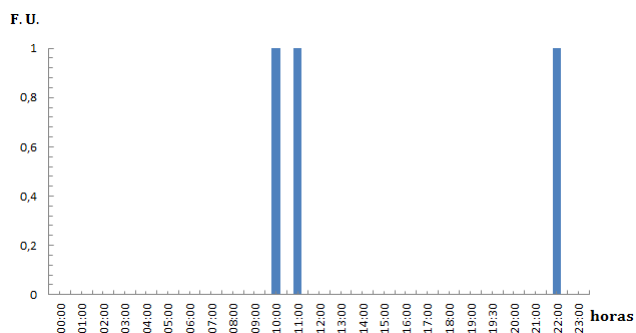


Figura B.13: Perfil de utilização dos computadores ao sábado

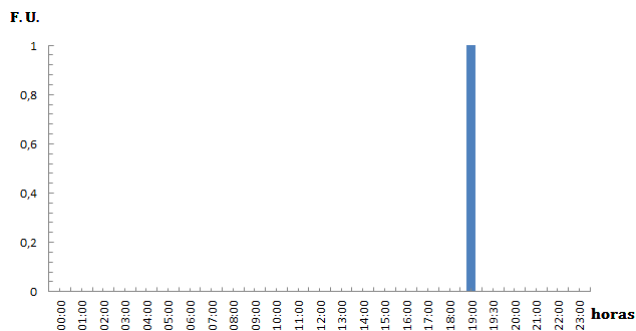


Figura B.14: Perfil de utilização dos computadores ao domingo

B.3 Perfil do Consumo de Água Quente Sanitária

Por fim os perfis de utilização, das águas quentes sanitárias encontram-se representados nas figuras B.15, B.16, B.17, B.18.

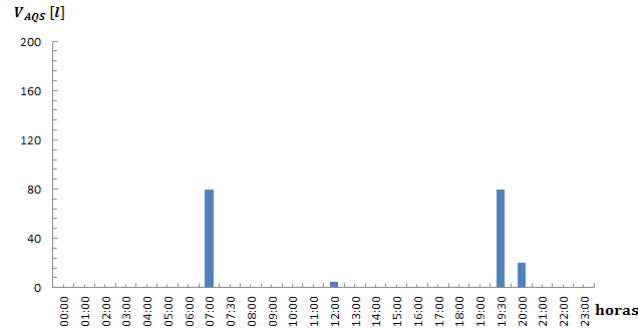


Figura B.15: Consumos de água quente sanitária nos dias da semana, quando a mãe almoça em casa

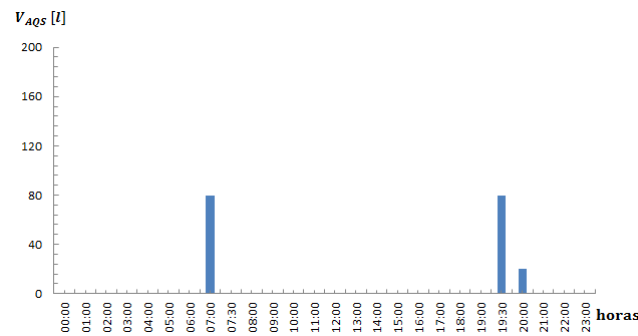


Figura B.16: Consumos de água quente sanitária nos dias da semana, quando a mãe não almoça em casa

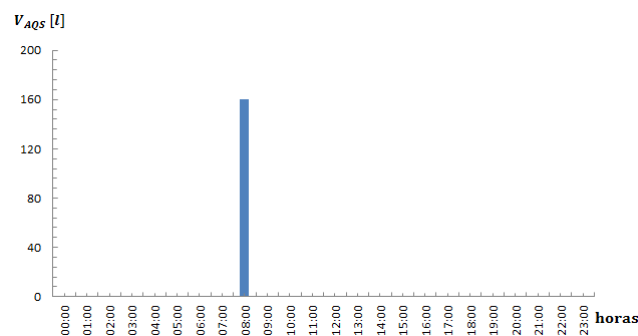


Figura B.17: Consumos de água quente sanitária nos sábados

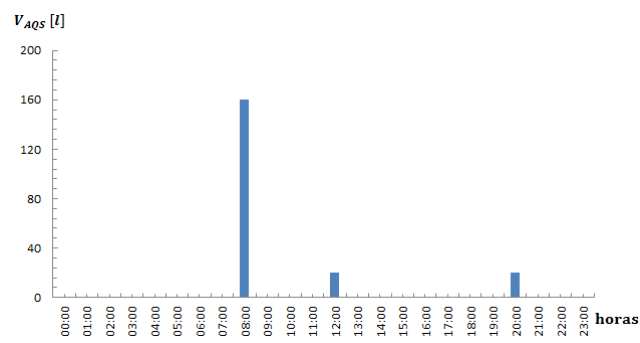


Figura B.18: Consumos de água quente sanitária nos domingos

Anexo C

Comportamento da Envolvente do Edifício

C.1 Edifício com 80 mm de espessura

C.1.1 Consumos Energéticos dos equipamentos, utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector

As tabelas C.1, C.2 e C.3, apresentam os valores mensais das necessidades de energia primária dos equipamentos, utilizados pelos sistema de climatização com ventiloconvector, para o edifício com paredes de espessura 80 mm, para as diferentes localidades em estudo.

Tabela C.1: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1414,7	2,5	18,6	91,5	1524,9
Fev.	1,0	1248,6	2,5	16,4	80,4	1345,4
Março	1,0	1209,8	2,5	16,3	80,0	1306,0
Abril	1,0	928,6	2,5	13,2	64,9	1006,8
Mai	1,0	533,9	2,5	8,2	40,1	582,1
Junho	1,0	189,8	2,5	2,8	7,4	200,0
Julho	1,0	46,3	2,5	0,8	2,0	49,0
Agosto	1,0	43,7	2,5	0,7	1,8	46,2
Set.	1,0	159,5	2,5	2,5	6,6	168,6
Out.	1,0	637,2	2,5	10,3	50,4	697,8
Nov.	1,0	1154,0	2,5	16,5	81,2	1251,6
Dez.	1,0	1347,4	2,5	18,3	90,0	1455,8
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	8913,4	-	124,4	596,4	9634,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	8913,4	-	310,9	1491,0	10715,3
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	149,0	-	5,2	24,9	179,1

Tabela C.2: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1119,7	2,5	16,3	80,0	1215,9
Fev.	1,0	907,3	2,5	13,4	65,7	986,4
Março	1,0	791,3	2,5	12,0	59,0	862,3
Abril	1,0	537,0	2,5	5,2	42,6	584,7
Mai	1,0	263,7	2,5	4,7	23,1	291,5
Junho	1,0	104,9	2,5	1,8	4,8	111,5
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	2,6	2,5	0,1	0,1	2,8
Set.	1,0	45,8	2,5	0,8	2,1	48,7
Out.	1,0	234,4	2,5	2,5	20,4	257,3
Nov.	1,0	719,7	2,5	11,5	56,3	787,5
Dez.	1,0	1024,7	2,5	15,4	75,5	1115,6
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	5751,1	-	83,4	429,6	6264,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	5751,1	-	208,6	1074,1	7033,8
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	96,1	-	3,5	18,0	117,6

Tabela C.3: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	762,3	2,5	12,3	61,7	836,3
Fev.	1,0	589,9	2,5	9,6	48,4	647,9
Março	1,0	484,5	2,5	8,2	41,1	533,7
Abril	1,0	285,2	2,5	5,3	26,7	317,2
Mai	1,0	101,3	2,5	2,1	10,3	113,7
Junho	1,0	2,4	2,5	0,1	0,1	2,6
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	39,7	2,5	0,9	4,3	44,9
Nov.	1,0	362,7	2,5	6,6	33,0	402,3
Dez.	1,0	640,4	2,5	10,7	53,7	704,7
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	3268,4	-	55,5	279,3	3603,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	3268,4	-	138,6	698,4	4105,4
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	54,6	-	2,3	11,7	68,6

As tabelas C.4, C.5 e C.6, mostram os valores mensais das necessidades de energia primária dos equipamentos usados no sistema de climatização, que utiliza o ventilador-convetor e o mini-*chiller* para a climatização do espaço, para um edifício com painéis de 80 mm de espessura nas diferentes localidades em estudo.

Tabela C.4: Valores mensais dos consumos de energia dos, equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiladorconvetor e mini-*chiller* incorporados, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1414,7	2,5	18,6	91,5	0	1524,9
Fev.	1,0	1248,6	2,5	16,4	80,4	0	1345,4
Março	1,0	1209,8	2,5	16,3	80,0	0	1306,0
Abril	1,0	928,6	2,5	13,2	64,9	0	1006,8
Mai	1,0	533,9	2,5	8,2	40,1	0	582,1
Junho	1,0	139,5	2,5	6,2	10,7	8,9	165,2
Julho	1,0	36,0	2,5	7,3	2,9	28,8	75,1
Agosto	1,0	33,7	2,5	6,0	2,8	23,5	66,0
Set.	1,0	109,7	2,5	4,9	8,7	7,4	130,7
Out.	1,0	637,2	2,5	10,3	50,4	0	697,8
Nov.	1,0	1154,0	2,5	16,5	81,2	0	1251,6
Dez.	1,0	1347,4	2,5	18,3	90,0	0	1455,8
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	8793,1	-	142,0	603,7	68,6	9607,3
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	8793,1	-	354,9	1509,2	171,4	10828,6
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	147,0	-	5,9	25,2	2,9	181,0

Tabela C.5: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiladorconvetor e mini-*chiller* incorporados, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1119,7	2,5	16,3	80,0	0	1215,9
Fev.	1,0	907,3	2,5	13,4	65,7	0	986,4
Março	1,0	791,3	2,5	12,0	59,0	0	862,3
Abril	1,0	537,0	2,5	5,2	42,6	0	584,7
Mai	1,0	263,7	2,5	4,7	23,1	0	291,5
Junho	1,0	72,7	2,5	3,9	5,9	7,8	90,2
Julho	1,0	1,6	2,5	3,1	0,1	15,5	20,3
Agosto	1,0	3,1	2,5	2,0	0,3	9,7	15,1
Set.	1,0	38,1	2,5	2,2	3,2	4,8	48,2
Out.	1,0	234,4	2,5	2,5	20,4	0	257,3
Nov.	1,0	719,7	2,5	11,5	56,3	0	787,5
Dez.	1,0	1024,7	2,5	15,4	75,5	0	1115,6
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	5713,2	-	91,9	432,1	37,8	6275,1
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	5713,2	-	229,7	1080,3	94,6	7117,8
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	95,5	-	3,8	18,1	1,6	119,0

Tabela C.6: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 80 mm, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	762,3	2,5	12,3	61,7	0	836,3
Fev.	1,0	589,9	2,5	9,6	48,4	0	647,9
Março	1,0	484,5	2,5	8,2	41,1	0	533,7
Abril	1,0	285,2	2,5	5,3	26,7	0	317,2
Mai	1,0	101,3	2,5	3,4	10,3	0	115,0
Junho	1,0	2,9	2,5	3,8	0,3	22,0	28,9
Julho	1,0	0	2,5	9,4	0	59,1	68,5
Agosto	1,0	0	2,5	9,1	0	57,2	66,3
Set.	1,0	0	2,5	4,2	0	25,3	29,4
Out.	1,0	39,7	2,5	0,9	4,3	0	44,9
Nov.	1,0	362,7	2,5	6,6	33,0	0	402,3
Dez.	1,0	640,4	2,5	10,7	53,7	0	704,7
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	3268,9	-	83,2	279,5	163,6	3795,1
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	3268,9	-	207,9	698,7	409,0	4584,5
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	54,6	-	3,5	11,7	6,8	76,6

C.2 Edifício com 100 mm de espessura

C.2.1 Evolução da Temperatura Interior do Edifício

As figuras C.1, C.2 e C.3 mostram a evolução da temperatura interior para o mesmo edifício, para as 3 localidades em estudo nos dias de projecto, para a estação de aquecimento.

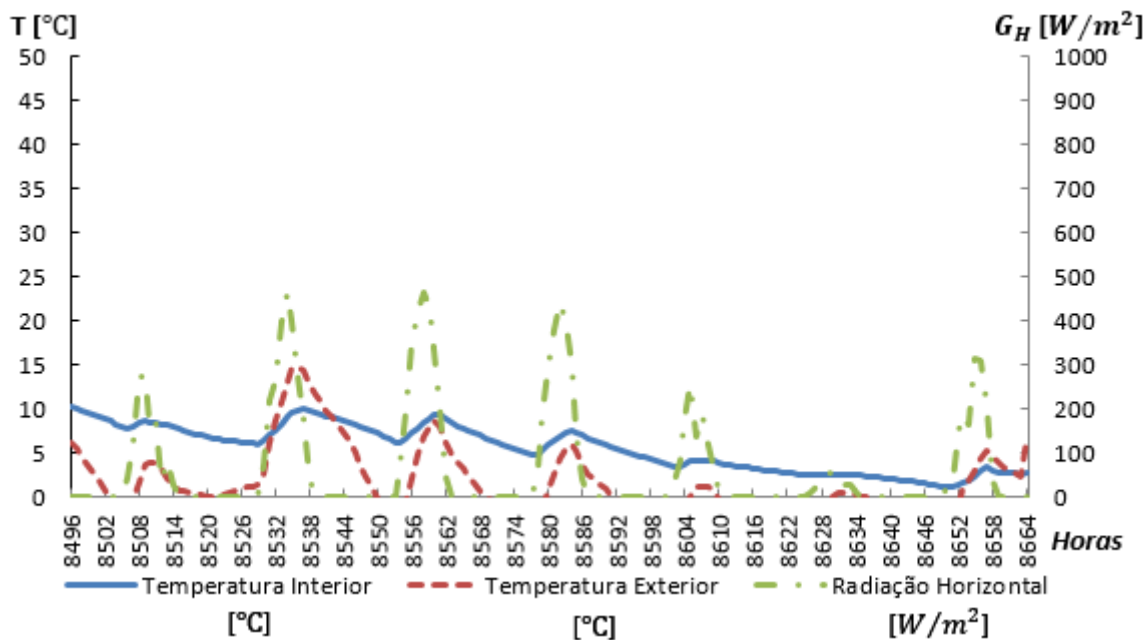


Figura C.1: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

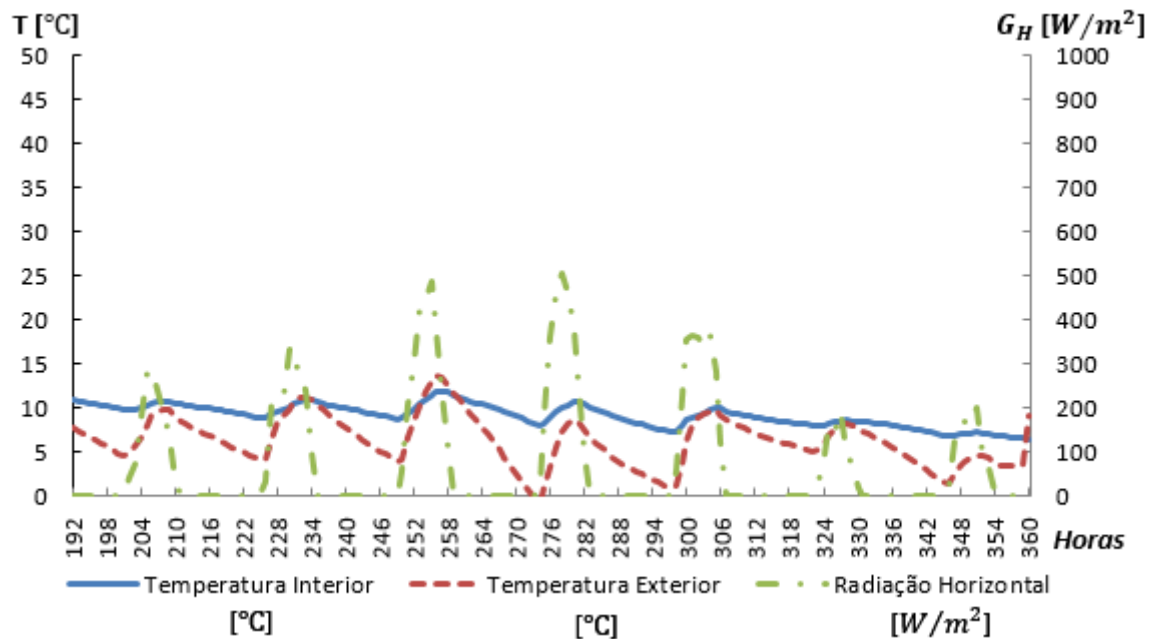


Figura C.2: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

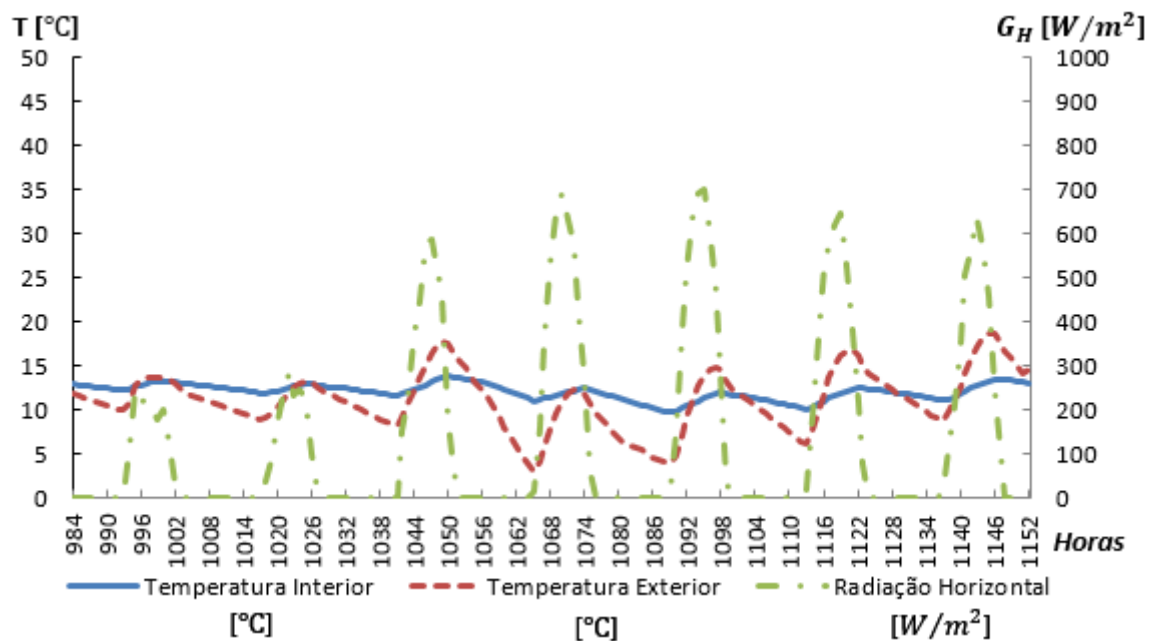


Figura C.3: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

As figuras C.4, C.5 e C.6 mostram a evolução da temperatura interior para o mesmo edifício, para as 3 localidades em estudo nos dias de projecto, para a estação de arrefecimento.

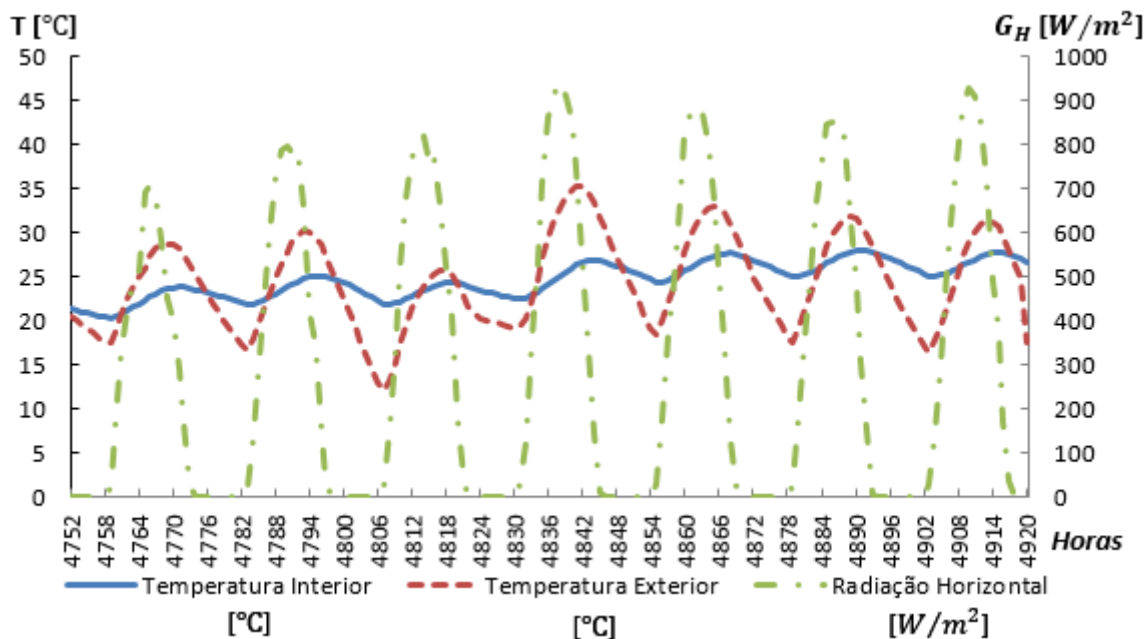


Figura C.4: Evolução da temperatura interior do edifício em Bragança, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

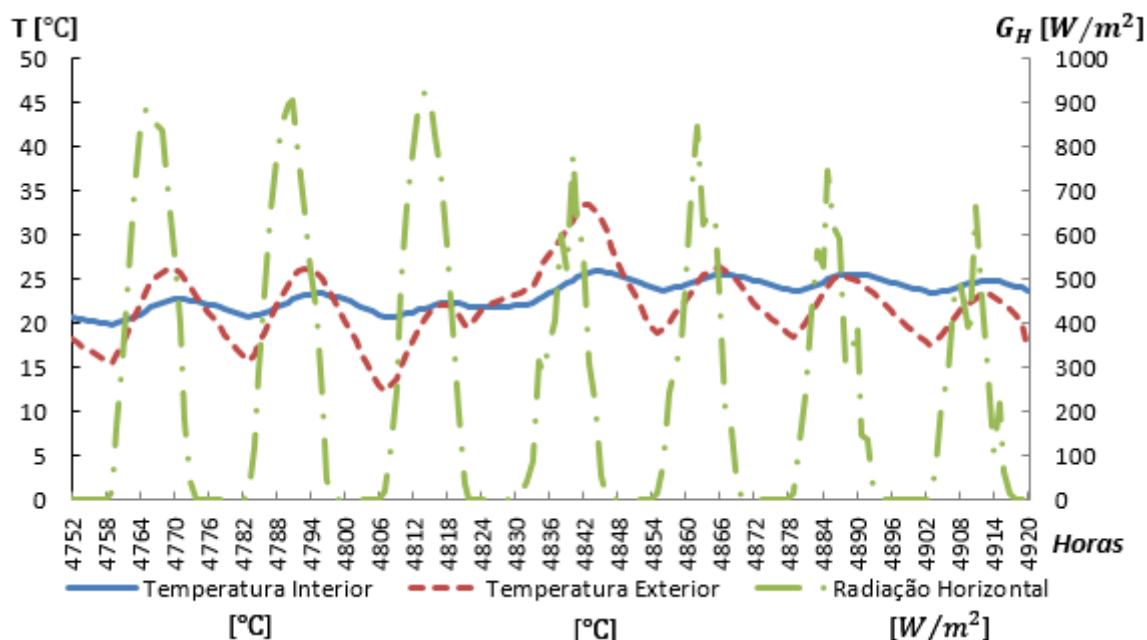


Figura C.5: Evolução da temperatura interior do edifício no Porto, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

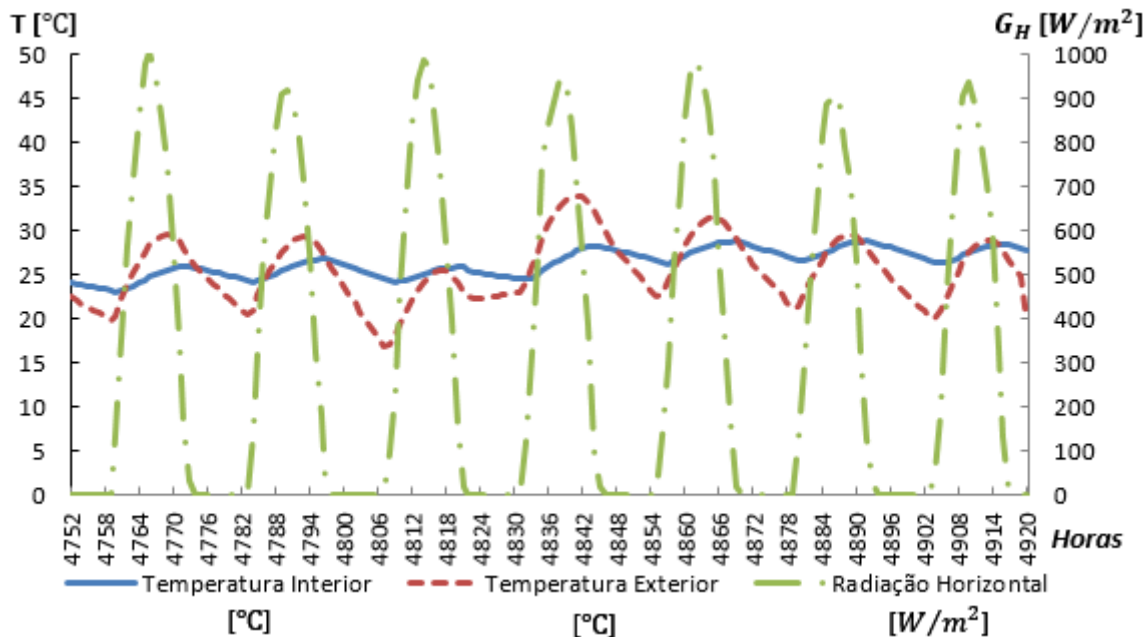


Figura C.6: Evolução da temperatura interior do edifício em Faro, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

C.2.2 Evolução da Temperatura Interior do Edifício com o sistema de climatização activo

As figuras C.7, C.8 e C.9 mostram a evolução da temperatura interior para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 100 mm e com o ventiloconvector activo, para as 3 localidades em estudo nos dias de projecto, para a estação de aquecimento.

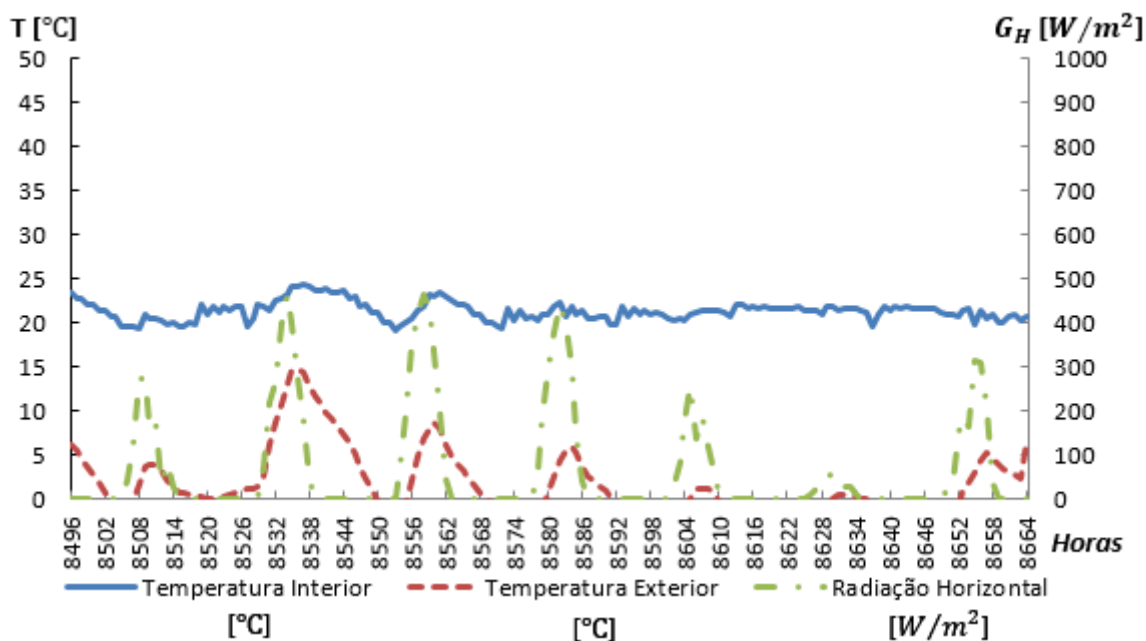


Figura C.7: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, em Bragança, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

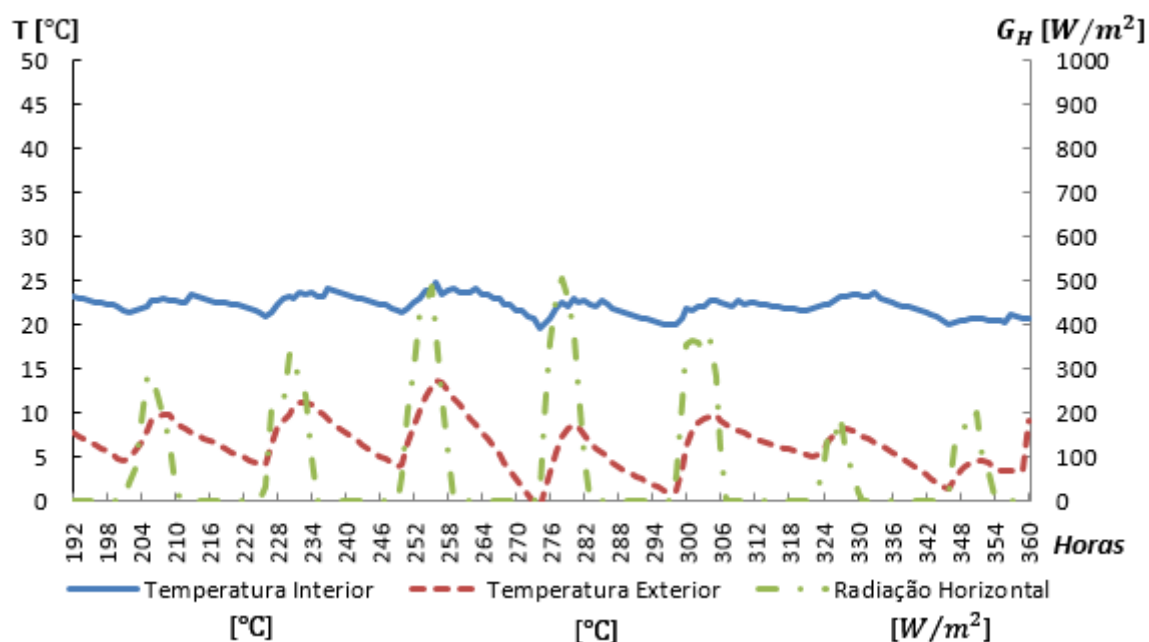


Figura C.8: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, no Porto, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

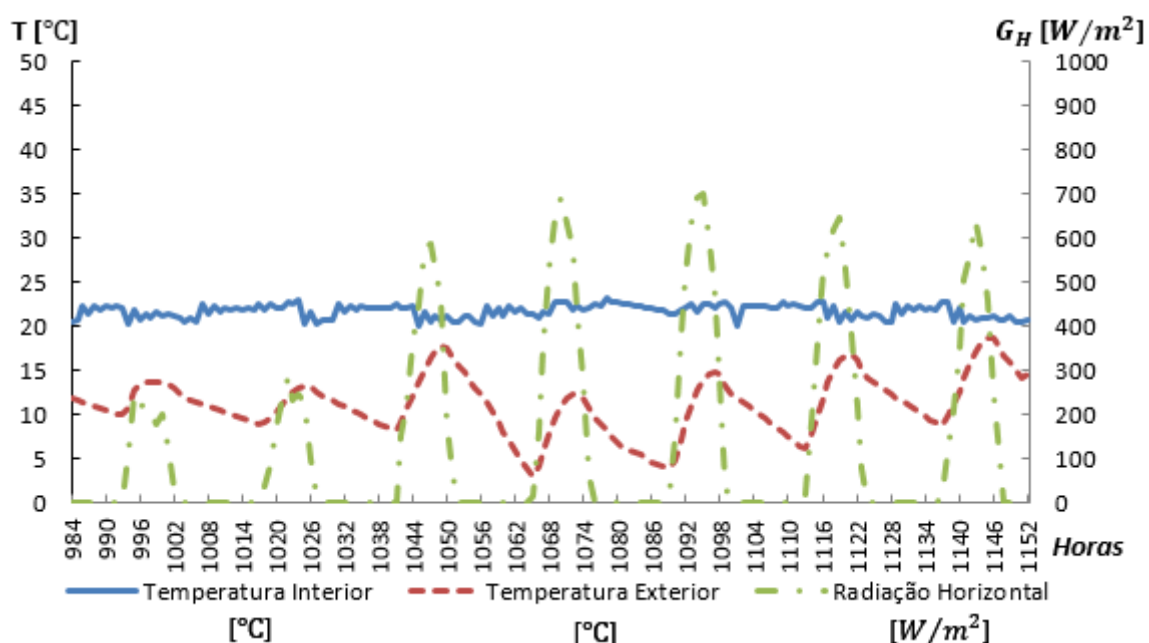


Figura C.9: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, em Faro, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de aquecimento

As figuras C.7, C.8 e C.9 mostram a evolução da temperatura interior para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 100 mm e com o ventiloconvector activo, para as 3 localidades em estudo nos dias de projecto, para a estação de arrefecimento.

