



FCTUC FACULDADE DE CIÊNCIAS
E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

DEPARTAMENTO DE
ENGENHARIA MECÂNICA

Reabilitação Térmica de Marquises

– estudo por simulação dinâmica

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Energia para a Sustentabilidade na Especialidade de Climatização e Conforto

Autor

João Carlos Portugal Santos

Orientadores

Professor Doutor Adélio Manuel Rodrigues Gaspar

Professor Doutor José Joaquim da Costa

Júri

Presidente Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões
Professor Auxiliar da Universidade de Coimbra

Vogal Professor Doutor Manuel Carlos Gameiro da Silva
Professor Associado c/Agregação da Universidade de Coimbra

Coimbra, Agosto, 2012

“Conhecer não é demonstrar nem explicar, é aceder à visão.”

[Antoine de Saint-Exupéry, 1927.]

À minha família

Agradecimentos

Começo por agradecer aos Professores Adélio Gaspar e José Costa a sua total disponibilidade e a partilha da sua visão sobre as questões que surgiram ao longo da elaboração desta dissertação.

Às minhas colegas Natalia Chechova e Rosebud Lambert pela motivação e amizade, que facilitaram e muito a conclusão deste curso.

Um especial agradecimento ao meu irmão André, cuja ajuda no processamento dos dados foi fundamental para levar a bom porto este trabalho.

Grato me sinto também ao meu tio José, pela revisão do texto.

Resumo

O objectivo deste trabalho é apoiar a reabilitação das marquises, utilizando modelos de simulação numérica, tendo em vista a eficiência energética e o conforto térmico, não só nestes espaços como nos adjacentes.

A proliferação desregulada de marquises, principalmente nas décadas de 60 a 80, povoou o parque habitacional urbano português com espaços envidraçados. Torna-se pois premente avaliar a contribuição destes espaços no balanço térmico dos edifícios aos quais estão acoplados. A ideia geral é que o desenvolvimento de modelos detalhados e suas variantes possam contribuir para intervenções mais conscientes nestes espaços até agora discriminados.

Numa primeira fase do trabalho (INTRODUÇÃO) o tema é enquadrado em todas as suas dimensões, e pesada a sua relevância. Na segunda parte (ESTADO DA ARTE) são revistos os trabalhos mais importantes na área. É estudada a melhor forma de avaliar as melhorias. De seguida (METODOLOGIAS DE ANÁLISE) são apresentadas os programas de simulação energética (ESP-r e *Energy Plus*) e posteriormente comparados. É construído o modelo físico base e são avaliadas as maiores preocupações. São implementadas mudanças no caso base de forma a responder a estes problemas. Na fase seguinte (ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADO) são registados os níveis de conforto térmico e consumos energéticos correspondentes a cada um. É com base nestes valores que as comparações, a discussão e finalmente as recomendações de reabilitação de marquises são feitas. É também neste capítulo onde as taxas de renovação do ar são avaliadas. Acresce neste segmento do trabalho a verificação de resultados. Por último (CONCLUSÃO) é resumido o que se alcançou com o trabalho. São ainda apontadas as limitações dos processos usados e sugeridas hipóteses de investigação futura.

Pretende-se com este trabalho solidificar o conhecimento do comportamento térmico dos espaços envidraçados de modo a apoiar a sua reabilitação no sentido da eficiência energética.

Palavras-chave: Reabilitação térmica; Espaços Envidraçados; Simulação Térmica

Abstract

The present work is focused on a parametric study based on numerical simulation models to support the refurbishment of sunspaces, aiming to improve energy efficiency and thermal comfort.

The unregulated proliferation of transformed sunspaces, mainly in the 60's and 80's decades, has populated the Portuguese housing with these glazed balconies. Therefore, it is mandatory to assess the contribution of these spaces to the building's thermal balance. The general idea is that the development of detailed models and their upgrades can contribute for more conscious interventions in such till now ignored spaces.

In the first phase of the work (INTRODUCTION), an overall perspective of the theme is presented, weighting the different dimensions involved. In the second part (STATE OF THE ART), the most relevant scientific works are reviewed, and an analysis is made about how to better study the possible improvement actions. Next, (METODOLOGIES OF ANALYSIS), the energy simulation programs are presented (ESP-r and *Energy Plus*), and subsequently calibrated. The physical model for the base configuration is constructed, and the most relevant concerns are assessed. Upgrades are applied to the base case in order to solve or mitigate those problems. In the next phase (RESULTS ANALYSIS AND DISCUSSION), the levels of thermal comfort and energy consumption of each model are registered. The comparison, discussion and recommendations for the refurbishment of sunspaces are based on these results. In this chapter the air renewal is also assessed. In the final chapter, (CONCLUSION), the conclusions of the study are summarized and commented. The limitations of the used methodologies are pointed out and suggestions are presented for future research.

This work is a solid contribution to the knowledge of the sunspaces' thermal behavior and to support their rational refurbishment towards energy efficiency and indoor thermal comfort.

Keywords: Refurbishment of Sunspaces; Thermal Dynamic Simulation; Energy efficiency; Thermal comfort

Índice

Índice de Figuras	vi
Índice de Tabelas	viii
Simbologia e Siglas	ix
Simbologia.....	ix
Siglas	ix
1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Contexto arquitectónico	13
1.2. Contexto energético	18
2. ESTADO DA ARTE	1
2.1. Estudos experimentais	2
2.1.1. Configurações.....	2
2.1.2. Soluções construtivas	3
2.2. Estudos de Simulação Dinâmica.....	4
2.2.1. Configurações.....	4
2.2.2. Soluções construtivas	7
2.3. Modelos de avaliação.....	9
2.3.1. Conforto térmico	9
2.3.2. Avaliação energética.....	14
3. METODOLOGIAS DE ANÁLISE	15
3.1. Programas de simulação	15
3.2. Modelos físicos de marquises	17
3.2.1. Configurações.....	18
3.2.2. Soluções construtivas	25
4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS	34
4.1. Resultados com as soluções base.....	35
4.1.1. Configurações de marquises.....	35
4.1.2. Efeito da orientação	35
4.1.3. Tipologia de espaço	36
4.2. Efeitos das medidas de reabilitação – orientação sul.....	37
4.2.1. Sala	37
4.2.2. Cozinha.....	39
4.2.3. Quarto	41
4.3. Taxas de renovação de ar.....	43
4.4. Validação – ESP-r <i>versus</i> Energy Plus	44
4.5. Notas conclusivas	45
4.5.1. Soluções construtivas de reabilitação	45
4.5.2. Recomendações para reabilitação de marquises.....	46
5. CONCLUSÃO.....	47
5.1. Sugestões para trabalho futuro.....	48
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50
1. APÊNDICE 1 – Alteração do código base.....	54
2. APÊNDICE 2 – Relatório ESP-r.....	56
3. APÊNDICE 3 – Resultados orientação oeste.....	60
4. APÊNDICE 4 – Resultados orientação este	62
5. APÊNDICE 5 – Resultados orientação norte.....	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Varanda envidraçada, Fonte Arcada, Sernancelhe (Antunes et al., 1988).....	13
Figura 2. Edifício Olivais Norte—1960-64 (Gonçalves, 2007).	14
Figura 3. Marquise “caixa” [esquerda].....	16
Figura 4. Marquise “balcão” [meio].....	16
Figura 5. Marquise “pala” [direita].....	16
Figura 6. Caracterização do parque habitacional por ano de construção (INE/ DGEG 2010)	17
Figura 7. Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e por tipo de utilização-Portugal, (INE/DGEG 2010)	18
Figura 8. Unit One, First Village (Nichols, 1976).....	20
Figura 9. Configurações (Bataineh e Fayez, 2012) [esquerda]	4
Figura 10. Geometria (Oliveti et al. , 2012) [direita]	4
Figura 11. Zona de conforto baseada nas fórmulas (2) e (3) ,com e sem efeito da ventoinha (Rijal et al. 2011).....	13
Figura 12. Plantas dos compartimentos.....	19
Figura 13. Perspectiva geral	19
Figura 14. Perspectiva das 3 configurações (da esquerda para a direita) : [1] caixa, [2] balcão, [3] pala	19
Figura 15. Ganhos internos LS	21
Figura 16. Ganhos internos L	21
Figura 17. Ganhos internos KS	21
Figura 18. Ganhos internos K.....	21
Figura 19. Ganhos internos BS.....	21
Figura 20. Ganhos internos B	21
Figura 21. Limites superiores das classes de estanquidade ao ar das caixilharias (EN12207)	22
Figura 22. Corte construtivo transversal da marquise – escala 1:20	26
Figura 23. Balanço energético para LS2 na estação convencional de aquecimento (somente convecção).....	27
Figura 24. Balanço energético para LS2 na estação convencional de arrefecimento (somente convecção)	28
Figura 25. Corte transversal – LE. Escala 1:2	29
Figura 26. Corte transversal – TM. Escala 1:2	30
Figura 27. Corte transversal – OI. Escala 1:2.....	31
Figura 28. Corte transversal – OI. Escala 1:2.....	32
Figura 29. Corte transversal – VB. Escala 1:2	33
Figura 30. Temperaturas operativas para as três configurações, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto, Sul	35
Figura 31. Temperaturas operativas para o conjunto LS2+L2, dia 10 de Agosto, todos os quadrantes.....	36
Figura 32. Temperaturas operativas para o conjunto L+K+B, dia 10 de Agosto, Sul	36
Figura 33. Percentagem de horas de conforto	37

Figura 34. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base	37
Figura 35. Dispersão da temperatura operativa da L2 ao longo do ano, e margens de conforto térmico	38
Figura 36. Temperaturas operativas para o conjunto LS2+L2, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto	38
Figura 37. Percentagem de horas de conforto	39
Figura 38. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base	39
Figura 39. Valores horários da temperatura operativa em K2 ao longo do ano, e limites de conforto térmico	40
Figura 40. Temperaturas operativas para o conjunto KS2+K2, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto	40
Figura 41. Percentagem de horas de conforto	41
Figura 42. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base	41
Figura 43. Valores horários da temperatura operativa em B2 ao longo do ano, e limites de conforto térmico.	42
Figura 44. Temperaturas operativas para o conjunto BS2+B2, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto	42
Figura 45. Temperaturas operativas ESP-r vs Energy Plus, 1 de Janeiro	44
Figura 46. Percentagem de horas de conforto LS+L	60
Figura 47. Percentagem de horas de conforto KS+K	60
Figura 48. Percentagem de horas de conforto BS+B	60
Figura 49. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base LS+L	61
Figura 50. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base KS+K	61
Figura 51. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base BS+B	61
Figura 52. Percentagem de horas de conforto LS+L	62
Figura 53. Percentagem de horas de conforto KS+K	62
Figura 54. Percentagem de horas de conforto BS+B	62
Figura 55. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base LS+L	63
Figura 56. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base KS+K	63
Figura 57. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base BS+B	63
Figura 58. Percentagem de horas de conforto LS+L	64
Figura 59. Percentagem de horas de conforto KS+K	64
Figura 60. Percentagem de horas de conforto BS+B	64
Figura 61. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base LS+L	65
Figura 62. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base KS+K	65
Figura 63. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base BS+B	65

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Consumo de energia para aquecimento e arrefecimento no caso base, em kWh/ano	34
Tabela 2. Códigos usados para as diferentes opções de reabilitação.....	34
Tabela 3. Taxas de renovação do ar no conjunto LS_L [rph]	43
Tabela 4. Taxas de renovação do ar no conjunto KS_K [rph]	43
Tabela 5. Taxas de renovação do ar no conjunto BS_B [rph].....	43
Tabela 5. Recomendações para reabilitação [o] , opções a evitar [x]	46

SIMBOLOGIA E SIGLAS

Simbologia

U - coeficiente de transferência de calor superficial [$W/(m^2K)$]

λ - condutibilidade térmica [$W/m.^{\circ}C$]

T_{rmn} - temperatura média móvel exterior, [$^{\circ}C$]

T_{rmn-1} - temperatura média móvel do dia anterior, [$^{\circ}C$]

T_{dmn-1} - Temperatura média para o dia anterior, [$^{\circ}C$]

α - constante que representa a relação entre a temperatura média móvel e a temperatura de conforto, [-]

T_{comf} - Temperatura de conforto, [$^{\circ}C$]

Siglas

ASHRAE – *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CIBSE – *Chartered Institution of Building Services Engineers*

CFC – *Complex Fenestration Construction*

DEM – Departamento de Engenharia Mecânica

DOE – Department of Energy (U.S. Government)

ETICS – *External Thermal Insulation Composite System*

FCTUC – Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra

INH – Instituto Nacional de Habitação

LBNL – *Lawrence Berkeley National Laboratory*

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

MIT – *Massachusetts Institute of Technology*

PCM – *Phase Change Material*

PMV – *Predicted Mean Vote*

PPD – *Predicted Percentage Dissatisfied*

RCCTE – Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RGEU – Regulamento Geral de Edificações e Urbanizações

RMUE – Regulamento Municipal de Urbanizações e Edificações

L – *Living room*

LS – *Living room Sunspace*

LH – *Living room Hall*

KS – *Kitchen Sunspace*

K – *Kitchen*

KH – *Kitchen Hall*

BS – *Bedroom Sunspace*

B – *Bedroom*

BH – *Bedroom Hall*

OR – *Original case*

LE – *Low Emissivity*

TM – *Thermal Mass*

DG – *Double Glazing*

OI – *Opaque surfaces Insulation*

VB – *Venetian Blinds*

1. INTRODUÇÃO

A escolha deste tema sobre reabilitação térmica de marquises deve-se à conjugação de uma observação informal dos subúrbios com uma visão consciente do cenário energético português. A omnipresença das varandas envidraçadas num contexto urbano envelhecido, levantou a questão de qual poderia ser o seu papel na redução do consumo energético, aquando de uma reabilitação. Para otimizar as marquises para o desempenho energético, é necessário ter uma visão global que congregue as diferentes dimensões onde o problema se vê representado.

