

A NORMA *PASSIVHAUS* EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA: DIRECTRIZES DE PROJECTO PARA CASAS CONFORTÁVEIS DE BAIXO CONSUMO ENERGÉTICO

Parte 2. Propostas nacionais em detalhe:
Passivhaus Portugal



A NORMA *PASSIVHAUS* EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA

A NORMA *PASSIVHAUS* EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA: DIRECTRIZES DE PROJECTO PARA CASAS CONFORTÁVEIS DE BAIXO CONSUMO ENERGÉTICO

Parte 2. Propostas nacionais em detalhe: *Passivhaus* Portugal



Versão Inglesa editada e compilada por: Brian Ford, Rosa Schiano-Phan e Duan Zhongcheng, School of the Built Environment, University of Nottingham
Versão Portuguesa editada por: Helder Gonçalves e Luisa Brotas, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.

O trabalho descrito neste relatório foi executado sob um contrato como parte do projecto financiado pela EU intitulado Passive-On ('Casas Passivas com potencial de Mercado com Conforto de Inverno e de Verão' EIE/04/091/S07.38644, 2004-'07). As opiniões expressas neste relatório são as dos parceiros de projecto e não reflectem necessariamente a opinião da Comissão Europeia.

PARCEIROS

Politecnico di Milano, Italy
Dipartimento di Energetica (e-ERG)
Piazza Leonardo da Vinci 32
20133 Milano
Andrew Pindar (Co-ordinator)
Lorenzo Pagliano

University of Nottingham, UK
School of the Built Environment
University Park
Nottingham NG7 2RD
Brian Ford
Rosa Schiano-Phan

AICIA, Spain
Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía
Escuela Superior de Ingenieros. Camino de los Descubrimientos s/n
E-41092, Sevilla
Servando Alvarez
Jose' Manuel Salmeron Lissen

ICE, France
International Conseil Energie
6 rue de Verdun
93450 Ile-Saint-Denis
Sophie Attali
Dominique Maigrot

Natural Works, Portugal
Projectos de Engenharia
Calcada Marques de Abrantes N48 2D
1200-719 Lisboa
Maria Malato Lerer
Guilherme Carrilho da Graça

INETI, Portugal
Instituto Nacional de Engenharia Tecnologia e Inovação I.P.
Estrada do Paço do Lumiar
1648-038 Lisboa
Helder Gonçalves
Luisa Brotas

SUB-CONTRACTANTE PRINCIPAL

Passivhaus Institut
Rheinstraße 44/46
D-64283 Darmstadt
Juergen Schnieders

AGRADECIMENTOS

Este documento é resultado do trabalho de todos os parceiros e sub-contratante principal do projecto Passive-On. Em adição gostaríamos de expressar um agradecimento aos parceiros industriais pela sua contribuição inestimável para este projecto: Nicola Agnoli, Rockwool Itália; Daniela Origgi, BASF; Massimo Gattolin, Provincia di Venezia.

Um especial agradecimento é dirigido aos revisores do texto que amavelmente deram os seus comentários a uma versão inicial deste relatório: Simos Yannas, Architectural Association; Mark Brinkley, Jornalista; Gavin Hodgson, BRE; Julian Marsh, Arquitecto; Derek Trowell, Arquitecto.

A NORMA *PASSIVHAUS* EM CLIMAS QUENTES DA EUROPA:
DIRECTRIZES DE PROJECTO PARA CASA CONFORTÁVEIS DE BAIXO
CONSUMO ENERGÉTICO
Parte 2. Propostas nacionais em detalhe: Passivhaus Portugal

Julho 2007

ÍNDICE

3	A <i>PASSIVHAUS</i> PORTUGUESA.....	1
3.1	GEOMETRIA DO EDIFÍCIO	1
3.2	CLIMA.....	2
3.3	CONSTRUÇÃO	3
3.4	GANHOS INTERNOS	4
3.5	SISTEMAS DO EDIFÍCIO	6
3.5.1	Aquecimento e arrefecimento.....	6
3.5.2	Sistema Solar Térmico.....	7
3.6	CASOS SELECCIONADOS	7
3.7	ESTRATÉGIA DO EDIFÍCIO	8
3.7.1	Ventilação (Natural)	8
3.7.2	Radiação Solar e controle solar.....	8
3.8	CONSUMO DE ENERGIA.....	9
3.9	CONFORTO TÉRMICO.....	11
3.10	SOLUÇÕES PROPOSTAS	14

3 A PASSIVHAUS PORTUGUESA

3.1 GEOMETRIA DO EDIFÍCIO

O modelo proposto da casa Passivhaus Portuguesa é casa unifamiliar para quatro ocupantes, com um piso único e 110m² de área útil de pavimento. Definiram-se 7 zonas térmicas no modelo: um sala de estar (LR) e a cozinha (KIT) com envidraçados orientados a sul; a entrada e uma casa de banho delimitam a zona 'central'; finalmente, com envidraçados orientados a este e a oeste há dois quartos (BR1 e BR2) separados por uma segunda e mais pequena casa de banho.

Esta geometria procura de ser clara e simples, podendo servir de base para o desenvolvimento criativo dos arquitectos sem comprometer o seu desempenho energético (desde que um conjunto de características fundamentais – a ser apresentadas nas secções seguintes – sejam preservadas).

É importante de referir que os sistemas construtivos adoptados neste edifício (modelo) são exemplos da prática corrente em Portugal e que a metodologia de simulação proposta é compatível com o Regulamento das Características do Comportamento Térmico em Edifícios em vigor (RCCTE [1]) de modo a aumentar a aplicabilidade e implementação das soluções propostas.

O modelo da casa base é apresentado nas figuras 3.1 e 3.2; as dimensões (do caso base) são apresentadas nas figuras 3.3, 3.4 e 3.5.