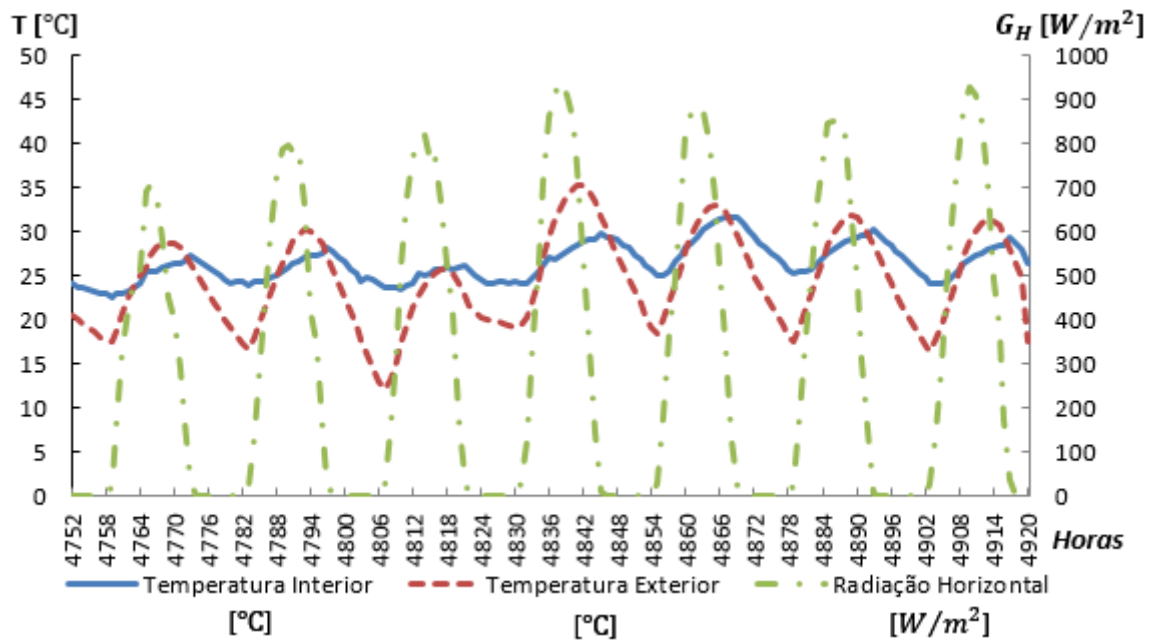


Figura C.10: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, em Bragança, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

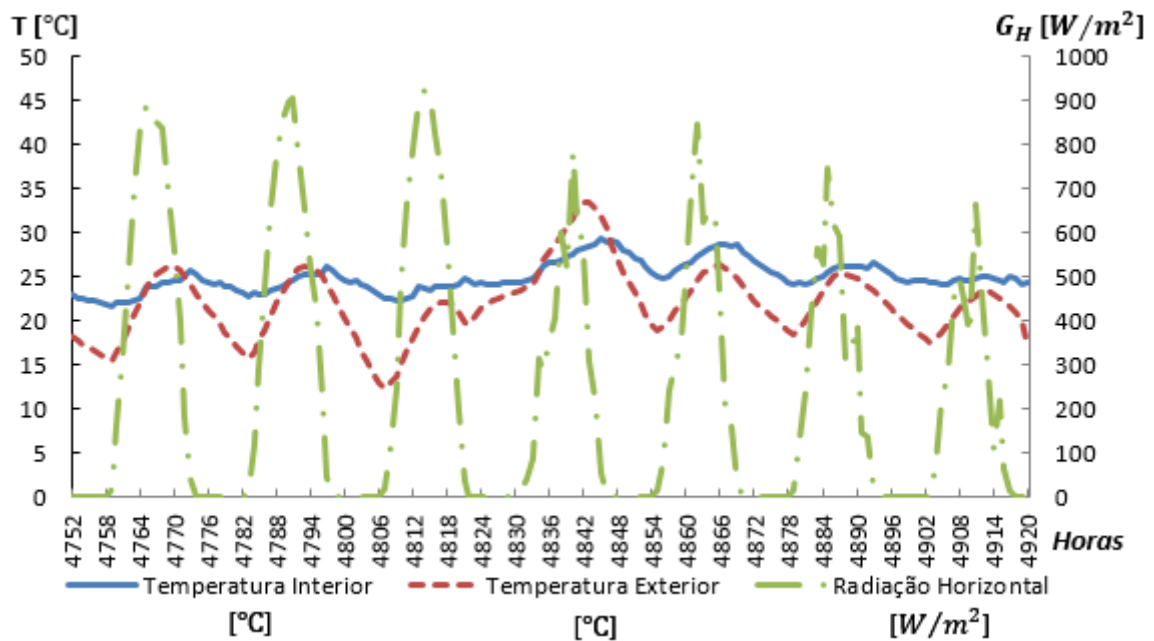


Figura C.11: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, no Porto, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

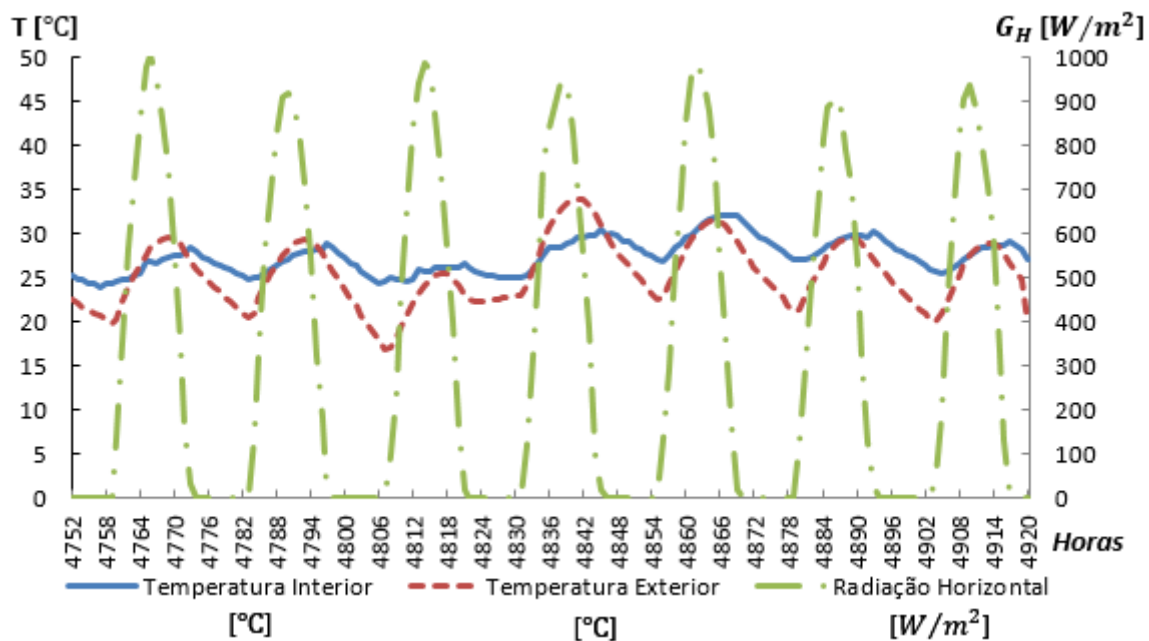


Figura C.12: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, em Faro, com o ventiloconvector activo, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

As figuras C.13, C.14 e C.15 mostram a evolução da temperatura interior para o edifício cujas paredes têm uma espessura de 100 mm e com o ventiloconvector e o mini-chiller activos, para as 3 localidades em estudo nos dias de projecto, para a estação de arrefecimento.

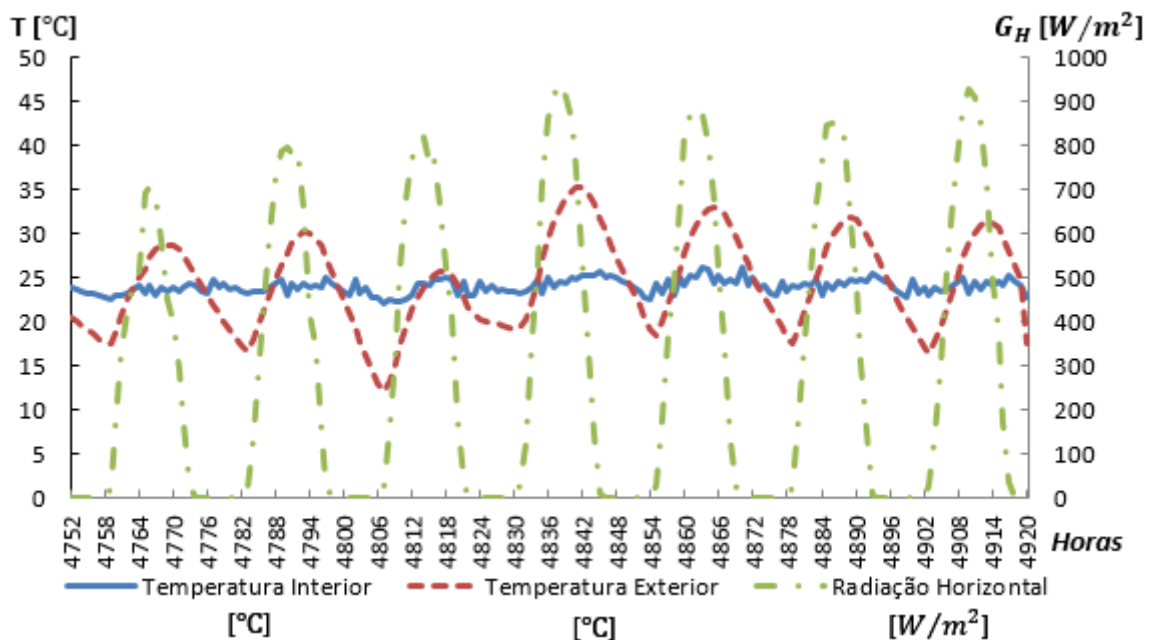


Figura C.13: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, em Bragança, com o ventiloconvector e o mini-chiller activos, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

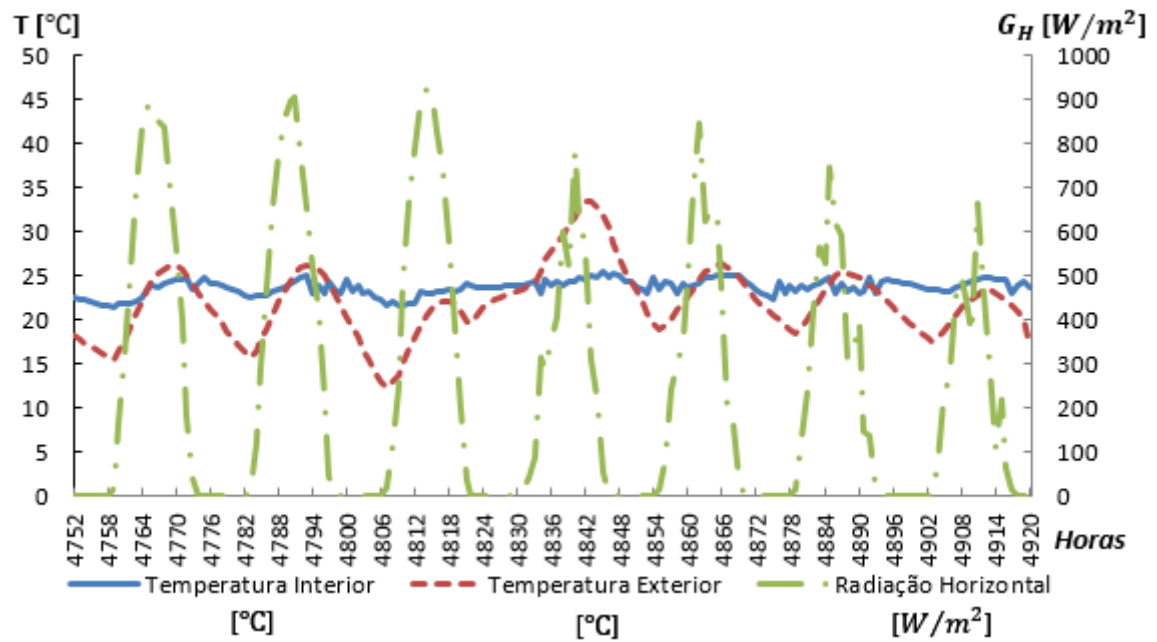


Figura C.14: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, no Porto, com o ventiloconvetor e o mini-chiller activos, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

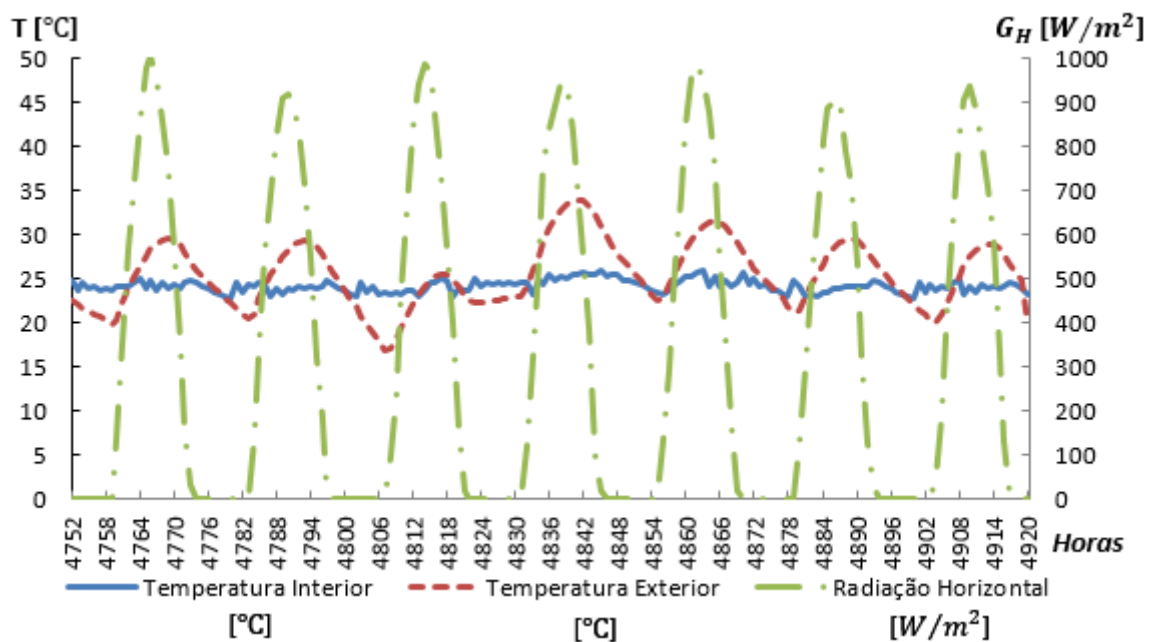


Figura C.15: Evolução da temperatura interior no edifício com as paredes de 100 mm de espessura, em Faro, com o ventiloconvetor e o mini-chiller activos, em função da radiação horizontal e da temperatura exterior, para a estação de arrefecimento

C.2.3 Consumos Energéticos dos equipamentos, utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector

As tabelas C.7, C.8 e C.9, representam os valores mensais da energia primária consumida pelos equipamentos utilizados no sistema de climatização, com ventiloconvector, para um edifício com painéis de 100 mm de espessura, nas localidades em estudo.

Tabela C.7: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício com paredes de espessura de 100 mm, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1410,8	2,5	18,6	93,7	1523,1
Fev.	1,0	1217,7	2,5	16,1	80,9	1314,7
Março	1,0	1146,1	2,5	15,6	78,4	1240,0
Abril	1,0	858,0	2,5	12,4	62,5	932,9
Mai	1,0	441,0	2,5	6,8	34,3	482,1
Junho	1,0	146,7	2,5	2,2	5,8	154,8
Julho	1,0	23,7	2,5	0,4	1,1	25,1
Agosto	1,0	24,1	2,5	0,4	1,1	25,5
Set.	1,0	115,7	2,5	1,9	4,9	122,4
Out.	1,0	535,7	2,5	8,8	44,4	588,9
Nov.	1,0	1113,5	2,5	16,2	81,4	1211,0
Dez.	1,0	1333,2	2,5	18,2	91,5	1442,9
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	8366,2	-	117,4	579,8	9063,4
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	8366,2	-	293,4	1449,5	10109,1
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	139,9	-	4,9	24,2	169,0

Tabela C.8: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício com paredes de espessura de 100 mm, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1028,7	2,5	15,1	76,1	1120,0
Fev.	1,0	815,1	2,5	12,2	61,2	888,4
Março	1,0	685,2	2,5	10,6	53,4	749,3
Abril	1,0	443,2	2,5	7,3	36,8	487,2
Mai	1,0	194,6	2,5	3,5	17,6	215,7
Junho	1,0	56,5	2,5	1,0	2,5	59,9
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	22,0	2,5	0,4	1,1	23
Out.	1,0	180,4	2,5	3,3	16,4	200,0
Nov.	1,0	621,3	2,5	10,0	50,4	681,7
Dez.	1,0	903,9	2,5	13,7	68,8	986,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	4950,9	-	76,9	384,3	5412,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	4950,9	-	192,3	960,8	6104,0
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	82,8	-	3,2	16,1	102,0

Tabela C.9: Evolução mensal dos consumos energéticos, equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício com paredes de espessura de 100 mm, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	431,4	2,5	11,2	29,4	472,0
Fev.	1,0	324,9	2,5	8,5	22,4	355,8
Março	1,0	262,4	2,5	7,2	18,9	288,5
Abril	1,0	148,0	2,5	4,3	11,4	163,7
Mai	1,0	41,3	2,5	1,4	3,6	46,2
Junho	1,0	0	2,5	0	0	0
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	16,9	2,5	0,6	1,5	18,9
Nov.	1,0	202,5	2,5	5,8	15,3	223,6
Dez.	1,0	335,9	2,5	9,0	23,8	368,7
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1763,4	-	47,8	126,2	1937,4
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1763,4	-	119,5	315,5	2198,4
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	29,5	-	2,0	5,3	36,7

As tabelas C.10, C.11 e C.12, representam os valores mensais das necessidades de energia primária para aquecimento e arrefecimento, para um edifício com painéis de 100 mm de espessura, utilizando o ventiloconvector e o mini-chiller para a climatização do espaço, nas localidades em estudo.

Tabela C.10: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício com paredes de espessura de 100 mm, localizado em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1410,8	2,5	18,6	93,7	0	1523,1
Fev.	1,0	1217,7	2,5	16,1	80,9	0	1314,7
Março	1,0	1146,1	2,5	15,6	78,4	0	1240,0
Abril	1,0	858,0	2,5	12,4	62,5	0	932,9
Mai	1,0	441,0	2,5	6,8	34,3	0	482,1
Junho	1,0	146,7	2,5	2,2	12,2	9,3	170,4
Julho	1,0	23,7	2,5	0,4	21,0	30,2	75,3
Agosto	1,0	24,1	2,5	0,4	15,8	32,2	72,5
Set.	1,0	115,7	2,5	1,9	10,3	15,8	143,6
Out.	1,0	535,7	2,5	8,8	44,4	0	588,9
Nov.	1,0	1113,5	2,5	16,2	81,4	0	1211,0
Dez.	1,0	1333,2	2,5	18,2	91,5	0	1442,9
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	8366,2	-	117,4	626,3	87,6	9197,4
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	8366,2	-	293,4	1565,6	218,9	10444,1
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	139,9	-	4,9	26,2	3,7	174,6

Tabela C.11: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvetor e mini-*chiller* incorporados, para o edifício com paredes de espessura de 100 mm, localizado no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1028,7	2,5	15,1	76,1	0	1120,0
Fev.	1,0	815,1	2,5	12,2	61,2	0	888,4
Março	1,0	685,2	2,5	10,6	53,4	0	749,3
Abril	1,0	443,2	2,5	7,3	36,8	0	487,2
Mai	1,0	194,6	2,5	3,5	17,6	0	215,7
Junho	1,0	46,9	2,5	3,1	8,2	8,0	66,2
Julho	1,0	0	2,5	3,1	8,1	15,5	26,6
Agosto	1,0	0	2,5	1,9	5,0	9,8	16,7
Set.	1,0	20,6	2,5	1,6	4,2	4,8	31,2
Out.	1,0	180,4	2,5	3,3	16,4	0	200,0
Nov.	1,0	621,3	2,5	10,0	50,4	0	681,7
Dez.	1,0	903,9	2,5	13,7	68,8	0	986,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	4939,9	-	85,2	406,2	38,1	5469,5
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	4939,9	-	213,0	1015,6	95,2	6263,8
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	82,6	-	3,6	17,0	1,6	104,7

Tabela C.12: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvetor e mini-*chiller* incorporados, para o edifício com paredes de espessura de 100 mm, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	431,4	2,5	11,2	29,4	0	472,0
Fev.	1,0	324,9	2,5	8,5	22,4	0	355,8
Março	1,0	262,4	2,5	7,2	18,9	0	288,5
Abril	1,0	148,0	2,5	4,3	11,4	0	163,7
Mai	1,0	41,3	2,5	1,4	3,6	0	46,2
Junho	1,0	0	2,5	0,0	11,5	23,2	34,7
Julho	1,0	0	2,5	0,0	30,5	61,6	92,1
Agosto	1,0	0	2,5	0,0	30,4	71,7	102,1
Set.	1,0	0	2,5	0,0	13,4	52,2	65,7
Out.	1,0	16,9	2,5	0,6	1,5	0	18,9
Nov.	1,0	202,5	2,5	5,8	15,3	0	223,6
Dez.	1,0	335,9	2,5	9,0	23,8	0	368,7
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1763,4	-	47,8	212,0	208,7	2232,0
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1763,4	-	119,5	530,1	521,9	2934,9
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	29,5	-	2,0	8,9	8,7	49,1

C.3 Edifício Redimensionado

C.3.1 Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector

As tabelas C.13, C.14 e C.15, apresentam a evolução mensal dos valores de energia primária consumida pelos diversos equipamentos que compõe o sistema de climatização com ventiloconvector, para o edifício redimensionado, nas localidades em estudo.

Tabela C.13: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{V.}^{SC}$ [kWh]	$E_{B.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	914,3	2,5	19,0	50,0	983,3
Fev.	1,0	697,2	2,5	14,2	37,5	748,9
Março	1,0	561,9	2,5	11,7	30,9	604,5
Abril	1,0	407,9	2,5	9,0	23,6	440,5
Maio	1,0	227,5	2,5	5,2	13,7	246,4
Junho	1,0	100,6	2,5	1,6	4,1	106,3
Julho	1,0	11,8	2,5	0,2	0,5	12,6
Agosto	1,0	5,4	2,5	0,1	0,3	5,7
Set.	1,0	28,6	2,5	0,5	1,2	30,3
Out.	1,0	234,2	2,5	6,1	16,1	256,5
Nov.	1,0	637,7	2,5	14,1	37,1	688,9
Dez.	1,0	877,4	2,5	19,0	50,0	946,4
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	4704,7	-	100,4	265,1	5070,1
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	4704,7	-	251,0	662,6	5618,3
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	78,6	-	4,2	11,1	93,9

Tabela C.14: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{V.}^{SC}$ [kWh]	$E_{B.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	579,7	2,5	13,2	34,8	627,8
Fev.	1,0	408,6	2,5	9,5	24,9	443,0
Março	1,0	311,8	2,5	7,3	19,3	338,4
Abril	1,0	193,9	2,5	5,0	13,2	212,1
Maio	1,0	75,1	2,5	2,1	5,4	82,5
Junho	1,0	24,3	2,5	0,4	1,1	25,8
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	55,9	2,5	1,7	4,4	61,9
Nov.	1,0	321,0	2,5	8,1	21,4	350,5
Dez.	1,0	576,1	2,5	13,4	35,4	624,9
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	2546,4	-	60,6	159,9	2766,8
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	2546,4	-	151,4	399,6	3097,4
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	42,6	-	2,5	6,7	51,8

Tabela C.15: Evolução mensal dos consumos de energéticos, dos equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	504,2	2,5	7,6	20,1	531,9
Fev.	1,0	342,6	2,5	5,3	13,9	361,7
Março	1,0	189,9	2,5	3,1	8,2	201,2
Abril	1,0	122,3	2,5	2,2	5,7	130,1
Mai	1,0	30,7	2,5	0,6	1,6	32,9
Junho	1,0	0	2,5	0	0	0
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	0	2,5	0	0	0
Nov.	1,0	180,9	2,5	3,1	8,2	192,2
Dez.	1,0	440,5	2,5	6,8	18,0	465,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1811,1	-	28,6	75,5	1915,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1811,1	-	71,5	188,8	2071,3
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	30,3	-	1,2	3,2	34,6

As tabelas C.16, C.17 e C.18, apresentam a evolução mensal dos valores de energia primária consumida pelos diversos equipamentos que compõe o sistema de climatização com ventiloconvector e o mini-chiller, para o edifício redimensionado, nas localidades em estudo.

Tabela C.16: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	914,3	2,5	19,0	50,0	0	983,3
Fev.	1,0	697,2	2,5	14,2	37,5	0	748,9
Março	1,0	561,9	2,5	11,7	30,9	0	604,5
Abril	1,0	407,9	2,5	9,0	23,6	0	440,5
Mai	1,0	227,5	2,5	5,2	13,7	0	246,4
Junho	1,0	206,1	2,5	8,2	19,5	6	240,1
Julho	1,0	80,3	2,5	9,0	17,4	22	129,2
Agosto	1,0	56,3	2,5	8,6	16,0	24	104,5
Set.	1,0	137,6	2,5	7,6	16,8	11	173,1
Out.	1,0	234,2	2,5	6,1	16,1	0	256,5
Nov.	1,0	637,7	2,5	14,1	37,1	0	688,9
Dez.	1,0	877,4	2,5	19,0	50,0	0	946,4
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	5038,6	-	131,4	328,7	63,6	5562,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	5038,6	-	328,5	821,8	158,9	6347,7
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	84,2	-	5,5	13,7	2,7	106,1

Tabela C.17: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-*chiller* incorporados, para o edifício re-dimensionado, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	579,7	2,5	13,2	34,8	0	627,8
Fev.	1,0	408,6	2,5	9,5	24,9	0	443,0
Março	1,0	311,8	2,5	7,3	19,3	0	338,4
Abril	1,0	193,9	2,5	5,0	13,2	0	212,1
Mai	1,0	75,1	2,5	2,1	5,4	0	82,5
Junho	1,0	134,0	2,5	5,8	13,7	5,8	159,4
Julho	1,0	23,5	2,5	4,1	7,6	11,9	47,1
Agosto	1,0	21,7	2,5	4,1	7,5	11,8	45,1
Set.	1,0	53,9	2,5	4,9	9,8	11,1	79,6
Out.	1,0	55,9	2,5	1,7	4,4	0	61,9
Nov.	1,0	321,0	2,5	8,1	21,4	0	350,5
Dez.	1,0	576,1	2,5	13,4	35,4	0	624,9
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	2755,3	-	79,0	197,4	40,7	3072,3
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	2755,3	-	197,4	493,5	101,6	3547,7
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	46,1	-	3,3	8,2	1,7	59,3

Tabela C.18: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-*chiller* incorporados, para o edifício re-dimensionado, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	504,2	2,5	7,6	20,1	0	531,9
Fev.	1,0	342,6	2,5	5,3	13,9	0	361,7
Março	1,0	189,9	2,5	3,1	8,2	0	201,2
Abril	1,0	122,3	2,5	2,2	5,7	0	130,1
Mai	1,0	30,7	2,5	0,6	1,6	0	32,9
Junho	1,0	16,0	2,5	21,3	1,5	15,8	54,6
Julho	1,0	0	2,5	52,9	0,0	45,7	98,6
Agosto	1,0	0	2,5	61,6	0	54,3	115,9
Set.	1,0	0	2,5	46,7	0	37,7	84,4
Out.	1,0	0	2,5	0	0	0	0
Nov.	1,0	180,9	2,5	3,1	8,2	0	192,2
Dez.	1,0	440,5	2,5	6,8	18,0	0	465,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1827,1	-	211,1	77,0	153,4	2268,6
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1827,1	-	527,8	192,4	383,5	2930,9
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	30,5	-	8,8	3,2	6,4	49,0

C.3.2 Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com Recuperador de Calor

As tabelas C.19, C.20 e C.21, apresentam a evolução mensal dos valores de energia primária consumida pelos diversos equipamentos que compõe o sistema de climatização com ventiloconvetor, para o edifício redimensionado, nas localidades em estudo.

Tabela C.19: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor incorporado, para o edifício redimensionado, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1307,7	2,5	18,5	540,2	1866,3
Fev.	1,0	976,8	2,5	15,2	443,6	1435,5
Março	1,0	803,9	2,5	14,0	408,5	1226,3
Abril	1,0	587,8	2,5	11,4	333,8	933,0
Mai	1,0	328,0	2,5	7,2	210,8	546,0
Junho	1,0	145,5	2,5	2,4	64,4	212,2
Julho	1,0	33,6	2,5	0,6	16,5	50,6
Agosto	1,0	22,0	2,5	0,4	11,0	33,4
Set.	1,0	68,8	2,5	1,2	31,5	101,5
Out.	1,0	349,1	2,5	8,4	244,5	601,9
Nov.	1,0	801,0	2,5	16,0	468,5	1285,5
Dez.	1,0	1225,7	2,5	18,0	527,0	1770,8
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	6649,7	-	113,0	3300,3	10062,9
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	6649,7	-	282,5	8250,7	15182,8
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	111,2	-	4,7	137,9	253,8

Tabela C.20: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor incorporado, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	529,4	2,5	37,2	340,4	907,0
Fev.	1,0	398,1	2,5	33,6	257,9	689,6
Março	1,0	319,0	2,5	37,2	212,6	568,9
Abril	1,0	212,9	2,5	36,0	150,4	399,3
Mai	1,0	111,0	2,5	37,2	84,8	233,0
Junho	1,0	62,9	2,5	1,2	30,6	94,7
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	80,3	2,5	37,2	64,5	181,9
Nov.	1,0	316,5	2,5	36,0	225,1	577,6
Dez.	1,0	489,8	2,5	37,2	316,7	843,7
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	2519,9	-	292,8	1683,0	4495,7
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	2519,9	-	732,0	4207,5	7459,4
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	42,1	-	12,2	70,3	124,7

Tabela C.21: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica com recuperador de calor incorporado, para o edifício redimensionado, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{V.}^{SC}$ [kWh]	$E_{B.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	263,0	2,5	10,3	184,2	457,5
Fev.	1,0	193,2	2,5	7,7	136,8	337,7
Março	1,0	130,9	2,5	5,5	98,3	234,7
Abril	1,0	85,1	2,5	3,9	68,8	157,8
Mai	1,0	28,3	2,5	1,4	25,0	54,7
Junho	1,0	0	2,5	0	0	0
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	3,8	2,5	0,2	3,6	7,6
Nov.	1,0	120,8	2,5	5,3	94,8	220,9
Dez.	1,0	235,9	2,5	9,6	170,8	416,2
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1061,0	-	43,8	782,3	1887,0
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1061,0	-	109,4	1955,6	3126,1
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	17,7	-	1,8	32,7	52,3

As tabelas C.22, C.23 e C.24, apresentam os valores mensais para os consumos de energia primária, para os equipamentos utilizados no sistema de climatização, com o recuperador de calor e o mini-chiller incorporados, nas localidades em estudo, para o edifício redimensionado.

Tabela C.22: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica, com recuperador de calor incorporado e mini-chiller incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{V.}^{SC}$ [kWh]	$E_{B.}^{SC}$ [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1307,7	2,5	18,5	540,2	0	1866,3
Fev.	1,0	976,8	2,5	15,2	443,6	0	1435,5
Março	1,0	803,9	2,5	14,0	408,5	0	1226,3
Abril	1,0	587,8	2,5	11,4	333,8	0	933,0
Mai	1,0	328,0	2,5	7,2	210,8	0	546,0
Junho	1,0	82,7	2,5	5,0	135,7	14	237,3
Julho	1,0	0	2,5	7,6	207,0	33	247,8
Agosto	1,0	0	2,5	7,9	215,2	35	258,4
Set.	1,0	0	2,5	4,5	122,0	19	145,8
Out.	1,0	349,1	2,5	8,4	244,5	0	601,9
Nov.	1,0	801,0	2,5	16,0	468,5	0	1285,5
Dez.	1,0	1225,7	2,5	18,0	527,0	0	1770,8
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	6462,5	-	133,3	3856,9	101,8	10554,5
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	6462,5	-	333,3	9642,2	254,5	16692,5
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	108,0	-	5,6	161,2	4,3	279,0

Tabela C.23: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica, com recuperador de calor incorporado e mini-chiller incorporados, para o edifício redimensionado, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	529,4	2,5	37,2	340,4	0	907,0
Fev.	1,0	398,1	2,5	33,6	257,9	0	689,6
Março	1,0	319,0	2,5	37,2	212,6	0	568,9
Abril	1,0	212,9	2,5	36,0	150,4	0	399,3
Mai	1,0	111,0	2,5	37,2	84,8	0	233,0
Junho	1,0	0	2,5	2,8	71,4	11,9	86,1
Julho	1,0	0	2,5	6,1	155,6	27,4	189,0
Agosto	1,0	0	2,5	6,2	158,1	28,1	192,4
Set.	1,0	0	2,5	5,2	131,3	22,5	159,0
Out.	1,0	80,3	2,5	37,2	64,5	0	181,9
Nov.	1,0	316,5	2,5	36,0	225,1	0	577,6
Dez.	1,0	489,8	2,5	37,2	316,7	0	843,7
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	2457,0	-	311,9	2168,8	89,9	5027,5
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	2457,0	-	779,6	5421,9	224,7	8883,2
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	41,1	-	13,0	90,6	3,8	148,5

Tabela C.24: Evolução mensal dos consumos energéticos, equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com um sistema de ventilação mecânica, com recuperador de calor incorporado e mini-chiller incorporados, para o edifício redimensionado, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	263,0	2,5	10,3	184,2	0	457,5
Fev.	1,0	193,2	2,5	7,7	136,8	0	337,7
Março	1,0	130,9	2,5	5,5	98,3	0	234,7
Abril	1,0	85,1	2,5	3,9	68,8	0	157,8
Mai	1,0	28,3	2,5	1,4	25,0	0	54,7
Junho	1,0	0	2,5	6,4	170,3	35,4	212,0
Julho	1,0	0	2,5	10,6	284,3	61,9	356,8
Agosto	1,0	0	2,5	11,7	313,8	68,4	393,9
Set.	1,0	0	2,5	10,1	269,5	56,3	335,9
Out.	1,0	3,8	2,5	0,2	3,6	0	7,6
Nov.	1,0	120,8	2,5	5,3	94,8	0	220,9
Dez.	1,0	235,9	2,5	9,6	170,8	0	416,2
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1061,0	-	82,5	1820,2	222,0	3185,7
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1061,0	-	206,1	4550,5	555,0	6372,7
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	17,7	-	3,4	76,1	9,3	106,5

C.3.3 Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com Ventiloinvector, mediante a Ocupação do Edifício

As tabelas C.25, C.26 e C.27, mostram o valor dos consumos energéticos mensais dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloinvector, em que este se activa mediante a ocupação do edifício. Os dados das tabelas são referentes ao edifício redimensionado, para todas as localidades.