Do património construído são sempre herdados conhecimentos válidos para as construções presentes, pelo que interessa conhecer a origem e evolução destes tipos de espaços. Por outro lado, uma vez que se trata de edificações é necessário saber o que a legislação própria regula, e se esta é ou não facilmente cumprida. Se a questão das marquises, neste caso, também se prende com o domínio energético, importa saber também qual a descrição destas na legislação referente ao comportamento térmico.

Para estudar o problema é também preciso tipificá-lo. Mesmo não se tratando de uma análise estatística não se pode prescindir de uma redução a um número prático de espécimes para estudo dentro de todo um universo de varandas envidraçadas.

A fim de conhecer o contexto arquitectónico em que as varandas se inserem é interessante saber quais as verdadeiras necessidades de reabilitação do parque habitacional.

A procura de soluções passa normalmente pela revista de problemas semelhantes. Assim a familiaridade das marquises com outros sistemas pode indicar outras resoluções para a mesma questão.

O objectivo deste trabalho é proceder ao estudo de várias tipologias de marquises, de modo a apoiar futuras acções de reabilitação tendo em vista a eficiência energética.

A inovação prende-se com a forma de avaliar o desempenho de modelos de varandas envidraçadas e com o detalhe imprimido nestes.

Como demonstrado pelos exercícios realizados no trabalho, a reabilitação térmica de marquises pode ser uma solução interessante que surge na união de dois fins maiores, que são a reabilitação dos edifícios e a redução dos consumos energéticos.

1.1. Contexto arquitectónico

Origem

As varandas envidraçadas não são uma criação recente. São talvez o elemento arquitectónico que mais contribuiu para valorizar a arquitectura Beirã no séc.XIX (Antunes et al., 1988).

As galerias, cuja construção foi generalizada um pouco por toda a zona Centro, têm na razão principal da sua existência a defesa contra a severidade do clima. É na repetição sistemática de certas particularidades e modos de construir que esta ligação com o clima sobressai. Eram usualmente orientadas a sudoeste, pois é este quadrante que tem mais horas de *sol quente* durante o ano e é também abrigado dos ventos dominantes. Quando os proprietários eram abastados, envidraçavam as varandas para melhor usufruírem destas dependências (Figura 1). Entre as funções destes espaços, que mediavam os rigores do clima exterior com o relativo conforto interior, estavam a secagem de frutos, culturas e roupa; e também a costura e o lazer (Antunes et al., 1988).

Portanto a origem das marquises, pelo menos regional, está no engenho dos nossos antepassados para adaptarem os edifícios às condições climatéricas locais.



Figura 1. Varanda envidraçada, Fonte Arcada, Sernancelhe (Antunes et al., 1988)

Proliferação

A partir da década de 60 as cidades portuguesas começaram a sofrer uma enorme pressão construtiva, que só viria a abrandar já no final do séc. XX (Freitas et al., 2011). Uma forte urbanização da população fez com que as cidades fossem coroadas com bairros periféricos, desregrados (Gonçalves, 2007). O bloco de habitação em altura foi adoptado em larga escala. As varandas eram nestes edifícios, peças fundamentais, quer por uma questão de composição formal quer para suprir a necessidade de ligação à “natureza”. No entanto, vários motivos, sem que o conforto térmico primasse entre eles, levaram os proprietários a encerrarem as varandas. Uma dessas razões prende-se com a falta de espaço (Ralha e Cortesão, 2005). A má organização interna aliada à inexistência de áreas de serviço fez com que as varandas fossem fechadas para completar os espaços interiores (Gonçalves, 2007). Outro dos motivos para a instalação das caixilharias é a redução do ruído, provocado pelo crescente tráfego automóvel (Henriques, 2011). A indiferenciação na orientação também fez com que nas varandas que estavam orientadas a Norte e mais expostas ao vento fossem instaladas caixilharias (Figura 2).

Estima-se que este tipo de adaptação esteja presente em pelo menos 10% dos apartamentos (Pereira et al., 1984).



Figura 2. Edifício Olivais Norte—1960-64 (Gonçalves, 2007).

Legislação

A acção de construir as marquises resultou muitas vezes da iniciativa dos proprietários sem que houvesse quaisquer consultas ou pareceres às entidades reguladoras.

Segundo o RMUE (Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação) de Coimbra, para além de exigir o cumprimento das disposições legais do artigo 71 do RGEU (Regulamento Geral das Edificações Urbanas), só contempla a possibilidade de construção das marquises aquando da verificação, entre outras, das seguintes condições:

b) Garantir de forma comprovada a sua adequação a um bom desempenho térmico do edifício, garantindo que a obra não conduz a necessidade subsequente de utilização de equipamentos de climatização;

c) Garantir de forma comprovada a boa ventilação do fogo;

Ainda como condição para a realização das obras de encerramento das varandas: “Os índices de edificabilidade admitidos para o prédio não sejam ultrapassados”. Ao envidraçar uma varanda o proprietário mantém a Área Brutaⁱ do fogo, mas aumenta a sua Área Útilⁱⁱ; isto leva a que as obras sejam negligenciadas por muitas câmaras municipais, que apenas cadastram a primeira, mas não a segunda (Silva, 2009).

Para que as varandas envidraçadas não comprometam a luminosidade, funcionalidade e salubridade dos espaços de habitação adjacentes, o RGEU, no nº2 do artigo 71º, legisla:

2- Nos casos em que as condições climáticas e de ruído tal justifiquem, será permitido o uso de varandas envidraçadas, consideradas para efeito deste artigo como espaço exterior, de acordo com os condicionamentos seguintes:

a) A largura das varandas não poderá exceder 1,80 m;

b) As áreas dos vãos dos compartimentos confinantes não serão inferiores a um quinto da respectiva área nem a 3 m²;

c) A área do envidraçado da varanda não será inferior a um terço da respectiva área nem a 4,3 m²;

d) A área de ventilação do envidraçado da varanda será, no mínimo, igual a metade da área total do envidraçado.

De um modo geral a legislação respeitante às marquises é muito restritiva, mas raramente cumprida. O mesmo se passa, de uma forma particular, com a ventilação destas e com a relação entre superfícies opacas e envidraçadas.

Tipificação

A codificação dos elementos arquitectónicos, em voga, mesmo no Modernismo tardio e periférico português (Ferreira, 2009), facilita a catalogação das configurações de varandas. Assim, de entre tantas outras, destaco três: a “caixa”, o “balcão” e a “pala”.

A varanda em “caixa” possui paredes laterais e peitoril opaco (Figura 3). Esta tipologia esteve muito em voga nos anos 60, muito por força da influência da arquitectura Modernista Brasileira (Gonçalves, 2007). Um exemplo desta versão está presente nos Edifícios Olivais Norte (Figura 2) da autoria do arquitecto João Abel Manta.

Outra é a versão “balcão”, com o peitoril em massa a toda a volta (Figura 4). Esta é talvez a mais comum, principalmente nos anos 80. Nos Olivais Sul encontramos um edifício, do arquitecto Manuel Tainha, com este tipo de varandas.

Na varanda em “pala”, de influência Corbusiana, apenas o plano frontal é opaco, normalmente em continuidade com a laje (Figura 5). Eram comuns quando a intenção era fazer sobressair o aspecto massivo dos edifícios. A Unidade residencial de Ramalde, no Porto, de Fernando Távora, usa estas varandas, precisamente com essa finalidade.



Figura 3. Marquise “caixa” [esquerda]

Figura 4. Marquise “balcão” [meio]

Figura 5. Marquise “pala” [direita]

Reabilitação

A dinâmica que reinou nas duas últimas décadas foi a da prevalência da construção nova em detrimento da reabilitação. Esta política teve duas consequências: o excesso de construção e a degradação do parque habitacional já existente.

Se nas décadas de 60 a 80 o ritmo de construção nova se justificava fundamentalmente com crescimento das populações urbanas, já nas décadas de 90 e 2000 o número de famílias ultrapassou claramente os dos alojamentos. Nos últimos Censos os alojamentos vagos representam já 12,5% (INE E DGEG, 2011), o que é um indicador claro da redundância de nova construção.

Por outro lado, os edifícios construídos nas décadas de 60 a 80, que representam cerca de um terço do parque habitacional (Figura 6), apresentam já sinais de degradação, devido aos investimentos insuficientes na reabilitação. Na zona Centro, aproximadamente 15% dos edifícios das décadas acima referidas, necessitavam de reparações médias a muito grandes, nas paredes e caixilharias (INE, 2001).

A reabilitação das marquises também traz benefícios para a fachada interior, uma vez que prolonga a sua durabilidade, protegendo-a dos elementos.

Adicionalmente a grande maioria do parque habitacional nacional foi construído antes da implementação da primeira versão do RCCTE (Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios), em 1990; o que reforça a necessidade de uma reabilitação também com o propósito de melhorar o seu desempenho energético.

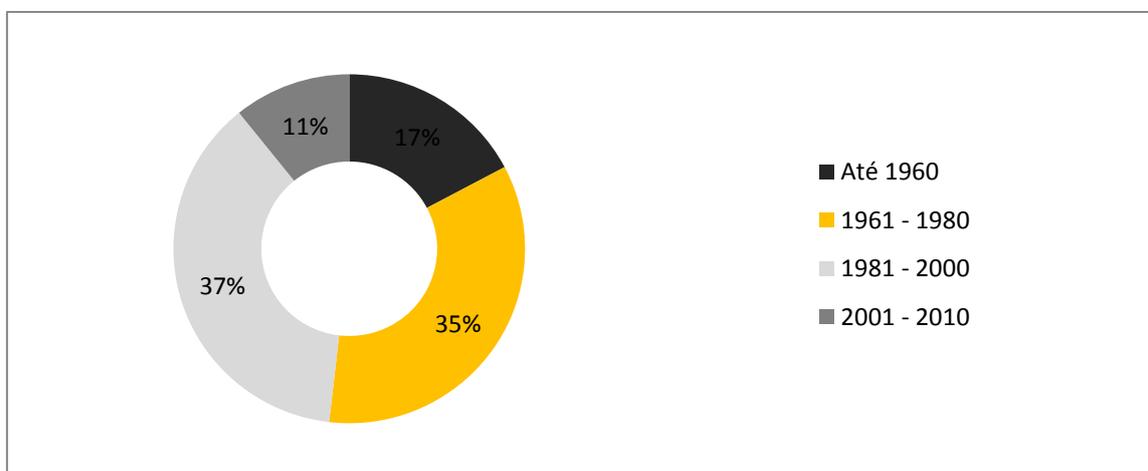


Figura 6. Caracterização do parque habitacional por ano de construção (INE/ DGEG 2010)

1.2. Contexto energético

Relevância

A reabilitação térmica do parque habitacional português impõe-se quer pela melhoria das condições de habitabilidade dos nossos espaços quer pela necessidade de reduzir os consumos energéticos.

A actual conjuntura, com uma produção de energia baseada em combustíveis fósseis, acarreta preços demasiado elevados quer a nível ambiental quer a nível económico. Mais concretamente, em Portugal 76,1% do abastecimento de energia primária provinha de recursos não renováveis (DGEG, 2011). Este cenário obriga-nos a racionalizar o uso da energia disponível em todos os sectores, mesmo no doméstico, que é responsável pelo consumo de 17,7% da energia final em Portugal (INE E DGEG, 2011).

Dentro desta quantia, a energia despendida no acondicionamento térmico era 17% em 2004 (DGEG, 2004), e salda-se agora em 22% (Figura 7). Esta evolução do consumo da energia para este tipo de utilização está relacionada, entre outros factores, com a elevação dos padrões de conforto. Mesmo com um peso final de 3% nas contas da energia final consumida em Portugal, o acondicionamento térmico das nossas casas equivale a cerca de 680000 toneladas de petróleo. Torna-se portanto premente reduzir as despesas com este tipo de consumo, melhorando a qualidade térmica dos edifícios, revendo para tal a legislação em vigor.