Tabela 3. 1– Lista e geometria das 7 zonas térmicas

Zona	Área (m ²)	Área de envidraçado (m2)	Orientação dos envidraçados
LR	31.5	4.00	Sul
KIT	12.0	1.00	Sul
WC2	9.00	0.25	Este
BR2	20.0	1.50	Este
WC1	8.00	0.25	Norte
BR1	16.0	1.50	Oeste
HALL	13.5	-	-

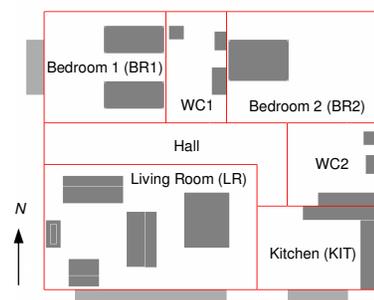


Fig. 3. 1 – Geometria da casa vista de cima

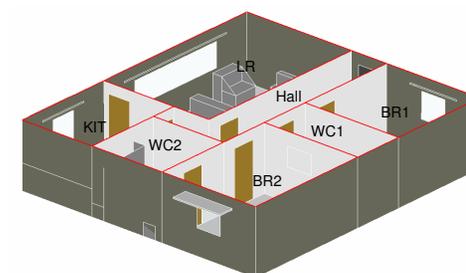
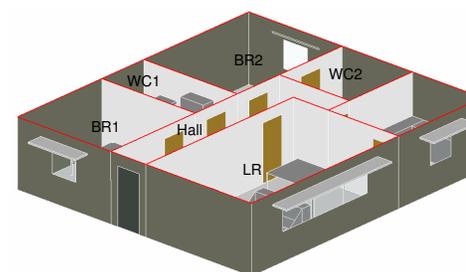


Fig. 3. 2 – Geometria da casa vistas SW e NE

a Frequência, Velocidade e Direcção do Vento, para o ficheiro climático em análise.

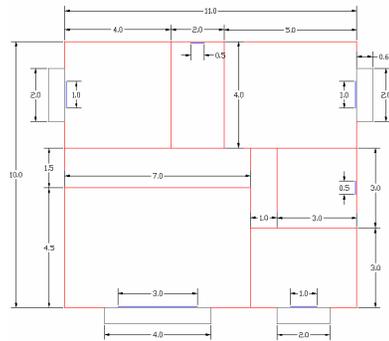


Fig. 3.3 – Dimensões da planta

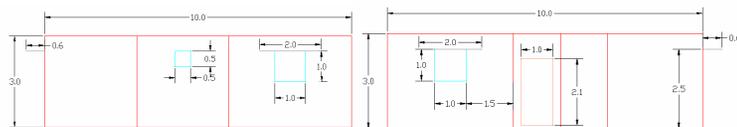


Fig. 3.4 – Dimensões dos alçados a este e oeste

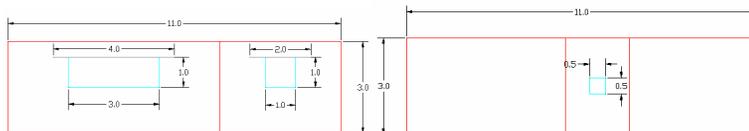


Fig. 3.5 – Dimensões dos alçados sul e norte

3.2 CLIMA

As simulações efectuadas usaram o ficheiro climático de Lisboa. A latitude de Lisboa é 38° 43' N e a longitude 9° 8' O e a altitude média é abaixo dos 100m. As figuras 3.6, 3.7 e 3.8 apresentam respectivamente as Temperaturas Exteriores Anuais e a Humidade Relativa, a Radiação Solar e

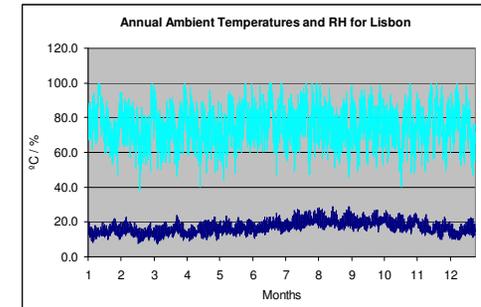


Fig. 3.6 – Temperaturas Exteriores Anuais e a Humidade Relativa para Lisboa

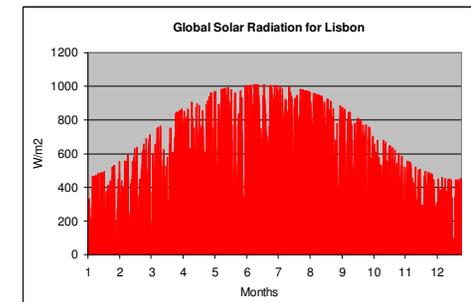


Fig. 3.7 – Radiação Global Horizontal para Lisboa

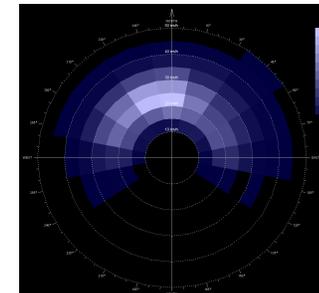


Fig. 3.8 – Frequência, Velocidade e Direcção do vento em Lisboa

3.3 CONSTRUÇÃO

Foram avaliados vários modelos (cenários) da casa *Passivhaus* Portuguesa. Nesta secção são apresentados 4 dos casos estudados: o caso base “Ref (A)” (referenciado na sub-secção 3.2.1) e três casos *Passivhaus*, “Mod 7 Vent (B)”, “Mod 8 Vent (C)” e “Mod 2 NoCool (D)”. Os casos anteriormente enunciados apresentam sempre uma variação a nível construtivo, com diferenças na espessura do isolamento e das paredes interiores ou do sistema de arrefecimento, com ou sem ventilação natural. De seguida apresentam-se as construções que caracterizam os diferentes modelos com diferentes níveis de isolamento. Uma selecção das construções utilizadas é apresentada nas figuras 3.9 a 3.12 e os diferentes valores de Coeficiente de Transmissão Térmica (U) para diferentes espessuras de isolamento são apresentados na tabela 1.20.