Tabela C.25: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloinvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Bragança, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1143,3	2,5	11,9	31,4	1186,6
Fev.	1,0	952,4	2,5	9,8	25,9	988,1
Março	1,0	790,7	2,5	8,3	21,8	820,7
Abril	1,0	571,2	2,5	6,5	17,0	594,7
Mai	1,0	305,7	2,5	3,6	9,5	318,8
Junho	1,0	112,7	2,5	0,8	2,0	115,4
Julho	1,0	21,7	2,5	0,2	0,4	22,2
Agosto	1,0	7,1	2,5	0,1	0,1	7,3
Set.	1,0	36,7	2,5	0,3	0,7	37,6
Out.	1,0	328,3	2,5	4,4	11,5	344,2
Nov.	1,0	833,8	2,5	9,4	24,7	867,8
Dez.	1,0	1121,1	2,5	12,2	32,1	1165,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	6224,6	-	67,1	177,0	6468,6
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	6224,6	-	167,6	442,5	6834,7
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	104,1	-	2,8	7,4	114,3

Tabela C.26: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloinvector incorporado, para o edifício redimensionado, no Porto, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	762,6	2,5	9,1	24,0	795,7
Fev.	1,0	578,3	2,5	6,8	18,0	603,1
Março	1,0	423,8	2,5	5,2	13,7	442,8
Abril	1,0	274,7	2,5	3,7	9,6	288,0
Mai	1,0	117,9	2,5	1,7	4,4	123,9
Junho	1,0	21,5	2,5	0,2	0,4	22,1
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	76,6	2,5	1,2	3,0	80,8
Nov.	1,0	433,1	2,5	5,6	14,8	453,4
Dez.	1,0	702,8	2,5	8,6	22,7	734,1
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	3391,2	-	41,9	110,6	3543,7
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	3391,2	-	104,8	276,5	3772,5
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	56,7	-	1,8	4,6	63,1

Tabela C.27: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector incorporado, para o edifício redimensionado, em Faro, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	432,8	2,5	5,7	15,0	453,5
Fev.	1,0	285,0	2,5	4,0	10,4	299,4
Março	1,0	142,5	2,5	2,1	5,4	149,9
Abril	1,0	100,0	2,5	1,6	4,1	105,6
Mai	1,0	27,7	2,5	0,5	1,2	29,3
Junho	1,0	0	2,5	0	0	0
Julho	1,0	0	2,5	0	0	0
Agosto	1,0	0	2,5	0	0	0
Set.	1,0	0	2,5	0	0	0
Out.	1,0	0	2,5	0	0	0
Nov.	1,0	151,3	2,5	2,3	6,1	159,7
Dez.	1,0	361,9	2,5	5,0	13,2	380,1
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1501,2	-	21,0	55,4	1577,6
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1501,2	-	52,5	138,6	1692,3
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	25,1	-	0,9	2,3	28,3

As tabelas C.28, C.29 e C.30, apresentam os valores mensais para os consumos de energia primária, para os equipamentos utilizados no sistema de climatização, com o ventiloconvector e o mini-chiller, activando-se mediante a ocupação do edifício, nas localidades em estudo, para o edifício redimensionado.

Tabela C.28: Evolução dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1143,3	2,5	11,9	31,4	0	1186,6
Fev.	1,0	952,4	2,5	9,8	25,9	0	988,1
Março	1,0	790,7	2,5	8,3	21,8	0	820,7
Abril	1,0	571,2	2,5	6,5	17,0	0	594,7
Mai	1,0	305,7	2,5	3,6	9,5	0	318,8
Junho	1,0	795,7	2,5	9,5	24,9	39,8	870,0
Julho	1,0	376,1	2,5	7,7	20,3	50,5	454,7
Agosto	1,0	294,5	2,5	6,2	16,4	44,6	361,6
Set.	1,0	427,7	2,5	7,1	18,7	36,2	489,7
Out.	1,0	328,3	2,5	4,4	11,5	0	344,2
Nov.	1,0	833,8	2,5	9,4	24,7	0	867,8
Dez.	1,0	1121,1	2,5	12,2	32,1	0	1165,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	7940,5	-	96,3	254,2	171,1	8462,1
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	7940,5	-	240,8	635,6	427,7	9244,6
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	132,7	-	4,0	10,6	7,2	154,5

Tabela C.29: Evolução dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-*chiller* incorporados, para o edifício redimensionado, no Porto, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	762,6	2,5	9,1	24,0	0	795,7
Fev.	1,0	578,3	2,5	6,8	18,0	0	603,1
Março	1,0	423,8	2,5	5,2	13,7	0	442,8
Abril	1,0	274,7	2,5	3,7	9,6	0	288,0
Mai	1,0	117,9	2,5	1,7	4,4	0	123,9
Junho	1,0	545,0	2,5	7,8	20,5	38,7	611,9
Julho	1,0	128,1	2,5	3,7	9,6	28,4	169,8
Agosto	1,0	163,5	2,5	3,0	7,9	23,1	197,5
Set.	1,0	225,3	2,5	3,4	9,0	21,8	259,4
Out.	1,0	76,6	2,5	1,2	3,0	0	80,8
Nov.	1,0	433,1	2,5	5,6	14,8	0	453,4
Dez.	1,0	702,8	2,5	8,6	22,7	0	734,1
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	4431,5	-	59,6	157,2	112,1	4760,4
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	4431,5	-	148,9	393,0	280,2	5253,7
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	74,1	-	2,5	6,6	4,7	87,8

Tabela C.30: Evolução dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-*chiller* incorporados, para o edifício redimensionado, em Faro, activando-se o sistema mediante a ocupação do edifício

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	432,8	2,5	5,7	15,0	0	453,5
Fev.	1,0	285,0	2,5	4,0	10,4	0	299,4
Março	1,0	142,5	2,5	2,1	5,4	0	149,9
Abril	1,0	100,0	2,5	1,6	4,1	0	105,6
Mai	1,0	27,7	2,5	0,5	1,2	0	29,3
Junho	1,0	146,2	2,5	3,3	8,6	31,0	189,1
Julho	1,0	0	2,5	5,2	13,6	64,7	83,5
Agosto	1,0	0	2,5	6,1	16,0	76,0	98,1
Set.	1,0	0	2,5	4,4	11,5	52,6	68,4
Out.	1,0	0	2,5	0	0	0	0
Nov.	1,0	151,3	2,5	2,3	6,1	0	159,7
Dez.	1,0	361,9	2,5	5,0	13,2	0	380,1
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1647,4	-	39,8	105,1	224,4	2016,6
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1647,4	-	99,5	262,7	560,9	2570,5
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	27,5	-	1,7	4,4	9,4	43,0

C.3.4 Consumos Energéticos dos Equipamentos utilizados pelo Sistema de Climatização com Recuperador de Calor, com as recomendações do *PHI*

As tabelas C.31, C.32 e C.33, mostram a evolução mensal dos valores de energia primária consumida pelos diversos equipamentos que compõe o sistema de climatização com ventiloconvector, para o sistema de climatização com recuperador de calor incorporado, em que o ar é insuflado de forma contínua, para as localidades em estudo.

Tabela C.31: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com sistema de ventilação mecânica e recuperador de calor incorporado, com insuflação contínua de ar, para o edifício redimensionado, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{V.}^{SC}$ [kWh]	$E_{B.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1519,0	2,5	16,6	844,7	2380,3
Fev.	1,0	988,5	2,5	12,2	811,1	1811,7
Março	1,0	633,3	2,5	8,9	958,9	1601,0
Abril	1,0	394,0	2,5	6,8	909,1	1309,9
Maio	1,0	138,1	2,5	3,1	942,8	1084,0
Junho	1,0	19,7	2,5	0,6	713,0	733,2
Julho	1,0	0	2,5	0	489,0	489,0
Agosto	1,0	0	2,5	0	421,6	421,6
Set.	1,0	3,4	2,5	0,1	587,1	590,5
Out.	1,0	134,4	2,5	3,6	937,0	1074,9
Nov.	1,0	696,3	2,5	12,8	805,2	1514,3
Dez.	1,0	1390,0	2,5	15,6	908,6	2314,1
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	5916,5	-	79,9	9328,0	15324,5
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	5916,5	-	199,8	23320,1	29436,4
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	98,9	-	3,3	389,8	492,1

Tabela C.32: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com sistema de ventilação mecânica e recuperador de calor incorporado, com insuflação contínua de ar, para o edifício redimensionado, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{V.}^{SC}$ [kWh]	$E_{B.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	369,6	2,5	9,8	820,0	1199,3
Fev.	1,0	248,8	2,5	6,9	751,0	1006,7
Março	1,0	161,4	2,5	4,7	783,8	949,9
Abril	1,0	86,7	2,5	2,9	753,2	842,8
Maio	1,0	23,5	2,5	0,8	743,1	767,4
Junho	1,0	0	2,5	0	582,5	582,5
Julho	1,0	0	2,5	0	312,2	312
Agosto	1,0	0	2,5	0	297,5	297
Set.	1,0	0	2,5	0	378,9	379
Out.	1,0	16,6	2,5	0,6	662,8	680,0
Nov.	1,0	178,5	2,5	5,7	791,7	975,8
Dez.	1,0	358,8	2,5	10,0	799,6	1168,4
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1443,9	-	41,3	7676,1	9161,2
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1443,9	-	103,1	19190,3	20737,3
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	24,1	-	1,7	320,8	346,7

Tabela C.33: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com sistema de ventilação mecânica e recuperador de calor incorporado, com insuflação contínua de ar, para o edifício redimensionado, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	135,9	2,5	6,1	646,4	788,3
Fev.	1,0	78,6	2,5	3,5	573,1	655,1
Março	1,0	29,3	2,5	1,4	572,2	602,8
Abril	1,0	15,8	2,5	0,8	523,9	540,5
Mai	1,0	0	2,5	0	445,2	445,2
Junho	1,0	0	2,5	0	209,2	209
Julho	1,0	0	2,5	0	85,8	86
Agosto	1,0	0	2,5	0	25,9	26
Set.	1,0	0	2,5	0	64,4	64
Out.	1,0	0	2,5	0	278,9	278,9
Nov.	1,0	38,5	2,5	1,9	569,5	609,8
Dez.	1,0	115,0	2,5	5,3	657,1	777,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	413,0	-	18,8	4651,5	5083,3
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	413,0	-	47,0	11628,7	12088,8
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	6,9	-	0,8	194,4	202,1

As tabelas C.34, C.35 e C.36, representam a evolução mensal dos valores de energia primária consumida pelos diversos equipamentos que compõe o sistema de climatização com ventiloconvector, para o sistema de climatização com recuperador de calor e mini-chiller incorporados, em que o ar é insuflado de forma contínua, para as localidades em estudo.

Tabela C.34: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício redimensionado, em Bragança

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	1519,0	2,5	16,6	844,7	0	2380,3
Fev.	1,0	988,5	2,5	12,2	811,1	0	1811,7
Março	1,0	633,3	2,5	8,9	958,9	0	1601,0
Abril	1,0	394,0	2,5	6,8	909,1	0	1309,9
Mai	1,0	138,1	2,5	3,1	942,8	0	1084,0
Junho	1,0	79,2	2,5	5,0	599,3	14,0	697,4
Julho	1,0	0	2,5	7,6	706,7	33,2	747,5
Agosto	1,0	0	2,5	7,9	711,5	35,3	754,7
Set.	1,0	0	2,5	4,5	601,6	19,3	625,3
Out.	1,0	134,4	2,5	3,6	937,0	0	1074,9
Nov.	1,0	696,3	2,5	12,8	805,2	0	1514,3
Dez.	1,0	1390,0	2,5	15,6	896,0	0	2301,5
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	5972,7	-	104,1	9723,9	101,8	15902,4
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	5972,7	-	260,1	24309,7	254,5	30796,9
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	99,8	-	4,3	406,4	4,3	514,8

Tabela C.35: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício re-dimensionado, no Porto

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	369,6	2,5	9,8	820,0	0	1199,3
Fev.	1,0	248,8	2,5	6,9	751,0	0	1006,7
Março	1,0	161,4	2,5	4,7	783,8	0	949,9
Abril	1,0	86,7	2,5	2,9	753,2	0	842,8
Mai	1,0	23,5	2,5	0,8	743,1	0	767,4
Junho	1,0	0	2,5	3,5	521,8	11,9	537,2
Julho	1,0	0	2,5	7,6	604,0	27,4	638,9
Agosto	1,0	0	2,5	7,9	594,2	28,1	630,1
Set.	1,0	0	2,5	4,5	551,2	22,5	578,2
Out.	1,0	16,6	2,5	0,6	662,8	0	680,0
Nov.	1,0	178,5	2,5	5,7	791,7	0	975,8
Dez.	1,0	358,8	2,5	10,0	799,6	0	1168,4
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	1443,9	-	64,6	8376,3	89,9	9974,7
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	1443,9	-	161,5	20940,8	224,7	22770,8
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	24,1	-	2,7	350,1	3,8	380,7

Tabela C.36: Evolução mensal dos consumos energéticos, dos equipamentos utilizados pelo sistema de climatização com ventiloconvector e mini-chiller incorporados, para o edifício re-dimensionado, em Faro

Mês	$F_{pu,Cald.}$ [kWh _{EP} /kWh]	$E_{Cald.}^{SC}$ [kWh]	$F_{pu,elec.}$ [kWh _{EP} /kWh]	E_V^{SC} [kWh]	E_B^{SC} [kWh]	$E_{Ch.}^{SC}$ [kWh]	E_t^{SC} [kWh]
Jan.	1,0	135,9	2,5	6,1	646,4	0	788,3
Fev.	1,0	78,6	2,5	3,5	573,1	0	655,1
Março	1,0	29,3	2,5	1,4	572,2	0	602,8
Abril	1,0	15,8	2,5	0,8	523,9	0	540,5
Mai	1,0	0	2,5	0,0	445,2	0	445,2
Junho	1,0	0	2,5	6,4	573,7	35,4	615,4
Julho	1,0	0	2,5	10,6	707,9	61,9	780,5
Agosto	1,0	0	2,5	11,7	716,3	68,4	796,4
Set.	1,0	0	2,5	10,1	622,3	56,3	688,6
Out.	1,0	0	2,5	0	278,9	0	278,9
Nov.	1,0	38,5	2,5	1,9	569,5	0	609,8
Dez.	1,0	115,0	2,5	5,3	657,1	0	777,3
$\sum_i^n E_i^{SC}$ [kWh/ano]	-	413,0	-	57,5	6886,3	222,0	7578,9
$\sum_i^n E_{i,EP}^{SC}$ [kWh _{EP} /ano]	-	413,0	-	143,8	17215,8	555,0	18327,6
$\sum_i^n N_i^{SC}$ [kWh _{EP} /(m ² · ano)]	-	6,9	-	2,4	287,8	9,3	306,4

Anexo D

Modelos Dinâmicos utilizados no *TRNSYS*

Os modelos dinâmicos utilizados para obter os resultados finais, da presente dissertação, serão abordados no presente anexo. Na sua descrição, será sempre mencionado o nome da componente e o correspondente *type* utilizado no *TRNSYS*.

A figura D.1 mostra o sistema utilizado para obter as necessidades de aquecimento e arrefecimento do edifício, a evolução das temperaturas quer no seu interior, quer no exterior, a radiação incidente, entre outros dados. Por sua vez a figura e D.2 mostra o mesmo sistema, mas numa simplificada e de mais fácil compreensão.

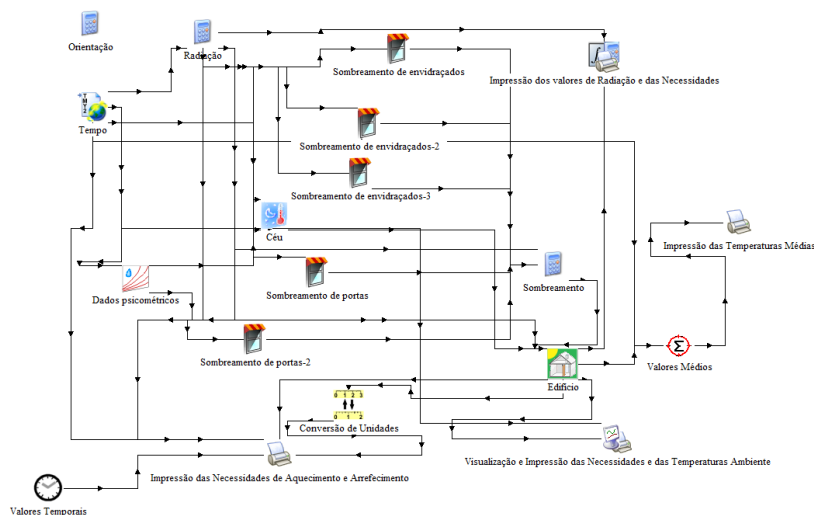


Figura D.1: Modelo implementado no *TRNSYS* para obter as necessidades de aquecimento, arrefecimento, dados médios mensais no interior do edifício e do ambiente exterior

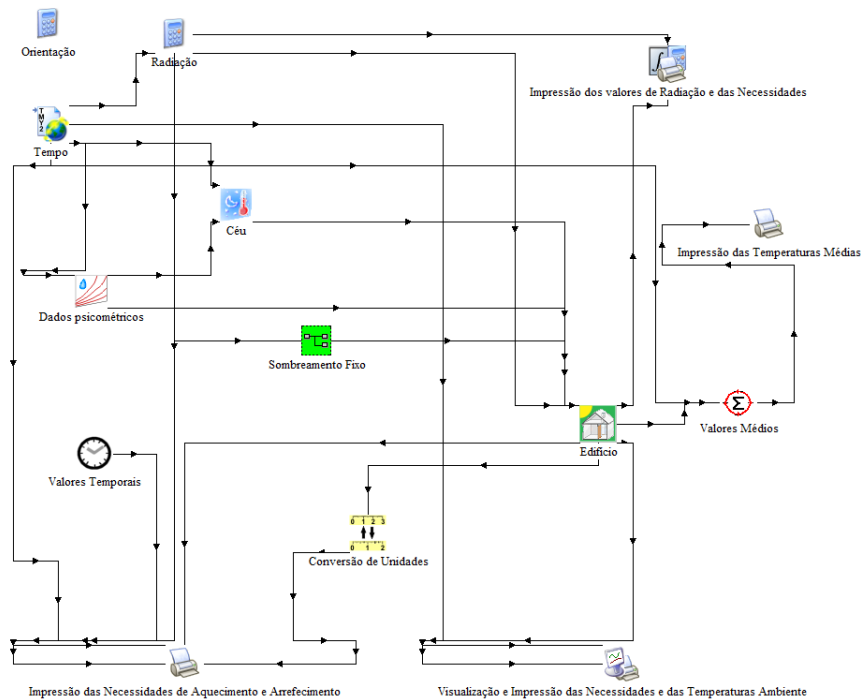


Figura D.2: Modelo simplificado para a obtenção das necessidades de aquecimento, arrefecimento, dados médios mensais no interior do edifício e do ambiente exterior, no *TRNSYS*

A função dos seus componentes é a que se segue:

- Edifício (*Type 56b*): O edifício é modelado no *TRNSYS* com o *type 56*, a envolvente, os *set-points*, os ganhos e outras características do edifício, são obtidas com a ajuda do *TRNBuild*, que gera um ficheiro que o *TRNSYS* lê directamente;
- Sombreamento (*Type 34 e Equation*¹): Permite a modelação de uma cobertura fixa nos elementos envidraçados e nas portas, por parte das palas a equação de seu nome "Sombreamento", permite a sua implementação no edifício simulado;
- Tempo (*Type 109*): Utiliza os dados da *Meteonorm* para a modelação do clima nas várias;
- Radiação (*Equation*): Permite obter os dados para a radiação incidente nas várias superfícies do edifício;
- Orientação (*Equation*): Define as diferentes orientações da radiação incidente;
- Céu (*Type 69*): Determina a temperatura e nebulosidade do céu;
- Dados Psicrométricos (*Type 33*): Avalia as condições psicrométricas do ar ambiente;
- Valores Temporais (*Type 21*): Permite verificar em que momentos do ano foram obtidos determinados valores;
- Valores Médios (*Type 55*): Permite a obtenção das temperaturas médias;

¹As *Equation* não representam nenhum *Type*, são funções criadas pelo utilizador

- Conversor de Unidades (*Type 57*): Permite a conversão de valores de uma determinada unidade para outra (por exemplo converter valores de kJ/h para kW);
- Impressão das Temperaturas Médias (*Type 25b*): Permite a impressão dos valores das variáveis pretendidas, estes valores podem ser lidos por programas como o *Microsoft Excel*, as variáveis impressas são as temperaturas e as Necessidades de aquecimento;
- Visualização e Impressão das Necessidades e das Temperaturas Ambiente (*Type 65b*): Permite a visualização dos valores das variáveis pretendidas, neste caso das necessidades e temperaturas ambientes e ainda a impressão do somatório dos seus valores durante um determinado intervalo de tempo;
- Impressão dos valores de Radiação e das Necessidades (*Type 28a*): Permite uma verificação dos dados através de um gráfico com os valores instantâneos das variáveis (para o presente caso estas são a temperatura interior do edifício e as necessidades de aquecimento e arrefecimento), imprimindo o somatório dos valores das variáveis para um intervalo pré-definido;

A função de cada um dos componentes representados é a especificada de seguida:

As figuras D.3 e D.4 representam os modelos utilizados para a simulação do sistema com Ventiloconvector.

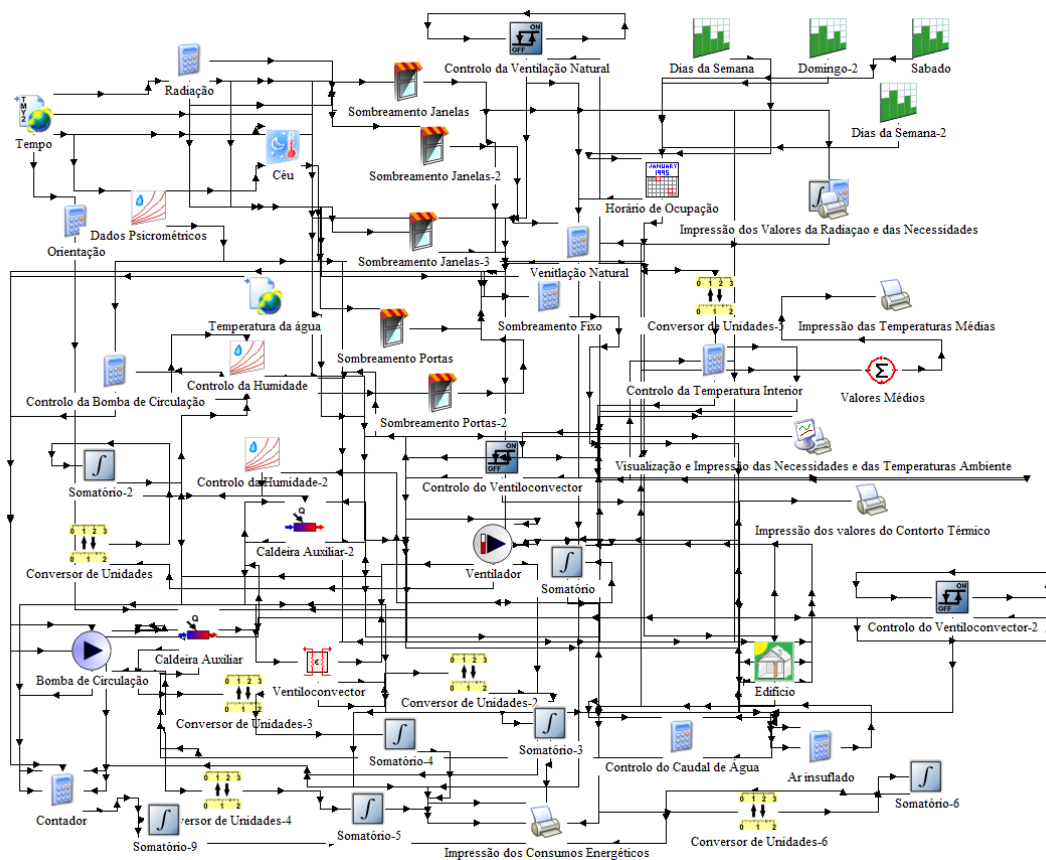


Figura D.3: Modelo utilizado para a simulação do sistema de climatização, com ventiloconvector

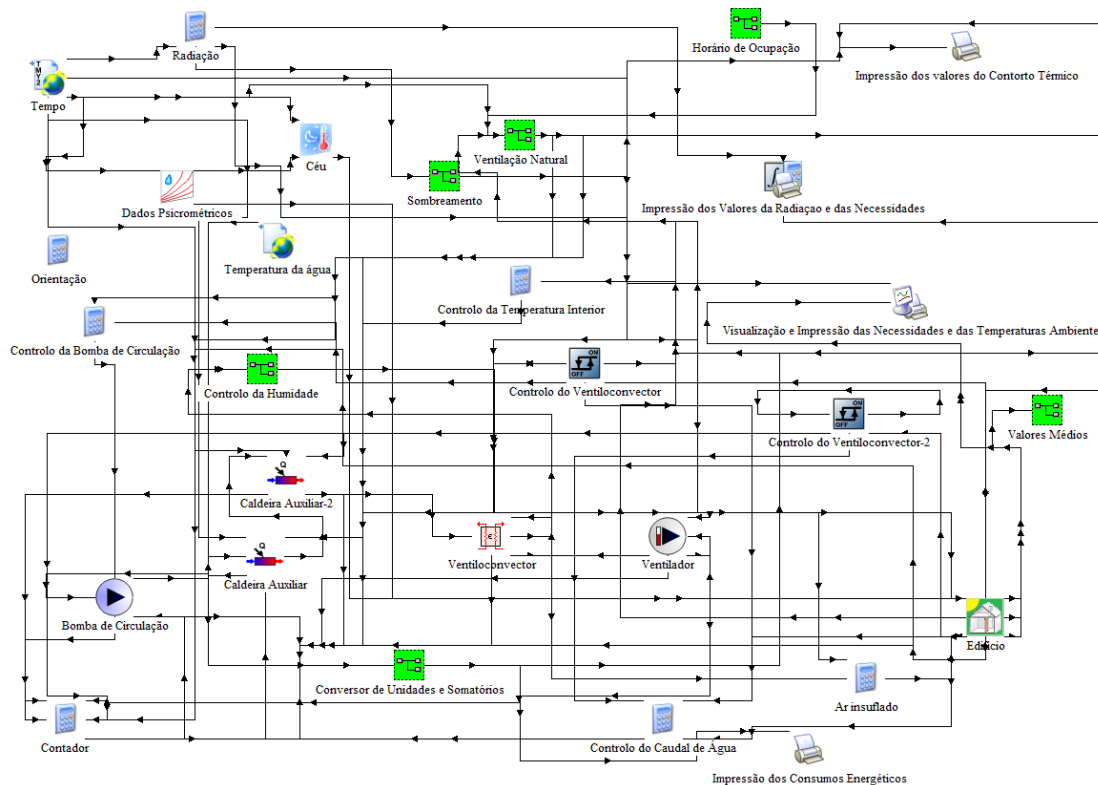


Figura D.4: Modelo simplificado para a simulação do sistema de climatização, com ventiloconvector e mini-chiller

O sistema é modelado através da utilização dos seguintes componentes (os elementos previamente mencionados não voltarão a ser explicados):

- Horário de Ocupação (*Type 41c*): Modela a ocupação das pessoas ao longo do dia, esta é auxiliada pelos *Type 14* que modelam a ocupação no correspondente dia da semana;
- Ventiloconvector (*Type 91*): Modela as trocas de calor que ocorrem no ventiloconvector;
- Bomba de Circulação (*Type 3*): Modela os consumos da bomba;
- Ventilador (*Type 111*): Modela os consumos do ventilador;
- Caldeira Auxiliar (*Type 6*): Modela a caldeira usada para aquecer a água proveniente da rede (a "Caldeira Auxiliar-2" modela a caldeira que aquece a água até uma temperatura diferente, neste caso 60°C);
- Controlo da Humidade (*Type 33*): Permite obter os valores da humidade à saída de um determinado componente (não permite a sua alteração);
- Controlo do Ventiloconvector (*Type 2*): Controla os momentos de activação do respectivo ventiloconvector e dos ventiladores;
- Controlo da Ventilação Natural (*Type 2*): Controla os momentos em que as aberturas devem ser totalmente abertas;

- Controlo do Caudal de água (*Equation*): Controla a quantidade de água que circula pelo Ventilconvector;
- Controlo da Ventilação Natural (*Equation*): Controla os períodos em que a Ventilação Natural se encontra ou não activa;
- Equação Controlo da Bomba de Circulação (*Equation*): Controla activação da bomba de circulação mediante a temperatura interior e a ocupação do espaço por parte das pessoas;
- Controlo das Temperaturas Interiores (*Equation*): Controla o número de horas que a temperatura excede os $25^{\circ}C$ e $26^{\circ}C$;
- Ar Insuflado (*Equation*): Controla as propriedades do ar insuflado no interior do edifício;
- Contador (*Equation*): Conta o número de horas que os equipamentos se encontram activos e que as temperaturas atingem os 25 e os $26^{\circ}C$;
- Impressão dos Consumos Energéticos (*Type 25b*): Impressão dos consumos energéticos, dos tempos de activação dos equipamentos e dos tempos de sobreaquecimento do edifício;
- Impressão dos Valores do Conforto Térmico (*Type 25b*): Impressão das temperaturas operativas e outros parâmetros para o conforto térmico do edifício;
- Temperatura da água (*Type 15*): Modela a variação da temperatura da água da rede ao longo do dia;
- Somatório (*Type 24*): Modela o somatório dos valores mensais das variáveis em estudo;

As figuras D.5 e D.6 representam o modelo implementado no *TRNSYS*, para a modelação do mesmo sistema de climatização, mas com o auxílio de um mini-textitchiller para arrefecimento ambiente.

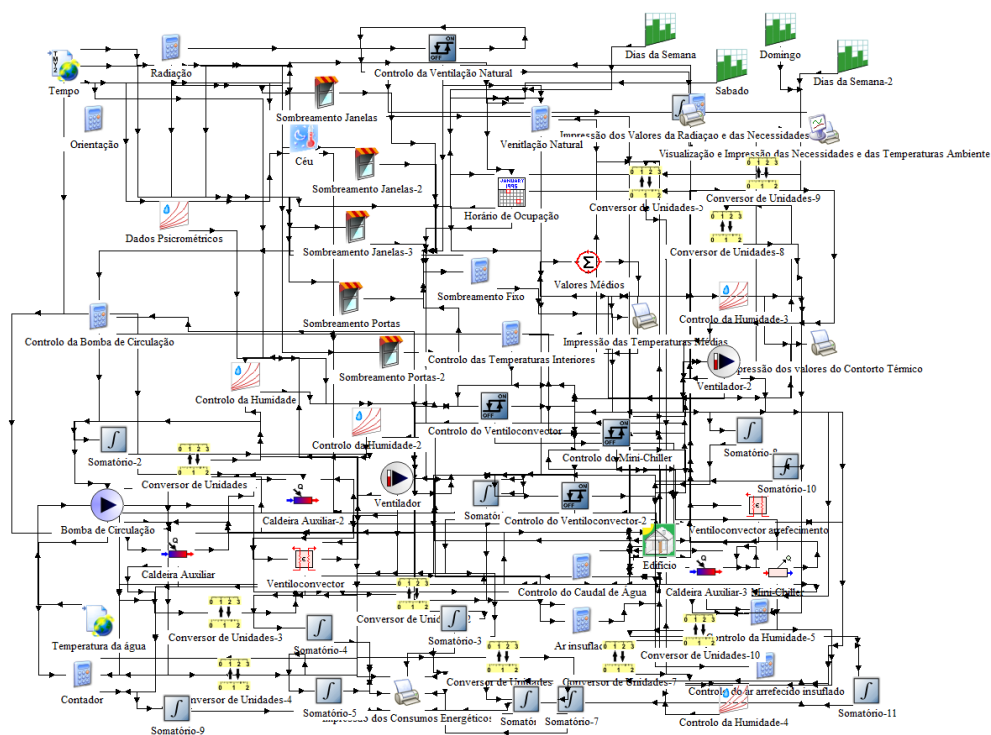


Figura D.5: Modelo utilizado para a simulação do sistema de climatização com ventiloconvector e um mini-chiller

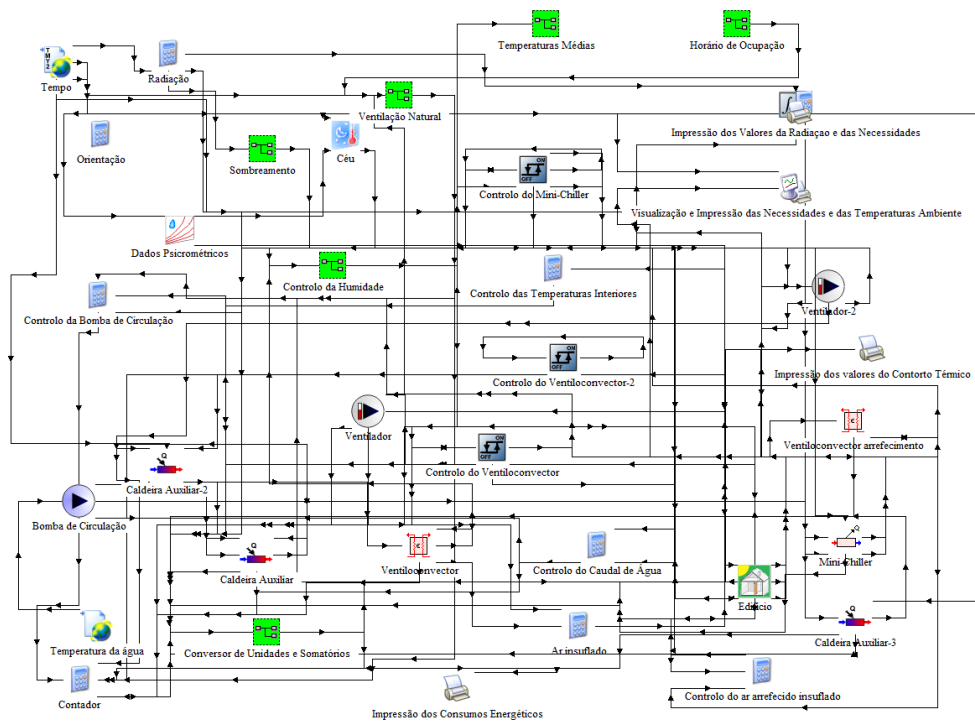


Figura D.6: Modelo simplificado para a simulação do sistema de climatização com ventiloconvector e um mini-chiller

Esta apenas introduz o componente que modela um mini-chiller (*Type 92*) e as equações para o controlo do mesmo sistema. O ventiloconvector é o mesmo na realidade, no entanto para simplificar a programação, foi utilizado um outro para modelar o ventiloconvector quando este é usado para o arrefecimento do edifício.

A figura D.7 representa o modelo utilizado, para a simulação do sistema proposto pelo *Passivhaus Institut*.