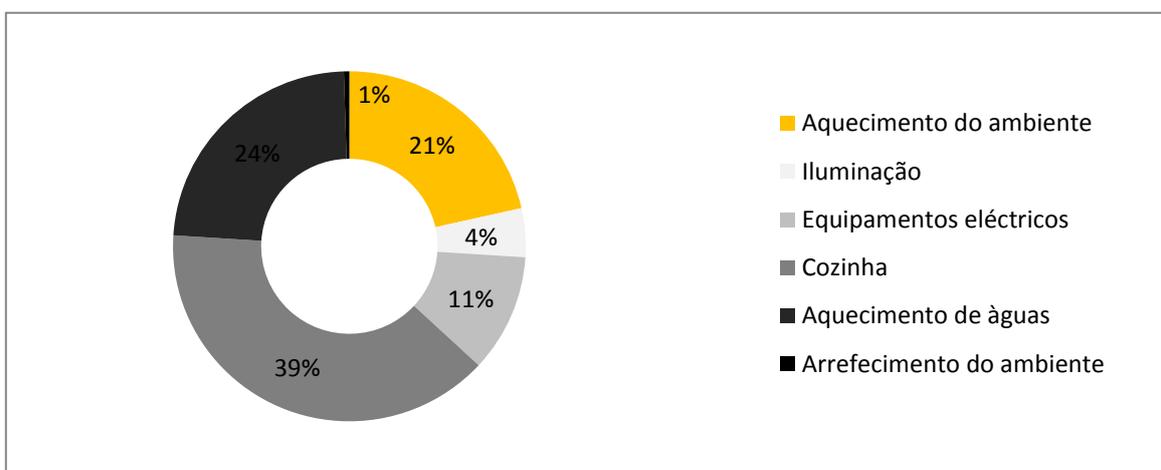


Figura 7. Distribuição do consumo de energia no alojamento por tipo de energia e por tipo de utilização-Portugal, (INE/DGEG 2010)

Legislação

Perante o RCCTE, as varandas têm a seguinte definição:

“Marquises”, varandas adjacentes a cozinhas ou outros espaços equivalentes, que dispõem de vãos envidraçados exteriores. As marquises não são consideradas espaços úteis no âmbito da aplicação deste regulamento;

Embora possam ter outras definições, estas partilham sempre o facto de serem considerados espaços não-úteisⁱⁱⁱ. No anexo I do dito regulamento é sublinhada a sua condição de espaço não-útil:

Espaços com Requisitos de Conforto Térmico

2 - Os espaços a seguir indicados, aos quais não se aplicam as condições de referência indicadas no n.º 4 do artigo 4.º, consideram-se espaços não-úteis...

c) Varandas e marquises fechadas, estufas ou solários adjacentes aos espaços úteis;

Muito embora estas classificações ponham de fora as marquises enquanto divisão ocupada permanentemente, o facto é as pessoas se apropriam delas, algumas vezes até de um modo intensivo. Como condição de espaço não-útil está também a questão de este não ser climatizado. Ora não rara a vez as marquises têm sistemas de climatização, precisamente para permitirem a sua ocupação (Henriques e Barros, 2011).

Portanto se as marquises forem de facto usadas com o espaços interiores, serão consideradas espaços úteis, com os níveis de conforto exigidos às divisões internas das habitações.

No RCCTE, as varandas envidraçadas podem ainda enquadrar-se na definição de solários:

“Solários (Estufas, Jardins de Inverno)”, espaços fechados adjacentes a espaços úteis de uma fracção autónoma, dispendo de uma área envidraçada em contacto com o ambiente exterior e habitualmente destinados à captação de ganhos solares.”

Sob estes nomes surgiram já muitas experiências incidindo no potencial destes espaços envidraçados para o aquecimento do ambiente interior.

A nossa atenção redobra-se aquando da constatação da semelhança entre as marquises e os sistemas solares passivos de ganho indirecto.

Técnicas solares passivas

Podemos enquadrar o solário numa de seis categorias de sistemas solares passivos (Balkow et al., 1999). Todas elas partilham dois componentes, a janela e a massa térmica. O que difere entre eles é a relação posicional entre estes dois e a forma como estes se situam em relação à divisão interior.

No sistema de ganho directo, a janela permite a entrada de radiação solar na divisão interior, onde está a massa térmica. Na *Trombe Wall*, a massa térmica está entre a janela e a divisão a aquecer, sendo que o calor é apenas transferido por condução. A parede solar ventilada, que é uma variante da *Trombe Wall*, o espaço entre o vidro e a massa é ventilado para o interior. O isolamento translúcido é também uma variação da *Trombe Wall*, em que é colocado isolamento térmico entre a janela e a massa térmica, que permite a passagem de radiação solar. No sistema *window/air collector*, o calor recolhido na janela é transportado, por condutas, para um local de armazenagem através do efeito do termosifão. Finalmente nos solários, a massa térmica está num espaço adicional confinante à divisão adjacente ao qual fornece o calor indirectamente (Figura 8).

Podemos portanto identificar as marquises como sistemas de ganho indirecto, e pertencentes a uma família maior de sistemas solares passivos.

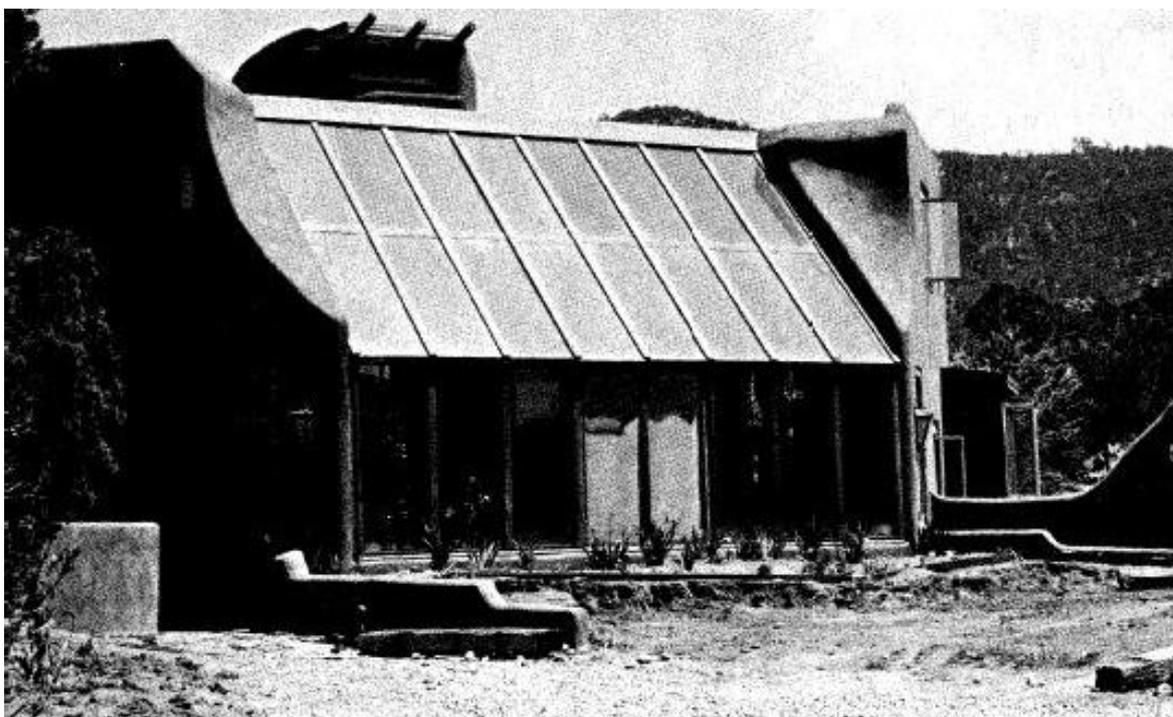


Figura 8. Unit One, First Village (Nichols, 1976)

2. ESTADO DA ARTE

A utilização de espaços envidraçados como sistemas solares passivos tem vindo a ganhar cada vez mais importância. Devido ao potencial dos solários, estes foram já alvo de vários artigos, aos quais interessa extrair informações válidas para este trabalho.

A revisão bibliográfica foi realizada no sentido de perceber como é que os modelos eram projectados, com que intuito, e quais as conclusões por eles retiradas. De seguida, é explicada a estrutura usada para dissecar os estudos.

Devido à natureza singular de cada tipo de investigação, os trabalhos são separados por estudos experimentais e estudos de simulação dinâmica.

Dentro de cada modo de investigação os trabalhos são divididos em configurações e soluções construtivas.

As configurações são os parâmetros não variáveis, ou que se regem pelas mesmas regras em todos os modelos. Contam-se entre as quais as geometrias (forma geométrica, relação envidraçado-opaco), a orientação, o tipo de uso (ganhos internos associados) e os esquemas de ventilação.

Nas soluções construtivas é tratada a tectónica dos modelos. É aqui, que no âmbito das técnicas solares passivas, residem geralmente as medidas de melhoramento possíveis relativamente às soluções base.

Esta estruturação mantém-se ao longo de todo o trabalho, sendo aplicada inclusive na construção dos modelos usados neste trabalho.

Além de saber como é que os modelos para simulações energéticas são construídos, convém saber que métodos é que são usados para avaliar as suas prestações. Logo é discutida a melhor forma de avaliar o conforto térmico.

É também apresentada a forma como o potencial de poupança de energia é estimado nos trabalhos estudados, e como será neste.

2.1. Estudos experimentais

2.1.1. Configurações

Geometrias

Quando os estudos sobre os solários são realizados por via experimental, todas as características dos modelos construídos, inclusive as geométricas, são no sentido de potenciar os ganhos solares.

Para esse fim, algumas das experiências contam com paredes inclinadas nos seus solários, cujo ângulo lhes permite maximizar os ganhos no inverno (Bakos, 2003). É também com a mesma finalidade que as coberturas (quando envidraçadas) são ligeiramente inclinadas (Fernández-González, 2007; Mottard e Fissore, 2007; Roux et al., 2004). Há ainda uma forma de aumentar significativamente os ganhos (com uma orientação a sul), que é a da *bow window* (Fernández-González, 2007). Em todas estas experiências as três paredes dos solários que confinam com o exterior são envidraçadas. As divisórias entre os solários e os compartimentos podem ser partes opacas (Fernández-González, 2007), parcialmente envidraçadas (Suarez et al. 2012), ou totalmente envidraçadas (Roux et al., 2004).

O efeito da dimensão e proporção da secção transversal das galerias envidraçadas no desempenho térmica das mesmas, pode ter alguma relevância principalmente se quiserem potenciar o efeito de impulsão térmica (Suarez et al., 2011).

Embora os estudos práticos sejam uma aproximação bastante razoável da realidade, a investigação de diferentes disposições geométricas não é de nenhum modo explorada.

Orientação

Mais uma vez a fim de maximizar o desempenho destes sistemas, a maior parte dos estudos (para o hemisfério norte) realizam-se unicamente na orientação sul (Fernández-González, 2007; Bakos, 2003; Mottard e Fissore, 2007). Apenas nos trabalhos teóricos (por razões práticas) é que se pesa a influência da orientação, no desempenho deste tipo de sistema de ganho indirecto.

Tipo de uso

Embora em algumas experiências sejam simulados quartos ou escritórios (Silva et al. 2011) nunca é prevista qualquer tipo de produção interna de calor.

Ventilação

A forma como a circulação de ar se processa no sistema solário-compartimento é determinante para o desempenho térmico deste.

A ventilação pode direccionar de uma forma mais efectiva os ganhos no solário, caso sejam desejados ou não no compartimento. Assim, a ventilação cruzada pode desempenhar um papel chave na prevenção do sobreaquecimento (Bakos, 2003). Mas também pode ser uma mais valia no que toca à poupança nos consumos com o ar condicionado (Suarez et al., 2011), ao pré-aquecer o ar que entra no sistema.

Na grande maioria dos casos, a circulação de ar entre o exterior, o solário e o compartimento apenas se efectua através das infiltrações dos caixilhos (Mottard e Fissore, 2007, Roux et al., 2004; Silva et al., 2012). Nos restantes estudos, o solário é uma extensão do compartimento em estudo (Fernández-González, 2007; Bakos, 2003). De forma a isolar a contribuição dos solários para o clima interior, as paredes laterais dos modelos são bem isoladas (Fernández-González, 2007) ou os espaços ventilados (Mottard e Fissore, 2007).

Aos estudos práticos falta a plasticidade com que a ventilação nos solários pode ser organizada, trazendo melhorias no desempenho energético do sistema.

2.1.2. Soluções construtivas

As qualidades tectónicas dos modelos construídos para representarem as marquises são fundamentais no comportamento térmico das mesmas.

A influência da inércia térmica dos componentes de um edifício pode fazer variar as necessidades energéticas deste em cerca de 20% (Silva et al., 2012).

Medidas de melhoramento

Dois problemas assolam a maior parte dos solários, o sobreaquecimento nas épocas quentes e as grandes perdas de calor para o exterior durante as épocas frias.

Com o intuito de resolver o primeiro são testados vários mecanismos. O sombreamento exterior (nas paredes e cobertura) com venezianas pode cortar até 10°C o pico de calor sentido nas marquises (Roux et al., 2004). Já o uso de um toldo (por cima das coberturas envidraçadas) pode mesmo piorar a prestação energética dos solários (Roux et al., 2004).

Para reduzir as perdas nocturnas para o exterior através dos vãos envidraçados, foram testadas, com sucesso, isolamentos amovíveis (Bakos, 2003).

2.2. Estudos de Simulação Dinâmica

2.2.1. Configurações

Geometrias

A forma geométrica e a relação proporcional da área envidraçada com a opaca, são cruciais no desempenho térmico destes espaços de ganho indirecto. É apenas nos trabalhos teóricos que a exploração destas relações é feita.

No que diz respeito à forma, uma das mais frequente entre os estudos é o prisma rectangular regular (Bataine e Fayez, 2011; Oliveti et al., 2012). A ortogonalidade das superfícies do solário coaduna-se com a maioria dos espaços envidraçados.

Tal como nos estudos experimentais, também foram conduzidas experiências com a geometria da cobertura, sendo que as com melhor desempenho (quando envidraçadas) possuem uma ligeira inclinação (Mihalakakou, 2002). Este tipo de configuração é mais eficiente a nível energético, numa base anual (carga de aquecimento mais carga de arrefecimento), do que o prisma rectangular regular de vidro (Bataine e Fayez, 2012). A par da geometria do solário, a relação entre envolvente opaca e transparente revela-se primordial para o desempenho energético da mesma.