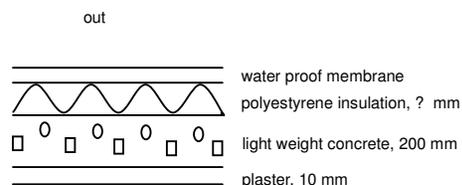


Fig. 3.9 – Cobertura

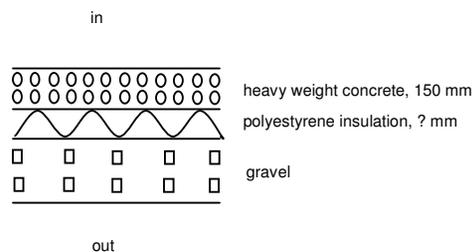


Fig. 3.10 – Pavimento

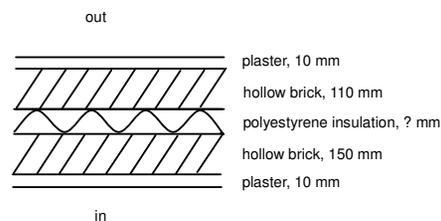


Fig. 3.11 – Paredes Exteriores

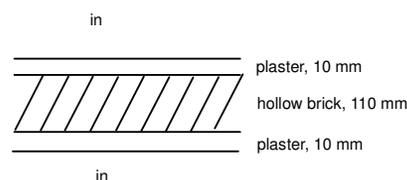


Fig. 3.12 – Paredes Internas

Tabela 3.2 – Valores de U das construções ilustradas

Construção	Caso	Isolamento (mm)	Valor U (W/m ² .K)
Cobertura	A	80	0.39
	B, D	150	0.23
	C	300	0.12
Pavimento	A, B, D	80	0.41
	C	300	0.13
Parede Exterior	A	50	0.52
	B, D	100	0.32
	C	200	0.18
Parede Interior (Inércia média)	A, B, C	-	2.01
Parede Interior (Inércia forte)	D	-	2.53

Todos os quatro modelos (casos) A, B, C e D utilizam vidro duplo baixo emissivo com uma caixa-de-ar 6 (12) 6. O envidraçado tem um valor de U=1.9 W/m².K e um factor solar de 0.465. Para o clima de Lisboa e a geometria proposta com envidraçados preferencialmente orientados a sul é

corrente utilizar vidro duplo incolor ($U=2.9 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e Factor solar 0.75). A utilização de vidro duplo incolor no cenário de referência iria principalmente interferir com as condições de conforto, pois a temperatura do vidro seria menos controlável.

3.4 GANHOS INTERNOS

Nível de Iluminação: 1.5 W/m^2 (50 % radiante)

Nível de Equipamento: 4.5 W/m^2 (40 % radiante)

Ganhos internos dos ocupantes, ocupação noturna (22h às 6h): 80

W/pessoa, ocupação diurna (7h às 21h): 120 W/pessoa

Tabela 3. 3 – Ganhos internos para a Sala de Estar (LR)

Ganho	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	3
Potência de iluminação	W	158
Potência dos Equipamentos	W	158
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	4.9
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	2.6

Tabela 3. 4 – Ganhos Internos da Cozinha (KIT)

Ganhos	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	1
Potência de iluminação	W	60
Potência dos Equipamentos	W	60
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	4.6
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	2.4

Tabela 3. 5 – Ganhos Internos Casa de banho 2 (WC2)

Ganhos	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	0
Potência de iluminação	W	45
Potência dos Equipamentos	W	45
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	2.3
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	1.3

Tabela 3. 6 – Ganhos Internos Quarto 2 (BR2)

Ganhos	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	2
Potência de iluminação	W	100
Potência dos Equipamentos	W	100
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	7.7
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	4.0

Tabela 3. 7 – Ganhos Internos Casa de banho 1 (WC1)

Ganhos	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	0
Potência de iluminação	W	40
Potência dos Equipamentos	W	40
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	2.3
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	1.3

Tabela 3. 8– Ganhos Internos Quarto 1 (BR1)

Ganhos	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	2
Potência de iluminação	W	80
Potência dos Equipamentos	W	80
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	9.1
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	4.7

Tabela 3. 9 – Ganhos Internos Entrada

Ganhos	Unidade	Valor
Número Máximo de Ocupantes	num.	0
Potência de iluminação	W	68
Potência dos Equipamentos	W	68
Ganhos Internos Totais médios	W/m^2	2.3
Ganhos Internos Convectivos Totais Médios	W/m^2	1.3

Ganhos Internos Totais médios: 5.3 W/m^2

Ganhos Internos Convectivos Totais Médios: 2.3 W/m^2

Utilizou-se os caudais de infiltração mais elevados do LR, KIT e BR's (ver tabela 3.10).

Tabela 3. 10 – Caudais de infiltração

Zona	rph	m ³ /s	m ³ /h
LR	0.6	0.0333	120
KIT	0.6	0.0167	60
WC2	1	0.0075	27
BR2	0.6	0.0167	60
WC1	1	0.0067	24
BR1	0.6	0.0167	60
HALL	1	0.0113	41

Tabela 3. 11 – Horários dos ocupantes (fracção)

Hora	Quartos		LR e KIT	
	Dias de semana	Sábado e Domingo	Dias de semana	Sábado e Domingo
1	1	0.75	0	0.25
2	1	0.75	0	0.25
3	1	0.75	0	0.25
4	1	1	0	0
5	1	1	0	0
6	1	1	0	0
7	1	1	0	0
8	0.35	1	0.25	0
9	0.35	1	0.25	0
10	0.25	0.25	0.25	0.55
11	0.25	0.25	0.25	0.25
12	0.25	0.25	0.25	0.25
13	0.2	0.25	0.6	0.25
14	0.2	0.25	0.5	0.35
15	0.2	0.25	0.25	0.35
16	0.2	0.25	0.25	0.35
17	0.3	0.25	0.25	0.35
18	0.4	0.25	0.5	0.35
19	0.5	0.25	0.5	0.65
20	0.65	0.25	0.35	0.55
21	0.65	0.25	0.35	0.48
22	0.7	0.25	0.3	0.45
23	0.75	0.25	0.25	0.3
24	0.75	0.7	0.25	0.3

Tabela 3. 12 – Horários da Iluminação e dos Equipamentos (fracção)

Hora	Iluminação (todas as zonas)		Equipamentos (todas as zonas)	
	Dias de semana	Sábado e Domingo	Dias de semana	Sábado e Domingo
1	0.37	0.38	0.15	0.15
2	0.12	0.12	0.15	0.15
3	0.07	0.08	0.15	0.15
4	0.05	0.05	0.15	0.15
5	0.05	0.05	0.15	0.15
6	0.08	0.08	0.15	0.15
7	0.12	0.12	0.15	0.15
8	0.25	0.25	0.25	0.35
9	0.37	0.37	0.25	0.35
10	0.37	0.37	0.25	0.35
11	0.25	0.25	0.25	0.35
12	0.25	0.25	0.25	0.35
13	0.25	0.25	0.4	0.52
14	0.25	0.25	0.5	0.65
15	0.25	0.17	0.4	0.27
16	0.38	0.26	0.3	0.22
17	0.5	0.35	0.3	0.22
18	0.74	0.52	0.4	0.27
19	0.82	0.58	0.5	0.35
20	1	0.7	0.65	0.45
21	0.91	0.65	0.75	0.52
22	0.82	0.58	0.8	0.55
23	0.82	0.58	1	0.7
24	0.75	0.52	1	0.7