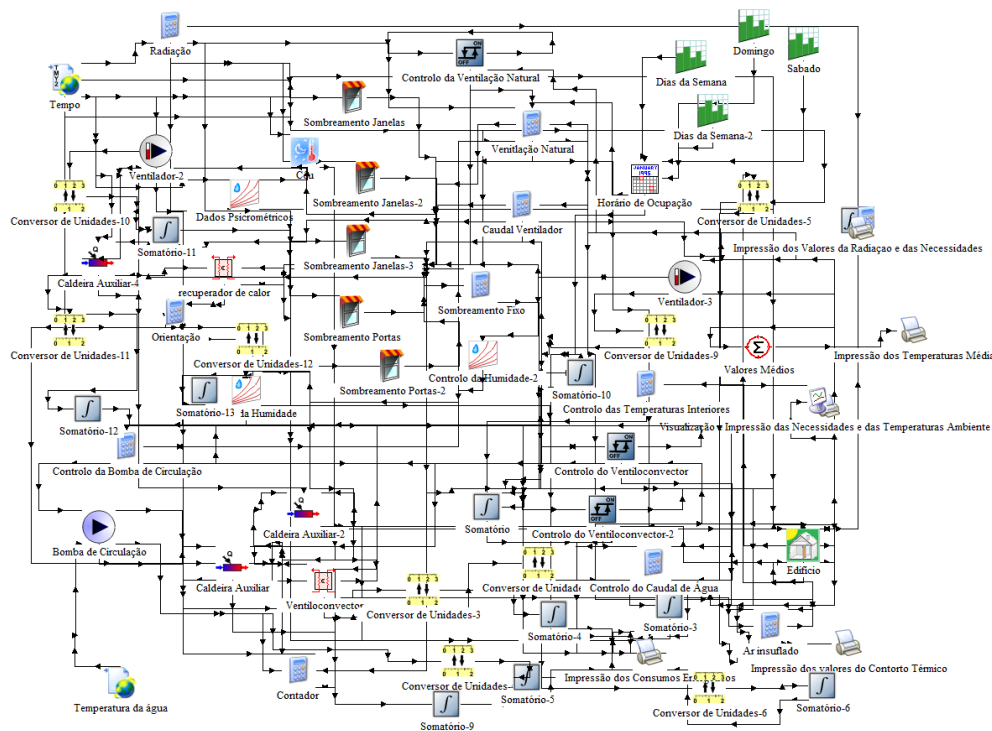


Figura D.7: Modelo utilizado para a simulação do sistema baseado na solução do *Passivhaus Institut*

O modelo acrescenta a equação "Caudal Ventilador", que controla a quantidade de ar que deve passar pelo sistema de ventilação mecânica. Este modelo acrescenta também o "Ventilador-2" e "Ventilador-3", que modelam respectivamente o ventilador que insufla ar por ventilação mecânica e o ventilador de extracção. A "Caldeira-Auxiliar-4", garante que o ar não entra no sistema de ventilação mecânica a uma temperatura inferior a 5 °C.

A figura D.8, representa o mesmo modelo, mas utilizando um mini-chiller auxiliar.

A função dos componentes utilizados, será de seguida explicada:

- Colector Solar Térmico (*Type 1b*): Modela um colector solar térmico, para o aquecimento da água, que circula no circuito hidráulico;
- Bomba de Circulação (*Type 3*): Modela a bomba usada para circular a água pelo colector solar térmico;
- Mecanismo de Controlo da Bomba (*Type 2*): Activa a bomba de circulação quando a diferença de temperatura entre é de 3°C ;
- Caldeira auxiliar (*Type 6*): Modela a caldeira auxiliar para AQS, que garante que a água sai do reservatório a 60°C ;
- Reservatório (*Type 4c*): Modela um reservatório para AQS, neste também é modelada a potência necessária para o tratamento da bactéria da *legionella*;
- Dia do Tratamento da *legionella* (*Type 41c*): Modela o tempo em que é efectuado, tratamento da *legionella*, com o auxílio da componente *Type 14*, "Horário do tratamento da *legionella*";
- Consumos de água (*Type 41c*): Modela os tempos em que é consumida água durante a semana, com o auxílio, com auxílio do componente *Type 14* que modela os consumos nos dias da semana;
- Controlo da Insuflação (*Equation*): Equação que controla os momentos em que a água da rede é insuflada no reservatório, para diminuir a sua temperatura interior;
- Controlo da Bomba (*Equation*): Equação que controla os momentos de activação da Bomba;
- Contador das horas (*Equation*): Equação que conta as horas, em que a temperatura do reservatório atinge os 100°C ;
- Valores Médios (*Type 55*): Modela as temperaturas médias no interior do reservatório;
- Impressão da Temperatura Média do Reservatório (*Type 25b*): Imprime o valor da temperatura média do reservatório;
- Visualização dos Parâmetros (*Type 25b*): Componente que permite a visualização das temperaturas e dos caudais de água à saída, à entrada e dentro de alguns dos equipamentos modelados pelos componentes e análise;
- Impressão das Temperaturas e dos consumos (*Type 25b*): Permite a impressão do somatório dos consumos energéticos e das temperaturas do reservatório;
- Impressão das Horas (*Type 25b*): Imprime o tempo em que a temperatura do depósito se encontra nos 100°C e o tempo em que os equipamentos foram activados;
- Impressão das Temperaturas e dos Consumos (*Type 25b*): Permite a impressão do somatório dos consumos energéticos e das temperaturas do reservatório;

As figuras D.11 e D.12, representam o mesmo sistema mas sem a utilização de colectores solares térmicos. A modelação deste sistema, apenas substituí o compo-

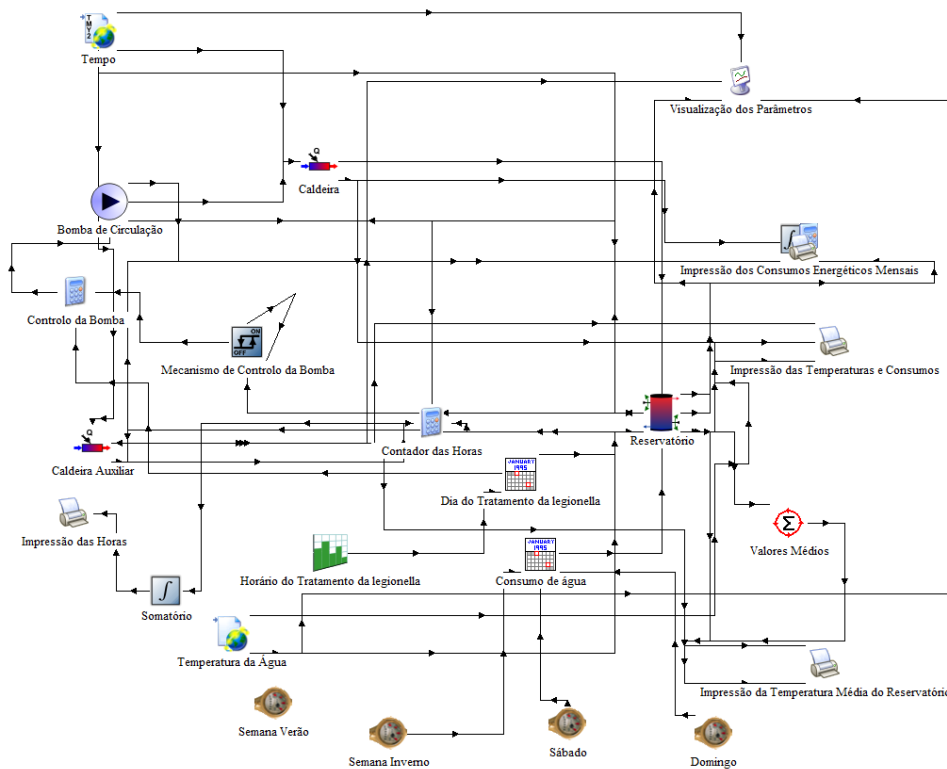


Figura D.11: Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, sem colectores solares, mas com reservatório

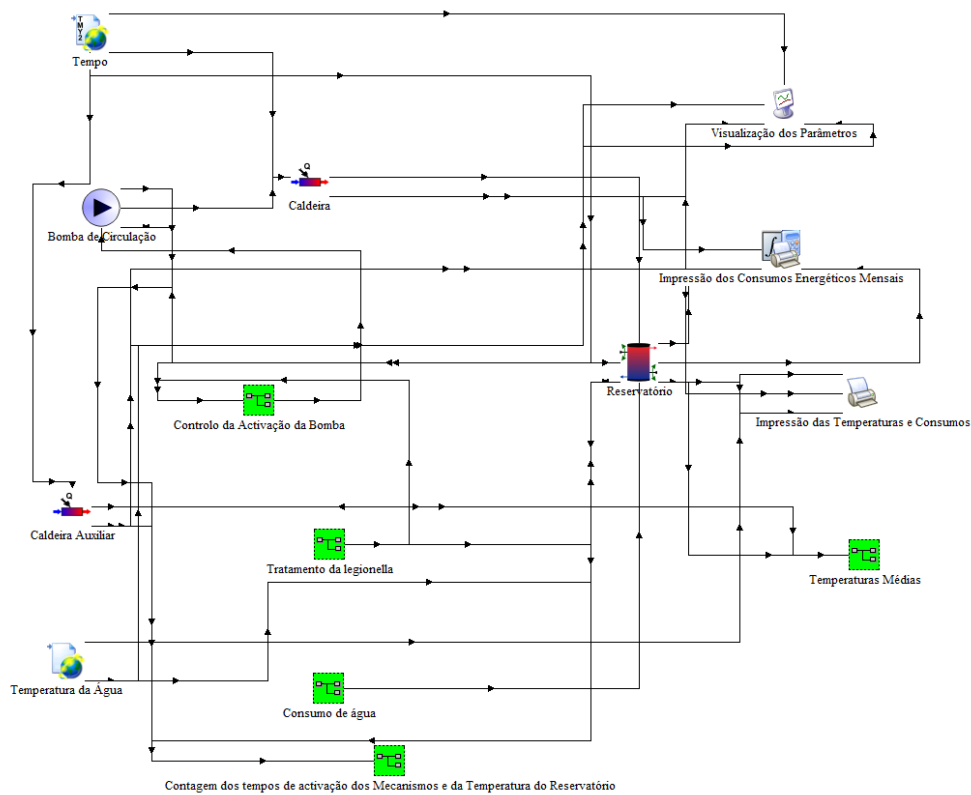


Figura D.12: Modelo simplificado para a simulação do sistema de AQS, sem colectores solares, mas com reservatório

nente que modela o colector solar térmico pela caldeira auxiliar, a equação controlo da Insuflação, não foi necessária, pois a temperatura interior do reservatório nunca atingiu os $100^{\circ}C$.

A figura D.13, mostra a modelação do sistema de AQS, sem a utilização que de colectores AQS, quer de um reservatório.

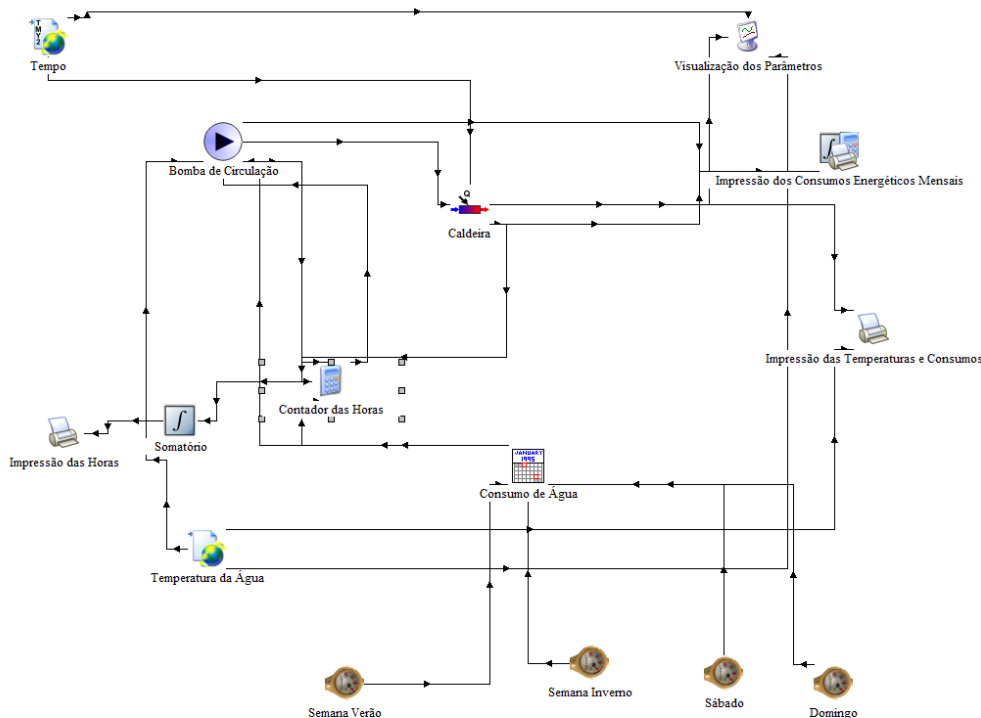


Figura D.13: Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, que utiliza apenas uma caldeira a *pellets* para efectuar o aquecimento das águas quentes sanitárias

Verifica-se que o sistema que se revelou mais simples e benéfico a nível económico, é também o sistema simples de modelar, como se pode ver pelo número mais reduzido de componentes.

Por fim, as figuras D.14 e D.15, mostram o modelo para o sistema com colectores solares e reservatório, mas com a inclusão de um dissipador de calor.

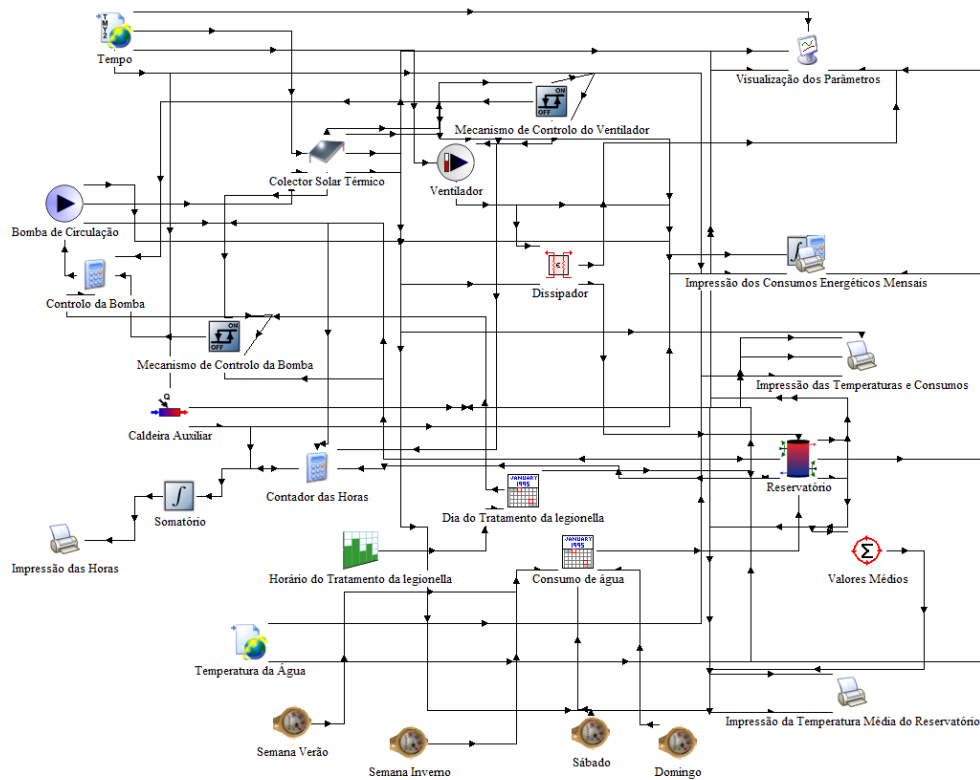


Figura D.14: Modelo utilizado para a simulação do sistema de AQS, com colectores solares e reservatório incluídos

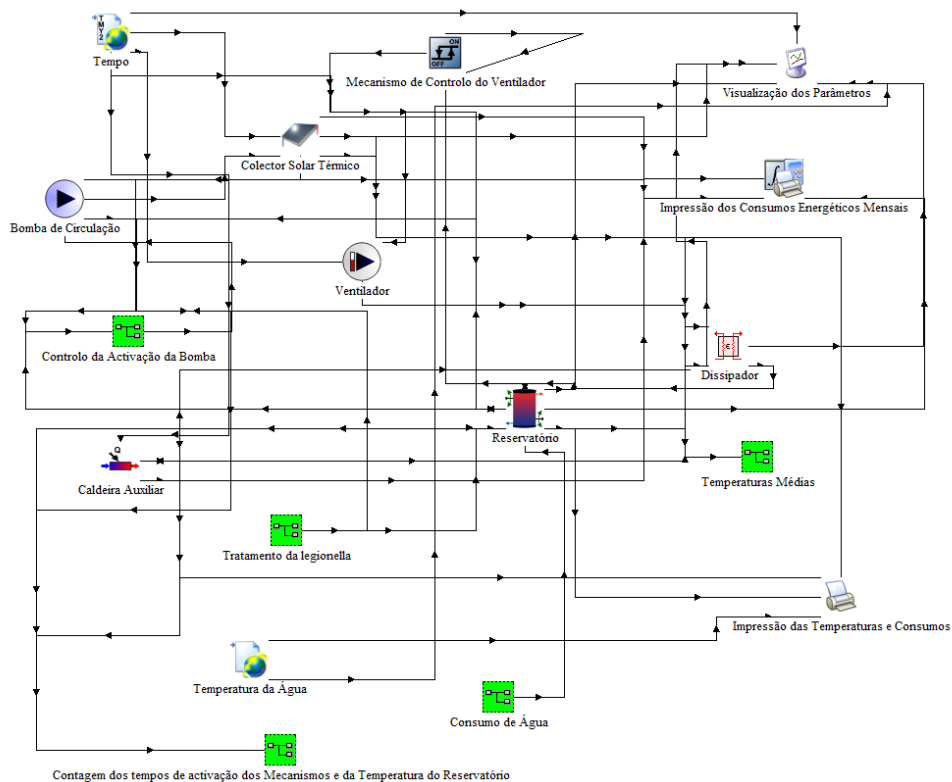


Figura D.15: Modelo simplificado para a simulação do sistema de AQS, com colectores solares e reservatório incluídos

Em relação ao primeiro sistema analisado para AQS, foi incluído um dissipador de calor e o seu controlo. O dissipador activa-se quando a temperatura da água no topo do reservatório é 100°C e desactiva-se quando a temperatura média do reservatório atinge os 90°C .

A modelação do sistema solar fotovoltaico encontra-se representada na figura D.16.

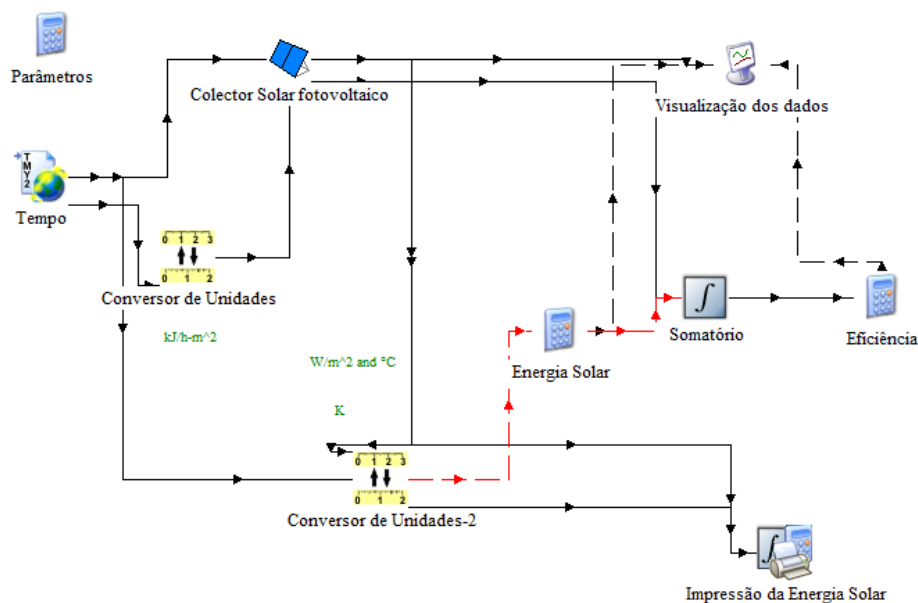


Figura D.16: Modelo utilizado para a simulação de um sistema fotovoltaico

Uma vez mais, os componentes utilizados, têm como função respectivamente:

- Colector Solar Fotovoltaico (*Type 94a*): Modela um colector solar fotovoltaico;
- Energia Solar (*Equation*): Calcula a energia solar captada pelo colector solar fotovoltaico;
- Eficiência (*Equation*): Calcula a eficiência do colector solar fotovoltaico;
- Visualização dos dados (*Type 65c*): Permite visualizar a eficiência, a energia eléctrica gerada no colector e a energia solar que este recebeu;
- Impressão da Energia Solar (*Type 28a*): Permite a impressão do valor da energia solar captada e da energia produzida pelo colector solar fotovoltaico;
- Impressão do valor da Eficiência (*Type 25b*): Permite a impressão dos valores médios da eficiência do colector solar fotovoltaico;

Anexo E

Dimensionamento dos Sistemas de Climatização em Estudo

E.1 Funcionamento dos Sistemas de Climatização

Os sistemas de climatização devem ser dimensionados, mediante o tipo de edifício e o local onde serão instalados. O rigor e as soluções que devem ser ponderadas para a climatização de uma habitação, ou de um edifício de serviços é diferente, sendo que um rigor excessivo em ambos, pode levar a soluções economicamente inviáveis e que não irão ter influência significativa, no conforto dos ocupantes do edifício.

O sistema de climatização deve portanto ser dimensionado, de modo a cumprir os seguintes objectivos:

- Garantir o conforto dos ocupantes em qualquer instante, mediante o controlo da temperatura e humidade (com valores máximos e mínimos definidos que esteja dentro dos limites aceitáveis para este conforto);
- Redução dos consumos de energia através de equipamentos e técnicas de controlo eficazes e uma gestão eficiente da energia utilizado;
- Permitir uma adequada taxa de renovação de ar, que permita garantir a qualidade do ar no interior do edifício;
- Pressurização das restantes zonas, relativamente às instalações sanitárias e arquivos, de modo a evitar que os poluentes se propaguem pelas zonas habitáveis;
- Segurança contra fumos e incêndios;
- Baixo nível de ruído;

Relativamente aos sistemas de climatização existem quatro grandes vertentes: tudo-ar, ar-água, tudo-água e tudo-fluido frigorígeno, com as seguintes definições:

- Sistemas Tudo-Ar: São sistemas onde apenas circula ar entre a central térmica e os espaços a climatizar;

- **Sistemas Ar-Água:** São sistemas onde circula ar e água entre a central térmica e os espaços a climatizar;
- **Sistemas Tudo-Água:** São sistemas onde apenas circula água entre a central térmica e os espaços a climatizar;
- **Sistemas Tudo-Fluido Frigorígeno:** São sistemas onde apenas circula fluido frigorígeno entre a central térmica e os espaços a climatizar;

Um factor relevante para a escolha do sistema de climatização mais apropriado é a qualidade do ar interior (QAI), deste modo não serão analisadas soluções referentes aos dois últimos sistemas, pois pretende-se que os requisitos da QAI sejam garantidos, com este sistema pode não haver essa garantia, pois só é possível a renovação do ar interior devido à existência de infiltrações.

Os sistemas de Climatização tudo-ar e ar-água possuem pelo menos uma UTAN (Unidade de Tratamento do Ar Novo), estas unidades são compostas por vários elementos, os principais são:

- Recuperador de calor - Permite a economia de energia através da permuta de calor ar extraído e o ar novo a ser tratado;
- Filtros - A filtragem é requerida para remover impurezas (por exemplo partículas e gases) melhorando assim a qualidade do ar interior, simultaneamente evita que se acumule sujidade na unidade de tratamento de ar e na rede de condutas (presente em todos os tipos de sistemas de climatização);

Recomenda-se a utilização de dois níveis de filtragem de partículas:

- i) Primeiro nível no mínimo F5, mas preferencialmente um F7;
- ii) Segundo nível no mínimo F7, mas preferencialmente um F9;
- iii) Se houver apenas um nível de filtragem então o mínimo é um F7;

- Bateria de aquecimento - Permite efectuar aquecimento sensível (presente em todos os tipos de sistemas de climatização);
- Bateria de arrefecimento - Permite efectuar arrefecimento e desumidificação (presente em todos os tipos de sistemas de climatização);
- Humidificador - Permite efectuar a humificação do ar em tratamento através da injeção de vapor de água (idealmente deveria sempre de existir);
- Separador de gotas - Necessário em UTANs cuja velocidade frontal do ar (na passagem pelas baterias de arrefecimento) seja igual ou superior a $2,5 \text{ m/s}$ (presente em todos os tipos de sistemas de climatização);
- Ventiladores (insuflação e extracção) - Responsáveis pelo movimento do ar, têm de ter uma potência capaz de vencer as perdas de carga dos respectivos percursos;
- Atenuador de ruído - Constituído por "*baffles*" paralelos de material absorvente ajuda a reduzir o ruído provocado pela instalação (presente em todos os tipos de sistemas de climatização);
- Sondas/sensores de medição - Permitem controlar e otimizar o funcionamento do sistema (presente em todos os tipos de sistemas de climatização);

Para o seu dimensionamento como já foi referido no capítulo 3 é necessário a determinação das potência de aquecimento e arrefecimento, que se encontram representadas na tabela 3.5 (para o edifício original) da secção 3.1 e na tabela 3.34 da secção 3.5 (para o edifício redimensionado), que serão usadas para os cálculos efectuados nos anexos seguintes.

E.1.1 Tipos de Sistemas

Os sistemas de climatização tudo-ar, são os mais simples quer a nível de controlo, quer para a análise das condições do ar que é insuflado, quer na manutenção e no controlo do ruído, sendo por isso aquele que tem o menor custo inicial.

A figura E.1 mostra a constituição de um sistema de climatização tudo-ar genérico.

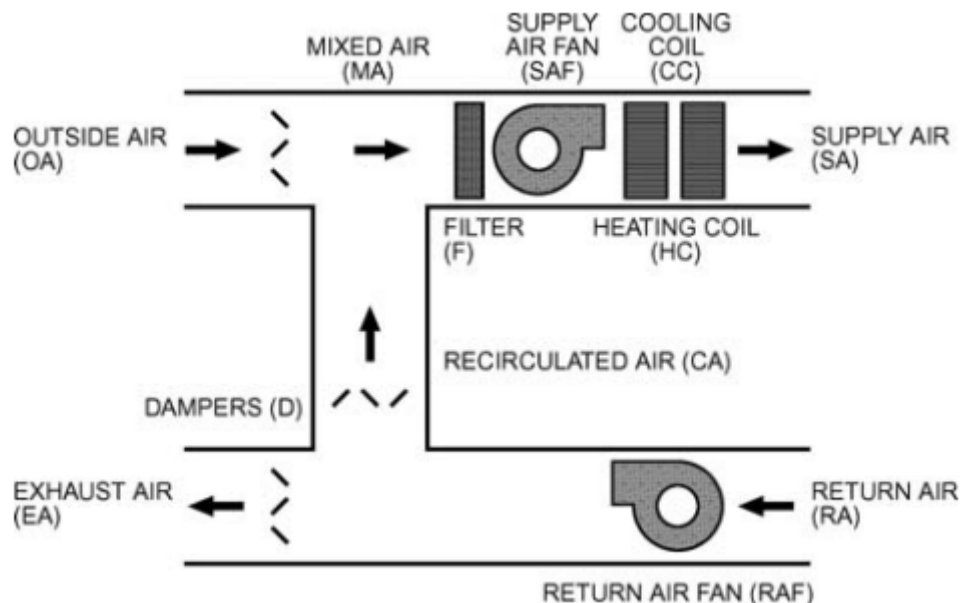


Figura E.1: Representação dos elementos típicos de um sistema tudo-ar. Retirado de [71]

Este tipo de sistema também possui os seus inconvenientes, pois só é capaz de responder a uma solicitação, uma delas é o ar à saída da UTA (Unidade de Tratamento de Ar) sair apenas às condições óptimas para climatizar uma zona, outra desvantagem são os consumos energéticos elevados no Verão, pois exige um reaquecimento terminal, ou seja arrefece-se primeiro o ar para depois voltar a aquecer de novo, de modo a ser possível o controlo da humidade. De modo a compensar estes inconvenientes, é possível fazer um tratamento suplementar modificando a sua temperatura à entrada de cada zona (ou até humidificando-o mas é uma situação pouco usual). Para compensar o segundo inconveniente, devem ser usados permutadores de recuperação de calor, para depois da desumidificação do ar, aproveitar o calor retirado do pré-arrefecedor para o aquecer.

O sistema tudo-água, é um sistema produzida onde a água quente e água refrigerada são produzidas na central térmica do edifício, a água circula por redes de tubos para alimentar os ventiloconvectores, que são UTAs, onde a água que circula nos tubos vai aquecer ou arrefecer o ar da zona a climatizar.

Este é o sistema mais simples e mais utilizado nos edifícios simples e pré-fabricados, devido à sua simplicidade e ao objectivo ser uma maior poupança em termos económicos. Estes sistemas podem ser usados tanto para o aquecimento como para o arrefecimento do edifício, tendo a água da central térmica que ser aquecida e arrefecida por equipamentos como caldeiras e *chillers* respectivamente.

Os sistemas podem ser a dois tubos, ou a quatro tubos. Nos sistemas a dois tubos os ventiloconvectores são alimentados ou com água quente, ou com água fria, enquanto que nos sistemas a quatro tubos os circuitos de frio e calor são independentes, podendo um ventiloconvector aquecer a zona a climatizar enquanto outro ventiloconvector arrefece outra zona, esta variante é mais flexível, no entanto o seu custo inicial é mais avultado.

Apesar de não existir um sistema de ventilação mecânica com condutas e as perdas de carga serem menores relativamente a um sistema tudo-ar, este sistema tem grandes inconvenientes, como um controlo quase nulo da humidade e inexistência de renovação do ar interior, não havendo assim controlo da QAI. Os sistemas tudo-fluido frigorígeno, têm um princípio de funcionamento idêntico aos tudo-água, circulando um fluido frigorígeno nem vez da água.

Os sistemas de climatização ar-água têm como principal característica a separação da "Renovação de Ar"(sistema a ar) e do "Fornecimento de calor/frio"(sistema a água). O funcionamento deste sistema é portanto, um misto entre o sistema tudo-ar e o sistema tudo-água.

A renovação do ar é feita com uma rede de condutas a partir de uma UTA centralizada, esta está encarregue de direccionar a quantidade de ar necessária para a respectiva zona, o ar é insuflado a uma temperatura neutra, sendo esta a recomendada pela *ASHRAE* para cada estação ($20^{\circ}C$ na estação de aquecimento e $25^{\circ}C$ na estação de arrefecimento), ou a uma temperatura ligeiramente superior na estação de aquecimento, ou ligeiramente inferior na de arrefecimento. O controlo da temperatura é realizado através de um sistema tudo-água com dois ou quatro tubos.

Apesar de um maior investimento inicial relativamente ao sistema tudo-ar, o seu financiamento é mais económico e a garantia de uma melhor QAI, portanto este sistema poderá ser preferível em algumas situações a longo prazo economicamente e dependendo valor que o cliente atribuí à QAI, poderá mesmo ser a melhor solução.

E.2 Dimensionamento do Sistema de Climatização com Ventilconvetor ("*Fan-Coil*")

As estratégias usadas para o dimensionamento do sistema de climatização, que permite o aquecimento e o arrefecimento da habitação através da utilização de um *fan-coil*, ou como é conhecido em Portugal um ventilconvetor, serão abordados no presente anexo.

A caldeira é usada para o aquecimento da água da rede, que irá circular no ventilconvetor, quando se pretende o aquecimento do ar insuflado e o mini-*chiller* (se estiver instalado) é usado para arrefecer a água que circula no ventilconvetor, quando se pretende arrefecer o ar insuflado.

Para a estação de aquecimento de modo a garantir o conforto dos ocupantes, foi considerada uma diferença de temperaturas entre a insuflação e o espaço de 5°C.

O caudal de insuflação é determinado através da equação:

$$\dot{m}_{aq.} = \frac{\dot{Q}_{aq.}}{h_{ins.} - h_{int.}} \quad [kg/s] \quad (E.1)$$

Sendo:

- $\dot{m}_{aq.}$: Caudal de ar insuflado para o aquecimento do edifício [kg/s];
- $\dot{Q}_{aq.}$: Potência nominal de aquecimento do edifício [kW];
- $h_{ins.}$: Valor da entalpia do ar insuflado no edifício [$kJ/kg_{a.s.}$];
- $h_{int.}$: Valor da entalpia do ar no interior do edifício [$kJ/kg_{a.s.}$];

O sistema em análise consiste num permutador de calor, em que quando o objectivo é aquecer o ar no interior do edifício, a fonte quente é a água e o ar a fonte fria, quando o objectivo é o arrefecimento do ar no interior do edifício, a fonte quente passa a ser o ar interior.

Para as condições de projecto assumem-se conhecidas as temperaturas de entrada e saída do permutador, devido à falta de informação relativamente à eficiência do ventilconvetor e sendo esta um parâmetro variável considera-se que esta é constante, sendo igual a 1, pois não existe informação acerca deste.

As propriedades do ar, para as localidades em estudo que serão usados para o cálculo das necessidades de aquecimento do ventilconvetor, encontram-se representados na tabela E.1

Tabela E.1: Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de aquecimento com a utilização do ventiloinvector

Localidade	Espaço	T [°C]	ϕ [%]	h [kJ/kg _{a.s.}]	w [g/kg _{a.s.}]
Bragança	INT.	25	37	45,3	7,9
	INS.	20	50	40,1	7,9
Porto	INT.	25	36,7	43,7	7,3
	INS.	20	50	38,7	7,3
Faro	INT.	25	36,5	43,7	7,4
	INS.	20	50	38,9	7,4

Os fenómenos de transferência de calor que ocorrem no ventiloinvector, encontram-se representados na figura E.2.

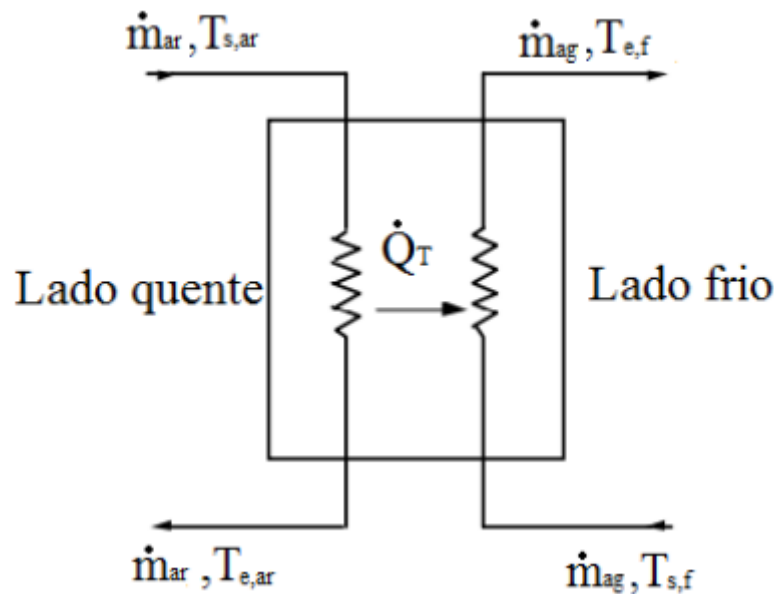


Figura E.2: Representação da potência calorífica transferida da fonte quente para a fonte fria no ventiloinvector. Adaptado de [72]

Existem dois métodos para a análise dos fenómenos de transferência de calor nos permutadores de calor [18], o método do *MLDT* (o método que faz uso das temperaturas médias logarítmicas) e o método da efectividade-*NUT*. Para as condições de projecto assumem-se conhecidas as temperaturas de entrada e saída do permutador, a eficiência deste assume-se também constante. Apesar de ser o método mais simples entre os dois já referidos, estão reunidas todas as condições para a utilização eficiente do *NUT*, pois as temperaturas de entrada do fluido da fonte quente e da fonte fria são conhecidas quer para o aquecimento interior, quer para o arrefecimento interior.