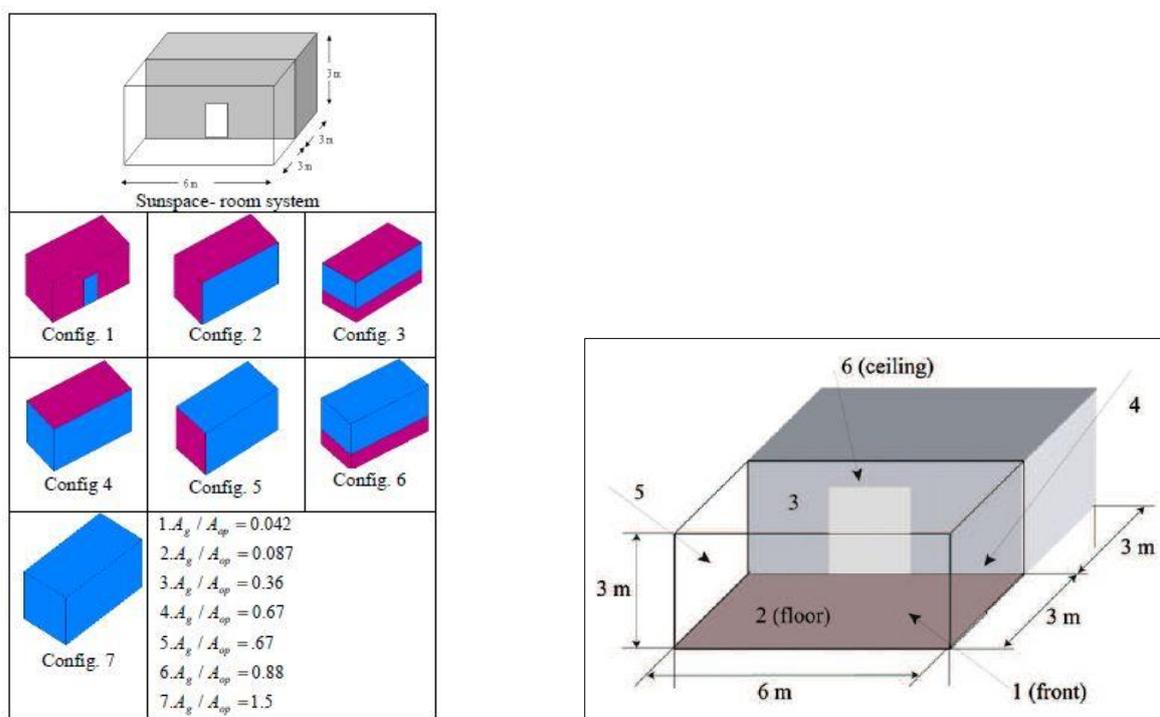


Figura 9. Configurações (Bataine e Fayez, 2012) [esquerda]

Figura 10. Geometria (Oliveti et al. , 2012) [direita]

À constatação de que ao aumento da área envidraçada corresponde um aumento da carga de arrefecimento, acrescenta-se que quando o tecto é envidraçado a mesma sobe exponencialmente (Bataineh e Fayez, 2012). Num balanço diário, quando a configuração já inclui o tecto envidraçado, não existem grandes diferenças nas configurações, uma vez que ao aumento dos ganhos diurnos corresponde um aumento das perdas térmicas nocturnas. Numa perspectiva anual, pesando a energia para aquecimento e para arrefecimento, a melhor performance é obtida com a configuração em que predominam as superfícies opacas (Bataineh e Fayez, 2011), conseqüentemente baixando drasticamente a vista para o exterior (Figura 9).

Nos estudos por simulação as condições de fronteira são na grande maioria as de um compartimento isolado, ao qual é justaposto um solário com 5 faces expostas ao exterior. Apenas num trabalho (Oliveti et al., 2012) se encontrou o estudo de um solário com outra relação com a envolvente, neste caso a existência de uma divisão habitada por debaixo deste (Figura 10).

Muito embora nestes trabalhos muitas das configurações possíveis sejam exploradas, existem ainda assim algumas por testar; como por exemplo, as versões de marquise em “caixa” e “pala”, descritas acima.

A relação entre a profundidade e a largura dos compartimentos contíguos aos solários, é também sempre a mesma. Não é estudado a possibilidade de o compartimento se desenvolver em profundidade e expor o seu lado menor ao solário.

Orientação/Localização

Como na maior parte dos sistemas solares passivos a orientação tem muita importância na prestação energética do sistema.

Na maioria dos trabalhos os ganhos solares para as orientações este e oeste, são similares (Oliveti et al., 2012), ou considerados como tal, de modo que só se realizam simulações para um dos quadrantes (Bataineh e Fayez, 2011).

Para a orientação norte não existem mudanças significativas na carga de arrefecimento com a mudança de relação entre áreas envidraçadas e opacas. É nesta orientação que se registam os piores resultados em termos anuais (Bataineh e Fayez, 2011).

Já a comparação relativa dos ganhos solares dos quadrantes sul e este/oeste varia consoante a latitude. Em latitudes mais elevadas, e.g. 40° N, a orientação sul tem

clara predominância sobre as outras. A energia incidente baixa cerca de 9,5% das orientações este/oeste para sul.

Em latitudes mais baixas e.g. 35°N, os ganhos solares obtidos no quadrante sul ficam abaixo das orientações este e oeste, devido à posição relativamente alta do Sol, em relação com o horizonte (Bataineh e Fayez, 2011).

Deste modo este sistema solar passivo é bastante influenciado pela latitude, como vimos, mas também pelo clima. Os riscos de sobreaquecimento são muito grandes em climas quentes, mas não se podem menosprezar em climas temperados e mesmo nos climas frios (Mihalakakou, 2002).

Tipo de uso

A contabilização dos ganhos internos é essencial para o apuramento do conforto térmico e necessidades térmicas dentro dos edifícios.

O estudo do desempenho térmico dos solários é habitualmente realizado sem qualquer tipo de ganhos internos, quer no espaço em questão quer no espaço adjacente. Se por um lado é mais fácil obter os ganhos efectivos, pelo outro o comportamento térmico destes não é realista. Apenas num trabalho (Bataineh e Fayez, 2011) são contabilizados os ganhos internos, neste caso usando como perfil de ocupação o de uma sala típica.

Ventilação

Os fluxos de massa de e para as marquises, e o seu controlo, revela-se essencial para estabelecer condições de habitabilidade no próprio espaço e para reduzir os gastos energéticos nas divisões adjacentes (Oliveti et al., 2012).

A ventilação (transferência de massa) é uma das formas mais eficazes de evitar o sobreaquecimento. A remoção do calor acumulado na marquise é feita através de um aumento das perdas por convecção e tem como consequência o arrefecimento da galeria. Por exemplo, para uma orientação a sul e com vidros duplos, a remoção de calor por convecção a partir das superfícies opacas pode ser aumentar de 6% para 18% com uma taxa de renovação de 2 ciclos por hora (Oliveti et al., 2012).

A ventilação nocturna é uma das técnicas mais referidas nos trabalhos observados. Esta permite a libertação do calor acumulado nas galerias ao longo do dia. A eficiência desta técnica é proporcional à diferença de temperaturas entre o interior e o

exterior (Bataineh e Fayed, 2011). Já com uma renovação de ar de cerca de 7 ciclos por hora durante a noite, as necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento podem descer até 40% (Bataineh e Fayed, 2011), crescendo com a proporção de envidraçados. Todavia estes resultados são a conjugação de ventilação nocturna com sombreamento.

Em termos de modelação da circulação de ar, os artigos estudados não são completos. A ventilação natural resultante da operação das janelas, por parte dos ocupantes, não é estudada. Falta portanto um modelo de ventilação que mimetize esta forma de controlo ambiental, para controlo da temperatura, por parte dos ocupantes.

2.2.2. Soluções construtivas

Medidas de melhoramento

O desempenho térmico dos solários e sua influência no comportamento térmico das divisões adjacentes, depende da dimensão material das suas fronteiras.

As composições dos elementos construtivos são sempre representativos das técnicas disponíveis em cada localização (Bataineh e Fayed, 2011).

A capacidade calorífica e, conseqüentemente, a inércia térmica também influi no desempenho dos solários. Segundo alguns autores (Oliveti et al., 2012) a influência da inércia térmica é mínima. Por exemplo, variando a capacidade calorífica das paredes de 175 kJ/m² para 302,1 kJ/m², e com uma orientação a sul, os ganhos térmicos na divisão adjacente passam de 2.5% para 2.9%.

As caixilharias cuja área pode chegar aos 30%, relativamente à área total do vão, deveriam ser representadas.

Medidas de melhoria

A grande área de envidraçados faz com que estes espaços possuam uma grande amplitude de temperaturas. Para diminuir essa flutuabilidade alguns técnicas têm sido testadas.

A questão mais premente é a composição dos vãos envidraçados. Segundo alguns autores (Bataineh e Fayez, 2011), para uma orientação a sul, a utilização de vidros duplos diminui as cargas térmicas em todos os tipos de configurações. Contudo este balanço é feito apenas com recurso à diminuição das cargas de aquecimento já que as necessidades nominais de arrefecimento não se alteram significativamente com a mudança do valor do coeficiente de transferência de calor superficial (U), decorrente da existência ou não de vidro duplo.

Os sistemas de sombreamento estão entre as técnicas mais usadas para evitar o sobreaquecimento nas marquises. Por exemplo, relativamente à temperatura operativa no espaço envidraçado, esta pode ser reduzida nos meses mais quentes cerca de 35%, embora também em combinação com a ventilação (Oliveti et al., 2012). A presença de sombreamento exterior pode também contribuir para a diminuição das perdas durante os meses frios (Oliveti et al., 2012).

Considerando um envidraçado com cortinas interiores, com um coeficiente global de $U=2.5 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$, um coeficiente de transmissão solar de 0.12 e um coeficiente de absorção de 0.15, estas podem reduzir as necessidades de aquecimento até 25% (Bataineh e Fayez, 2011). Com o uso desta técnica de protecção dos vãos envidraçados, conclui-se que o balanço global energético é melhor com os envidraçados simples do que com os duplos. A explicação está na maior penetração da radiação solar através do envidraçado simples (tendo assim maiores contribuições no inverno), cuja menor resistência térmica é compensada pela cortina (Bataineh e Fayez, 2011).

Não se encontraram estudos de algumas soluções construtivas que poderão ter bons desempenhos. É o caso dos vidros de baixa emissividade e das venezianas interiores. O reforço do isolamento das superfícies opacas na envolvente do solário, pode também ter influência nos resultados das configurações com menos área envidraçada.

Após a exposição do estado da arte dos modelos usados nos estudos sobre solários, o passo seguinte é definir os métodos de avaliação.

2.3. Modelos de avaliação

2.3.1. Conforto térmico

O objectivo deste trabalho é avaliar a eficácia energética de diferentes soluções de reabilitação para marquises tendo em vista atingir as condições mínimas de conforto. As medições da energia consumida no acondicionamento térmico das divisões serão sempre acompanhadas do nível de conforto atingido.

A avaliação do conforto térmico humano foi impulsionada pelo Prof. Ole Fanger, ainda nos anos 70. A noção geral de conforto térmico passa por um equilíbrio no balanço energético das trocas de calor entre o sujeito e a sua envolvente (ISO 7730, 2005). Esta sensação de neutralidade térmica, é quantificada numa escala de 7 pontos, o *Predicted Mean Vote* (PMV). Este índice prevê o voto de sensação térmica de um grupo grande de pessoas, em que o valor 0 representa o conforto, e os valores +3 e -3 representam respectivamente as sensações de calor e de frio. Como complemento a este indicador surge também o *Predicted Percentage Dissatisfied* (PPD). O PPD dá-nos uma previsão quantitativa de pessoas termicamente insatisfeitas, e é calculado a partir do PMV (ISO 7730, 2005). O PMV depende de 2 factores “pessoais”: o nível metabólico do sujeito, e o seu nível de vestuário usado; e 4 factores ambientais: a humidade relativa, a velocidade do ar, a temperatura de bolbo seco e a temperatura média radiante.

Contudo este indicador provou ter algumas limitações que podem afectar a sua utilização para prever o voto de conforto em condições do dia-a-dia. Uma das razões é a sua má aplicação para avaliar situações de conforto em períodos longos. A equação do PMV simula um estado de regime permanente, quando na realidade a vida quotidiana é melhor descrita como um estado de equilíbrio dinâmico (Humphreys e Nicol, 2002).

Foi na tentativa de melhor reproduzir a realidade da vivência humana, que a teoria do conforto adaptativo foi sendo desenvolvida (de Dear e Brager, 1998).

Conforto Adaptativo

A teoria do conforto adaptativo baseia-se no pressuposto de que as pessoas tendem naturalmente a adaptar-se às condições oscilantes no seu ambiente.. Ou seja: “Se uma mudança ocorre no sistema de forma a criar desconforto, as pessoas reagem de forma a restaurar o seu conforto” (Humphreys e Nicol, 2002).