Tabela 3. 13 – Potência dos Radiadores (W), disponível de 30 de Setembro a 15 de Abril

Hora	Entrada	WC1 e WC2 (cada)
1	0	0
2	0	0
3	0	0
4	0	0
5	0	0
6	0	0
7	100	100
8	100	100
9	100	100
10	100	100
11	100	0
12	100	0
13	100	0
14	100	0
15	100	0
16	100	0
17	100	0
18	100	0
19	100	100
20	100	100
21	100	100
22	100	100
23	0	0
24	0	0

3.5 SISTEMAS DO EDIFÍCIO

3.5.1 Aquecimento e Arrefecimento

Conforme indicado na secção 3.5.2 e de acordo com a metodologia do projecto Passive-On, os modelos de simulação tinham um limite de potência de 12.5 W/m^2 quer para o aquecimento quer para o arrefecimento. Contudo, resultados das simulações demonstraram que aumentando a capacidade instalada tem um impacto muito reduzido no consumo anual: considerando a contribuição do sistema solar térmico, é possível obter um valor abaixo do limite de 15 kWh/m^2 .ano mesmo com potências instaladas muito mais elevadas.

O sistema de arrefecimento está instalado na sala de estar, nos quartos e na cozinha e pode ser fornecido por uma sistema de ar condicionado com unidades Split (a capacidade é limitada a 12.5 W/m^2). O sistema activo de arrefecimento está disponível durante os períodos apresentados na tabela XIV, excepto no caso do modelo Mod 2 NoCool (onde não existe sistema activo de arrefecimento).

Tabela 3. 14 – Horário de Arrefecimento

Sistema de Arrefecimento	Zonas	Disponibilidade
Unidades Split A/C	Sala de estar, quartos e cozinha	15 de Abril 15 a 30 de Setembro

Nota: O Arrefecimento é accionado sempre que a temperatura do ar seco atinge $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

O sistema principal de aquecimento é hidráulico de modo a utilizar a água quente do sistema solar; assim, uma solução recomendada é instalar convectores hidráulicos como aparelhos de aquecimento. Um aquecimento auxiliar pode ser efectuado pelas unidades Split instaladas na sala de estar, quartos e cozinha (estas unidades são primordialmente desenhadas para o arrefecimento). A instalação deve garantir um bom isolamento da canalização e condutas para evitar as perdas térmicas. Em espaços onde não foi contabilizada ocupação, como as casas de banho e a entrada, foi considerada a utilização de radiadores de 100W de potência, o que ainda permite respeitar o limite de 12.5W/m^2 .

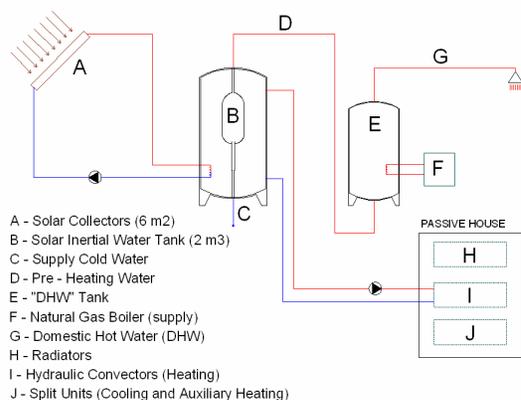


Fig. 3. 13 – Sistema de Aquecimento e Arrefecimento

Tabela 3. 15 – Horário de Aquecimento

Sistema de Aquecimento	Zonas	Disponibilidade
Conectores hidráulicos unidades Splt	e Sala de estar, quartos e cozinha	30 de Setembro a 15 de Abril
Radiadores	Casas de banho	30 de Setembro a 15 de Abril, das 6h às 22h
	Entrada	30 de Setembro a 15 de Abril, das 6h às 10h e das 18h às 22h

Nota: O Aquecimento é activado sempre que a temperatura de bolbo seco é inferior a 20 °C.

3.5.2 Sistema Solar Térmico

Sistemas de colectores solares para aquecimento de águas sanitárias são obrigatórios de acordo com a regulamentação térmica em vigor. Na proposta de casa Passiva o sistema é ampliado para também efectuar aquecimento ambiente. O sistema solar considerado é constituído por 6 m² de painéis solares orientados a sul, com uma inclinação do plano horizontal de 50° e conectados a um depósito de água de 2 m³.

A energia solar captada pelos painéis é usada para aquecimento ambiente e aquecimento de águas sanitárias. As necessidades de aquecimento são um resultado obtido na simulação enquanto que o sistema de AQS considera 70litros/pessoa.dia a 40°C. Quando a necessidade de AQS não é atingida por meio dos painéis solares existe um sistema de apoio com um esquentador a gás.

3.6 CASOS SELECCIONADOS

De modo a facilitar a análise das estratégias utilizadas, apresenta-se de seguida um sumário descritivo dos 4 casos em estudo (A, B, C e D):

A (Ref), caso de referência, considera o caso base do modelo *passivhaus*, descrito na secção 3.3, com um limite de potência de 12.5 W/m² para aquecimento e arrefecimento.

B (Mod 7 vent) inclui um sistema solar térmico; as dimensões dos envidraçados são aumentadas nos quartos (de 1x1 m² para 3x1.5 m²) e na sala de estar (de 4x1 m² para 6x1.5 m²), A ventilação é nocturna e diurna, e os sistemas construtivos adoptados estão apresentados na tabela 3.2 na secção 3.3.

C (Mod 8 vent) é semelhante ao modelo mod 7 vent, com maiores níveis de isolamento (ver tabela 3.2 na secção3.3) e sem sistema solar térmico.