Assim, a equação E.2, permite obter a temperatura do ar à saída do ventiloinvector, enquanto que usando a equação E.3 obtém-se a temperatura da água após a passagem pelo ventiloinvector.

$$\varepsilon = \frac{C_{ins.} \cdot (T_{ar,e} - T_{ar,f})}{C_{min.} \cdot (T_{ag,e} - T_{ar,e})} \quad (E.2)$$

$$\varepsilon = \frac{C_{ins.} \cdot (T_{ag.,f} - T_{ag.,e})}{C_{min.} \cdot (T_{ag.,e} - T_{ar,e})} \quad (E.3)$$

Os valores de $C_{ins.}$ e $C_{min.}$, são obtidos respectivamente através das equações E.4 e E.5, o valor de $C_{min.}$ é igual ao valor do menor valor produto de $\dot{m} \cdot c_p$, que para o presente caso de estudo este será para a água.

$$C_{ins.} = \dot{m}_{ins.} \cdot c_{p,ar} \quad [kW/K] \quad (E.4)$$

$$C_{min.} = \dot{m}_{ag.} \cdot c_{p,ag.} \quad [kW/K] \quad (E.5)$$

Em que:

- \dot{m}_{ar} : Caudal de ar que circula no ventiloconvector [kg/h];
- $\dot{m}_{ag.}$: Caudal de água que circula no ventiloconvector [kg/h];
- $T_{ar,e}$: Temperatura do ar à entrada do ventiloconvector [$^{\circ}C$];
- $T_{ar,f}$: Temperatura do ar à saída do ventiloconvector [$^{\circ}C$];
- $T_{ag,e}$: Temperatura da água à entrada do ventiloconvector [$^{\circ}C$];
- $T_{ag,f}$: Temperatura da água à saída do ventiloconvector [$^{\circ}C$];
- ε : Eficiência do permutador de calor;

Para suprir as necessidades de aquecimento do edifício o caudal de ar à temperatura de $25^{\circ}C$, que deve ser insuflado no espaço encontra-se representado na tabela E.2.

Tabela E.2: Caudal de ar mínimo necessário para a satisfação das necessidades de aquecimento, utilizando o sistema de climatização com recuperador de calor

Localidade	e [mm]	\dot{V}_I [m^3/h]
Bragança	80	1315
	100	1154
Porto	80	1044
	100	924
Faro	80	938
	100	825

Serão instalados ventiloconvectores em cada uma das zonas de insuflação (quartos e sala), em que o valor do ar insuflado por cada ventiloconvector é fixo, devido ao ventilador incorporado no sistema, serão assim instalados 4 ventiloconvectores da marca *Hegoa ECM - 2.3*, representado na tabela E.3, serão instalados 4 ventiloconvectores um em cada zona de insuflação (os quartos e a sala).

Tabela E.3: Características técnicas do ventiloconvector escolhido. Retirado de [73]

• Características técnicas
-As características indicadas fazem referência às seguintes condições de funcionamento (condições Eurovent):

Arrefecimento (verão):
 · Temperatura do ar: 27° C (BS*), 19° C (BH*).
 · Temperatura da água: 7° C (entrada), 12° C (saída).
 *BS: bolbo seco - BH: bolbo húmido.

Aquecimento (inverno):
 · Temperatura do ar: 20° C (entrada).
 · Temperatura da água: 50° C (entrada) - instalação 2 tubos.
 · Temperatura da água: 70/60° C (entrada) - instalação 4 tubos.
 · Caudal da água: igual para arrefecimento e aquecimento.

-Instalação 2 tubos - bateria principal 3 fiadas

Velocidade	Hégoa® ECM - 2.3			Hégoa® ECM - 4.3			Hégoa® ECM - 6.3			Hégoa® ECM - 7.3			Hégoa® ECM - 9.3		
	Min. (1V)	Med. (5V)	Máx. (10V)	Min. (1V)	Med. (5V)	Máx. (10V)	Min. (1V)	Med. (5V)	Máx. (10V)	Min. (1V)	Med. (5V)	Máx. (10V)	Min. (1V)	Med. (5V)	Máx. (10V)
Caudal de ar [m³/h]	120	220	330	210	350	515	305	495	735	400	610	890	605	945	1395
Arrefecimento total [kW]	0,74	1,19	1,61	1,42	2,19	2,97	1,97	2,94	3,99	2,61	3,70	4,98	3,47	4,86	6,36
Arrefecimento sensível [kW]	0,56	0,93	1,3	1,04	1,65	2,28	1,47	2,23	3,11	1,93	2,79	3,84	2,65	3,83	5,2
Aquecimento [kW]	0,92	1,53	2,13	1,70	2,70	3,74	2,35	3,59	4,95	3,08	4,47	6,09	4,45	6,41	8,69
ΔP em água - arrefecimento [kPa]	1,8	4,0	6,9	7,9	17,0	28,9	5,5	11,1	19,0	10,5	19,4	32,6	7,6	13,8	22,2
ΔP em água - aquecimento [kPa]	1,4	3,4	5,7	6,6	13,8	23,9	4,5	9,2	15,7	8,4	16,1	26,8	6,3	11,4	18,5
Potência absorvida do motor [W]	7,0	11,0	20,5	6,5	12,0	25,0	7,5	15,0	32,0	9,0	18,5	41,0	16,0	41,0	99,0
Potência acústica [dB(A)]	30	41	51	30	42	51	33	44	54	37	48	57	44	55	64
Pressão acústica* [dB(A)]	21	32	42	21	33	42	24	35	45	28	39	48	35	46	55

*O nível de pressão acústica refere-se a um local a 100 m³ e um tempo de reverberação de 0,5 s.

Como se pode verificar pela tabela da figura E.3 para Bragança e Porto, para uma espessura de paredes de 100 mm e para todas as localidades com uma espessura de paredes de 80 mm é necessário ter o ventiloconvector ligado à velocidade máxima para a satisfação das necessidades de aquecimento, insuflando-se no total 1320 m³/h de ar, sendo que para Faro para uma espessura de paredes de 100 mm é necessário de insuflar no total apenas 880 m³/h de ar, correspondentes à velocidade média dos ventiloconvectores.

Para ser possível a insuflação de um caudal de ar tão elevado a 25°C, como o ventiloconvector é um permutador de calor ar-água, sabendo que a temperatura de entrada na água no ventiloconvector é de 50°C e a temperatura de projecto do ar é de 20°C, o caudal de água que circula no ventiloconvector para aquecer o ar que passa por este é calculado através da equação E.2 sendo o seu valor de 63,37 kg/h quando são insuflados 1320 m³/h de ar e 42,25 kg/h, quando são insuflados 880 m³/h de ar.

Assim, através da equação E.6 é calculada a potência que a caldeira deve ter para aquecer a água da rede.

$$\dot{Q}_{aq.,equip.} = \dot{m}_{ag.} \cdot c_{p,ag.} \cdot (T_{ag.,e} - T_{ag.,rede}) \quad [kW] \quad (E.6)$$

Sendo que:

- $\dot{Q}_{aq.,equip.}$: Potência que o equipamento usado para o aquecimento da água deve ter para aquecer a água que circula no ventiloconvector [kW];
- $T_{ag.,rede}$: Temperatura da água da rede [°C];

Para efeitos de cálculo, assume-se que a temperatura da água da rede é de 15°C [10].

A caldeira deverá ter uma potência de aquecimento de aproximadamente 2,58 kW ou 1,72 kW, dependendo do valor do caudal de água de circulação.

Para a estação de arrefecimento, de modo a garantir uma vez mais, o conforto térmico dos ocupantes foi considerada uma diferença de temperaturas entre a insuflação e o espaço de 5°C.

O caudal mássico de ar, que deve ser insuflado no espaço foi obtido através da equação E.7.

$$\dot{V}_V = \frac{\dot{Q}_{arref.}}{(h_{int.} - h_{ins.}) \cdot \rho_{ar}} \quad (E.7)$$

As propriedades do ar, para as localidades em estudo que serão usados para o cálculo das necessidades de arrefecimento do ventiloconvector, encontram-se representados na tabela E.4

Tabela E.4: Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de arrefecimento com a utilização do ventiloconvector

Localidade	Espaço	T [°C]	ϕ [%]	h [kJ/kg _{a.s.}]	w [g/kg _{a.s.}]
Bragança	INT.	25	50	52,5	10,7
	INS.	20	67,6	47,3	10,7
Porto	INT.	25	50	50,7	10,0
	INS.	20	67,8	45,5	10
Faro	INT.	25	50	50,7	10,1
	INS.	20	68,1	45,7	10,1

Em que:

- EXT.: Exterior;
- INT.: Interior;
- INS.: Insuflado;

Usando as equações E.2 e E.3 e considerando a temperatura de entrada da água de 7°C e de 12°C à saída do ventiloconvector, como referido no catálogo [73] e que o ar entra no Ventiloconvector, às condições de projecto (25°C), obtêm-se os caudais representados na tabela E.11.

Tabela E.5: Caudal de ar mínimo necessário para a satisfação das necessidades de arrefecimento

Localidade	e [mm]	\dot{V}_V [m ³ /h]
Bragança	80	837
	100	762
Porto	80	744
	100	692
Faro	80	828
	100	762

O caudal de 880 m³/h, corresponde à velocidade média garante uma vez mais, que é insuflada uma quantidade de ar acima da pretendida, mas suficiente para satisfazer as necessidades de arrefecimento. Recorrendo à equação E.2, obtêm-se um caudal de água de 70,41 kg/h para arrefecer o ar até aos 20°C.

Assim, através da equação E.8 é calculada a potência que a caldeira deve ter para aquecer a água da rede.

$$\dot{Q}_{arref.,equip.} = \dot{m}_{ag.} \cdot c_{p,ag.} \cdot (T_{ag.,e} - T_{ag.,rede}) \quad [kW] \quad (E.8)$$

Em que:

- $\dot{Q}_{arref.,eq.}$ - Potência que o equipamento usado para o arrefecimento da água deve ter para arrefecer a água que circula no ventiloconvector [kW];
- $T_{ag.,rede}$ - Temperatura da água da rede [°C];

Recorrendo à equação E.8, o aparelho deve ter uma potência nominal de arrefecimento de aproximadamente 0,66 kW.

Face aos valores obtidos no presente anexo, este ventiloconvector será o utilizado para a análise de qualquer solução que utiliza o ventiloconvector, pois para além da mais barata e a que tem menores consumos energéticos das soluções disponíveis, dentro da marca *Hegoa ECM*, como se pode ver na tabela E.3, a sua potência é também suficiente para satisfazer as necessidades quer de aquecimento, quer de arrefecimento.

Para o edifício redimensionado, a tabela E.6 mostra os resultados obtidos para a satisfação quer das necessidades de aquecimento, quer das necessidades de arrefecimento.

Tabela E.6: Caudal de ar mínimo necessário para a satisfação das necessidades de aquecimento e arrefecimento, para o edifício redimensionado

Localidade	Função	\dot{V} [m^3/h]
Bragança	AQ.	837
	ARREF.	762
Porto	AQ.	744
	ARREF.	692
Faro	AQ.	828
	ARREF.	762

Sendo:

- AQ.: Aquecimento;
- ARREF.: Arrefecimento;

Como se pode verificar pelos resultados obtidos na tabela E.6, para o edifício redimensionado bastará utilizar a velocidade média do ventiloconvector de 880 m^3/h , será necessário um caudal de 42,25 e 72,41 kg/h para o aquecimento e o arrefecimento respectivamente.

Para a realização da simulação deste sistema, em função do horário de ocupação da habitação, considerou-se que o caudal que circulava nas tubagens era o dobro dos calculados no presente anexo.

E.3 Dimensionamento do Sistema com Recuperação de Calor e Ventilação Mecânica

O dimensionamento do sistema de climatização, que utiliza o recuperador de calor será explicado na presente secção. Este será exemplificado, usando como referência as transformações sofridas pelo ar quer na estação de aquecimento, quer na de arrefecimento, onde as necessidades de aquecimento e arrefecimento são maiores respectivamente e para o edifício redimensionado.

Para a estação de aquecimento as evoluções sofridas que o ar deveria sofrer, desde o exterior até à sua insuflação no espaço, encontram-se representadas na figura E.3.

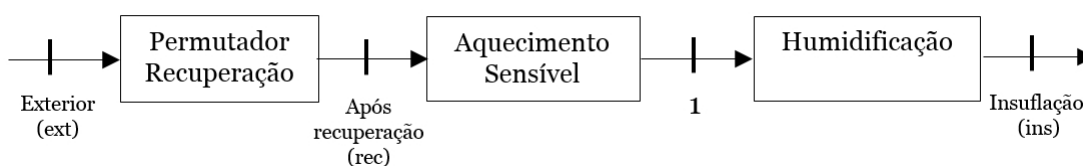


Figura E.3: Evoluções sofridas pelo ar na estação de aquecimento, utilizando o sistema com ventilação mecânica

Estas evoluções podem também ser demonstradas através do uso de um diagrama psicrométrico, como o representado na figura E.4 para a cidade do Porto.

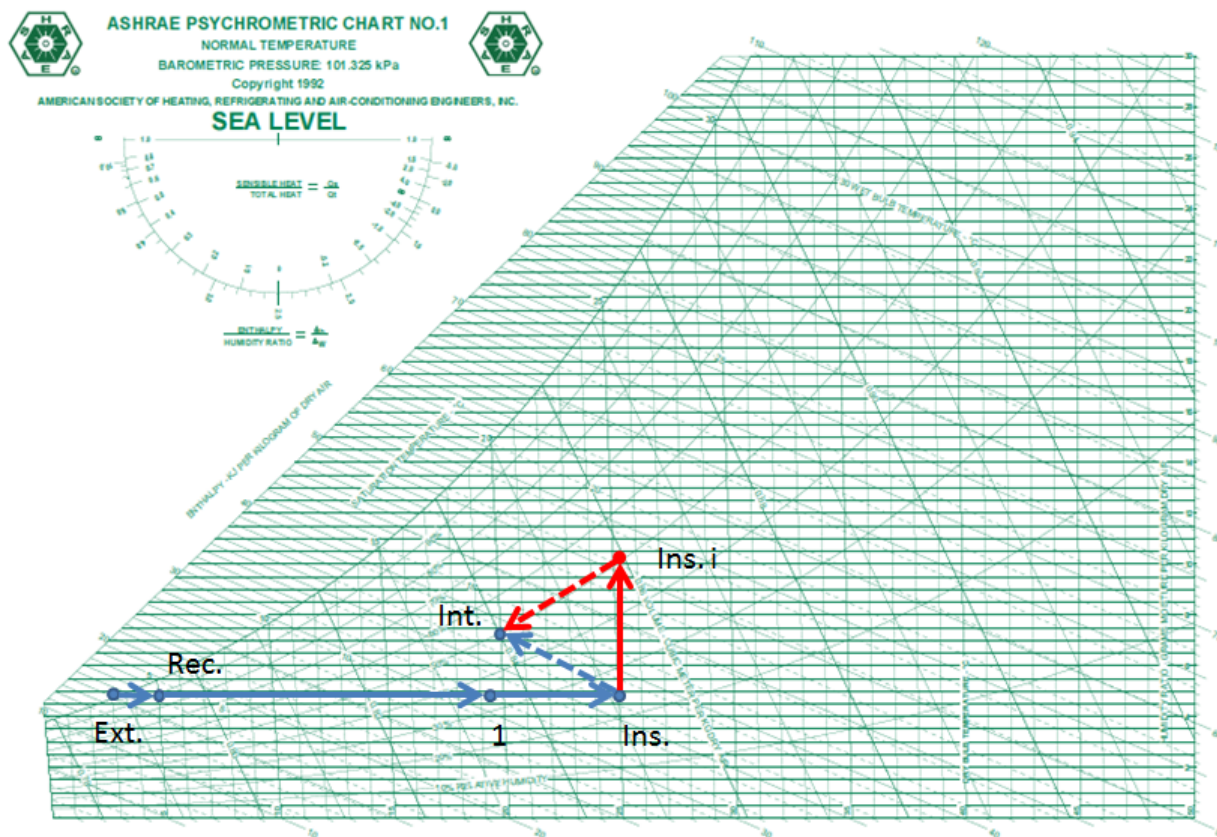


Figura E.4: Diagrama psicrométrico que representa as evoluções sofridas pelo ar estação de aquecimento

As evoluções representadas a vermelho são as evoluções que o ar devia sofrer idealmente, antes de ser insuflado, no entanto, como não será usado um humidificador, não será possível obter esta evolução.

As evoluções representadas a tracejado, representam o ar antes de ser insuflado no interior do edifício.

Um sistema tudo-ar climatiza o edifício, insuflando ar em determinadas condições de modo a compensar as respectivas cargas térmicas do espaço (considerado pressurizado).

De modo a garantir o conforto dos ocupantes foi considerado uma diferença de temperaturas entre a insuflação e o espaço de $5^{\circ}C$. Como a humidade relativa não será controlada, considera-se que o ar insuflado, o ar interior e o ar exterior têm todas a mesma humidade absoluta. As propriedades encontram-se representadas na tabela.

O caudal de insuflação, para a satisfação das necessidades de aquecimento, é uma vez mais determinado através da seguinte equação:

$$\dot{V}_I = 3600 \cdot \frac{\dot{Q}_{aq.}}{\rho_{ar} \cdot (h_{ins.} - h_{int.})} \quad [m^3/h] \quad (E.9)$$

O ar extraído é calculado através da expressão, $\frac{\dot{V}_{ins.} - \dot{V}_{extr.}}{V}$, cuja igualdade pode ser retirada, da figura 2.17 da secção 2.9. Analisando a figura 2.17 da secção 2.9 e considerando que a classe de exposição do edifício é de grau 2, para uma taxa de infiltração de $0,3 h^{-1}$ o valor da relação deve ser o estabelecido pela expressão E.3 permite obter o caudal de ar extraído.

$$\frac{\dot{V}_{ins.} - \dot{V}_{extr.}}{V} = 0,167 \quad [h^{-1}]$$

O sistema em estudo uma vez mais, não controla a humificação do ar. O ar novo que entra no sistema é inicialmente aquecido até à temperatura de $5^{\circ}C$, sendo de seguida aquecido, devido à unidade anti-congelamento, como já foi referido anteriormente na secção 2.11.

As propriedades do ar, para as localidades em estudo que serão usados para o cálculo das necessidades de aquecimento do presente anexo, encontram-se representadas na tabela E.7.

Tabela E.7: Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas respectivas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de aquecimento com a utilização de um sistema com recuperação de calor

Localidade	Espaço	T [$^{\circ}C$]	ϕ [%]	h [$kJ/kg_{a.s.}$]	w [$g/kg_{a.s.}$]
Bragança	EXT.	-2,2	100	6,3	3,4
	INT.	20	21,7	28,7	3,4
	INS.	25	16	33,8	3,4
Porto	EXT.	3	100	14,9	4,7
	INT.	20	28	32	4,7
	INS.	25	23,7	37,1	4,7
Faro	EXT.	6,2	100	21,2	6,0
	INT.	20	40,7	35,3	6,0
	INS.	25	30	40,4	6,0

De modo a satisfazer as necessidades de aquecimento do edifício deverão ser insuflados os caudais representados na tabela E.9, nesta tabela está também representado o valor do caudal de extracção, que já foi apresentado na equação E.3.

Tabela E.8: Caudal de insuflação necessário, para a satisfação das necessidades de aquecimento. utilizando um sistema de climatização com recuperador de calor e correspondente caudal de extracção

Localidade	\dot{V}_I [m^3/h]	$\dot{V}_{I,extr.}$ [m^3/h]
Bragança	888	867
Porto	694	663
Faro	547	526

De seguida, o ar passa pelo recuperador de calor, neste componente o ar insuflado, troca calor com o ar de extracção, que se encontra a uma temperatura superior, no entanto poderá ser um aquecimento posterior, para garantir que ele é insuflado a $25^{\circ}C$.

Assim, equação E.10, permite obter a temperatura do ar à saída do permutador de calor.

$$\varepsilon = \frac{C_{ins.} \cdot (T_1 - T_2)}{C_{min.} \cdot (T_{int.} - T_2)} \quad (E.10)$$

Os valores de $C_{ins.}$ e $C_{min.}$, são obtidos respectivamente através das equações E.11 e E.12.

$$C_{min.} = \dot{m}_{ins.} \cdot c_{p,ar} \quad [kW/K] \quad (E.11)$$

$$C_{min.} = \dot{m}_{extr.} \cdot c_{p,ar} \quad [kW/K] \quad (E.12)$$

Depois da passagem pelo recuperador de calor, o ar é insuflado no edifício a uma determinada temperatura, se for necessário aquecer o edifício, este será aquecido até $25^{\circ}C$. Para tal é necessário insuflar uma quantidade de água a $50^{\circ}C$ com os valores representados na tabela 3.49.

Tabela E.9: Caudal de água necessário para a satisfação das necessidades de aquecimento e temperatura do ar à saída do recuperador de calor

Localidade	T_2 [$^{\circ}C$]	$\dot{m}_{ag.}$ [m^3/h]
Bragança	19,3	42,63
Porto	19,5	33,32
Faro	19,8	26,26

Se for instalado um mini-*chiller*, será possível controlar a evolução da temperatura interno do edifício em qualquer momento.

A figura, representa as transformações que o ar deve sofrer idealmente¹ na estação de arrefecimento, antes de o ar ser insuflado no edifício.

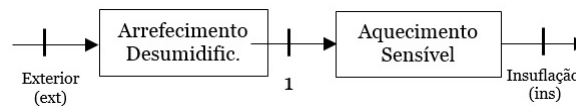


Figura E.5: Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar no Verão

De modo a garantir, uma vez mais o conforto dos ocupantes foi considerado uma diferença de temperaturas entre a insuflação e o espaço de $5^{\circ}C$.

O caudal que deve ser insuflado no espaço para a satisfação das necessidades de arrefecimento, utilizando um sistema com recuperador de calor e ventilação mecânica foi obtido através da equação E.13.

$$\dot{V}_V = \frac{\dot{Q}_{arref.}}{(h_{int.} - h_{ins.}) \cdot \rho_{ar}} \quad [kg/s] \quad (E.13)$$

Contudo deve ser insuflada uma maior quantidade de caudal, pois os difusores utilizados têm um caudal mínimo que deve ser insuflado. No entanto mesmo nesta situação teríamos que instalar ventiladores adicionais com curvas características diferentes para ser possível a insuflação de um caudal tão reduzido.

As propriedades do ar, para as localidades em estudo que serão usados para o cálculo das necessidades de arrefecimento, encontram-se representadas na tabela E.10.

Tabela E.10: Propriedades do ar exterior, interior e insuflado no edifício, nas respectivas localidades em estudo, para a satisfação das necessidades de arrefecimento com a utilização de um sistema com recuperação de calor

Localidade	Espaço	T [$^{\circ}C$]	ϕ [%]	h [$kJ/kg_{a.s.}$]	w [$g/kg_{a.s.}$]
Bragança	EXT.	29,8	27	49,5	7,6
	INT.	25	35,6	48,2	7,6
	INS.	20	48,2	39,4	7,6
Porto	EXT.	26,4	46	52	10,0
	INT.	25	50	50,6	10,0
	INS.	20	67,8	45,5	10,0
Faro	EXT.	29,1	42,5	57,1	10,9
	INT.	25	54,1	52,9	10,9
	INS.	25	73,4	47,8	10,9

¹O ponto a vermelho é o ponto onde o ar será insuflado no edifício em estudo

O caudal que deve ser insuflado nesta estação encontra-se representado na tabela E.11.

Tabela E.11: Caudal necessário para a satisfação das necessidades de arrefecimento, utilizando o sistema de climatização com recuperador de calor e ventilação mecânica e correspondente caudal de extracção

Localidade	\dot{V}_V [m^3/h]	$\dot{V}_{V,extr.}$ [m^3/h]
Bragança	835	810
Porto	776	751
Faro	818	793

Os valores obtidos, são superiores aos valores mínimos totais obrigatórios de insuflar pelos difusores, que são $720 m^3/h$ de ar em Bragança². Através da equação E.10 será necessário circular no permutador de calor ar-água $66,81 kg/h$ de água em Bragança, $62,09 kg/h$ no Porto e $65,45 kg/h$ em Faro a uma temperatura de $7^\circ C$.

Os equipamentos escolhidos anteriormente, para o ventiloconvector serão também suficientes para o aquecimento e arrefecimento deste sistema.

²Estes valores foram obtidos após o dimensionamento dos difusores no anexo E.3.2

E.3.1 Diagramas Psicrométricos das Evoluções do ar no interior do Edifício

Os diagramas psicrométricos das evoluções no interior do edifício para a estação de aquecimento nas restantes localidades encontram-se representadas nas figuras E.6 e E.7.

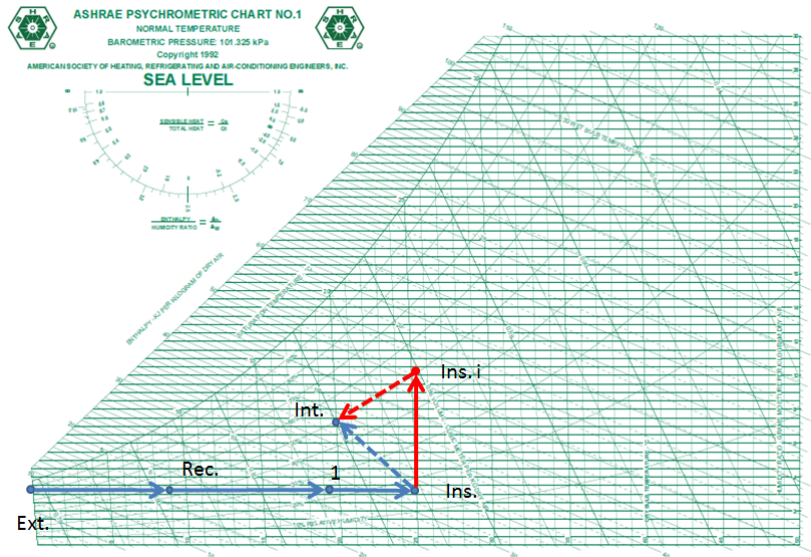


Figura E.6: Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de aquecimento para Bragança, utilizando o sistema com recuperação de calor

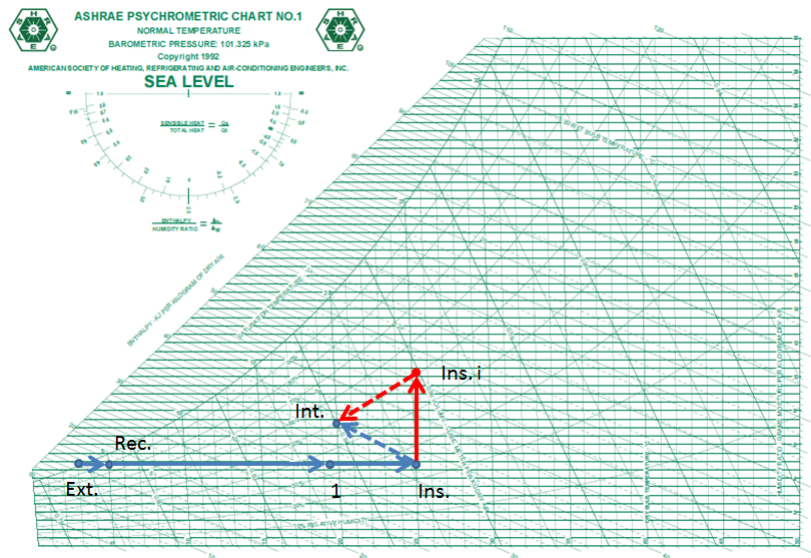


Figura E.7: Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de aquecimento para Faro, utilizando o sistema com recuperação de calor

É possível verificar, que as soluções são idênticas para a estação de aquecimento, para o sistema com recuperador de calor.

As figuras E.8 e E.9, mostram as evoluções do ar que é insuflado no interior do edifício na estação de arrefecimento.

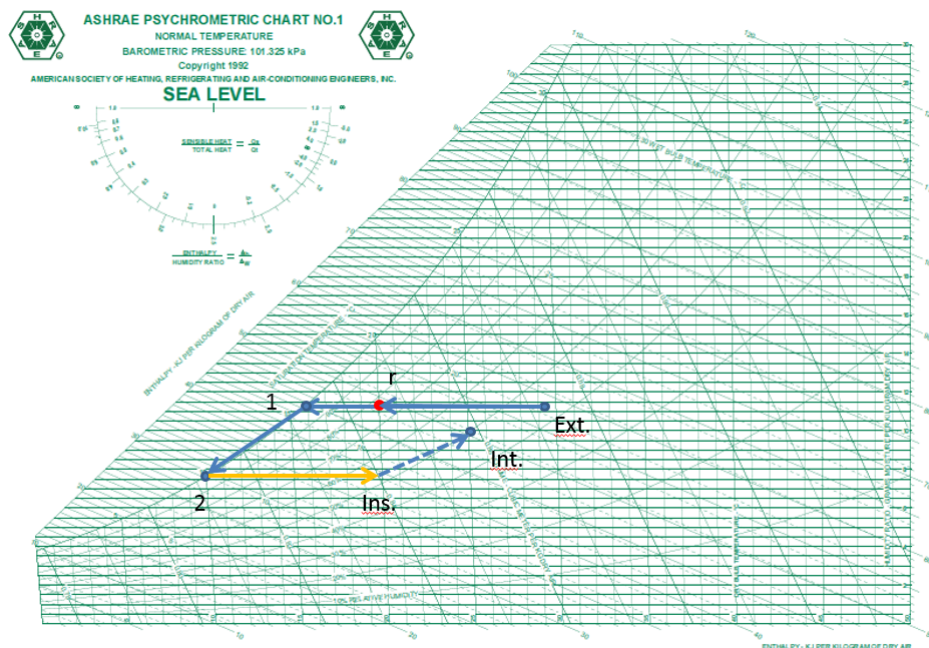


Figura E.8: Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de arrefecimento para Bragança, utilizando o sistema com recuperação de calor

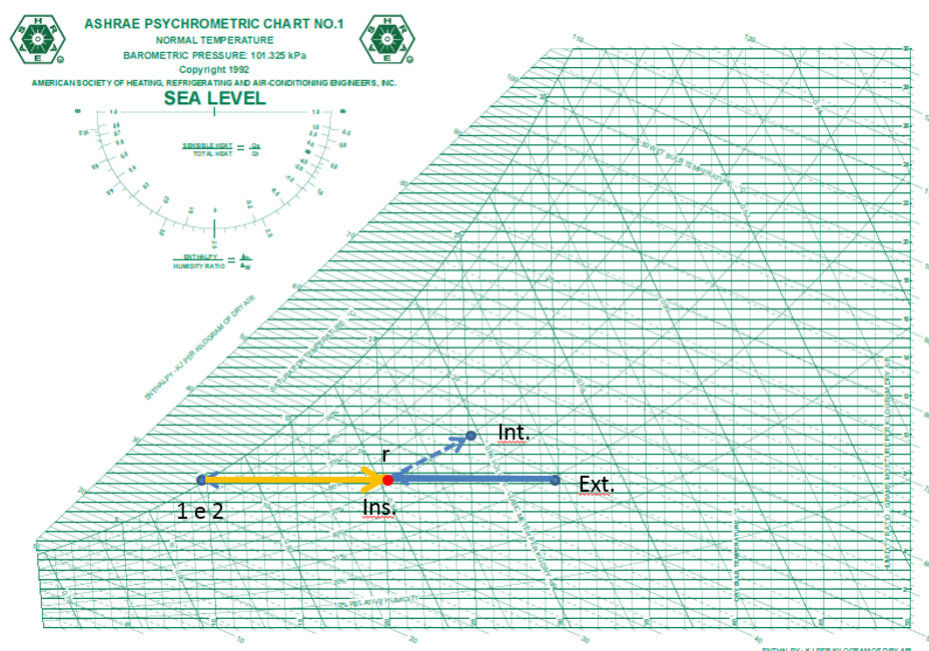


Figura E.9: Esquema representativo das evoluções sofridas pelo ar na estação de arrefecimento para Faro, utilizando o sistema com recuperação de calor

Na estação de arrefecimento, as evoluções do ar também são idênticas, embora em Faro não chegue a ocorrer a desumidificação, para as condições analisada, embora seja credível que tal aconteça.

E.3.2 Difusores

No presente anexo, será explicado o critério para a escolha dos difusores que serão implementados, para o edifício em estudo (se a solução for a que utiliza o recuperador de calor). Será utilizada como base, a planta do edifício final após o seu redimensionamento.

Os difusores foram seleccionados, recorrendo ao respectivo catálogo da *TROX* [74], a figura E.10 representa a geometria do difusor *ADLR-Q-ZH*, que será implementado na solução final.

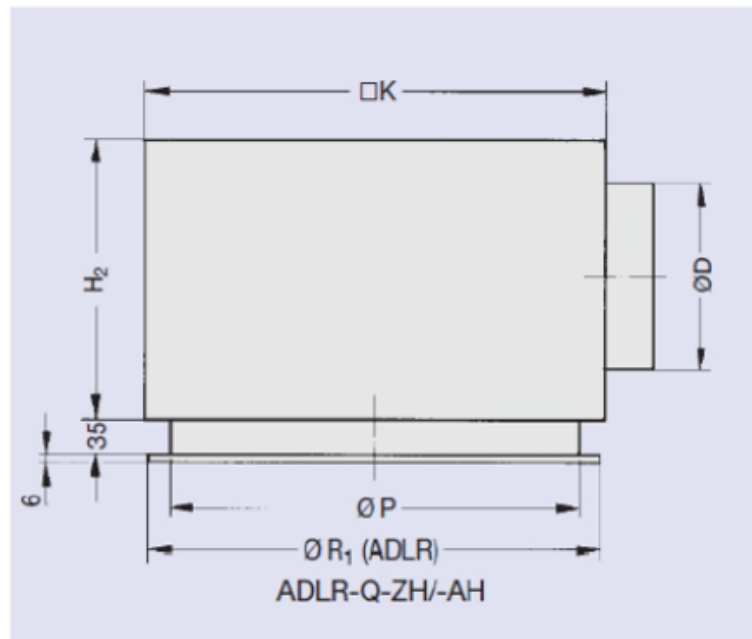


Figura E.10: Estrutura do difusor *ADLR-Q-ZH*. Retirado de [74]

O *size* do difusor, foi escolhido em função da quantidade de ar que deve ser insuflado em cada espaço, assim recorrendo à tabela E.12, retirada do catálogo da *TROX* [74], foi escolhido o *size* 1 para todas as localidades. Assume-se que os difusores insuflam o mesmo caudal em cada zona, ou seja, que o caudal total é repartido pelos 4 difusores, pois a habitação em estudo é muito reduzida e a temperatura interior não varia significativamente entre compartimentos diferentes, sendo a temperatura entre os espaços quase uniforme.