Através do estudo de trabalhos de campo (de Dear e Brager, 1998), foi possível encontrar uma fórmula para uma temperatura neutra (em que o sujeito não sente calor nem frio), o equivalente ao valor 0 no PMV. Ao estabelecer uma ligação entre o voto de conforto e as acções tomadas pelas pessoas, o princípio adaptativo recria o resultado das interacções do sujeito com o seu ambiente, e principalmente a relação do ambiente interior com o exterior (Humphreys e Nicol, 2002). Algumas questões se levantam quando propomos caracterizar o conforto térmico de um espaço baseando-se unicamente numa temperatura. Como dizia o Prof. Fanger, aquando da análise de um gráfico de conforto adaptativo:

“Eu tenho dois problemas com este gráfico...o eixo vertical e o eixo horizontal.”

Relativamente ao eixo vertical, correspondente à temperatura de conforto, as principais dúvidas são a ausência de alguns parâmetros do PMV e se esta vai retratar os outros mecanismos de controlo ambientais, tal como a possibilidade de aquecimento.

Ora na maior parte dos ambientes interiores a velocidade do ar é relativamente baixa (quase sempre abaixo dos 0,1m/s) e a humidade moderada. A temperatura operativa^{iv} é uma média ponderada entre a temperatura média radiante e a temperatura de bolbo seco, sendo que o peso de cada uma está ligado à sua influência no balanço térmico do corpo humano. Deste modo a temperatura operativa é suficiente para servir de indicador de conforto de um espaço (Humphreys et al., 2010).

Quanto aos outros meios de acondicionamento do ambiente, estes irão influenciar invariavelmente o cálculo da temperatura de conforto, já que ela não é mais do que a projecção do conforto que os ocupantes fazem com os meios disponíveis.

No que diz respeito ao eixo horizontal, relativo à temperatura média móvel exterior, as principais questões prendem-se com a forma e as características inerentes a este valor.

Esta temperatura tem de reflectir em si o historial térmico recente, graduando de modo decrescente os registos de temperatura a partir do dia anterior. Essa graduação é dada pela constante α , que representa a relação entre a temperatura média móvel (exterior) e a temperatura de conforto (interior). Quanto maior for o seu valor, mais importância terão os valores das temperaturas dos dias anteriores. O valor recomendado para α é 0,8 (McCartney e Nicol, 2002). A equação para determinar a temperatura média móvel exterior, que será posteriormente usada no cálculo da temperatura de conforto, está já presente na norma EN 15251. Embora na sua fórmula original conte com as temperaturas médias exteriores dos últimos 7 dias, por uma questão prática usa-se uma versão simplificada (1).

$$T_{rmn} = \alpha T_{rmn-1} + (1 - \alpha) T_{dmn-1} \quad (1)$$

T_{rmn} é a temperatura média móvel exterior, α é a constante que nos dá a importância dos registos passados, T_{rmn-1} é a temperatura média móvel do dia anterior, e T_{dmn-1} é a temperatura média para o dia anterior.

A equação que determina a temperatura que será considerada neutra pela maioria dos ocupantes terá pois de reflectir as expectativas, mas também o modo de operação dos edifícios. Desta maneira, a diferentes modos de utilização do edifício e seus sistemas corresponderão diferentes equações de conforto. Através de um levantamento das temperaturas e comportamentos dos habitantes em diversos pontos da Europa (McCartney e Nicol, 2002), chegou-se à conclusão que abaixo dos 10°C de temperatura média exterior, o paradigma de conforto mudava. Havendo a possibilidade de aquecer o ambiente, a expectativa de conforto dos utilizadores altera-se, e a equação também. No mesmo trabalho é defendido para Portugal uma única equação de conforto, argumentando os autores que a temperatura média exterior raramente desce abaixo dos 10°C. Porém, numa análise preliminar dos registos climáticos de Coimbra de 1991, verificou-se que em cerca de 35 dias do ano a temperatura média exterior foi inferior a 10°C.

Recentemente, num trabalho também realizado na Europa (Rijal et al., 2011), são dispostas as equações que reflectem essa mesma dualidade. Desta maneira, correspondendo ao modo de ventilação natural (sem qualquer tipo de sistema activo de aquecimento) é sugerida a equação (2). Quando o edifício tem accionado um sistema de aquecimento propõe-se que o cálculo seja efectuado com a equação (3), que demonstra uma dependência muito menor da temperatura exterior.

$$T_{\text{comf}} = 0.33T_{\text{rmn}} + 18.8 \quad (T_{\text{rmn}} > 10^{\circ}\text{C}) \quad (2)$$

$$T_{\text{comf}} = 0.09T_{\text{rmn}} + 22.6 \quad (T_{\text{rmn}} \leq 10^{\circ}\text{C}) \quad (3)$$

T_{comf} corresponde à temperatura de conforto, e T_{rmn} a temperatura média móvel para o dia.

Um dos sistemas mais comuns para proporcionar uma sensação de arrefecimento do ambiente são as ventoínhas de tecto. Ora o uso destas modifica também as expressões de conforto. Está comprovado que a movimentação do ar, de 0.1m/s para cerca de 1m/s, pode elevar em 3°C a temperatura de conforto (Rijal et al., 2011). Assim, é sugerido que às expressões de conforto acima apresentadas, (2) e (3), seja adicionado o efeito das ventoínhas, resultando em duas novas expressões (4) e (5).

$$T_{\text{comf}} = 0.33T_{\text{rmn}} + 18.8 + (0.07T_{\text{rmn}}) \quad (T_{\text{rmn}} > 10^{\circ}\text{C}) \quad (4)$$

$$T_{\text{comf}} = 0.09T_{\text{rmn}} + 22.6 + (0.07T_{\text{rmn}}) \quad (T_{\text{rmn}} \leq 10^{\circ}\text{C}) \quad (5)$$

É um facto que a percepção humana da temperatura ambiente não é muito rigorosa, como é comprovado pela pequena escala (apenas 7 valores) do PMV. Por isso, é mais correcto falar de zonas de conforto, do que apenas de uma temperatura neutral. Assim e conforme a escala definida na EN 15251, podemos estabelecer bandas de conforto. Estas categorias são definidas conforme a exigência ambiental imprimida ao edifício. No caso deste trabalho as margens usadas equivaleram a $\pm 4^{\circ}\text{C}$, relativamente à temperatura de conforto obtida pelas expressões apresentadas. Esta margem corresponde a níveis aceitáveis para os edifícios existentes (categoria III), uma vez que o tipo de reabilitações proposto neste trabalho não candidata os edifícios a reabilitados.

No caso do uso das ventoinhas só o limite superior é movido, sendo o limite inferior igual ao da expressão sem ventoinha. (2)

Todas estas proposições podem ser resumidas num gráfico (Figura 11).

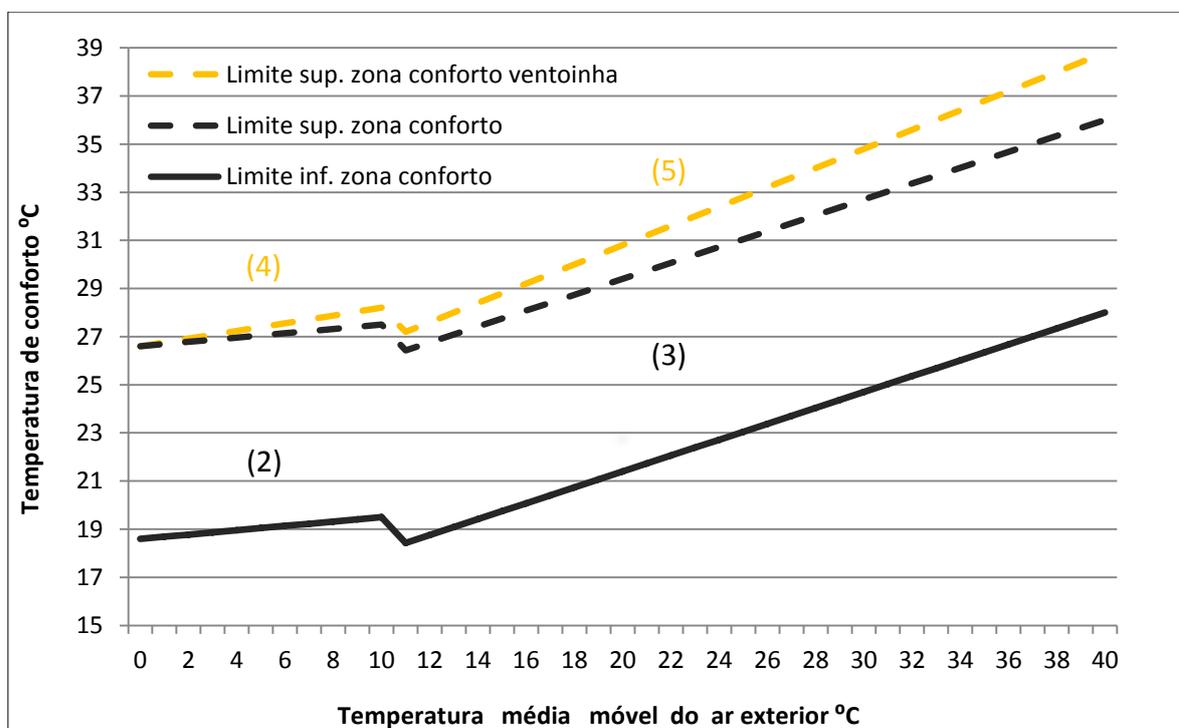


Figura 11. Zona de conforto baseada nas fórmulas (2) e (3) ,com e sem efeito da ventoinha (Rijal et al. 2011)

Estabelecido o conceito e as zonas de conforto importa ainda determinar um método que nos permita delimitar os desvios aceitáveis. Para tal, a Norma Europeia 15251 sugere 3 métodos para avaliar o conforto térmico geral a longo prazo. No presente trabalho será utilizado o método A, em que é calculado o número ou a percentagem de horas (nas quais o edifício está ocupado) em que o PMV ou a temperatura operativa está fora de um determinado intervalo. Como parâmetro de referência é usada a temperatura operativa, que se considera ser aceitável para caracterizar o ambiente interior. É estabelecido na mesma norma um desvio máximo de 5%, face à zona de conforto, calculado numa base anual. Não é avaliado neste trabalho o possível desconforto por assimetria. O controlo e avaliação da humidade do ar não foram considerados.

2.3.2. Avaliação energética

A contabilização dos consumos no acondicionamento térmico dos espaços é feita de acordo com os meios disponíveis para tal. Nos modelos com sistemas de ar condicionado é estabelecido um *setpoint* de temperatura, para o inverno e para o verão (Bataineh e Fayez, 2011).

Para caracterizar o desempenho energético destes espaços é usado o coeficiente de absorção efectivo. Este é definido como a energia (na largura de banda solar) realmente absorvida pelo espaço envidraçado, (Oliveti et al., 2012; Bataineh e Fayez, 2011). O aumento deste coeficiente (numa orientação a sul) traz poupanças nas necessidades nominais de aquecimento, mas acréscimos relativamente maiores na estação de arrefecimento. No balanço anual, quanto maior for o coeficiente de absorção, maiores serão os consumos energéticos para acondicionar termicamente o espaço. De resto a avaliação destes sistemas é sempre relativo à sua influência num espaço adjacente.

Neste trabalho não é proposto nenhum meio de condicionar o ambiente de forma mecânica. Assim, a avaliação energética será o somatório dos consumos com um sistema de aquecimento e um outro que promove o movimento do ar, a fim de proporcionar conforto nas horas mais quentes. Os consumos energéticos serão medidos relativamente ao caso base, em percentagem, discriminada por energia usada para aquecimento e arrefecimento do ambiente.

3. METODOLOGIAS DE ANÁLISE

3.1. Programas de simulação

O comportamento térmico dinâmico de uma galeria envidraçada pode ser bastante complexo, pelo que quando não se trata de um trabalho experimental, normalmente recorre-se a programas de simulação térmica de edifícios (Oliveti et al., 2012; Bataineh e Fayez, 2011).

ESP-r

No presente trabalho adoptou-se o programa ESP-r, desenvolvido pela *Energy Systems Research Unit* da Universidade de *Strathclyde* de *Glasgow*. Com uma história de 30 anos de testes e validação, é hoje em dia uma ferramenta de simulação robusta (Strachan, 2000). Apesar de necessitar de ajuda externa para completar os estudos ópticos (*Radiance*), a análise térmica realizada pelo programa é bastante precisa.

Este programa tem uma formulação matemática que recorre à técnica dos volumes finitos para resolver as equações de conservação da energia e massa, todas elas integradas em passos sucessivos para responder aos sistemas de controlo, clima e ocupantes. Para cada superfície e zona, representadas por nós, é efectuado um balanço energético, ao longo do período de simulação. O ESP-r conta, entre as suas capacidades, a possibilidade da representação de fenestraçãoes complexas. Isto faz com que seja possível simular, por exemplo, o uso de venezianas.

Para representar a circulação de ar nos modelos, é usada uma rede de pontos, que podem representar a temperatura e pressão de compartimentos, partes destes, ou componentes construtivos, como por exemplo, câmaras de fachadas duplas. Diferentes ligações podem ser estabelecidas entre nós, conforme o tipo de conexão a representar, caso se trate de frestas, portas, janelas ou outras. Aos componentes usados nessas ligações podem ser aplicados diversos controlos. A maior inovação neste campo vai para a integração no programa de um algoritmo que usa o modelo de conforto adaptativo (acima referido). Este é um passo importante para a reprodução cada vez mais fiel das condições de vida do quotidiano. Neste momento o algoritmo apenas é usado para controlar a abertura de janelas e o uso de ventoínhas (Rijal et al., 2011).