D (Mod 2 NoCool), semelhante ao modelo mod 7 vent mas sem sistema activo de arrefecimento. A inércia térmica é aumentada devido às paredes interiores com forte inércia (ver tabela 3.2 na secção 3.3).

3.7 ESTRATÉGIA DO EDIFÍCIO

3.7.1 Ventilação (Natural)

A tabela X da sub-secção 3.2.4 apresenta as renovações por hora devidas à infiltração de ar de todas as zonas e que se considerou igual em todos os modelos apresentados. Adicionalmente, uma estratégia de ventilação natural é também considerada sempre que as condições exteriores são propícias; durante o dia consideraram-se 4 renovações por hora em todas as divisões; durante a noite (das 20h às 8h, considerou-se 1 rph nos quartos e 4rph nos restantes compartimentos; a estratégia da ventilação natural nocturna é adoptada durante o período de arrefecimento (ver tabela XIII). Ambos os modelos são activos quando as condições interiores de temperatura são iguais ou superiores a 22 °C e a temperatura do ar exterior é pelo menos 1 °C inferior à temperatura interior.

3.7.2 Radiação Solar e Controle Solar

De modo a tirar proveito dos elevados níveis de radiação solar característicos do clima de Lisboa (e na maioria do território Português) mais de uma solução variando a dimensão dos envidraçados foi testada. Os casos apresentam variações em termos das dimensões dos envidraçados, a utilização de dispositivos de sombreamento interiores ou estores exteriores e a existência de palas exteriores (tabela XV). Os dispositivos de sombreamento interiores têm uma condutividade de 0.5 W/m.K e um factor solar de 0.05. Os estores venezianos exteriores têm uma condutividade térmica de 0.6 W/m.K e as lâminas do estore têm um factor solar de 0.

Nos modelos B, C e D, as amplas janelas são protegidas por dispositivos de sombreamento exteriores móveis que são activados durante o período de arrefecimento (15 de Abril a 30 de Setembro). Como esperado estes dispositivos têm um melhor desempenho que os dispositivos interiores anteriormente referenciados.

Os dispositivos de sombreamento móvel analisados são: estores de lona interiores de cor clara (caso base) e estores venezianos exteriores considerando a lâminas orientadas de modo a obstruir a radiação solar directa. Ambos os dispositivos estão accionados durante a noite; durante o dia os dispositivos de sombreamento estão accionados somente se o sistema de arrefecimento está accionado e se a radiação solar incidente é superior a 150 W/m².

Tabela 3. 16 – Dispositivos de sombreamento para os diferentes casos apresentados

Caso	Dispositivo interior	Dispositivo exterior	Orientação das palas
A	Sim	Não	S, W, E
B	Não	Sim	S
C	Não	Sim	S
D	Sim	Não	S, W, E

Finalmente a utilização de palas é mais eficaz nas janelas orientadas a sul, podendo ser removidas das janelas este e oeste. O comprimento da pala é tal de modo a estar centrada em relação à janela, excedendo a sua dimensão em 50 cm em cada lado e com um profundidade de 60 cm.

Janelas mais amplas aumentam a quantidade de iluminação natural que é admitida, reduzindo o consumo eléctrico associado à iluminação e proporcionam ganhos solares úteis, contribuindo para o conforto de inverno. A substituição de vidros baixo emissivo para vidro duplo incolor têm um efeito positivo no verão mas um efeito inverso no inverno, em ambos o consumo energético e conforto térmico. O efeito positivo de verão é largamente excedido pelo efeito positivo de alterar os dispositivos de sombreamento de interiores para exteriores, particularmente no que diz respeito ao conforto.

Re-orientar as janelas dos quartos de este e oeste para a fachada norte apresenta algumas melhorias em termos de conforto, mas tem um desempenho pior em todos os restantes aspectos.

As figuras 3.14 e 3.15 apresentam o modelo com envidraçados aumentados demonstrando o seu potencial em termos radiação solar incidente num dia de inverno e de verão.

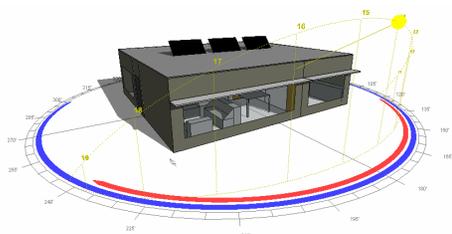


Fig. 3. 14 – Percurso solar aparente num dia de inverno

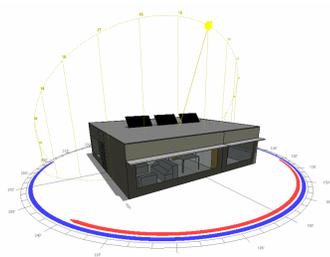


Fig. 3. 15 – Percurso solar aparente num dia de verão

3.8 CONSUMO DE ENERGIA

O desempenho dos modelos da casa Passivhaus para Portugal foi analisado com simulações com o software *EnergyPlus* (versão 1.2.3.031 [2]).

As necessidades energéticas para aquecimento são calculadas para todo o período de inverno, adicionando as necessidades das zonas condicionadas à energia térmica consumida pelos radiadores. As necessidades anuais de aquecimento são apresentadas na figura 3.16 para os casos seleccionados A, B, C e D (Ref, Mod 7 vent, Mod 8 vent and Mod 2 NoCool, respectivamente).

Como esperado, o sistema solar térmico pode ser determinante na redução das necessidades energéticas, proporcionando cerca de 28 Kwh/m².ano das necessidades energéticas para aquecimento e aquecimento de águas sanitárias. (ver figura 3.17).