Tabela E.12: Tabela do catálogo da *TROX*, que contém os caudais máximos e mínimos que devem ser insuflados por cada difusor. Retirado de [74]

Size	V_{max}		V_{min}		$L_{WA max}$ dB(A)	$L_{WNC max}$ NC	$L_{WA min}$ dB(A)	$L_{WNC min}$ NC	A_{eff} m ²	R_2 mm	C mm
	l/s	m ³ /h	l/s	m ³ /h							
1	80	290	20	70	40	31	< 20	< 20	0.0085	192	140
2	120	430	30	110	40	33	< 20	< 20	0.0157	248	196
3	180	650	50	180	40	34	< 20	< 20	0.0257	304	252
4	230	830	80	290	40	35	< 20	< 20	0.0381	360	308
5	300	1080	110	395	40	35	< 20	< 20	0.0536	416	364
6	360	1295	140	505	40	36	< 20	< 20	0.0730	472	420
7	440	1585	180	650	40	37	< 20	< 20	0.0955	528	476
8	500	1800	220	790	40	37	< 20	< 20	0.1150	584	532

A figura E.11, representa esquematicamente as distâncias críticas que devem ser consideradas para a implementação dos difusores de modo a maximizar o conforto térmico dos ocupantes.

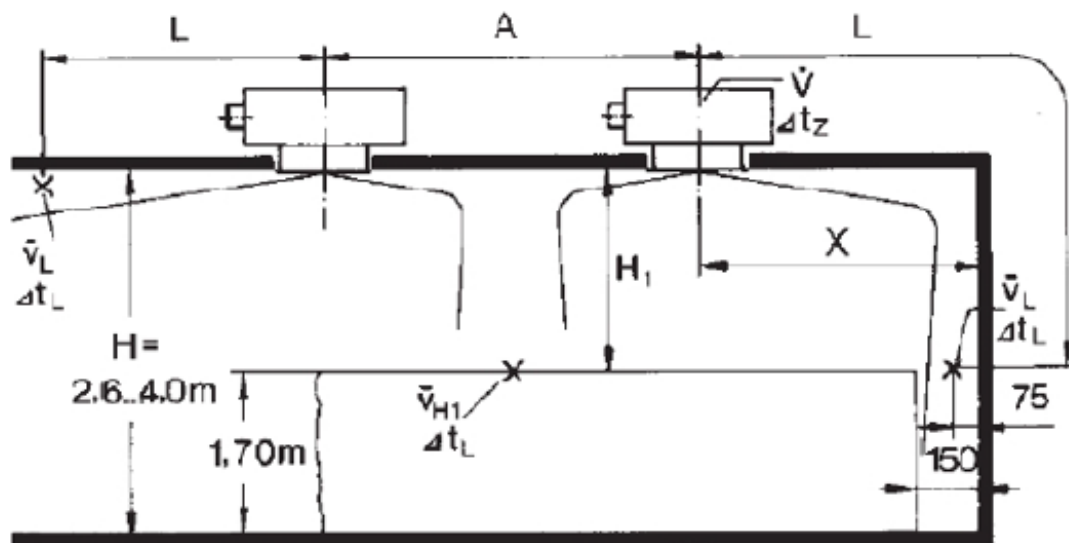


Figura E.11: Esquema representativo da montagem de difusores no tecto de um compartimento e as respectivas distâncias críticas. Retirado de [74]

É mais fácil atingir níveis de conforto térmico mais satisfatórios, quando os difusores são colocados no centro do compartimento onde é instalado, pois aumenta a distância crítica deste às paredes. No entanto, por recomendação do *PHI*, este deverá ser instalado perto da entrada destes compartimentos, de modo a tornar as *Passivhaus*, mais competitivas em termos económicos.

Com esta medida, os ventiladores irão consumir uma menor quantidade de energia, para a insuflação do ar no interior habitação, através da ventilação mecânica e será gasto menos dinheiro em condutas, os custos de manutenção também diminuem devido à diminuição das perdas de carga.

Como não existe mais que um difusor em cada compartimento, os parâmetros que devem ser tidos em conta para a determinação do conforto térmico são L e H_1 , que serão determinados pelas equações E.3.2, E.3.2 e E.3.2, sendo os seus valores iguais para todos os compartimentos, pois o pé-direito é sempre de 2,5 metros e a distância à parede mais próxima (X) é considerada nula.

$$H = 2,5 \quad [m]$$

$$H_1 = H - 1,7 = 0,8 \quad [m]$$

$$L = X + H_1 = 1,3 \quad [m]$$

Foi considerado que $X = 0,5 \text{ m}$, por os difusores se encontrarem o mais próximo possível da parede, como se pode verificar pelas imagens do anexo A.2.

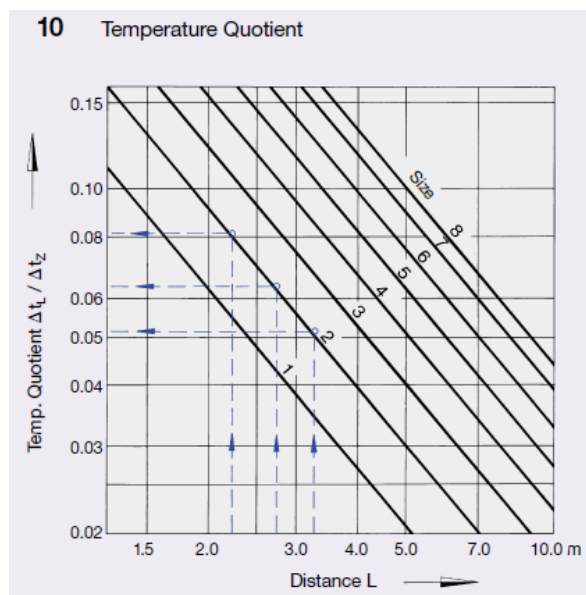


Figura E.12: Determinação de $\Delta t_l / \Delta t_z$ através do tamanho do difusor e da distância L1. Retirado de [74]

$$\Delta t_z = T_{ins.} - T_{int.} = 5 \quad [^{\circ}C]$$

Consultando a tabela Para um $L = 1,99 \text{ m}$ e para o *size* 1 obtém-se:

$$\frac{\Delta t_l}{\Delta t_z} = 0,11 \Leftrightarrow \Delta t_l = 0,11 \cdot 5 = 0,55 \quad [^{\circ}C]$$

Consultando agora outra tabela do fabricante:

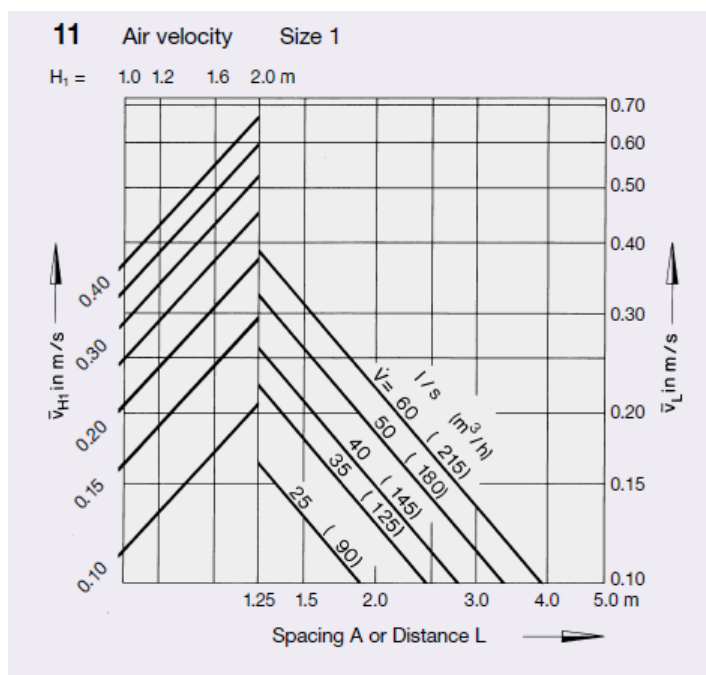


Figura E.13: Gráfico que permite a determinação da velocidade do jacto (m/s) para o *size* 1. Retirado de [74]

Para um caudal de cerca de $222 \text{ m}^3/h$ e para uma distancia de $1,3 \text{ m}$:

$$v_l = 0,40 \quad [m/s]$$

Para avaliação do IDDA (Índice de Desempenho de Distribuição do Ar), foi efectuado o seguinte cálculo:

$$\theta = \Delta t_l - 8 \cdot (v_l - 0,15) = -1,13$$

Com os valores de θ ; v_l torna-se possível a avaliação do conforto térmico no ponto crítico.

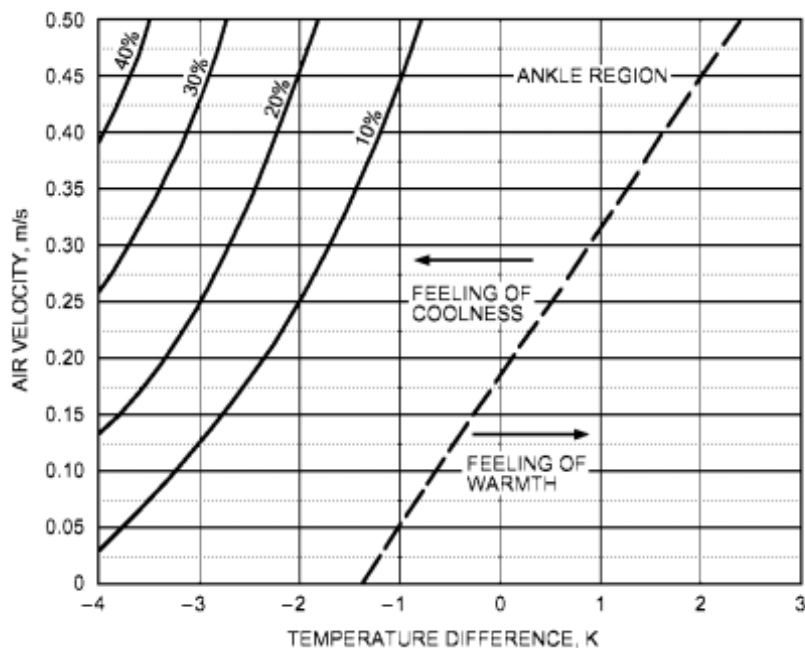


Figura E.14: Verificação de conforto pelo método IDDA - zona do tornozelo. Retirado de [75]

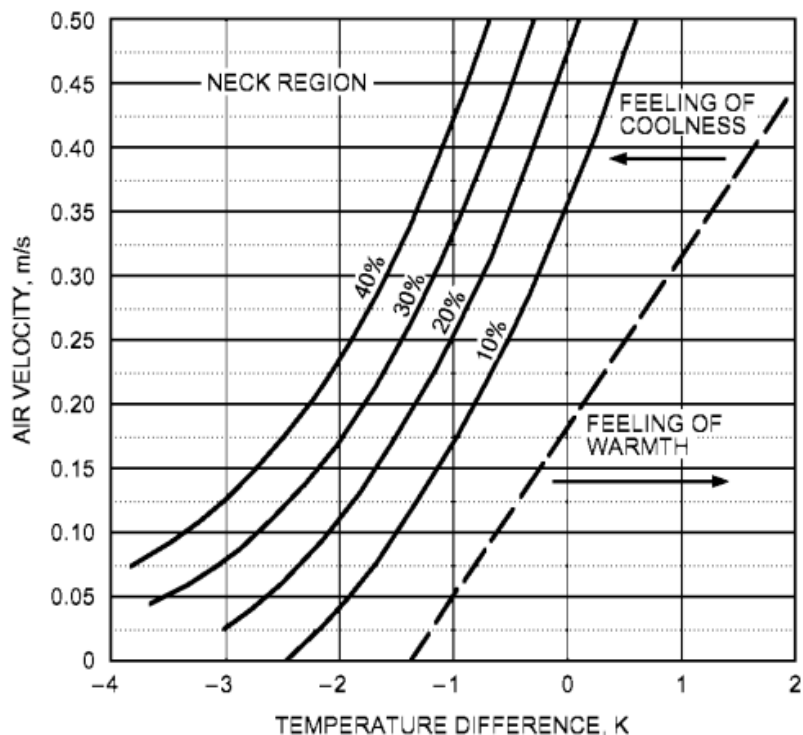


Figura E.15: Verificação de conforto pelo método IDDA - zona da nuca. Retirado de [75]

Como é possível verificar através das figuras E.14 e E.15 que o IDDA < 90 % para a situação mais crítica do estudo do nosso edifício, se for utilizado um difusor *size 2*, cuja velocidade do jacto pode ser determinada através da figura E.17.

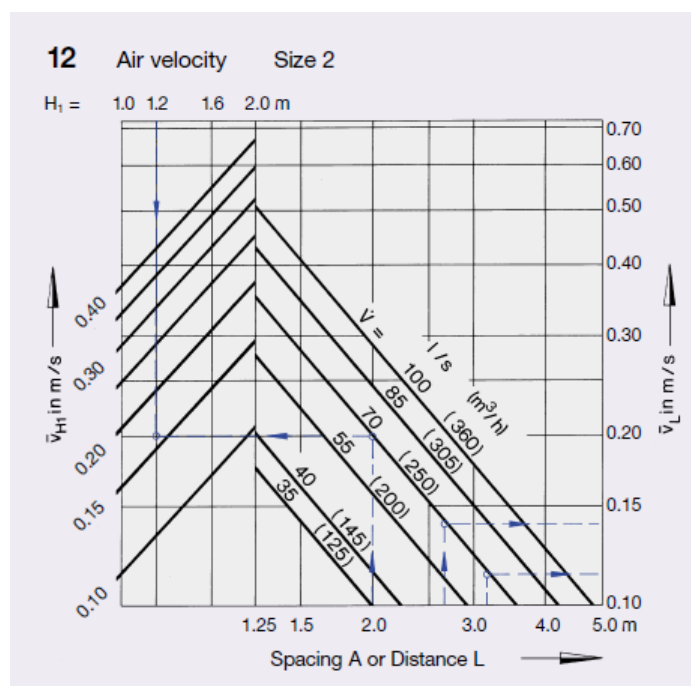


Figura E.16: Gráfico que permite a determinação da velocidade do jacto (m/s) para o *size 2*. Retirado de [74]

Obtém-se um valor de $\theta = -0,65$, para uma velocidade do ar de $0,30 m/s$. Através

das figuras E.14 e E.15, observa-se que foi obtida uma sensação de, na zona do tornozelo, contudo, para a zona da nuca o valor de IDDA continua a ser inferior a 90 %. Assim, será necessário a instalação de um *size* 3 para a obtenção do conforto térmico, na situação crítica. A sua velocidade de jacto para este difusor pode ser determinada através da figura ??.

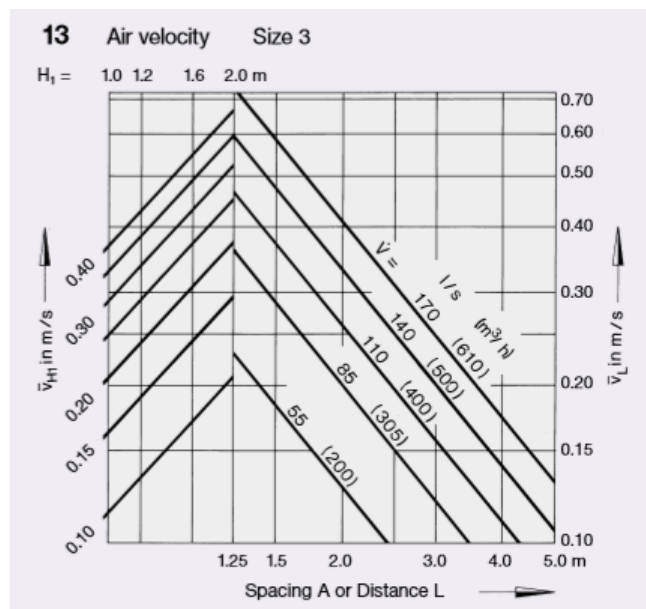


Figura E.17: Gráfico que permite a determinação da velocidade do jacto (m/s) para o *size* 3. Retirado de [74]

Obtém-se um valor de $\theta = -0,25$, para uma velocidade do ar de $0,25 m/s$, permitindo a obtenção do conforto térmico para cada uma das zonas do corpo humano, como se pode verificar uma vez mais, através das figuras E.14 e E.15.

Para as restantes localidades bastará a utilização, ou de um *size* 1, ou de um *size* 2, sendo o método de cálculo utilizado análogo. A instalação de difusores de dimensões mais reduzidas e que insuflam uma menor quantidade de ar, logo também são mais baratos, permite concluir que o preço do sistema de ventilação mecânica nas restantes localidades, é inferior ao que deverá ser instalado em Bragança.

E.4 Condutas e Redes Hidráulicas

No presente anexo, será explicado o dimensionamento das condutas e das redes hidráulicas instaladas no edifício final, sendo este o edifício, após o redimensionamento.

Para o dimensionamento das condutas de ar, é necessário definir um intervalo de velocidades para o ar que circula na conduta. É geralmente definido para as zonas de acesso, como a entrada principal, foi definido um intervalo de velocidades entre $3-5 m/s$, para as zonas de trabalho e lazer (por exemplo, a sala ou os quartos), o valor das velocidades será $2-3,5 m/s$ [76]. Serão utilizadas as figuras 2.28 e 2.29 da secção 2.11, para a solução com ventilconvector e recuperador de calor respectivamente, a

primeira será usada para o dimensionamento da rede de tubagens crítica³ e a segunda para a rede de condutas crítica, para permitir a validação das bombas de circulação e dos ventiladores escolhidos.

Para o cálculo das perdas de carga localizadas, foram usados os coeficientes retirados do capítulo 21 do *handbook* da *ASHRAE* [76] para cada uma das condutas representadas, sendo a queda de pressão obtida pela expressão E.14.

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot f_{PC} \cdot L + \frac{1}{2} \cdot C_0 \cdot \rho_{fl.} \cdot v_{fl.}^2 \quad [Pa] \quad (E.14)$$

Em que:

- ΔP : Perda de carga na rede condutas ou tubagens [Pa];
- f_{PC} : Perda de carga linear, por metro de conduta ou tubagem [Pa/m];
- L : Comprimento das condutas, ou tubagens [m];
- C_0 : Coeficiente de perdas de carga localizadas [-];
- $\rho_{fl.}$: Massa volúmica do fluido em circulação [kg/m^3];
- $v_{fl.}$: Velocidade do fluido em circulação [m/s];

As perdas de carga podem ser lineares ($\Delta P_{lin.}$) ou localizadas ($\Delta P_{loc.}$), sendo estas representadas na equação anterior respectivamente como:

$$\Delta P = \Delta P_{lin.} + \Delta P_{loc.} \quad [Pa] \quad (E.15)$$

Sendo:

- $\Delta P_{lin.}$: Variação linear das perdas de carga, ao longo da rede de condutas ou de tubagens [Pa];
- $\Delta P_{loc.}$: Variação localizada das perdas de carga, ao longo da rede de condutas ou de tubagens [Pa];

As condutas de insuflação e extracção foram montadas no tecto falso. O valor das perdas de carga lineares e os diâmetros das condutas, serão calculadas recorrendo ao gráfico da figura E.18.

³Onde são expectáveis maiores perdas de carga

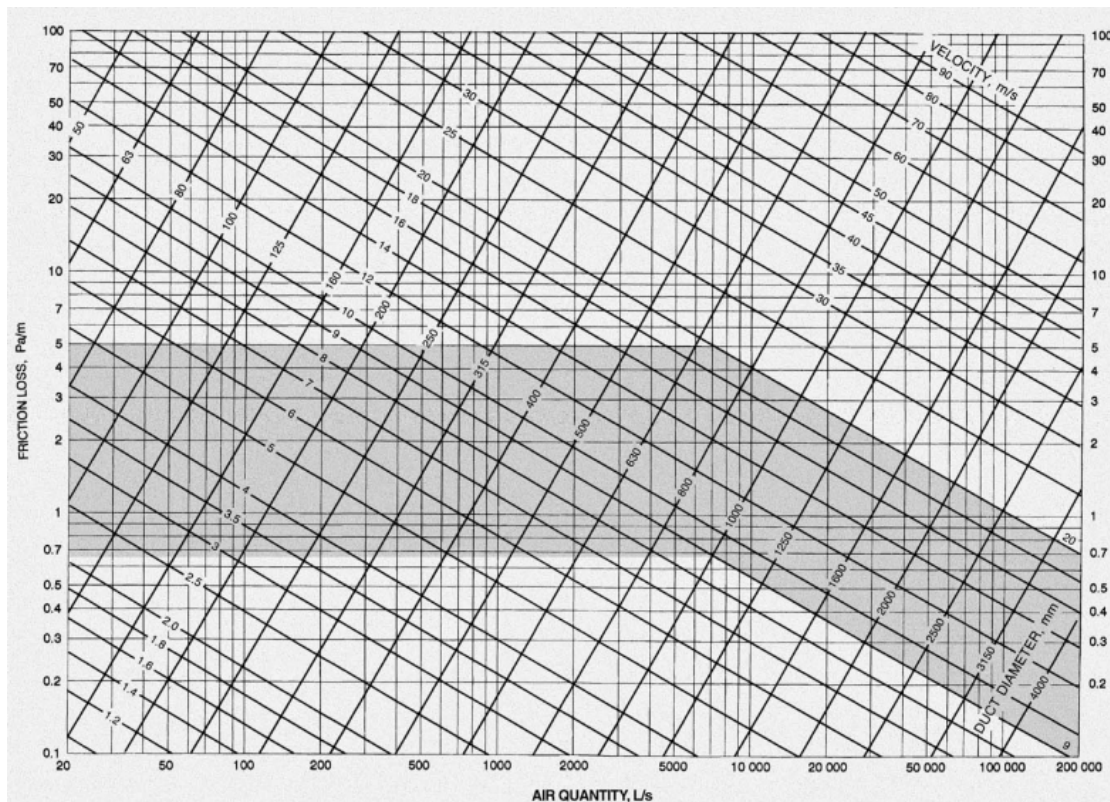


Figura E.18: Gráfico usado para a obtenção das perdas de carga lineares de uma determinada conduta. Retirado de [76]

Os coeficientes C_0 , usados para o cálculo das perdas de carga localizadas para as condutas utilizadas, foram obtidas usando os valores das figuras do anexo E.5.

As curvas características dos ventiladores utilizados no sistema tudo-ar, encontram-se representados nas figuras E.19 e E.26.

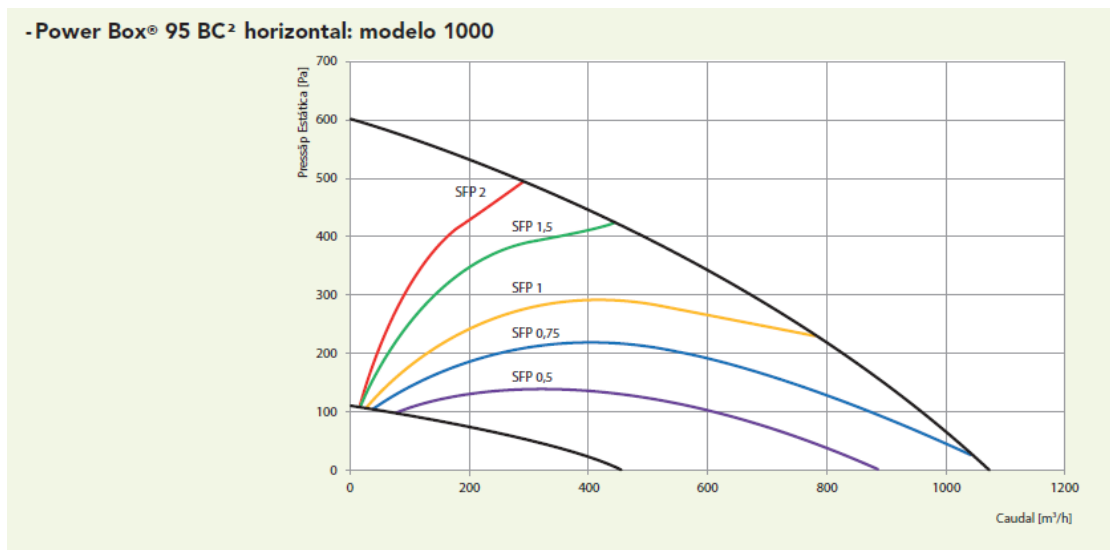


Figura E.19: Curva dos ventiladores utilizados para o modelo 1000 do recuperador de calor Power Box 95 BC, utilizado no Porto e em Faro. Retirado de [73]

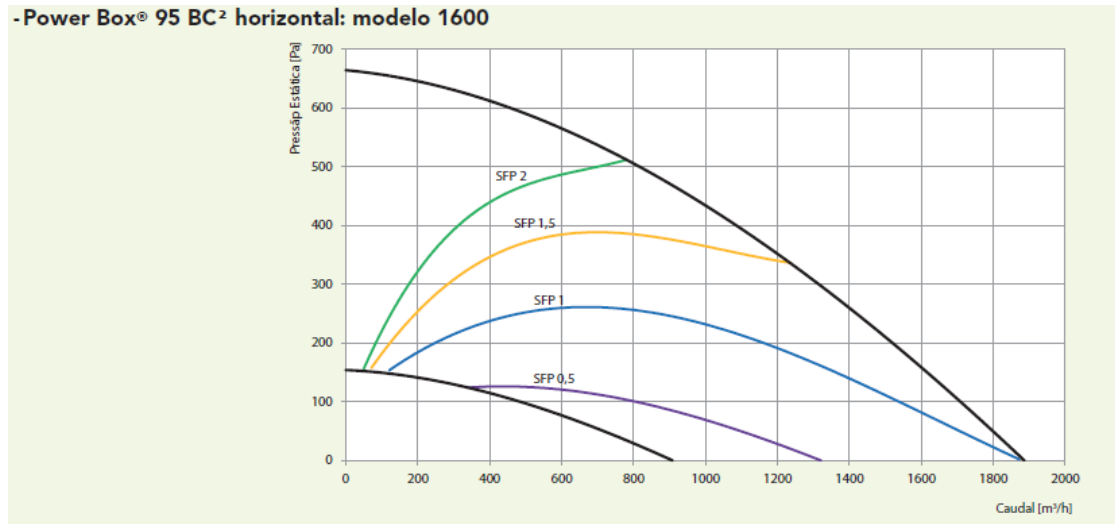


Figura E.20: Curva dos ventiladores utilizados para o modelo 1600 do recuperador de calor *Power Box 95 BC*, utilizado em Bragança. Retirado de [73]

A potência eléctrica do ventilador (P_V) é dada pela equação:

$$P_V = \frac{SFP \cdot \dot{V}}{3600} \quad [kW] \quad (E.16)$$

Em que o caudal (\dot{V}) encontra-se em m^3/h . Serão calculadas as perdas de carga para Bragança, pois é nesta localidade onde é insuflada a maior quantidade de ar, sendo assim à partida onde existem maiores perdas de carga.

Através da equação E.14, obtém-se para o caminho crítico (A-B-C-D-E-H-K), a seguinte perda de carga:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot [2 \cdot 0,88 + 0,71 \cdot 1,2 \cdot 5^2 + 2 \cdot 0,96 + 0,71 \cdot 1,2 \cdot 5^2 + 2 \cdot 2,96 + 0,71 \cdot 1,2 \cdot 5^2 + 2 \cdot 1,92 + 1,2 \cdot 1,2 \cdot 5,8^2 + 1,5 \cdot 1,35 + 0,31 \cdot 1,2 \cdot 5,8^2 + 0,85 \cdot 1,21 + 0,71 \cdot 1,2 \cdot 3^2 + 0,85 \cdot 0,5] + 90 = 74,72 Pa$$

Em que os 90 Pa adicionados, são as perdas de carga associadas aos difusores [73]. É expectável que as perdas de carga sejam ainda mais reduzidas para as restantes localidades, tendo sido feita apenas a verificação para a localidade crítica para confirmar que o ventilador escolhido é uma solução válida. O diâmetro da conduta é de 250 mm para o troço A-E, para o troço E-H o diâmetro é de 200 mm, para o troço H-K o diâmetro é de 160 mm. Para o cálculo dos diâmetros dos restantes troços teria que ser repetido o procedimento para cada um deles. A velocidade encontra-se sempre dentro dos valores recomendados [76].

A tabela I.08 [10], indica que a espessura mínima do isolamento que estas condutas devem ter é de 30 mm, se o sistema for usado para arrefecimento e, 20 mm se for usado para aquecimento, enquanto que a tabela I.09 [10], indica que o recuperador de calor deve ter uma espessura mínima de isolamento de 50 mm.

Assim, escolhendo o ventilador com um valor de *SFP* (*Specific Fan Power*), igual a 1 é possível insuflar a quantidade de ar necessária para a climatização do edifício. É no entanto importante referir, que existem perdas de carga que não foram contabilizadas

inerentes à passagem do ar pelo recuperador de calor, no entanto é expectável que o ventilador utilizado tenha a potência necessária para insuflar o ar no edifício.

É possível verificar pelo valor da tabela I.21 [11], que a utilização deste ventilador é aprovada pela ventilação em vigor, não existe no entanto qualquer restrição para a sua utilização em edifícios de habitação, portanto foram usados os valores para os edifícios de comércio e serviço como referência, aumentando o valor de SFP até 4, para insuflar um caudal de ar entre 1250 e 2000 m^3/h o limite imposto pela legislação, no entanto para diminuir os consumos o valor de SFP será 1, o ventilador utilizado encontra-se deste modo, dentro dos limites impostos pela legislação em vigor.

Para o dimensionamento da rede de tubagens foi usada a mesma equação, que a utilizada para as condutas, sendo o troço crítico o caminho até ao ventiloconvector no quarto 2.

As suas perdas de carga lineares, foram obtidas considerando que as tubagens são feitas de aço, utilizando o gráfico da figura E.21.

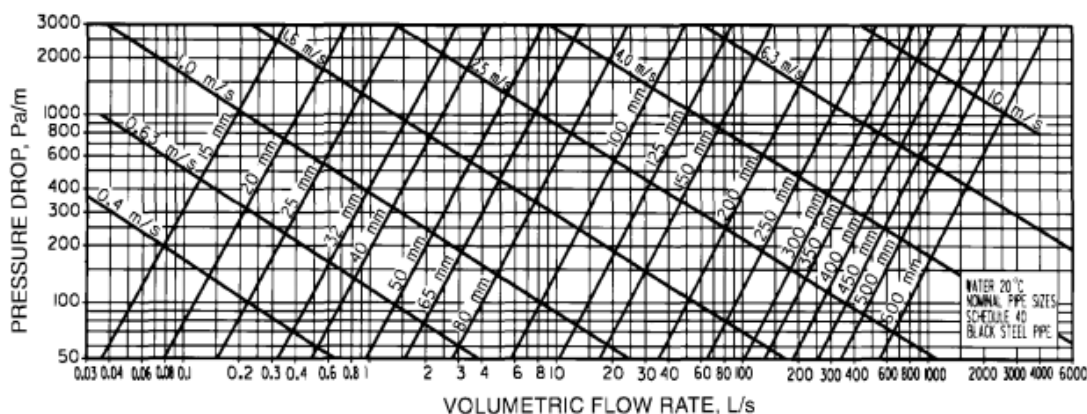


Figura E.21: Gráfico usado para a obtenção das perdas de carga lineares para uma tubagem de aço. Retirado de [77]

As perdas de carga localizadas foram obtidas através da *table 1* e da *table 2* do capítulo 22 do *handbook* da *ASHRAE* de 2009 [77].

O caminho crítico é A-O (representado por todas as letras da figura 2.28) e o cálculo das perdas de carga das tubagens será feito apenas para o edifício redimensionado localizado em Bragança, não sendo expectável uma vez mais, que existam grandes variações nos resultados finais, cabendo ao engenheiro dimensionar a rede de condutas para os diferentes caudais de utilização. Será utilizado como referência o valor 42,25 kg/h , pois este é o maior caudal que circula pelas redes de tubagem maiores (as dos ventiloconvectores), no entanto o caudal real será pelo menos 6 vezes maior que o utilizado na simulação, pois a variação típica da temperatura da água, à entrada e saída do ventiloconvector é de $5^{\circ}C$. Perante esta nova consideração, a efectividade do ventiloconvector será de $1/6$, os resultados obtidos através da simulação dinâmica do edifício continuam a ser válidos. No entanto, a caldeira irá consumir mais energia que o previsto (para o presente caso de estudo 6 vezes mais, pois é directamente proporcional ao caudal de água em circulação), como as *pellets* são utilizadas como combustível e esta é considerada uma fonte renovável, os resultados obtidos anteriormente relacionados com a classificação energética do edifício e a quantidade de energia renovável necessária

de gerar, para a obtenção de um balanço energético nulo, não sofrem qualquer alteração.

O valor do caudal obtido continua a ser muito baixo, tal é justificável, pois o ar em condições normais, entra no ventiloconvector a uma temperatura inferior a $20^{\circ}C$ (normalmente entra a $19^{\circ}C$) e sai a uma temperatura mais elevada que os $25^{\circ}C$ (normalmente sai a $27^{\circ}C$). Perante estas condições, foi obtido o seguinte valor para as perdas de cargas nas tubagens⁴:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot [2,5 \cdot 1000 \cdot 0,7^2 \cdot 2 + 850 \cdot (0,52 + 3,92 + 0,39) + 2,5 \cdot 1000 \cdot 0,7^2 + 400 \cdot 3,11 + 2,7 \cdot 1000 \cdot 0,45^2 + 150 \cdot (5,42 + 6,69 + 0,63) + 100 \cdot (3,15 + 0,77 + 0,47) + 2,5 \cdot 1000 \cdot 0,2^2 \cdot 2 + 2,5 \cdot 1000 \cdot 0,2^2 + 2,7 \cdot 1000 \cdot 0,3^2 + 150 \cdot (0,52 + 0,52) + 2000 \cdot (4,58 + 2,76 + 1,16) + 2,5 \cdot 1000 \cdot 1,2^2 \cdot 2] = 15997,6Pa$$

O diâmetro das tubagens é sempre de 10 *mm* e só no troço final (M-A) a velocidade da água estaria no intervalo de valores recomendados (1,2-3 *m/s* [77]) para a presente função. Caudais tão baixos poderão ser devidos ao arredondamento inerente ao facto de a análise do edifício ser feita em 2D, obtendo-se assim uma potência nominal de aquecimento e arrefecimento que não corresponde às reais. Se as condutas forem dimensionadas para circular o caudal de água necessário para a obtenção da potência nominal de aquecimento (1,53 *kW*) para o ventiloconvector, o valor do caudal usado para o dimensionamento das tubagens, será cerca de 4 vezes superior ao utilizado anteriormente⁵, obtendo-se as seguintes perdas de carga:

$$\Delta P = \frac{1}{2} \cdot [2,5 \cdot 1000 \cdot 1,6^2 \cdot 2 + 2500 \cdot (0,52 + 3,92 + 0,39) + 2,5 \cdot 1000 \cdot 1,6^2 + 1000 \cdot 3,11 + 2,7 \cdot 1000 \cdot 1,0^2 + 650 \cdot (5,42 + 6,69 + 0,63) + 2000 \cdot (3,15 + 0,77 + 0,47) + 2,5 \cdot 1000 \cdot 1,0^2 \cdot 2 + 2,5 \cdot 1000 \cdot 0,8^2 + 2,5 \cdot 1000 \cdot 0,8^2 + 650 \cdot (0,52 + 0,52 + 4,58 + 2,76 + 1,16) + 2,5 \cdot 1000 \cdot 1,2^2 \cdot 2] = 36268,5Pa$$

Concluí-se deste modo, que devem ser escolhidas bombas de circulação capazes de vencer perdas de carga de aproximadamente 3,70 *m.c.a.* As tubagens do caminho crítico têm um diâmetro interior de 20 *mm* até D, enquanto que as restantes tubagens desse caminho têm um diâmetro de 15 *mm* até H, entre H e K o diâmetro é de 10 *mm*, entre L e M o diâmetro é de 15 *mm*, entre D e L a velocidade não se encontra entre os 1,2 e 3 *m/s*, não sendo no entanto muito inferior aos 1,2 *m/s* recomendados. As tubagens M-O têm um diâmetro de 25 *mm* (incluindo a saída de O até A). Segundo a tabela I.07 [10], a espessura mínima de isolamento para as tubagens deverá ser 20 *mm*.