Uma vez que a possibilidade de ventilação nocturna foi construída a pensar no clima Paquistânês (o algoritmo foi desenvolvido com base em regressões de levantamentos de comportamentos em Karachi), esta só era permitida quando se verificava uma temperatura média exterior superior a 26°C. A temperatura mínima, para a Europa, para se efectuar ventilação desde o exterior sem que haja resfriados é normalmente considerada 16°C (Hamlyn et al., 2011). Assim, houve a necessidade de corrigir as expressões de conforto adaptativo e configurar a possibilidade de ventilação nocturna. A plasticidade e disponibilidade do código base permitiu a sua modificação e, posteriormente, efectuar a recompilação do programa.

Para extrair o código base do ESP-r versão 12.0 (revisão 8209), usou-se o programa TortoiseSVN 1.7.6, editando-o depois com o Crimson Editor SVN286M (APÊNDICE 1). A compilação do software foi realizada através da plataforma MinGW32. Os compiladores usados foram os gcc/g++/gfortran. As bibliotecas gráficas escolhidas foram as GTK, uma vez que o sistema operativo era Windows™.

A cadência de medições foi ditada pelos modelos que utiliza a componente CFC (*Complex Fenestration Construction*). Nestes é recomendável realizar as simulações com, no mínimo, 6 medições por hora (Lomanowski, 2008). Estes resultados são integrados num só valor por hora, a fim de conter o tamanho dos ficheiros de resultados.

O período pré-simulação utilizado é de 7 dias, valor predefinido pelo programa. O nível de informação das simulações é o 2. Este conta apenas com as temperaturas das zonas e das superfícies destas.

Energy Plus

Usou-se também o programa o *Energy Plus* para realizar um exercício de comparação de resultados entre os dois programas. O *Energy Plus* é um *software* de simulação desenvolvido pelo Departamento de Energia do Governo dos E.U.A. Este programa tem dois antecessores, o BLAST (*Building Loads Analysis and System Thermodynamics*) e o DOE-2, ambos desenvolvidos nos anos 80. Entre algumas das suas capacidades está também o cálculo de fenestrações complexas, que incluem por exemplo vidros electrocrómicos, persianas controláveis e o balanço energético camada a camada, o que permite a correcta avaliação da energia absorvida pelos panos de vidro.

3.2. Modelos físicos de marquises

Considerações gerais

Para a construção dos modelos urge descrever as simplificações e pressupostos assumidos. Primeiramente são apontadas as considerações relativas ao contexto do modelo.

As coordenadas usadas para situar o exercício foram 40.2N e 8.4W (Coimbra).

Para o cálculo das trocas de calor por radiação térmica (grande comprimento de onda) entre as superfícies do modelo e o meio envolvente é necessário escolher o tipo de exposição do local. Esta determina os factores de forma relativos entre uma superfície vertical e o céu, o solo e os edifícios circundantes. Os valores atribuídos a um centro urbano normal são de 0.36, 0.36 e 0.28, respectivamente. A reflectividade do solo é definida no programa, sendo o valor característico para um centro urbano de 0.2.

O coeficiente de pressão do vento nas fachadas é calculado pelo ESP-r, através do módulo *CpCalc*. Para tal é necessário fornecer alguns dados. As dimensões e a orientação do próprio edifício são retiradas da geometria deste. A cobertura do edifício foi considerada plana, com um ângulo de 10°. A altura dos edifícios da envolvente considerada é 12 metros. Para a obtenção do coeficiente de pressão é necessário fornecer a PAD (*plan area density*) (6).

$$PAD = \left(\frac{Area_{Building}}{Area_{Total}} \right) * 100 \quad (6)$$

Em que a $Area_{Total}$ [m²] é a área de influência considerada e a $Area_{Building}$ [m²] é a de contacto com o solo dos edifícios dentro da primeira. Com um raio de influência de 100m e um índice de ocupação do solo $\left(\frac{Area_{Building}}{Area_{Total}} \right)$ de 30%, característico de zonas suburbanas, o valor de PAD será de 30.

O perfil de exposição ao vento caracteriza a rugosidade do terreno. Foi escolhido o valor de 0.34, que equivale a áreas suburbanas de baixa densidade.

A simulação é feita com uma base anual, usando para tal o ficheiro de clima fornecido pelo DOE, para o ano de 1991 em Coimbra.

3.2.1. Configurações

Geometria

Como enunciado no capítulo introdutório, todo este exercício tenta recriar um cenário plausível para a simulação das condições existentes em edifícios das décadas de 60 a 80.

Desta maneira as dimensões são no geral menores que o normal para os dias de hoje, mas mesmo assim correspondem a dimensões mínimas (Figura 12) que asseguram a vivência normal de uma família de 4 elementos. (Pedro, 1999).

A cada divisão fez-se corresponder uma marquise que ocupa a totalidade da largura da mesma (em consonância com os modelos observados nos trabalhos revistos). Na face oposta dos compartimentos é também adorado um *hall*.

As marquises têm uma profundidade de 1,2m para cumprir o nível mínimo de qualidade, de modo a suportar as actividades em causa (Pedro, 1999). A altura livre das habitações é de 2,6m. Os caixilhos são representados de forma simplificada com uma moldura de 5 cm, perimetral ao vidro. Também a mobília é representada sinteticamente de modo a proporcionar alguma inércia térmica aos compartimentos (Figura 13). Todas as superfícies (paredes, envidraçados) dos modelos são ortogonais entre si, visto ser esta a disposição mais comum nas marquises.

Como exposto anteriormente (1.1), foram escolhidos 3 tipos de marquises representativas das configurações geométricas mais comuns. Por uma questão prática, a marquise tipo “caixa” será identificado com o nº1, o “balcão” com o nº2 e a “pala” o com nº3 (Figura 14).

Porque existem varandas envidraçadas em todos os quadrantes (1.1), os modelos serão testados em todos eles. Cada quadrante está identificado com uma letra. O sul é a letra “S”, o este é o “E”, o norte é o “N” e o oeste é o “W”.

O modo como o modelo interage com as suas fronteiras é essencial. Para obtermos de forma fidedigna os resultados de cada divisão, o comportamento térmico dos compartimentos adjacentes (que são contíguos às divisões principais e aos *halls*) é classificado como similar. Apenas as varandas têm contacto com o exterior através de 5 das suas faces. Esta configuração com a varanda isolada, sem quaisquer ligações a outras, foi a escolhida por ser a mais exposta ao ambiente exterior.

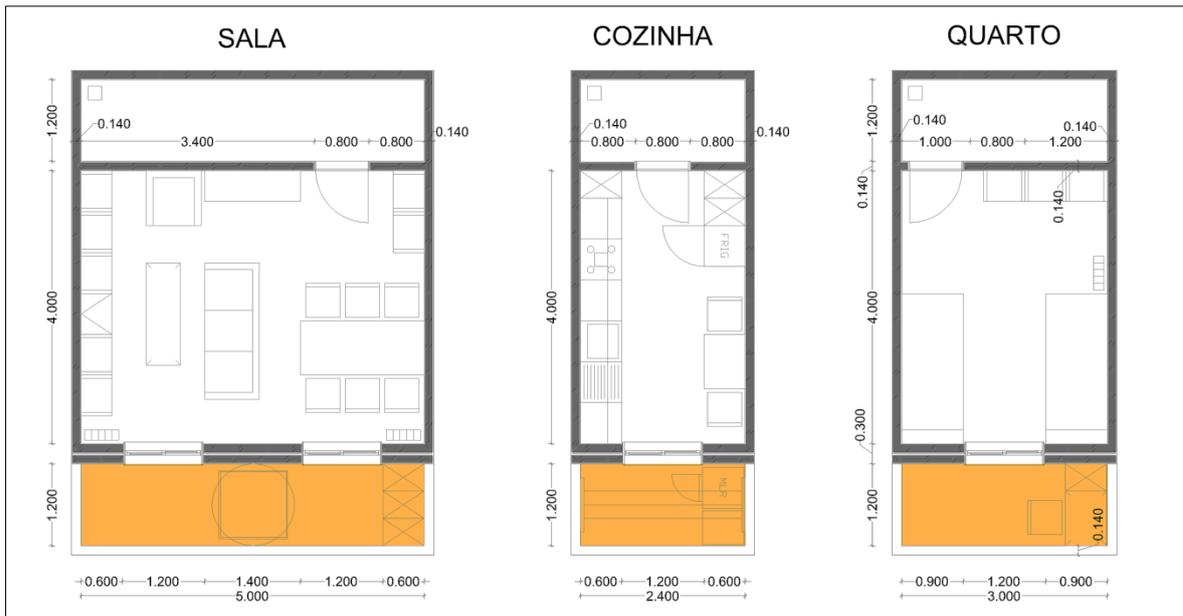


Figura 12. Plantas dos compartimentos

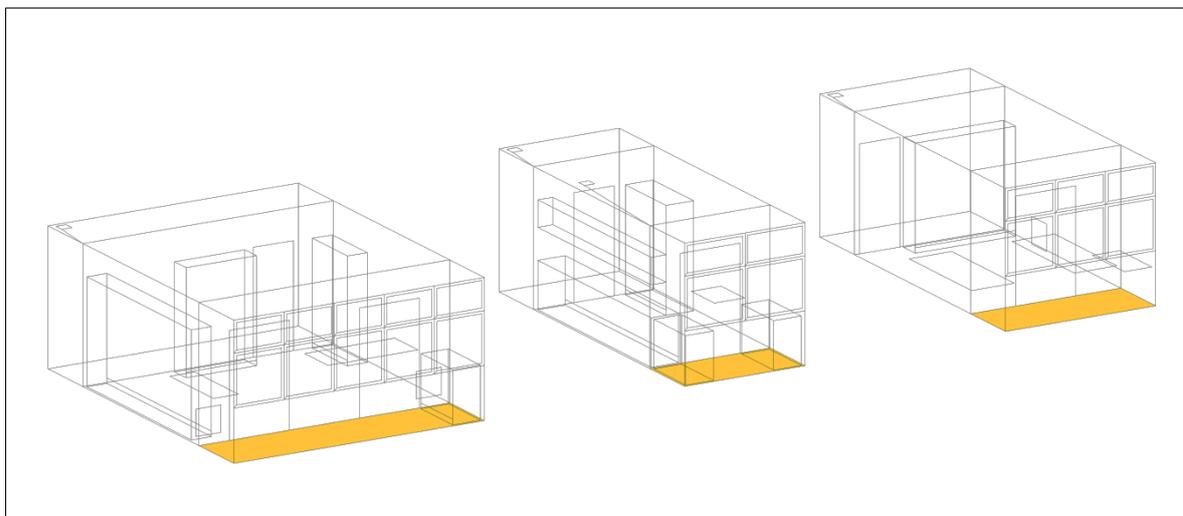


Figura 13. Perspectiva geral

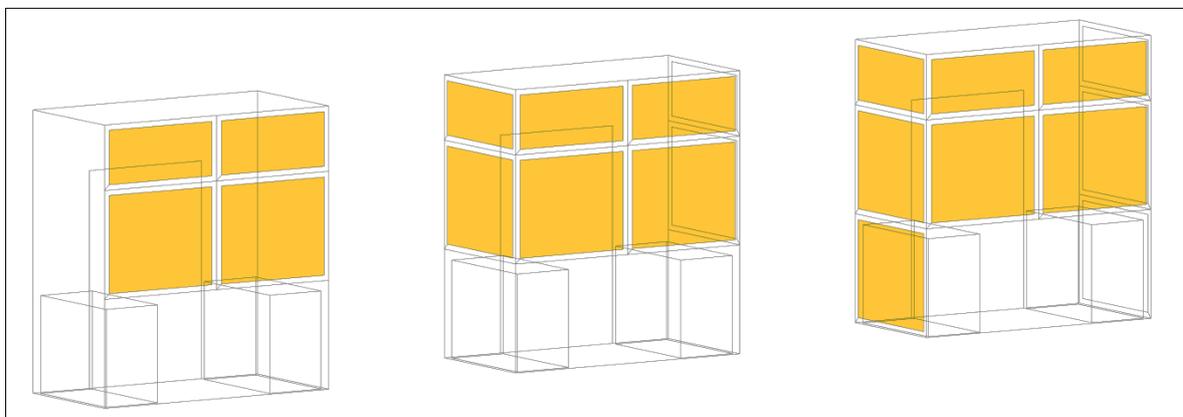


Figura 14. Perspectiva das 3 configurações (da esquerda para a direita) : [1] caixa, [2] balcão, [3] pala

Tipos de uso

O perfil de ocupação dos espaços foi estabelecido de forma a reproduzir nos devidos compartimentos as actividades e ganhos internos correspondentes, nos horários mais comuns.

De forma a colmatar uma falha nos trabalhos revistos (2.2.1) serão implementados 3 tipos de perfis de ocupação: uma sala, uma cozinha e um quarto.

A sala (L de *Living room*) serve como sala de estar e de jantar para 4 pessoas, e só é ocupada a partir da hora de jantar (Figura 16). A marquise em frente à sala (LS de *Living room Sunspace*) serve para recreio de crianças e espaço de lazer. É ocupada todos os dias ao fim da tarde (Figura 15).

A cozinha (K de *Kitchen*) cumpre o serviço mínimo para 6 pessoas com uma bancada em duplo “T” (Figura 18). A marquise correspondente (KS de *Kitchen Sunspace*) serve para o tratamento da roupa, e correspondente estendal. A ocupação deste espaço realiza-se nas manhãs do fim-de-semana (Figura 17).