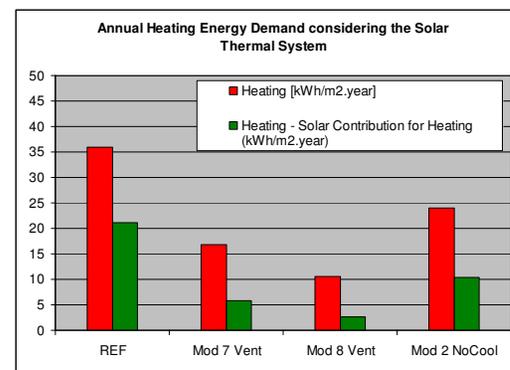


Fig. 3. 16 – Necessidades energéticas para aquecimento; contribuição do sistema solar térmico

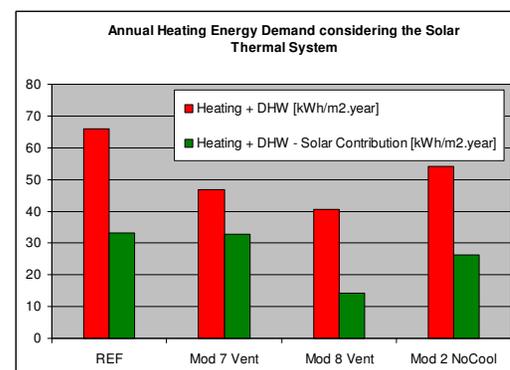


Fig. 3. 17 – Necessidades energéticas para aquecimento e aquecimento de águas quentes; contribuição do sistema solar térmico

O sistema de arrefecimento está instalado na sala de estar, quartos e cozinha e consiste num sistema de unidades Split A/C (a potência está limitada a 12.5 W/m²). O sistema activo de arrefecimento está disponível

durante os períodos apresentados na tabela XIV, exceptuando o modelo Mod 2 NoCool (não tem sistema activo de arrefecimento).

Nota: O Arrefecimento é activado sempre que a temperatura de bolbo seco do ar atinge 25 °C.

As necessidades de arrefecimento são somadas para a sala de estar, a cozinha e os quartos para todo o período de arrefecimento. (figura 3.18):

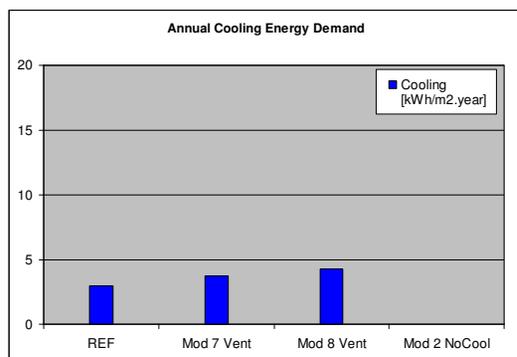


Fig. 3. 18 – Necessidades Anuais de arrefecimento

Estratégias baseadas em ventilação natural (consultar a sub-secção 3.7.1) foram fundamentais para se obterem necessidades de arrefecimento tão reduzidas.

A análise dos resultados demonstra que de acordo com a metodologia aplicada à regulamentação térmica Portuguesa (RCCTE), mesmo o caso de referência, case A (Ref), têm necessidades nominais de aquecimento e de arrefecimento muito abaixo dos limites impostos pela regulamentação (valores indicativos: 73.5kWh/m².ano e 32.0 kWh/m².ano, respectivamente de aquecimento e arrefecimento [1]). Sem a consideração da contribuição do sistema solar térmico, o caso B (Mod 7 Vent) apresenta uma necessidade energética para aquecimento e arrefecimento de cerca de 20 kWh/m².ano e o caso C (Mod 8 Vent) próximo de 15 kWh/m².ano. Considerando a contribuição do sistema solar térmico, estes casos apresentam uma necessidade energética muito abaixo do limite imposto para a casa *Passivhaus* de 15 kWh/m².ano.

As figuras 3.19 e 3.20 demonstram que o sistema solar pode desempenhar um papel significativo na redução da necessidade energética térmica. Uma melhor optimização do sistema solar térmico e de outros sistemas baseados em energias renováveis poderá originar resultados ainda mais favoráveis.

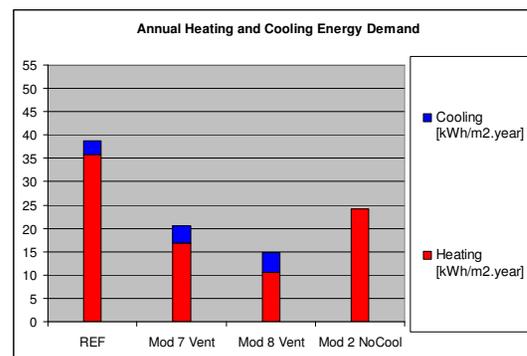


Fig. 3. 19 – Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento dos cenários seleccionados

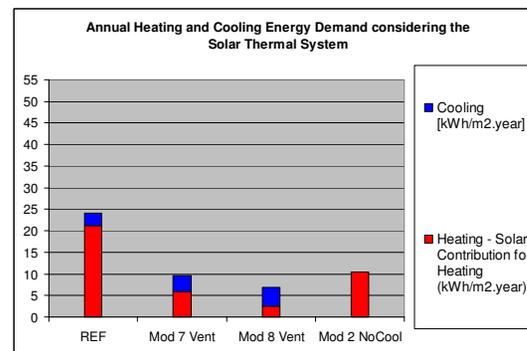


Fig. 3. 20 – Necessidades energéticas para aquecimento e arrefecimento para os cenários apresentados, considerando a contribuição da energia solar térmica para aquecimento ambiente

3.9 CONFORTO TÉRMICO

O conforto é somente analisado nas zonas consideradas climatizadas: LR, KIT, BR1 e BR2. Os índices de conforto apresentados nesta secção são médias ponderadas dos índices de conforto das zonas em análise. Para todos os indicadores de conforto mencionados o melhor desempenho é obtido quando o indicador é zero. O parâmetro principal analisado é a 'Temperatura Operativa' (T_{op}), definida como a média entre a 'Temperatura do Ar' (T_{air}) e a 'Temperatura Radiante' ($T_{radiante}$).

$$A \text{ equação da } T_{op} \text{ é: } T_{op} = \frac{T_{air} + T_{radiante}}{2}$$

As figuras 3.21 e 3.22 apresentam a evolução da temperatura operativa na sala de estar numa semana típica de inverno e de verão, respectivamente.