Deste modo, foi usado o catálogo da *BAXIROCA* [78] para a escolha uma bomba de circulação, foram escolhidas as bombas de alta eficiência *PC*, cujas características encontram-se representadas nas figuras E.22 e E.23.

⁴Nas tubagens de retorno devido à formação de condensados, para efeitos de dimensionamento considera-se que o caudal de retorno é o dobro do de ida

⁵Pois 1,53 *kW* é 1,04 vezes maior que a potência que a água transmite para o ar, dada por $42,25 \cdot 4,187 \cdot 5 \cdot 6/3600 = 1,47$, como existem 4 ventiloconvectores este valor é quadruplicado

Dimensões e Características Técnicas

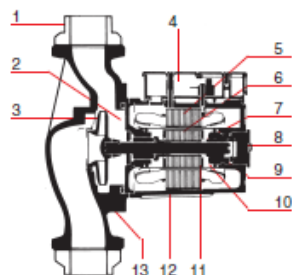
PC

Modelos	Cotas em mm						Ø G	Peso em Kg
	A	B	C	D	E	F		
PC-1025	180	132	93	230	98	77	1" - 1 1/4"	2,60
PC-1035	180	132	93	230	98	77	1 1/4"	2,60
PC-1045	180	189	110	230	150	90	1 1/4"	3,80
PC-1055	180	204	116	230	158	90	1 1/4"	4,20
PC-1065	180	204	116	230	158	90	1 1/4"	4,20

Modelos	Tensão monofásica V	Velocidade posic.	Intensidade nominal A	Potência absorvida max. W	Velocidade r.p.m.	Capacidade do condensador µF
PC-1035	230	1 2 3	0,22 0,32 0,42	50 72 95	1.150 1.650 2.250	3 x 400 V
PC-1045	230	1 2 3	0,60 0,80 1,00	115 165 205	1.350 1.950 2.420	5 x 400 V
PC-1055	230	1 2 3	0,55 0,75 0,85	110 150 180	1.710 2.340 2.660	5 x 400 V
PC-1065	230	1 2 3	0,65 1,00 1,20	130 200 245	1.100 1.480 2.160	5 x 400 V

Secção do Circulador PC

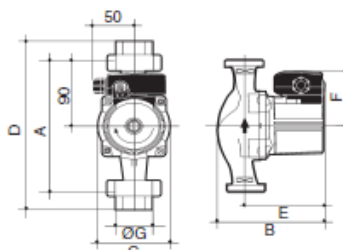
1. Flacor.
2. Tampa do motor.
3. Rodete.
4. Caixa de bornes com condensador e regulador de velocidade.
5. Estator.
6. Rotor.
7. Chumaceiras de grafite.
8. Tampão de controlo de rotação e purga.
9. Junta de estanqueidade de aço inoxidável.
10. Junta tórica da camisa de estanqueidade.
11. Camisa de estanqueidade de aço inoxidável.
12. Envoltivo do motor.
13. Corpo hidráulico.



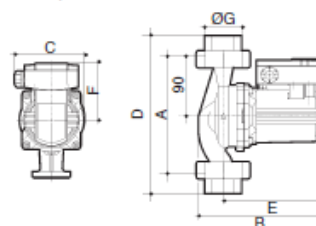
Forma de fornecimento

Circulador, juntas e rácores

PC-1025 e PC-1035



PC-1045, PC-1055 e PC-1065



União Rápida.

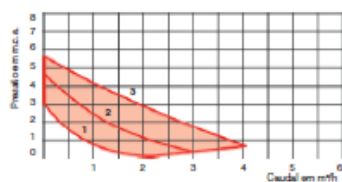


Ligação eléctrica rápida (só nos PC-1025 e PC-1035)

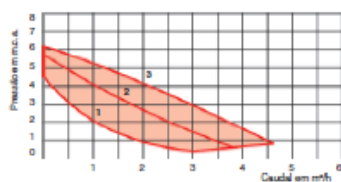
Figura E.22: Características das bombas de circulação PC, disponíveis no catálogo da BAXIROCA. Retirado de [78]

Curvas características

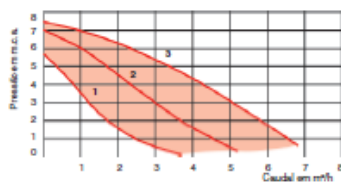
PC-1025



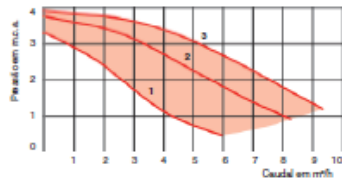
PC-1035



PC-1045



PC-1055



PC-1065

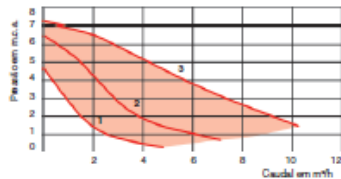


Figura E.23: Curvas características das bombas de circulação PC, disponíveis no catálogo da BAXIROCA. Retirado de [78]

Foi assim escolhida, a bomba *PC-1035* e considerado para ambos os sistemas, que os seus consumos médios rondam os 50 W (embora no sistema com ventilação mecânica, é provável que seja ligeiramente menor).

Para a solução com recuperador de calor, poderá ser necessário vencer perdas de carga menores, pois a rede de tubagens para o permutador de calor ar-água (que se encontra instalado no recuperador), será mais pequena, contudo será utilizada para a simulação a bomba escolhida para o sistema com ventiloconvector

E.5 Conduitas de Insuflação e Extracção

As condutas utilizadas para o dimensionamento do circuito e os respectivos coeficientes de perda de carga, encontram-se representados nas figuras E.24, E.25 e E.26.

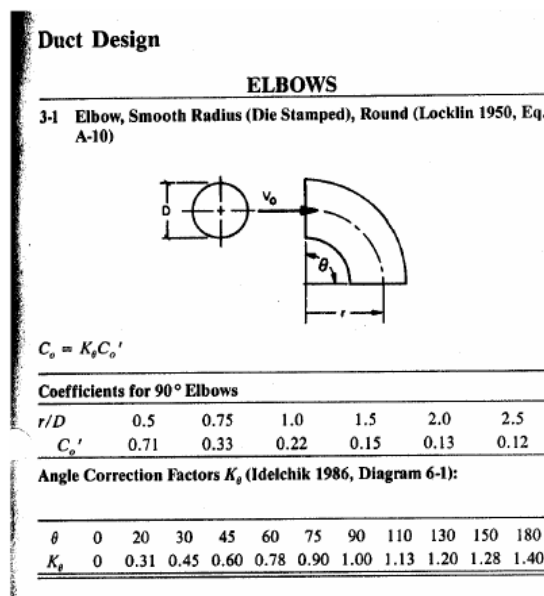


Figura E.24: Coeficientes de perdas de carga nas condutas circulares. Retirado de [76]

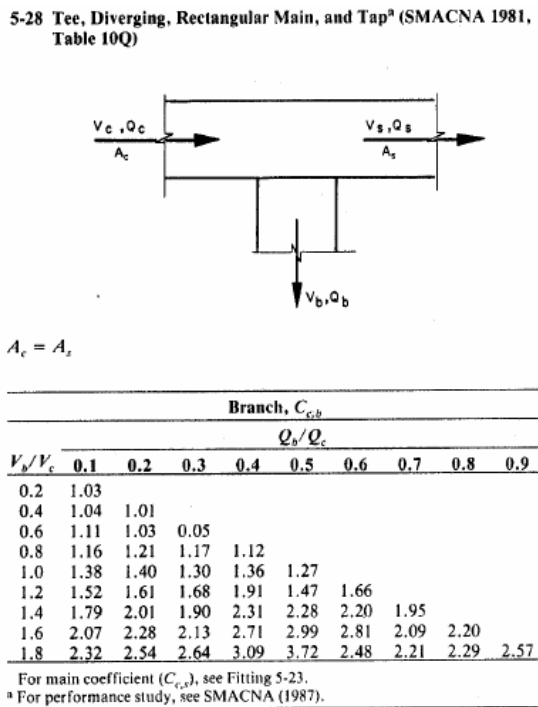
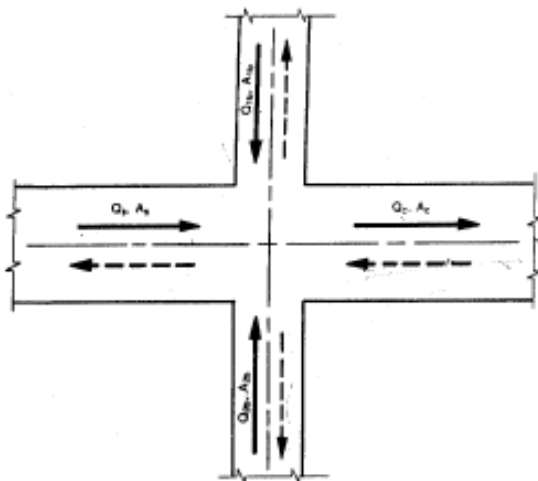


Figura E.25: Coeficientes de perdas de carga nas condutas em T. Retirado de [76]

5-35 Cross, 90°, Rectangular and Round (Idelchik 1986, Diagram 7-29)



Converging
 Diverging

$$A_{1b} = A_{2b}$$

$$A_1 = A_2$$

Converging Flow

Q_{1b}	Branch, $C_{c,y}$						
	Q_{1b}/Q_c or Q_{2b}/Q_c						
Q_{1b}	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6
$A_{1b}/A_c = 0.2$							
0.5	-.85	-.10	1.1	2.7	4.8	7.3	10
1.0	-.85	-.05	1.4	3.1	5.1	7.4	—
2.0	-.85	-.31	1.8	3.4	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 0.4$							
0.5	-.85	-.29	0.34	1.0	1.8	2.6	3.4
1.0	-.85	-.14	0.60	1.3	2.1	2.7	—
2.0	-.85	0.12	1.0	1.7	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 0.6$							
0.5	-.85	-.32	0.20	0.72	1.2	1.7	2.1
1.0	-.85	-.18	0.46	1.0	1.5	1.9	—
2.0	-.85	0.09	0.88	1.4	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 0.8$							
0.5	-.85	-.33	0.13	0.61	1.0	1.4	1.7
1.0	-.85	-.18	0.41	0.91	1.3	1.5	—
2.0	-.85	0.08	0.83	1.3	—	—	—
$A_{1b}/A_c = 1.0$							
0.5	-.85	-.34	0.13	0.56	0.93	1.3	1.5
1.0	-.85	-.19	0.39	0.86	1.2	1.4	—
2.0	-.85	0.07	0.81	1.2	—	—	—

Figura E.26: Coeficientes de perdas de carga nas condutas de 4 passagens. Retirado de [76]

E.6 Grelhas de Extração

No presente anexo, será explicado o dimensionamento grelhas de extracção, instaladas no edifício final, após o seu redimensionamento.

As grelhas de retorno, são dimensionadas em função do caudal de extracção em cada uma das zonas de extracção (cozinha e casa-de-banho), não devendo a velocidade do ar ultrapassar os 2,5 [m/s]. O valor do caudal que deve ser extraído é de 120 m³/h e 90 m³/h, na cozinha e na casa-de-banho respectivamente, se a solução adoptada utilizar o ventiloconvector, a tabela E.13, mostra o número de grelhas de extracção a instalar em nas zonas de extracção assim, como as suas dimensões.

Tabela E.13: Dimensões e parâmetros das grelhas a instalar nos locais nas zonas de extracção. Retirado [79]

Grelhas instalada do tipo <i>AWT</i> , instaladas no edifício para a solução com ventiloconvector					
Compartimento	Número de Grelhas	Caudal por grelha [m ³ /h]	Tamanho L/H	A_{ef} [m ²]	v_{ar} [m/s]
Casa-de-Banho	1	90	325/75	0,005	2,63
Cozinha	1	120	425/75	0,008	2,19

Os resultados foram obtidos através do uso da seguinte equação, em que o valor do caudal de extracção foi o obtido na secção 2.9.

$$\dot{V}_{extr.} = v_{ar} \cdot A_{ef} \cdot f_{ef} \cdot 3600 \quad [m^3/h] \quad (E.17)$$

Sendo

- $\dot{V}_{extr.}$: Caudal de ar extraído [m³/h];
- v_{ar} : Velocidade do ar que circula pela grelha de extracção [m/s];
- A_{ef} : Área da grelha de extracção [m²];
- f_{ef} : Factor de correcção, para a grelha utilizada (que é do tipo *AWT*), o seu valor é 1,9 [-];

Este dimensionamento é válido para a solução com ventiloconvector, pois provou ser mais favorável em termos económicos. O facto de existir apenas ventilação natural, significa que as grelhas terão que garantir a extracção do valor mínimo de ar imposto pela legislação para as respectivas zonas.

Para a solução com recuperador de calor deverá ser instalada uma grelha do mesmo tipo em cada zona de extracção (assume-se que o caudal é igualmente repartido). Para Bragança, utilizando as equações E.3 e 2.9, obtém-se que as grelhas devem ter como dimensões 825x125 mm, obtendo-se uma velocidade de 2,19 m/s para o ar de extracção. Para as restantes localidades, o método de cálculo, é uma vez mais idêntico, no entanto as grelhas terão dimensões mais reduzidas, o que fará com que a solução final seja mais económica. Foi adoptada uma solução em que é apenas instalada uma grelha, pois é a solução mais comum nos edifícios de habitação.

Anexo F

Dimensionamento da Caldeira usada para o Aquecimento das Águas Quentes Sanitárias

As necessidades de AQS serão supridas por um sistema que consiste num reservatório, que se encontra ligado aos coletores solares térmicos e à caldeira auxiliar que funciona como um sistema de apoio à produção de água quente sanitária.

O depósito de AQS deve ter um volume igual às necessidades diárias de água quente sanitária ($V : dia.$), de modo a maximizar a capacidade de armazenamento da energia térmica.

$$V_{dia.} = V_{ref.} + V_{refei.} \quad [l] \quad (F.1)$$

$$V_{ref.} = 40 \cdot n_{pes.} \quad [l] \quad (F.2)$$

O $V_{ref.}$ é apresentado no REH [10] e consiste no consumo médio diário de referência (40 $l/pessoa$) multiplicado pelo número de pessoas.

A tabela do catálogo da baxiroca [80], recomenda no caso de habitarem 4 pessoas numa habitação um depósito de 200 l , logo este será o depósito escolhido. Assim, se for gasto 160 l para 4 pessoas tomarem banho, numa refeição de 4 pessoas serão gastos 20 l , assumindo que existem duas destas refeições para o dia crítico (neste caso Domingo, pois é o dia em que todos os habitantes se encontram em casa).

A determinação da potência necessária, para o aquecimento das águas quentes sanitárias, é dada pela equação F.3.

$$\dot{Q}_{Cald.}^{AQS} = \frac{\rho_{ag.} \cdot V}{\Delta t_{aq.}} \cdot c_{p,ag.} \cdot \Delta T \quad [kW] \quad (F.3)$$

Em que:

- $\dot{Q}_{Cald.}^{AQS}$: Potência da caldeira utilizada para AQS [kW];
- $\rho_{ag.}$: Massa específica da água [kg/m^3];

- $\Delta t_{aq.}$: Período de tempo existente para reaquecer a água do reservatório [s];
- $c_{p,ag.}$: Poder calorífico da água [$kJ/kg \cdot K$];
- ΔT : Diferença de temperatura da água, à saída e à entrada da caldeira [$^{\circ}C$];

O dimensionamento da caldeira é feito para a situação crítica de funcionamento, sendo a sua potência escolhida de modo a que consiga na hora crítica aquecer o depósito inteiro sem depender do colector solar, ou seja considerando que os coletores solares térmicos não contribuem para o aquecimento do reservatório de AQS e que o mesmo se encontra vazio.

Através da consulta do perfil diário de consumo de água quente sanitária (presente no anexo B.3), é possível identificar o período crítico como sendo das 9 horas até às 12 horas de Domingo, em que o consumo anterior é de 160 l e onde existem apenas 3 horas para reaquecer a água existente no reservatório (o período mais curto). Assim, a caldeira deve ser capaz de suprir esta necessidade, aquecendo o termoacumulador de 200 l, até $60^{\circ}C$ durante as 3 horas anteriores ao período de maior consumo, onde não se perspetiva qualquer consumo.

A variação de temperatura (ΔT) considerada será de $45^{\circ}C$, uma vez que o REH [10] considera para efeitos de dimensionamento que a água da rede chega ao sistema, a uma temperatura de $15^{\circ}C$ e sai a $60^{\circ}C$.

A potência que a caldeira a instalar deve ter, é dada pôr:

$$\dot{Q}_{Cald.}^{AQS} = 3,5 \quad [kW]$$

A caldeira deve ter uma potência de aproximadamente 3,5 kW, no entanto, foi escolhida uma caldeira a *pellets* com uma potência máxima de 23,9 kW e mínima de 6,9 kW (as suas características encontram-se representadas no anexo G.1. Outra razão para a escolha de uma caldeira com esta potência, vem de uma recomendação do Decreto-Lei n.º 118/2013 [81] (no Artigo 9.º, recomendação a)), em que se uma caldeira é usada como suporte ao sistema de climatização, para além do sistema de AQS, deve ter uma potência superior a 20 kW.

Verifica-se também, que mesmo utilizando a sua potência mínima, a caldeira consegue suportar todas as necessidades de aquecimento.

Anexo G

Colectores Solares

G.1 Colectores Solares Térmicos Testados

As propriedades dos colectores solares analisados, encontram-se representadas nas figuras G.1 e G.2.

Colector solar plano

SOL 250 E SOL 250 H

Colectores solares planos para instalações de captação solar térmica. Sol 250 montagem vertical, Sol 250 H montagem horizontal.

Características principais

- Placa absorvente de alumínio com tratamento superficial altamente selectivo, unida ao circuito hidráulico do tipo serpentina de tubos de cobre através de soldadura laser.
- Cobertura de vidro texturizado de 3,2 mm, temperado.
- Isolamento de 40 mm de fibra de vidro na parte posterior e 50 mm nas laterais.
- Placa posterior em alumínio de 1 mm.
- Carcaça de alumínio pintada de cor cinza RAL 7016.
- Quatro ligações para a união entre colectores por meio de acessórios de fácil montagem.
- GARANTIA de 10 ANOS.

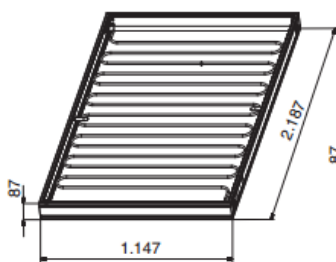
Forma de fornecimento

- Num volume:
- Colector solar SOL 250
Código: 720364401
 - Colector solar SOL 250 H
Código: 720364501

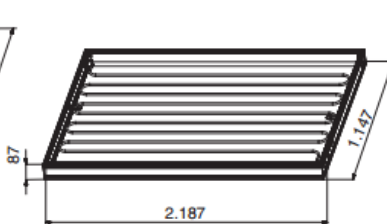


Dimensões e Características Técnicas

SOL 250



SOL 250 H

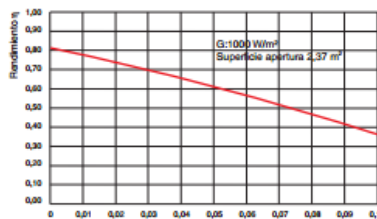


	SOL 250	SOL 250 H
Superfície total	2,51 m ²	2,51 m ²
Superfície de abertura	2,37 m ²	2,38 m ²
Capacidade	2,9 litros	2,7 litros
Peso em vazio	47 kg	47,3 kg
Pressão máxima de trabalho	10 bar	10 bar
Temperatura de estancamento	198,1 °C	221 °C

Figura G.1: Propriedades de um colector solar térmico plano SOL 250 e SOL 250 H da BAXIROCA. Retirado [78]

Curva de rendimento

SOL 250



$$T^* = \frac{T_m - T_a}{G} \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right)$$

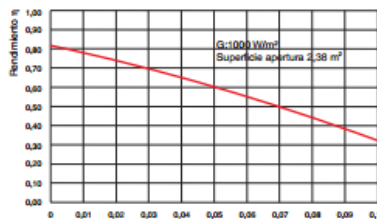
Equação característica do coletor
 $\eta = 0,814 - 3,639 T^* - 0,0089 G T^{*2}$
 T_m - Temperatura média do coletor.
 T_a - Temperatura ambiente.
 G - Irradiação solar
 Ensaio realizado por CENER

Detalhe da secção do Coletor



1. Vidro temperado.
2. Carcaça de alumínio pintado.
3. Placa absorvente com recobrimento selectivo.
4. Isolamento de 40 mm de fibra de vidro na parte posterior.
5. Circuito hidráulico do tipo serpentina.

SOL 250 H



$$T^* = \frac{T_m - T_a}{G} \left(\frac{^\circ C m^2}{W} \right)$$

Equação característica do coletor
 $\eta = 0,812 - 3,641 T^* - 0,01286 G T^{*2}$
 T_m - Temperatura média do coletor.
 T_a - Temperatura ambiente.
 G - Irradiação solar
 Ensaio realizado por CENER

Figura G.2: Curvas de rendimento de um coletor solar térmico plano SOL 250 e SOL 250 H e detalhes da sua secção. Retirado de [78]

O rendimento de um coletor solar térmico é geralmente obtido através da fórmula:

$$\eta_{col.} = F_R \cdot (\alpha\tau) - F_R U_L \cdot \frac{(T_{e,col.} - T_{amb.})}{G} \quad (G.1)$$

Sendo que:

- $\eta_{col.}$: Rendimento do coletor solar térmico [-];
- $F_R \cdot (\alpha\tau)$: Rendimento óptico do coletor solar [-];
- $F_R \cdot U_L$: Factor de perdas térmicas do coletor solar [$W/m^2 \cdot K$];
- $T_{e,col.}$: Temperatura à entrada do coletor solar [$^\circ C$];
- $T_{amb.}$: Temperatura ambiente [$^\circ C$];
- G : Radiação incidente na superfície do coletor [W/m^2];

No entanto, a expressão utilizado pelo catálogo é a seguinte:

$$\eta = \eta_0 - k_1 \cdot \frac{\Delta T}{G} - k_2 \cdot \frac{\Delta T^2}{G} \quad (G.2)$$

Em que $\Delta T = T_m - T_{amb.}$ [$^\circ C$], onde $T_m = \frac{T_{in} + T_{out}}{2}$ [$^\circ C$].

Sendo:

- η_0 : Representa a eficiência do coletor para um determinado valor de radiação, sem perdas térmicas [-];
- k_1 : Coeficiente de perdas térmicas linear [$W/m^2 \cdot K$];

- k_2 : Coeficiente de perdas térmicas quadrático [$W/m^2 \cdot K^2$];
- ΔT : Diferença entre a temperatura média do fluido e a temperatura ambiente [$^{\circ}C$];
- T_m : Temperatura média do fluido que circula no colector [$^{\circ}C$];
- T_{in} : Temperatura do fluido à entrada do colector [$^{\circ}C$];
- T_{out} : Temperatura do fluido à saída do colector [$^{\circ}C$];

O seu preço e o das suas ligações, encontra-se representado na figura G.3.

FloatBarrier

ENERGIA SOLAR TÉRMICA

15. Energia Solar Térmica

15.1. Colectores solares planos

15.1.2. SOL 250		Euros €
Referência	Modelo	
720364401	Coletor solar plano SOL 250	727,00
720364501	Coletor solar plano SOL 250 H (Horizontal)	758,00
Acessórios de ligação SOL 250		
7212785	Jogo de ligações CH-SOL para colectores solares SOL 200/250	110,00
720239901	Jogo de ligações inter-colectores ICS-SOL para colectores solares SOL 200/250	40,00
Suportes de fixação colectores SOL 250		
7212813	Suporte de cobertura plana para dois colectores planos SCP2-SOL 250	317,00
7212819	Suplemento suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-SOL 250 (*)	129,00
7212809	Suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-I-SOL 250	204,00
7212833	Suporte de telhado para dois colectores planos ST2-SOL 200/250	210,00
7212848	Suplemento suporte de telhado para um coletor plano ST1-SOL 200/250 (*)	107,00
7212822	Suporte de telhado para um coletor plano ST1-I-SOL 200/250	118,00
720483901	Kit de fixação de suporte para instalação por debaixo de telha (**)	65,00
Suportes de fixação colectores SOL 250 H		
7212814	Suporte de cobertura plana para dois colectores planos SCP2-SOL 250 H	322,00
7212820	Suplemento suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-SOL 250 H (*)	131,00
7212810	Suporte de cobertura plana para um coletor plano SCP1-I-SOL 250 H	205,00
7212834	Suporte de telhado para dois colectores planos ST2-SOL 250 H	289,00
7212850	Suplemento suporte de telhado para um coletor plano ST1-SOL 250 H (*)	144,00
7212823	Suporte de telhado para um coletor plano ST1-I-SOL 250 H	156,00
720483901	Kit de fixação de suporte para instalação por debaixo de telha (**)	65,00

(*) Para filas de mais de dois colectores dever-se-ão montar suplementos a partir do terceiro coletor. Por exemplo, numa fila de 5 colectores dever-se-á montar um suporte para dois colectores e três suplementos.
 (**) Para suportes de dois colectores horizontais, são necessários 4 kits. Para suportes de um coletor ou suplementos são necessários 2 kits. Para suportes de dois colectores verticais, são necessários 3 kits.

Figura G.3: Preço dos colectores solares e das suas ligações. Retirado de [82]

É importante de referir, que as ligações para montagem no solo, são mais baratos, que as ligações quando instaladas no tecto.

G.2 Colectores Solares Fotovoltaicos

Os colectores solares fotovoltaicos, têm como função a conversão da energia solar em energia eléctrica, que pode ser usada para consumo próprio ou para exportar para a rede eléctrica.

As células fotovoltaicas individualmente produzem uma quantidade de energia eléctrica muito reduzida [83], por este motivo elas são comercializadas em módulos de várias células, de forma a aumentar a quantidade de energia eléctrica produzida e tornando o seu investimento mais rentável.

Estes módulos são interligados de modo a aumentar a potência máxima do painel fotovoltaico, estas ligações podem ser em série, em paralelo, ou mista, estando nesta alguns colectores ligados entre si por uma ligação em série e outros por uma ligação em paralelo.

A ligação dos colectores em série faz com que a tensão aumente, não modificando o valor da corrente, como é possível de verificar na figura G.4.

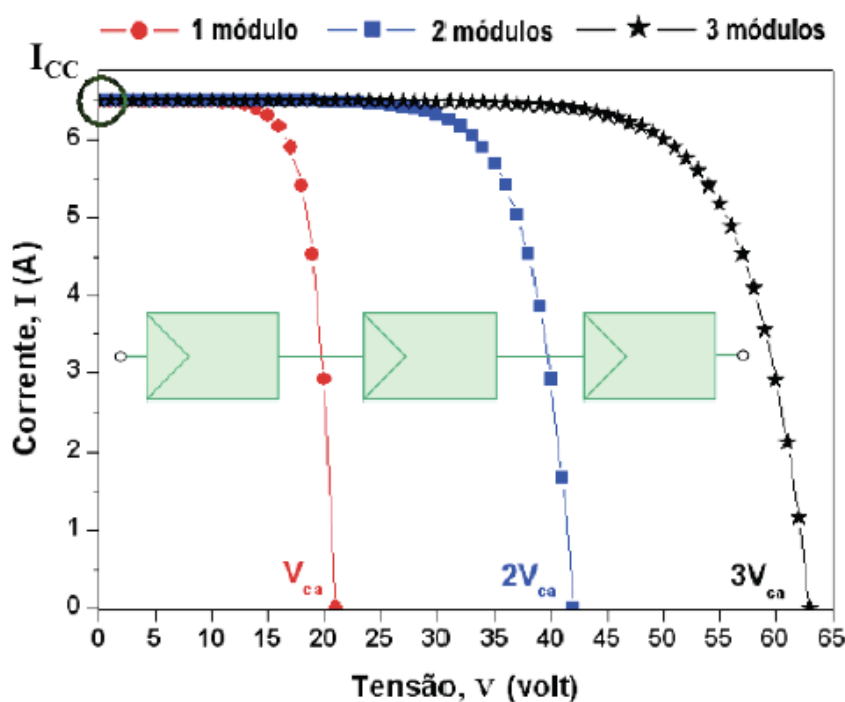


Figura G.4: Comportamento dos colectores solares fotovoltaicos em série. Retirado de [84]

Enquanto que a ligação em paralelo, aumenta o valor da corrente sem modificar o valor da tensão, como se pode ver na figura G.5.

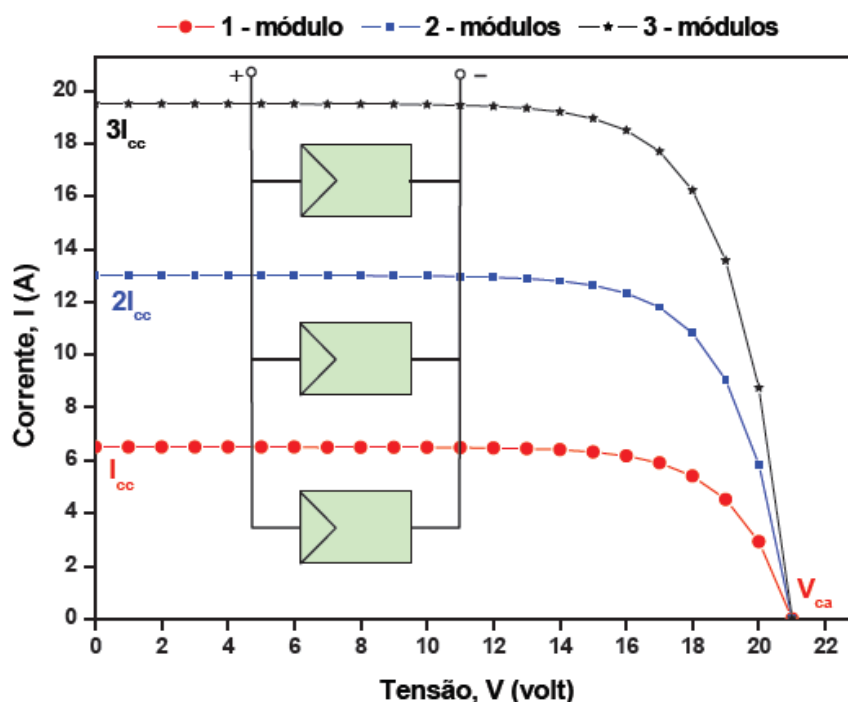


Figura G.5: Comportamento dos colectores solares fotovoltaicos em paralelo. Retirado de [84]

Os componentes que constituem o módulo fotovoltaico, encontram-se representadas esquematicamente na figura G.6.

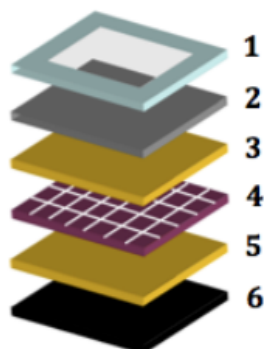


Figura G.6: Composição de um módulo fotovoltaico. Retirado de [84]

Estas podem ser descritas como:

- 1 - Caixa - Confere rigidez mecânica ao módulo, o seu material consituente é alumínio anodizado;
- 2 - Vidro - O vidro tem como principal função permitir a entrada da radiação proveniente do Sol para as células, protegendo também estas por exemplo, do granizo e da neve, permitindo a sua conservação;
- 3 e 5 - Material de Encapsulamento - O material usado para o encapsulamento é denominado *EVA*, sendo este uma película translúcida que não reflecte a radiação solar, este material também garante o isolamento das células fotovoltaicas;

- 4 - Células Fotovoltaicas - Elemento cuja principal função é a conversão da radiação solar em energia eléctrica;
- 6 - Isolante Eléctrico - Protege o módulo de elementos exteriores;

A figura G.7, ilustra o painel fotovoltaico, constituído por vários módulos.

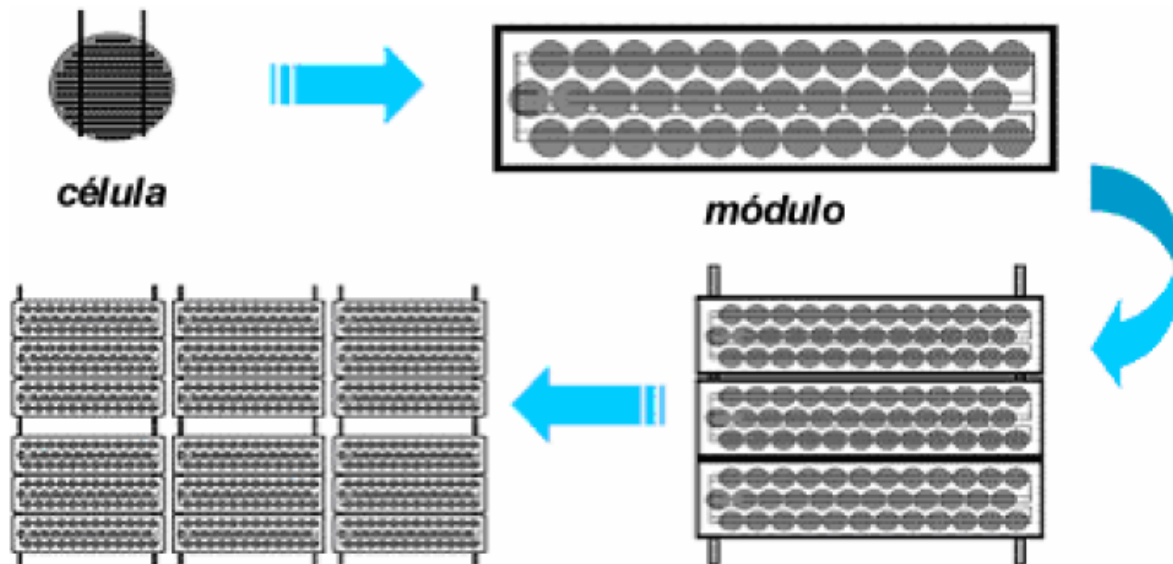


Figura G.7: Obtenção do coletor solar fotovoltaico. Retirado de [45]

Uma característica fundamental dos colectores fotovoltaicos é a temperatura nominal [83] de funcionamento *Nominal Operating Cell Temperature*, (*NOCT*), sendo esta a temperatura disponibilizada em quase todos os catálogos.