O quarto (B de *Bedroom*) é duplo e durante a semana acolhe ao princípio da noite uma actividade de estudo para um (Figura 20). Em frente a este, a varanda envidraçada (BS de *Bedroom Sunspace*) serve como espaço de estudo semanal, também ao princípio da noite (Figura 19).

Nos *halls* (LH, KH e BH) não é considerada qualquer tipo de actividade.

Em todos os compartimentos o nível de actividade humana é tida como muito ligeira sendo por isso assumidos os valores de 70W e 45W (*CIBSE Guide A*), de calor sensível e latente respectivamente. A excepção é o quarto, que quando ambos os ocupantes se encontram a dormir, os mesmos valores passam para 40W e 25W. A estes ganhos correspondem fracções iguais em termos de convecção e radiação.

Quanto à potência da iluminação considerou-se um valor médio de 7 W/m², que produz uma iluminância de 300 lux, que satisfaz a maioria das actividades domésticas (*CIBSE Guide A*). A potência dos computadores e televisão são de 55W, a máquina de lavar roupa 100W e o ferro de engomar 300W (*ASHRAE Handbook – Fundamentals*). A todos os ganhos térmicos de proveniência eléctrica foram atribuídas a proporção de 30% de radiação e o restante por convecção (*CIBSE Guide A*).

Embora existam também varandas envidraçadas nos edifícios de serviços, este trabalho restringe-se ao parque habitacional.

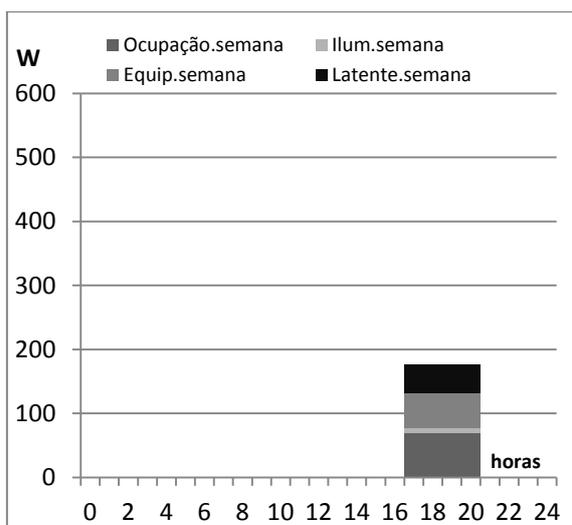


Figura 15. Ganhos internos LS

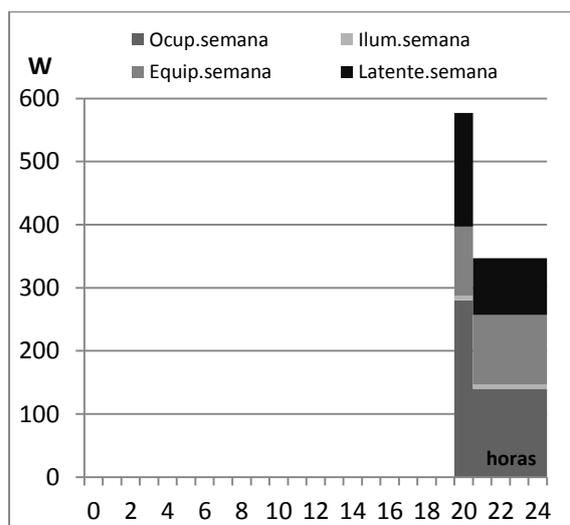


Figura 16. Ganhos internos L

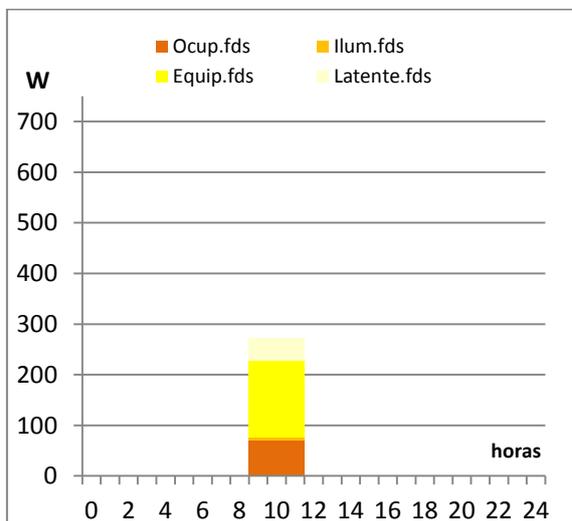


Figura 17. Ganhos internos KS

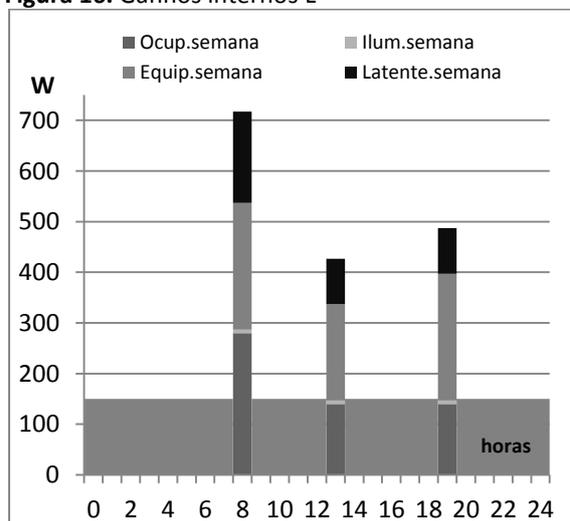


Figura 18. Ganhos internos K

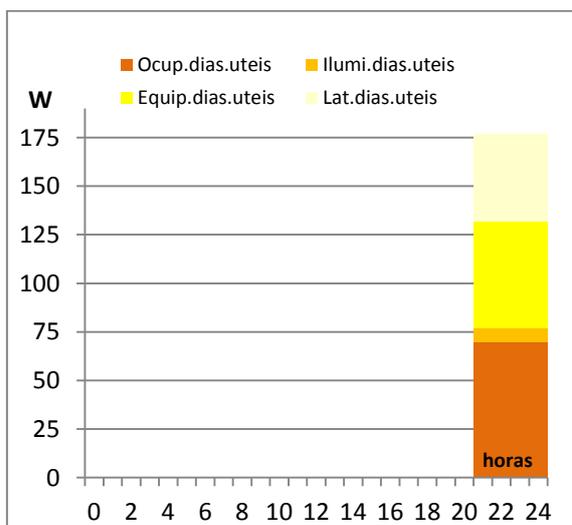


Figura 19. Ganhos internos BS

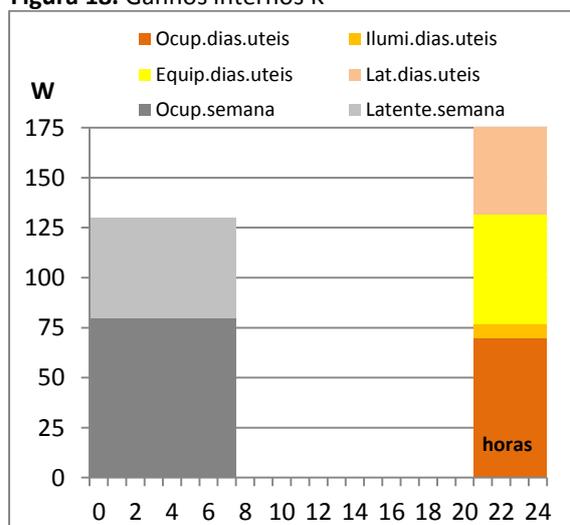


Figura 20. Ganhos internos B

Circulação de ar

É muito importante que a circulação de ar nos modelos seja o mais fiel possível às condições reais, pois é através destes fluxos de ar que pode passar muito do balanço energético de uma habitação.

Nos modelos foi implementada uma rede de circulação de ar. Este penetra através das frestas das caixilharias exteriores e interiores (ou através das janelas), percorre os compartimentos principais, entra nos *halls* por uma porta e escapa-se para o exterior através de grelhas de ventilação não reguladas no tecto. Na cozinha existe também uma grelha de ventilação não regulada, que representa a exaustão dos fumos. A extracção é feita de modo natural correspondendo por um lado ao efeito de chaminé, e por outro à própria pressão dentro do sistema (a exposição ao vento do telhado é a de uma cobertura com menos de 10° de inclinação, e pouco exposta).

Com esta sequência evita-se a ventilação cruzada, que pode implicar situações menos correctas, como por exemplo o ar “poluído” de uma cozinha fornecer um quarto na fachada oposta (Rodrigues et al., 2009).

No que respeita à estanquidade dos caixilhos existentes, a sua prestação foi considerada abaixo da classe 1 (Figura 21). Esta suposição deve-se ao desconhecimento da sua prestação inicial, e da natural degradação dos vedantes e pelúcias ao longo do tempo.

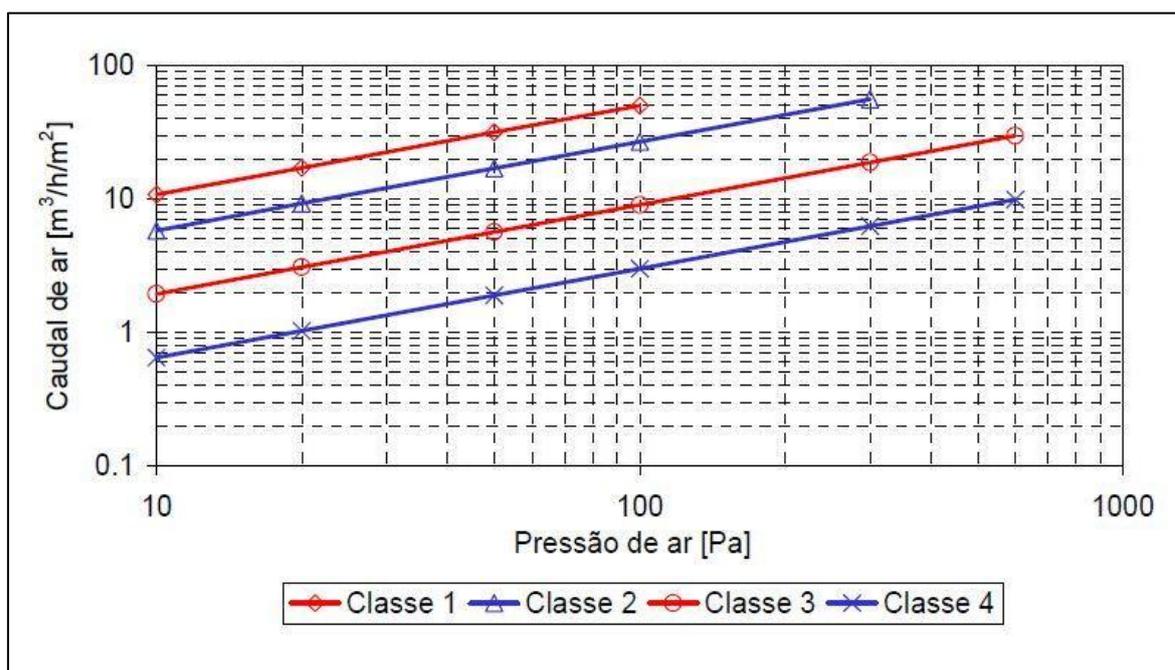


Figura 21. Limites superiores das classes de estanquidade ao ar das caixilharias (EN12207)

Arrefecimento

As pessoas usam os meios que têm disponíveis para restaurar ou aumentar o seu nível de conforto, neste caso térmico. Entre essas medidas contam-se o nível de agasalho ou o nível de actividade física, mas também os controlos manipuláveis do edifício como janelas, ventoínhas, venezianas, etc. (Rijal et al., 2011).

Os edifícios a operar em ventilação natural, representam a maioria do parque habitacional português. Cerca de 93% não dispõe de qualquer tipo de aparelho individual de ar condicionado ou bomba de calor (INE e DGEG, 2011). Os sistemas AVAC, presentes nos trabalhos estudados, não foram por isso utilizados neste trabalho.

A abertura de janelas e portas faz parte do mais elementar controlo que os ocupantes podem usar para evitar ou controlar o sobreaquecimento das habitações. Para simular o controlo da abertura dos vãos por parte dos ocupantes, o ESP-r dispõe já de um algoritmo que mimetiza o comportamento humano (Rijal et al., 2011), como foi já referido acima (2.3.1). O controlo das janelas só é efectuado quando a divisão está ocupada. Na ausência de ocupação existe ainda a possibilidade de ventilação nocturna. Só é tomada uma acção (abrir ou fechar) quando os limites da zona de conforto forem ultrapassados (Rijal et al., 2011). Este comando não permite a abertura de fracções da janela. Além da questão térmica existem outras motivações para o uso das janelas (Rijal et al., 2011), mas que neste trabalho não foram consideradas. Do mesmo modo, não foram implementados quaisquer constrangimentos à abertura das janelas.

Como meio auxiliar para proporcionar a sensação de arrefecimento do ambiente foi escolhido o ventilador. Aproximadamente de 70% das habitações portuguesas que possuem meios de arrefecimento (cerca 22%) usam para tal ventiladores (INE e DGEG, 2011). Embora o ESP-r permita o comando das ventoínhas de tecto, através do algoritmo de comportamento humano (Rijal et al., 2011), foi decidido não usar este meio durante as simulações. A actuação das ventoínhas no ESP-r equivale um deslocamento do limite superior da banda de conforto cerca de 3°C, para cima (Figura 11), atrasando a “decisão” de abrir as janelas para arrefecer o espaço (Tuohy et al., 2009). Uma vez que não podemos monitorizar a actuação das ventoínhas, o seu efeito no conforto térmico e consumo de energia serão contabilizados a *posteriori* das simulações.