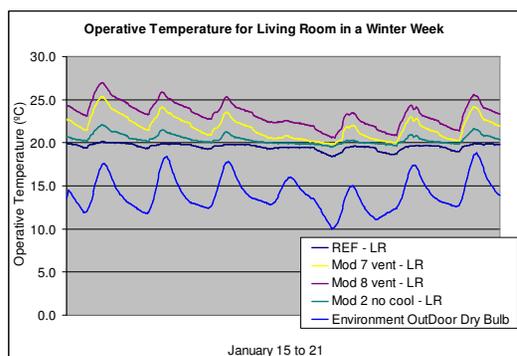


Fig. 3. 21 – Temperatura Operativa da sala de estar numa semana típica de inverno

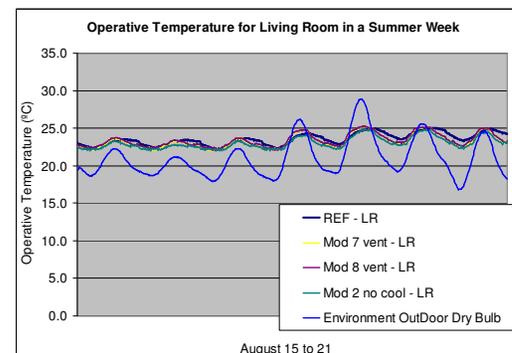


Fig. 3. 22 – Temperatura Operativa da sala de estar numa semana típica de verão

O *Conforto de Inverno* é avaliado no período de aquecimento e é quantificado relativamente à diferença de temperatura ΔT , para uma temperatura operativa de referência mínima de 19.5 °C, sendo definida como de seguida (somente para $T_{op} < 19.5$ °C):

$$\Delta T = \text{Positive of } (19.5 - T_{op})$$

Os indicadores de conforto são definidos como: % do tempo com temperatura (T_{op}) abaixo de 19.5 °C, ou % do tempo ΔT (soma horária do ΔT é apresentado nas tabelas mas não nos gráficos); Valor máximo de ΔT e valor médio de ΔT (média calculada para todas as horas). A Avaliação de Conforto de Inverno é apresentada na tabela 3.18 e na figura 3.23:

Tabela 3. 17 – Avaliação de Conforto para o cenário de referência e os melhores casos no período de inverno

<i>Conforto de Inverno</i>				
Cenário	% tempo ΔT	Soma ΔT	Máxima ΔT	Média ΔT
A	66%	4202.6	4.5	0.9
B	8%	176.9	2.0	0.0
C	1%	11.1	0.8	0.0
D	19%	431.0	2.2	0.1

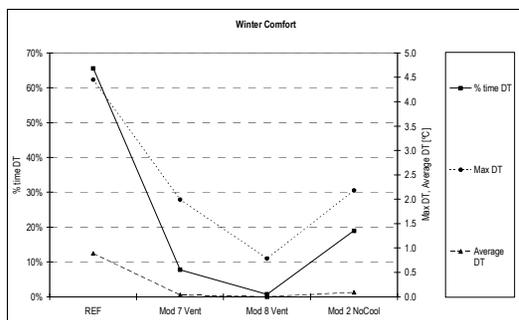


Fig. 3. 23 – Avaliação de Conforto no período de inverno

O *Conforto de Verão* é avaliado de 10 de Maio a 15 de Setembro e considera os seguintes indicadores: Índice de Conforto de Fanger (FCI), referente ao modelo de Fanger com a correção do ASHRAE [3]; Índice de Conforto Adaptativo 1 (A1CI), referente ao modelo de conforto Adaptativo diário, onde a temperatura de conforto é uma função da médias da temperatura exterior do mês passado e o Índice de Conforto Adaptativo 2 (A2CI), referente ao modelo de conforto Adaptativo diário, onde a temperatura de conforto é uma função das temperaturas exteriores dos seis dias anteriores. A Avaliação do Conforto de Verão é apresentada na tabela 3.19 e na figura 3.24.

Tabela 3. 18 – Avaliação do Conforto para o cenário de referência e os melhores casos no período de verão

Conforto de Verão			
Cenário	Fanger(FCI)	Adaptivo 1 (A1CI)	Adaptivo 2 (A2CI)
A	469	5	0
B	811	149	16
C	1022	280	27
D	498	67	0

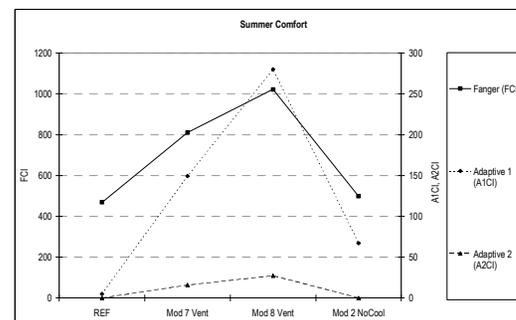


Fig. 3. 24 – Avaliação do Conforto no período de Verão

Comparando os casos A, B e C (todos com a mesma potência instalada de aquecimento e arrefecimento), o cenário com o pior desempenho de inverno é o modelo A, resultado do mais baixo nível de isolamento e dos ganhos solares. Contudo em termos de verão o seu desempenho em termos de conforto é competitivo, mesmo sem a implementação da estratégia de melhoria da ventilação.

A Comparação dos casos B e C confirma que a adopção de melhores níveis de isolamento pode não ser uma vantagem em termos de conforto de verão, pois vai prejudicar a dissipação de calor por condução através da envolvente do edifício. Durante a noite aumentar o caudal da ventilação pode não ser conveniente devido ao risco de correntes de ar.

Finalmente os resultados mostram que sem um sistema activo de arrefecimento, um edifício com envidraçados amplos e bem sombreados, com forte inércia e vem ventilados, como apresentado no modelo D, tem um desempenho em termos de conforto térmico de verão quase tão bom como o modelo de referência com envidraçados reduzidos e um sistema de arrefecimento activo mas sem ventilação. Este resultado é bastante relevante e demonstra as vantagens do arrefecimento passivo por ventilação natural.

As figuras 3.25 a 3.28 (ver a página seguinte) apresentam as temperaturas de conforto dos modelos de Fanger e Adaptativo (para a sala de estar) e as temperaturas operativas para as diferentes zonas, para os modelos A (REF), B (Mod 7 vent), C (Mod 8 vent) e D (Mod 2 NoCool),

respectivamente. A temperatura de conforto de Fanger é visualizada em intervalos, variando entre uma temperatura de conforto durante a noite (metabolismo mais baixo, temperatura de conforto mais elevada) e durante o dia (metabolismo mais elevado e temperatura de conforto mais baixa).