O *NOCT* é a temperatura das células do módulo, obtidas para condições muito particulares sendo estas:

- $T_{amb.} = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$;
- $v_{ar} = 1 \text{ m/s}$;
- $G = 800 \text{ W/m}^2$;

Através do valor desta temperatura, usando a equação G.3, é possível prever a temperatura do módulo perante as mais variadas condições ambientais.

$$T = T_{amb.} + \frac{(NOCT - 20)}{800} \cdot G \quad [^\circ\text{C}] \quad (\text{G.3})$$

Se a velocidade do for superior a 1 m/s , a temperatura do módulo será inferior à prevista. Deste modo, através da equação G.3 é possível estimar a temperatura nominal do coletor, para um determinado intervalo de tempo [85].

G.3 Colectores Solares Fotovoltaicos Testados

Os colectores solares fotovoltaicos utilizados, têm as suas propriedades representadas nas figuras G.8, G.9, G.10, G.11, G.12 e G.13.



Figura G.8: Principais vantagens de um painel *E20-327* em relação a um painel convencional. Retirado de [46]

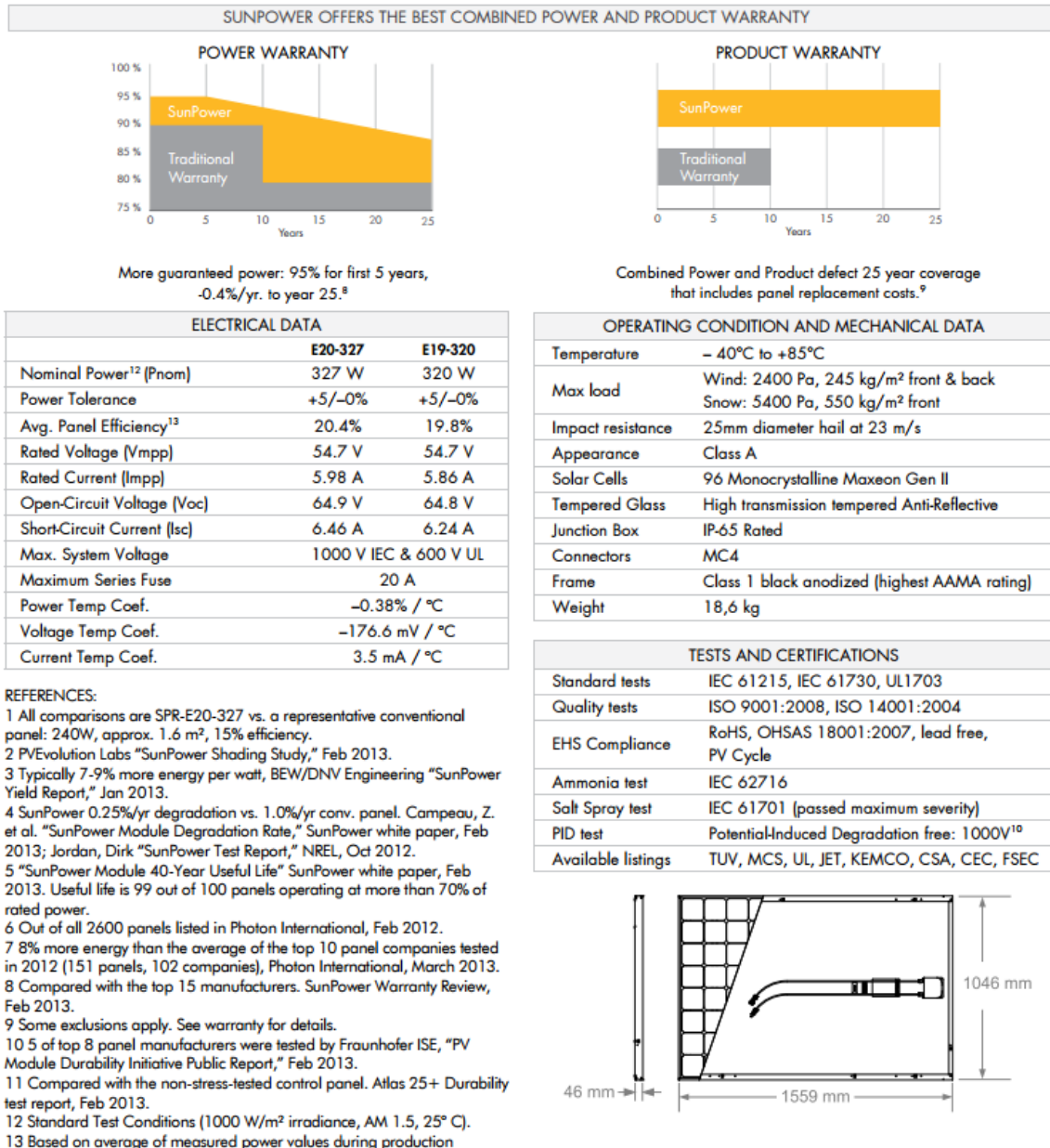
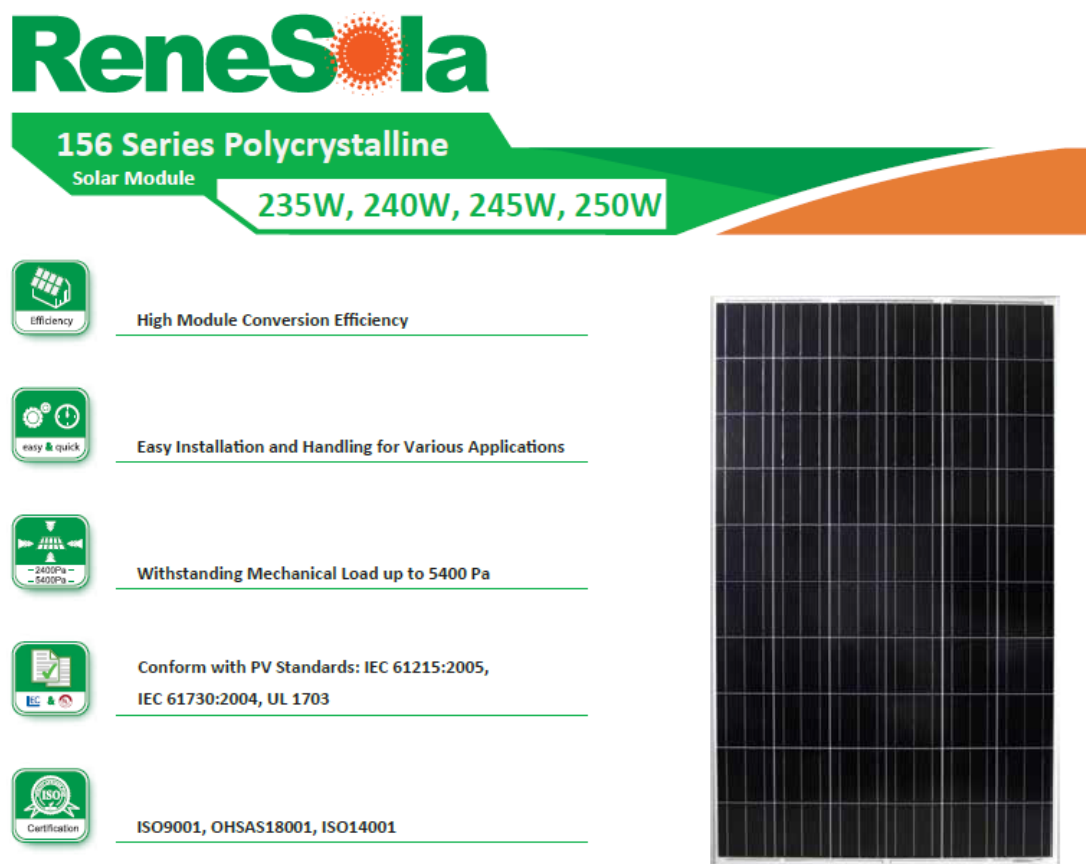







Figura G.9: Especificações técnicas de um painel *E20-327* e diferenças entre o período de garantia em relação a um painel convencional. Retirado de [46]



ReneSola

156 Series Polycrystalline
Solar Module

235W, 240W, 245W, 250W

-  **High Module Conversion Efficiency**
-  **Easy Installation and Handling for Various Applications**
-  **Withstanding Mechanical Load up to 5400 Pa**
-  **Conform with PV Standards: IEC 61215:2005, IEC 61730:2004, UL 1703**
-  **ISO9001, OHSAS18001, ISO14001**




Figura G.10: Descrição das vantagens dos colectores da série 156 da *Renesola*. Retirado de [86]

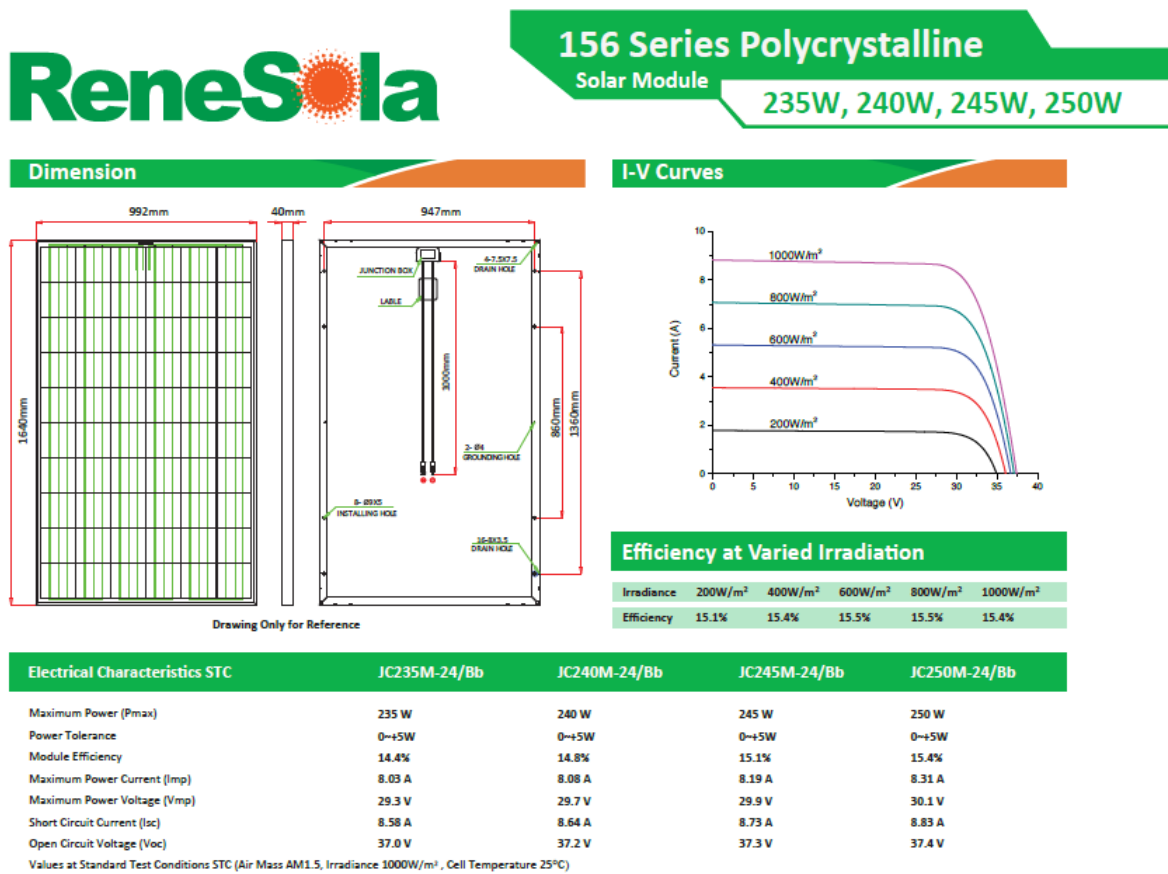


Figura G.11: Curvas de rendimento, dimensões e características dos colectores série 156 da *Renesola*. Retirado de [86]

Electrical Characteristics NOCT	JC235M-24/Bb	JC240M-24/Bb	JC245M-24/Bb	JC250M-24/Bb
Maximum Power (Pmax)	174 W	178 W	182 W	185 W
Maximum Power Current (Imp)	6.42 A	6.51 A	6.53 A	6.57 A
Maximum Power Voltage (Vmp)	27.1 V	27.4 V	27.9 V	28.2 V
Short Circuit Current (Isc)	6.92 A	6.97 A	7.04 A	7.12 A
Open Circuit Voltage (Voc)	34.4 V	34.7 V	35.0 V	35.0 V

Values at: Normal Operating Cell Temperature, Irradiance of 800 W/m², spectrum AM 1.5, ambient temperature 20°C, wind speed 1 m/s

Mechanical Characteristics		Characteristics	
Cell Type	156 x156 mm Polycrystalline, 60 (6x10) pcs in series	Temperature Coefficient of Voc	-0.30%/°C
Glass	High Transmission, Low Iron, Tempered Glass	Temperature Coefficient of Isc	0.04%/°C
Frame	Anodized Aluminum Alloy	Temperature Coefficient of Pmax	-0.40%/°C
Junction Box	IP65 rated, with bypass diodes	Nominal Operating Cell Temperature (NOCT)	45°C ± 2°C
Dimension	*1640 x 992 x 40 mm		
Cable Length	1000 mm		
Weight	19 Kg		
Installation Hole Location	See Drawing Above		

Packing Information			Maximum Ratings	
Container	20' GP	40' GP	Operating Temperature	-40°C ~ + 85°C
Pallets per Container	12	28	Maximum System Voltage	1000VDC (EU) / 600VDC (US)
Pieces per Container	300	700	Maximum Series Fuse Rating	20A (EU) / 15A (US)

Rev No: IC7105/2012.03 *Contact Renesola for tolerance specification
CAUTION: All rights reserved. Design and specification are subject to change without prior notice.

Figura G.12: Características dos colectores da série 156 da *Renesola*. Retirado de [86]

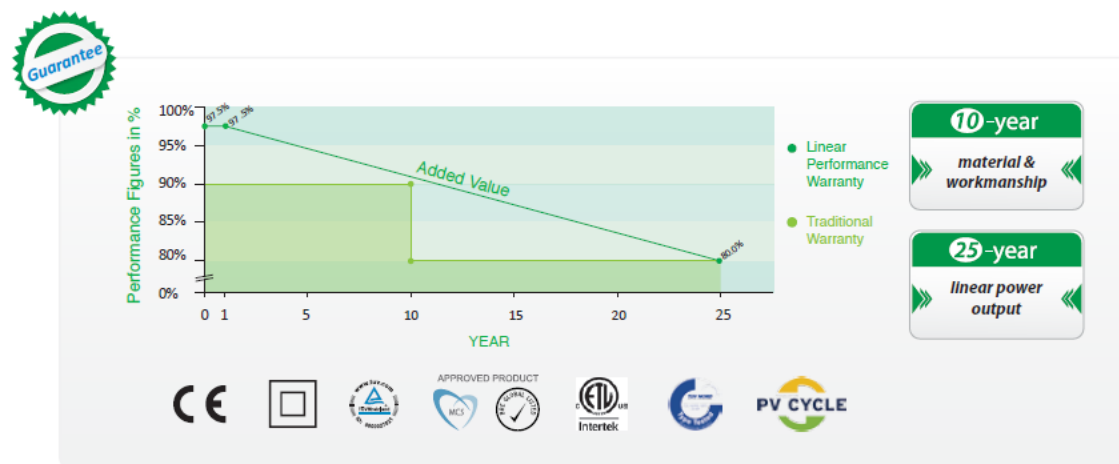


Figura G.13: Garantia dos colectores da série 156 da *Renesola*. Retirado de [86]

O colector da *Renesola* analisado na presente dissertação, foi o *JC235M-24/Bb*.

Anexo H

Equipamentos Utilizados

H.1 Caldeira Auxiliar

A caldeira escolhida encontra-se representada nas figuras H.1 e H.2 e na tabela H.1.



CALDEIRA A PELLETS AUTOMÁTICA

Caldeira a pellets automática

A caldeira Solius AutoPellets **RESPONDE** aos mais altos critérios de exigência na utilização da biomassa pela sua elevada eficiência energética e pela máxima facilidade e conforto de utilização, limpeza automática e cómoda extracção de cinzas para um pequeno recipiente exterior. O carregamento manual do silo lateral é efectuado pela respectiva tampa superior.

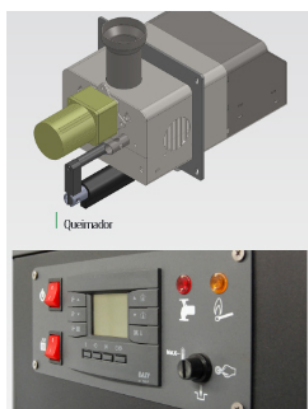
Concepção automática (Full Auto)

- Alimentação automática do queimador.
- Acendimento automático do queimador.
- Modulação automática da relação ar-combustível (modulação do alimentador e ventilador).
- Limpeza automática do permutador.
- Limpeza automática do queimador.
- Extracção automática de cinzas da caldeira (opcional).

Máxima simplicidade e comodidade

As prioridades na concepção desta caldeira foram o conforto de utilização, com funcionamento automatizado, e simplicidade de regulação, contando apenas com botão ligado/desligado e visor digital básico de utilização muito intuitiva

Figura H.1: Descrição da caldeira. Retirado de [87]



Sistema de controlo da pressão da câmara (tiragem)

Avançado sistema de combustão patenteado

O espectacular desenho patenteado da câmara de combustão permite atingir um rendimento superior a 92%.

Mínimo consumo de combustível

O sofisticado controlo por microprocessador monitoriza permanentemente as leituras de vários sensores, proporcionando uma combustão otimizada com 9 etapas de funcionamento do queimador.

Construção muito robusta

Queimador em aço inox resistente a ácido e a altas temperaturas.

Extracção automática de cinzas

Todas as cinzas e resíduos da combustão depositam-se na parte inferior da caldeira e são periodicamente extraídos p/um pequeno recipiente com pega situado no exterior da caldeira.

Resistência eléctrica ultra-rápida e super robusta para máxima rapidez no arranque e prolongada vida útil

Figura H.2: Descrição e Vantagens da caldeira. Retirado de [87]

Tabela H.1: Características da caldeira. Retirado de [87]

Dados técnicos		24	40	60
Polência nominal	(kW)	23,9	40	60
Polência mínima	(kW)	6,9	12	18
Rendimento na polência nominal	(%)	93,2	93,4	92,8
Rendimento na polência mínima	(%)	97,2	97,1	96,9
Consumo de pellets*	(kg/h)	1,4 - 5,2	2,5 - 8,7	3,8 - 13,2
Pressão máxima caldeira	(bar)	3	3	3
Temperatura máxima caldeira	(°C)	95	95	95
Temperatura máxima funcionamento	(°C)	80	80	80
Temperatura mínima retorno da água	(°C)	55	55	55
Temperatura fumos polência nominal	(°C)	120	120	130
Temperatura fumos polência mínima	(°C)	55	70	70
Tiragem mínima chaminé	(mbar)	0,1	0,1	0,1
Diâmetro saída fumos (int./ext.)	(mm)	125/130	146/150	146/150
Alimentação	(V)	230	230	230
Volume água caldeira	(l)	91	116	140
Ligações hidráulicas impulsão		1" M	1 1/2" F	1 1/2" F
Ligações hidráulicas retorno		1" M	1 1/4" M	1 1/4" M
Peso caldeira vazia	(kg)	315	404	444

*P.C.L. - 4,9 kWh/kg (Pellet certificado EN Plus A1)

H.2 Reservatório

Foi escolhido o reservatório de 200 l representado na figura H.2.

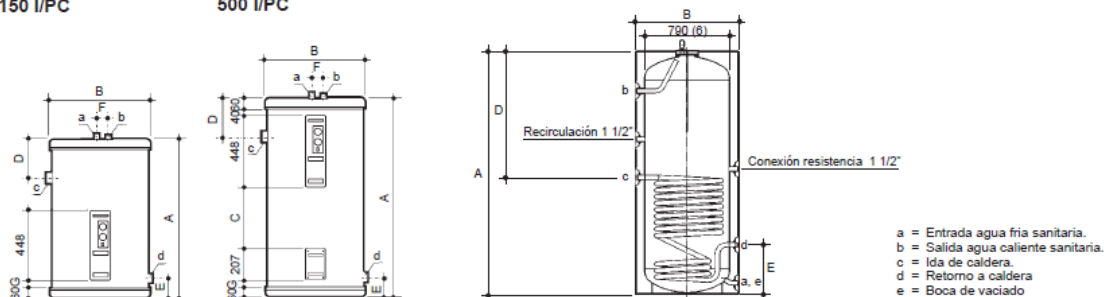
Tabela H.2: Reservatório utilizado para AQS. Retirado de [78]

Dimensiones y Características Técnicas

60 l, 100 l, 150 l,
60 l/PC, 100 l/PC y
150 l/PC

200 l, 300 l, 500 l,
200 l/PC, 300 l/PC y
500 l/PC

800 l, 1000 l
800 l/PC y 1000 l/PC



Modelos	Cotas mm							Conexiones				Capacidad		Superficie de intercambio m ²	Potencia de intercambio kcal/h (4)	Producción en 10 minutos litros (5)	Peso aprox. kg
	A	B	C	D	E	F	G	a	b	c	d	litros	litros				
60l 60 l/PC (1)	749	480	-	210	145	94	31	3/4"	3/4"	1"	1"	22	55	0,6	13.097	128	32
100l 100 l/PC (1)	1.154	480	-	205	145	94	31	3/4"	3/4"	1"	1"	32	100	1,0	20.244	216	48
150l 150 l/PC (1)	983	620	-	248	164	94	50	3/4"	3/4"	1"	1"	44	150	1,2	22.779	267	64
200l 200 l/PC (2)	1.239	620	390	247	148	94	34	3/4"	3/4"	1"	1"	56	200	1,6	30.768	358	78
300l 300 l/PC (2)	1.724	620	875	226	146	94	34	3/4"	3/4"	1"	1"	72	300	2,4	43.342	518	109
500l 500 l/PC (2)	1.730	770	861	283	168	84	54	1 1/4"	1 1/4"	1 1/2"	1 1/2"	98	500	3,1	53.521	723	151
800l 800 l/PC (3)	1.840	950	-	933	382	-	-	1 1/4"	1 1/2"	1"	1"	20,5	771	2,7 (*)	67.890	1.150	160
1000l 1000 l/PC (3)	2.250	950	-	1.193	382	-	-	1 1/4"	1 1/2"	1"	1"	24,7	946	3,3 (*)	98.010	1.480	185

- (1) = Instalación vertical, horizontal o mural.
- (2) = Instalación vertical u horizontal.
- (3) = Instalación vertical.
- (4) = Temperatura entrada primario 80°C y agua red 10°C.
- (5) = Temperatura regulación 70°C.
- (6) = Temperatura entrada primario 80°C.
- (7) = Temperatura agua red 10°C.
- (8) = Temperatura media A.C.S. final extracción 40°C.
- (9) = Temperatura regulación depósito 70°C.
- (10) = En los depósitos 800 l, 1000 l, 800 l/PC y 1000 l/PC, es posible desmontar el recubrimiento exterior para facilitar el paso por los huecos.
- (*) = Serpentin, de acero inoxidable AISI-316 TI.

Segundo o REH [10], o valor da sua espessura de isolamento, será de pelo menos 80 mm de acordo com a tabela I.09.

O seu preço, encontra-se representado na tabela H.3.

Tabela H.3: Preço do reservatório utilizado. Retirado de [82]

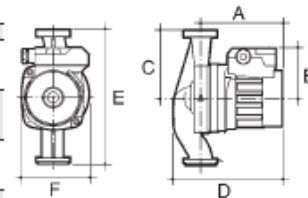
Referência	Modelo	Euros €
148111004	60 l	794,00
148111005	100 l	857,00
148111006	150 l	1.028,00
148111007	200 l	1.381,00
148111008	300 l	1.927,00
148111009	500 l	2.761,00
148111028	800 l (com serpentina)	4.310,00
148111029	1.000 l (com serpentina)	5.170,00

H.3 Bomba de Circulação

A bomba de circulação utilizada para AQS, encontra-se representada na figura H.3.

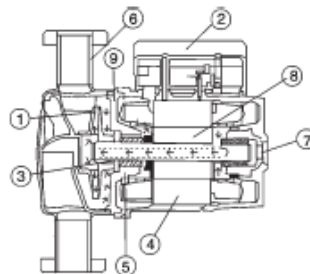
Dimensiones y Características Técnicas

Modelos	Tensión Monof. V	Velocidad Posición	Intensidad nominal A	Potencia absorbida max. W	Veloc. r.p.m.	Capacidad condens. μF (1)	Conexión tubería	Peso kg	Cotas en mm					
									A	B	C	D	E	F
SB-5 Y	230	1	0,15	30	1.850	16 x 400 V	20/22	2	96	73	65	129	130	96
		2	0,12	27	1.700	2 x 400 V	20/22	2	96	74	65	130	130	96
		3	0,24	56	2.500									
SB-50 XA	230	1	0,32	70	1.150	2,6 x 400 V	1"	2,8	109	77	90	145	180	96
		2	0,46	102	1.650									
		3	0,50	114	2.300									
SB-100 XL	230	1	0,58	122	1.300	5 x 400 V	1"	3,2	146	84	90	174	180	97
		2	0,70	167	1.900									
		3	0,80	183	2.450									
SB-150 XL	230	1	1,51	295	2.400	8 x 400 V	1"	6,7	172	108	90	224	180	137
		2	1,62	335	2.800									



Sección Circulador SB

1. Rodete
2. Caja bornes con condensador y variador electrónico de seguridad
3. Microfiltro
4. Estator
5. Rotor
6. Cuerpo hidráulico de bronce (SB-100XL de acero inoxidable)
7. Tapón control giro y purga
8. Tope de retención cerámico
9. Soporte motor de bronce

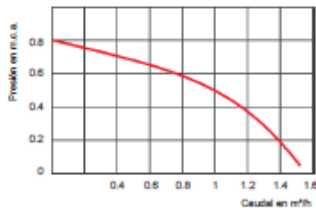


Importante:

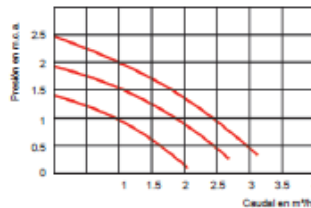
Para obtener una larga duración del circulador y beneficiarse de la garantía que ofrecemos, el agua caliente sanitaria que circula por el anillo de recirculación, deberá tener una dureza inferior a 35° Franceses (un grado francés equivale a 1 gramo de carbonato cálcico contenido en cien litros de agua). Para agua caliente sanitaria con dureza superior a 35° Franceses, se deberá efectuar un tratamiento previo de la misma. El circulador se colocará siempre tras los puntos de consumo de agua caliente sanitaria.

Curvas características

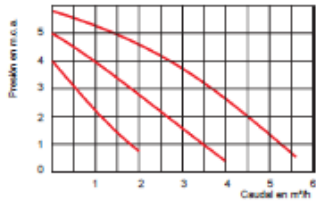
SB-5 Y



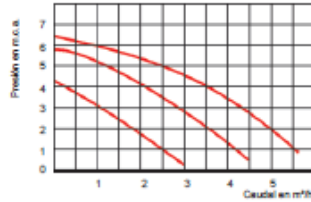
SB-10 YA



SB-50 XA



SB-100 XL



SB-150 XL

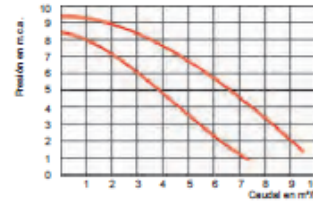


Figura H.3: Características das bombas de circulação disponibilizadas. Retirado de [78]

Para o presente projecto, foi assumido que a bomba SB5-Y é suficiente para vencer as perdas de carga do sistema de AQS, sendo a sua potência absorvida de 30 W, sendo necessário o dimensionamento de uma rede de tubagens que torne a instalação destas bombas suficiente, algo que é possível pois como não são utilizados colectores solares neste sistema o reservatório deverá ser montado o mais perto possível da caldeira, sendo por isso o circuito também muito reduzido.

H.4 Mini-Chiller

No presente trabalho de dissertação foi utilizado o mini-chiller, *EWAQ009ACV3* do catálogo da *Daikin*, representado na figura H.4.

Tabela H.4: Mini-chillers disponibilizados pelo catálogo da *Daikin*. Retirado de [47]

Cooling only

Model				EWAQ009ACV3	EWAQ010ACV3	EWAQ011ACV3	EWAQ009ACW1	EWAQ011ACW1	EWAQ013ACW1					
Cooling capacity	Nom.	kW		12.2 ¹ / 8.6 ²	13.6 ¹ / 9.6 ²	15.7 ¹ / 11.1 ²	12.9 ¹ / 9.1 ²	15.7 ¹ / 11.1 ²	17.0 ¹ / 13.3 ²					
Capacity control	Method	Inverter controlled												
Power input	Cooling	Nom.	kW		2.85 ¹ / 2.83 ²	3.41 ¹ / 3.28 ²	4.13 ¹ / 3.90 ²	3.08 ¹ / 3.05 ²	4.13 ¹ / 3.90 ²	5.52 ¹ / 5.18 ²				
EER				4.27 ¹ / 3.05 ²	4.00 ¹ / 2.93 ²	3.79 ¹ / 2.85 ²	4.19 ¹ / 2.99 ²	3.79 ¹ / 2.85 ²	3.08 ¹ / 2.57 ²					
ESEER				4.31	4.30	4.33	4.43	4.44	4.36					
Dimensions	Unit	Height	Width	Depth	mm			1,435x1,418x382						
Weight	Unit				kg			180						
Water heat exchanger	Type	Braze plate												
	Water volume				l			1.01						
	Nominal water flow	Cooling			l/min			24.7		27.6	31.9	26.1	31.9	38.2
Air heat exchanger	Type	Hi-XSS												
Pump	Nominal ESP unit	Cooling			kPa			58.0		54.6	49.1	56.4	49.1	40.9
Hydraulic components	Expansion vessel	Volume			l			10		10		10		
Fan	Air flow rate	Cooling	Nom.			m ³ /min			96		100		97	
Fan motor	Speed	Cooling	Nom.			rpm			780		780		780	
		Steps						8		8		8		
Sound power level	Cooling	Nom.			dBA			64		64		66		
Sound pressure level	Cooling	Nom.			dBA			51		51		52		
	Night quiet mode	Cooling			dBA			45		45		46		
Compressor	Type	Hermetically sealed scroll compressor												
Operation range	Water side	Cooling	Min.-Max.			°CDB			5-22		5-22			
	Air side	Cooling	Min.-Max.			°CDB			10-46		10-46			
Refrigerant	Type	R-410A												
	Charge				kg			2.95		2.95				
	Control	Electronic expansion valve												
	Circuits	Quantity			1			1		1				
Water circuit	Piping connections diameter			inch		G 5/4" (female)			G 5/4" (female)		G 5/4" (female)			
	Piping			inch		5/4"			5/4"		5/4"			
Power supply	Phase/Frequency/Voltage			Hz/V		1~/50/230			3~/50/400		3~/50/400			

(1) Underfloor program: cooling Ta 35°C - LWE 18°C (Dt: 5°C); heating Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 35°C (Dt: 5°C)
 (2) Fan coil program: cooling Ta 35°C - LWE 7°C (Dt: 5°C); heating Ta DB/WB 7°C/6°C - LWC 45°C (Dt: 5°C)

O mini-chiller representado, tem um valor de *EER* superior a 2,9, sendo o chiller de potência nominal mais baixa, que possui um valor de *EER* que verifica os requisitos mínimos impostos pela Portaria n.º 349-B/2013 [10], na tabela I.14.

H.5 Abertura Auto-Reguláveis

Uma das aberturas auto-reguláveis, existentes no catálogo da *France-Air* encontra-se representada na figura H.4.

HABITAÇÃO

- vantagens**
 - Estética.
 - Aplicável no âmbito da regulamentação em vigor.
- gama**

Modelo	Abertura [mm]	Proteção (tipo)
Isola Hygro		CE2A

- Cor standard: branco, RAL 9016.
- Outras cores disponíveis:

RAL 1013	RAL 9019	RAL 1011	RAL 8003	RAL 8024	RAL 7095	RAL 7011	RAL 9011	RAL 8004
Branco pérola	Castanho ciza	Bege escuro	Castanho anilã	Castanho claro	Cinzaento claro	Cinzaento ferro	Preto grafite	Castanho cobre

- aplicação/utilização**
 - Introdução de ar novo em edifícios equipados com sistemas higroreguláveis do tipo B.
 - Instalação em caixilhos de PVC, madeira e alumínio.
- condicionamento**
 - À unidade (inclui CE2A, RA à parte).
- textos de prescrição**
 - As entradas de ar serão higroreguláveis e serão aplicáveis no âmbito da regulamentação em vigor.
 - As características aerólicas e acústicas serão testadas em laboratório.
 - Tipo Isola Hygro, marca France Air.

descrição técnica

- Atravancamentos**

- Características acústicas**

Modelos	Desempenhos NRA	Dn,e,w [C] [dB]	Dn,e,w [Ctr] [dB]
ISOLA HY + CE2A	ESA 4	39	37
ISOLA HY + RA + CE2A	ESA 5	39	39
ISOLA HY + RA + CFA	ESA 5	42	41

- Características higro-aerólicas com $\Delta P = 20$ Pa**

Caudal [m³/h]

- Classificação**
 - De acordo com a norma NF E 51-732 de componentes de ventilação mecânica controlada.

montagem e ligação

- Instalação da entrada de ar Isola Hygro**
 - Colocar a base sobre o caixilho, com o furo perfeitamente centrado no encaixe e fixá-la, depois, através de parafusos.
 - Instalar o elemento difusor munido, ou não, de elemento acústico por simples encaixe à base.
 - Instalar a proteção de fachada CE2A e fixá-la com três parafusos.

Isola Hygro

Isola Hygro + RA

Exterior Interior Exterior Interior

acessórios

- CE2A (incluído)**
 - Montagem em caixilho 2 x 160 x 12.
 - Proteção de fachada.
- Dimensões:**
 - Comprimento: 400 mm.
 - Altura: 23 mm.
 - Espessura: 12 mm.

Figura H.4: Abertura auto-regulável disponível no catálogo da *France-Air*. Retirado de [73]

Esta abertura não foi no entanto, utilizada para a simulação, tendo sido em seu lugar utilizadas as estratégias explicadas nas secções 2.9 e 2.11.