O cenário de referência A (REF) na generalidade obtém temperaturas de conforto durante o verão quando utilizado o Modelo Adaptativo 1 e 2. Nos cenários D (Mod 2 NoCool) e especialmente nos B e C (Mod 7 vent e Mod 8 vent), verificam-se algumas horas com temperaturas acima da temperatura de conforto, principalmente no quarto 1, devido à orientação oeste do seu envidraçado.

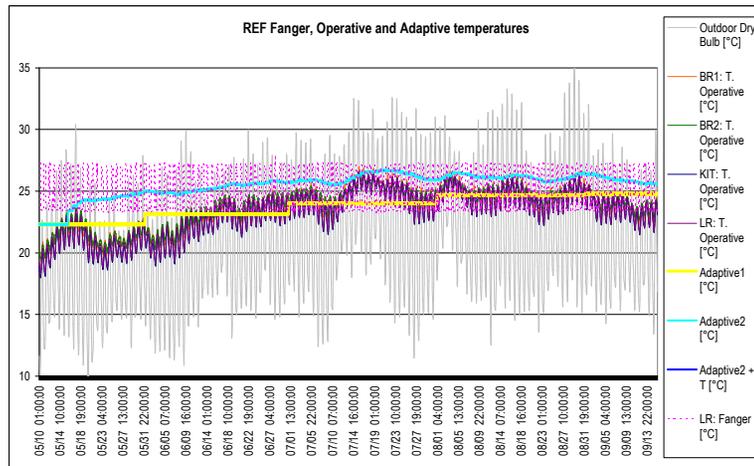


Fig. 3. 25 – Temperaturas de Fanger, Operativa e Adaptativa no cenário A (REF)

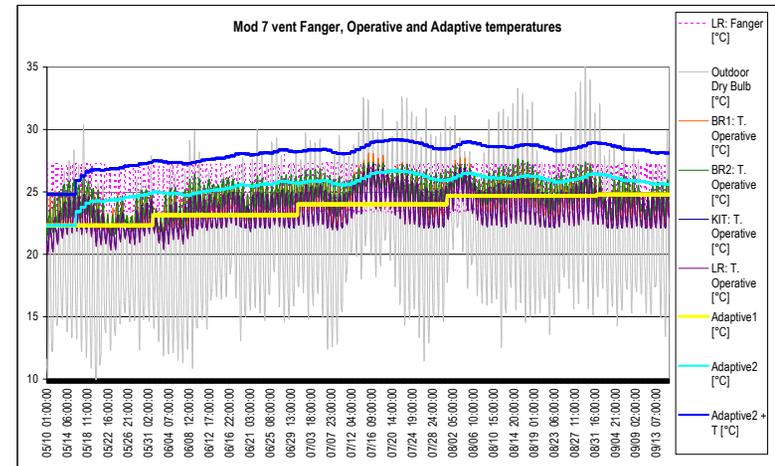


Fig. 3. 26 – Temperaturas de Fanger, Operativa e Adaptativa no cenário B (Mod 7 vent)

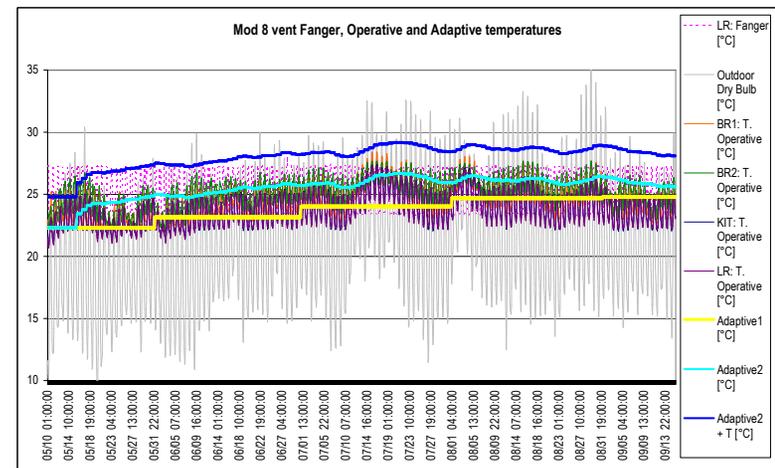


Fig. 3. 27 – Temperaturas de Fanger, Operativa e Adaptativa no cenário C (Mod 8 vent)

3.10 SOLUÇÕES PROPOSTAS

Considerando a existência de um sistema activo de arrefecimento e a contribuição do sistema de colectores solares para aquecimento ambiente, a solução recomendada para o clima de Lisboa é o cenário B (Mod 7 vent). Um cenário com um desempenho ligeiramente melhor pode ser obtido ao se considerar um modelo Mod 7 vent HW, onde a inércia média das paredes interiores foi substituída por inércia forte, utilizando paredes de tijolo maciço. Com um sistema activo de arrefecimento mas sem a utilização dos sistema de colectores solares a solução mais atractiva é o cenário C (Mod 8 vent). O cenário D (Mod 2 NoCool) é a solução que apresenta o melhor desempenho combinando o inverno e o verão, sem um sistema activo de arrefecimento e com um sistema de colectores solares também para aquecimento ambiente.

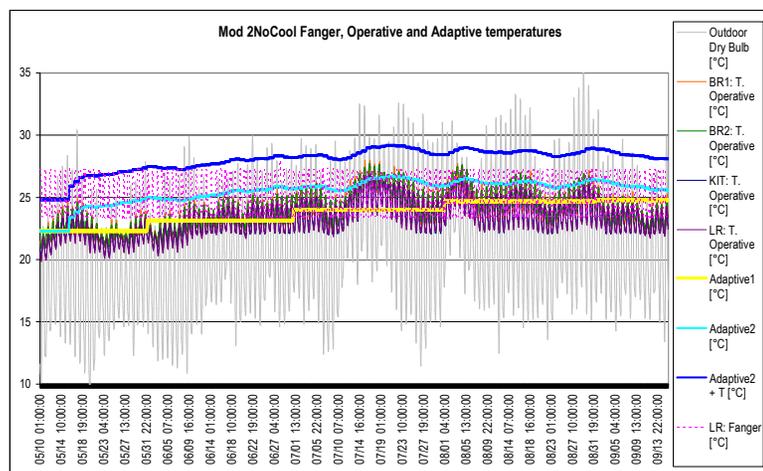


Fig. 3. 28 – Temperaturas de Fanger, Operativa e Adaptativa no cenário D (Mod 2 NoCool)