As ventoínhas entram em acção sempre que os utentes sintam desconforto por calor. A potência das mesmas é de 75W.

Aquecimento

Os sistemas de aquecimento também fazem parte dos meios que podem contribuir para adaptação das condições interiores tendo em vista o conforto térmico.

Os equipamentos de aquecimento do ambiente estão presentes em cerca de 78% dos lares portugueses (INE e DGEG, 2011). Entre estes, o aquecedor eléctrico independente (radiador, convector, termo convector, termo ventilador, radiador cerâmico, etc.) é o mais popular, com 61,2% de preferência (INE e DGEG, 2011).

Embora na legislação as marquises não sejam considerados espaços úteis (1.2), a verdade é que estes são usados muitas vezes como espaços complementares, por exemplo de estudo (Henriques e Barros, 2011). Foi por isso decidido aquecer e usar as ventoinhas igualmente nas varandas envidraçadas.

Duas condições são necessárias para que o aquecimento seja ligado. Apenas com uma temperatura média móvel exterior abaixo de 10°C (Rijal et al., 2011), é que se põe a possibilidade de os aquecedores funcionarem. Além disso a temperatura operativa dos espaços tem de descer abaixo dos 22°C, no caso dos compartimentos principais, e 26°C no caso das marquises. Esta diferença deve-se ao facto de que as temperaturas médias radiantes das marquises chegarem a valores muito mais baixos e, deste modo, a temperatura do ar ter de ser mais alta para obtermos a mesma temperatura operativa.

O controlo do sistema de aquecimento também deveria ser comandado pelo algoritmo de conforto adaptativo. Mas no estudo preliminar das temperaturas de conforto verificou-se que para os 35 dias em a temperatura média móvel exterior descia abaixo dos 10°C, os limites das temperaturas de conforto, não variavam mais de 1°C. Portanto o facto de termos uma temperatura fixa como *setpoint* do aquecimento, não é por si um elemento de desregulação.

3.2.2. Soluções construtivas

Caso Base – OR

O desempenho energético será, neste trabalho, avaliado em função da solução construtiva adoptada. Por isso é importante definir as condições materiais do caso base que representarão as construções típicas das décadas de 60 a 80.

Durante este período os métodos de construção mudaram um pouco. Por uma questão de simplificação foi apenas escolhido um método de construção para o caso base.

Embora somente 21% dos edifícios tenham isolamento nas paredes exteriores (INE e DGEG, 2011) foi escolhida a parede dupla, com isolamento. As características destas foram baseadas na informação disponível para as soluções tipificadas dos anos em causa (Freitas et al., 2011), sendo que o valor de U é equivalente para a espessura utilizada (Figura 22).

Tendo em vista a simplificação não foram consideradas quaisquer pontes térmicas lineares neste exercício (embora o ESP-r já disponha de um módulo para tal).

Para as divisórias interiores foi escolhido o tijolo furado de 11cm, rebocado em ambas as faces (Figura 22).

Nas paredes das varandas, incluindo as guardas, foi utilizado uma lâmina de betão de 15cm rebocada de ambos os lados (Figura 22). Estes elementos elegantes em betão são bastante característicos da época (Gonçalves, 2007).

As lajes em betão são contínuas do interior para o exterior, variando apenas as espessuras e materiais de revestimento (Figura 22).

Para a composição dos vãos envidraçados foi escolhido o vidro simples. Esta decisão é baseada no facto de que cerca de 73% das habitações, em todas as orientações, possuem uma única camada de vidro (INE E DGEG, 2011). Embora muitas marquises disponham de vários tipos de vidro: martelado, baço, escurecido ou mesmo espelhado, foi escolhido fazer esta simulação apenas com vidro incolor liso (Figura 22).

As caixilharias utilizadas são também as mais comuns, em alumínio anodizado, sem corte térmico. As suas características técnicas são as da série B005 h da Extrusal®. Isto é válido tanto para as caixilharias de correr (abaixo) como as fixas (acima) (Figura 22).

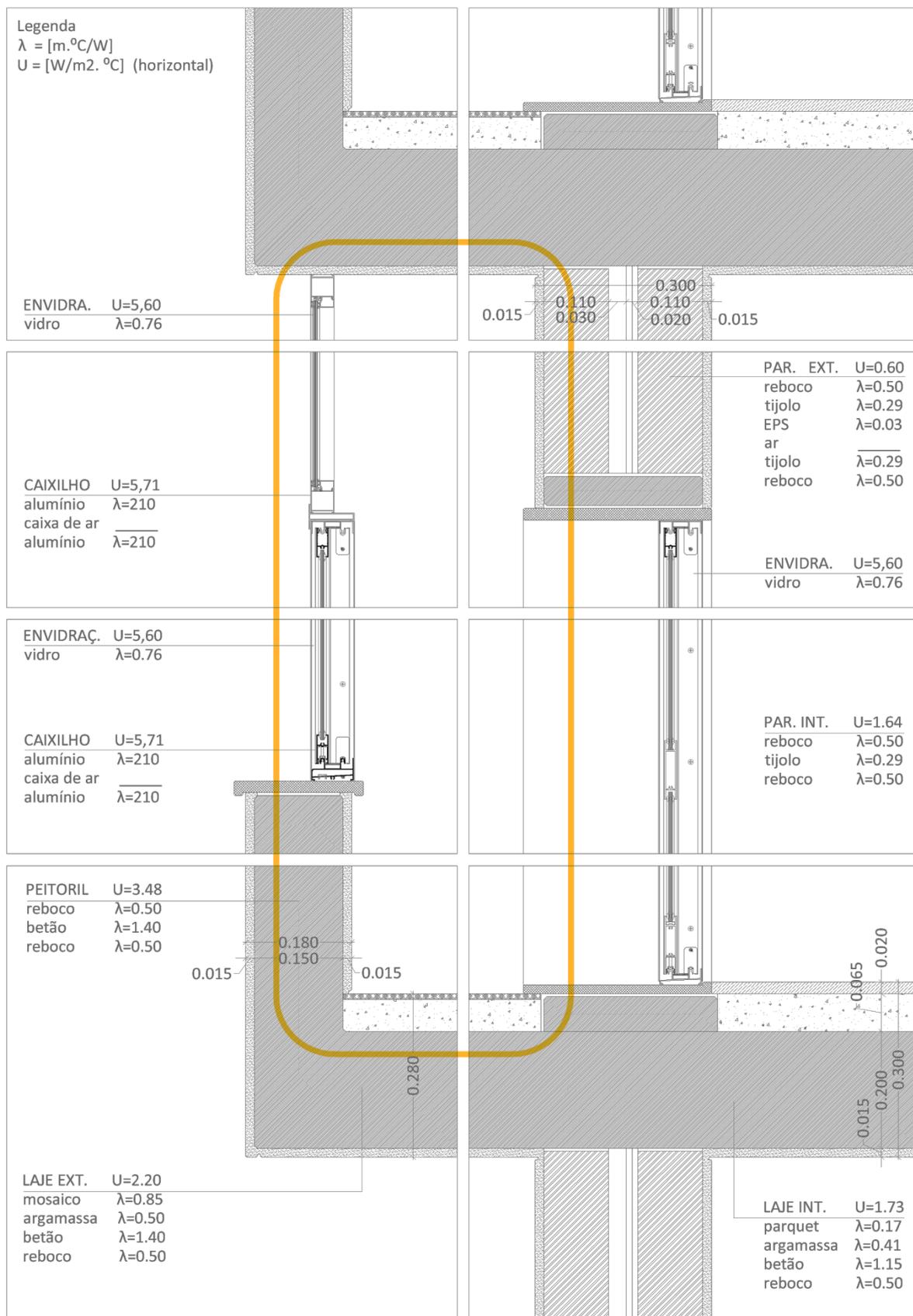


Figura 22. Corte construtivo transversal da marquise – escala 1:20

Para perceber qual a melhor forma de otimizar o desempenho das marquises, procedeu-se à análise da contribuição dos componentes da envolvente da marquise, do papel das infiltrações, e da contribuição dos ganhos internos e controlados no desempenho destes espaços. Dois estudos foram levados a cabo, um para a estação convencional de aquecimento^v (Figura 23) e outra para a estação convencional de arrefecimento^{vi} (Figura 24). A configuração LS2 foi a escolhida porque é a que tem a relação intermédia entre as áreas envidraçadas e opacas. A orientação é a Sul, pois é normalmente a de referência (Bataineh e Fayez, 2012).

Na estação de aquecimento o objectivo é naturalmente reduzir as perdas de energia para o exterior. As maiores perdas são repartidas por dois componentes, a infiltração (trocas de massa com o exterior) e as superfícies transparentes exteriores.

Para reduzir as perdas devidas à infiltração (Infilt.) é sugerido o aumento da estanquidade dos caixilhos, por exemplo com uma nova caixilharia.

A actuação sobre os envidraçados exteriores (Superf. Transp. Ext.) passa por conferir aos mesmos um maior isolamento térmico, ou seja substituir o vidro simples por vidros duplos ou mesmo utilizar vidros simples com baixa emissividade.

De referir que a compensação destas perdas se faz principalmente graças aos fluxos vindos do interior da habitação, mas também das superfícies opacas exteriores.

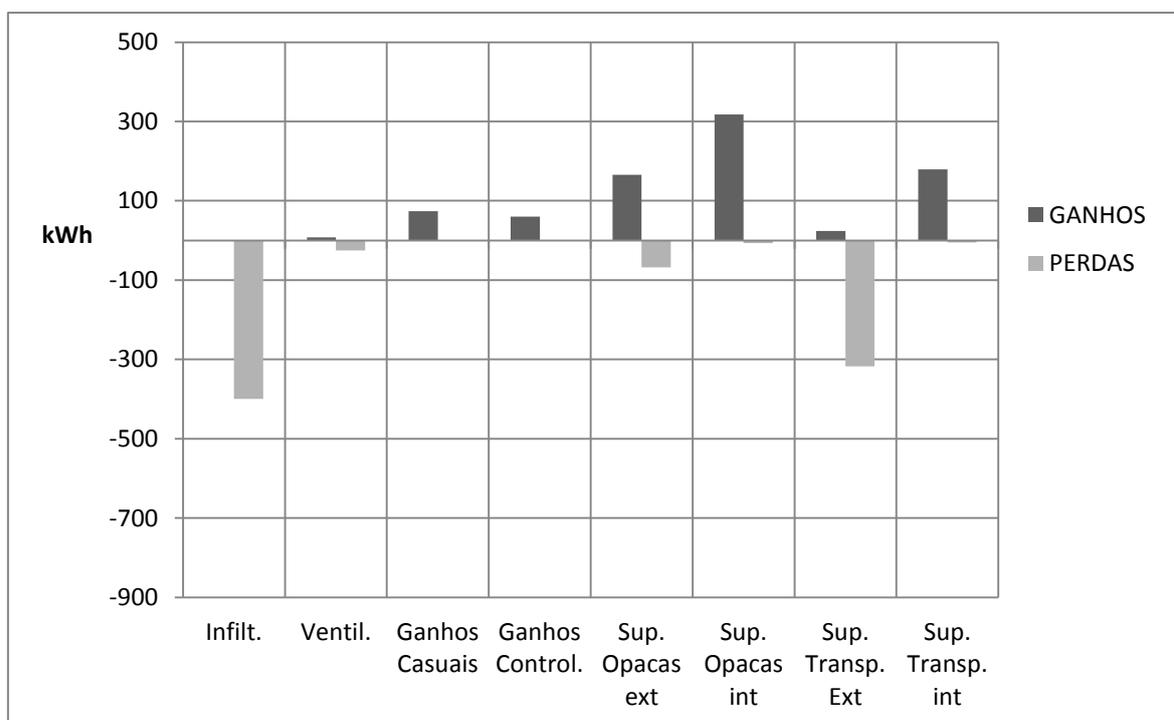


Figura 23. Balanço energético para LS2 na estação convencional de aquecimento (somente convecção)

Na estação de arrefecimento a política de gestão energética é reduzir os ganhos para que não seja necessário aumentar as perdas.

As superfícies opacas são de facto as grandes responsáveis pelos ganhos de energia na LS2. A solução para corrigir estes pontos fracos será aumentar o isolamento térmico das paredes (somente as exteriores), tecto e laje da marquise.

Atrás destes vêm os ganhos através das superfícies transparentes. A correcção deste ponto passa pelo sombreamento interior.

Praticamente todos os ganhos são rebatidos pelas perdas por infiltração, provando o bom funcionamento do esquema de circulação de ar. Apenas uma pequena parte da energia é dispersa através das trocas de massa com o interior, ou seja ventilação (Ventil.).

A análise dos resultados de alguns artigos (Oliveti et al., 2012) permitiu concluir que um dos problemas das marquises era a flutuabilidade das suas temperaturas relativamente às divisões interiores. Para suavizar essa oscilação serão fornecidas às marquises mais massa térmica.

Todas as medidas de reabilitação serão apenas aplicadas nas fronteiras externas do sistema, ou seja, nas paredes e envidraçados confinantes com o exterior.

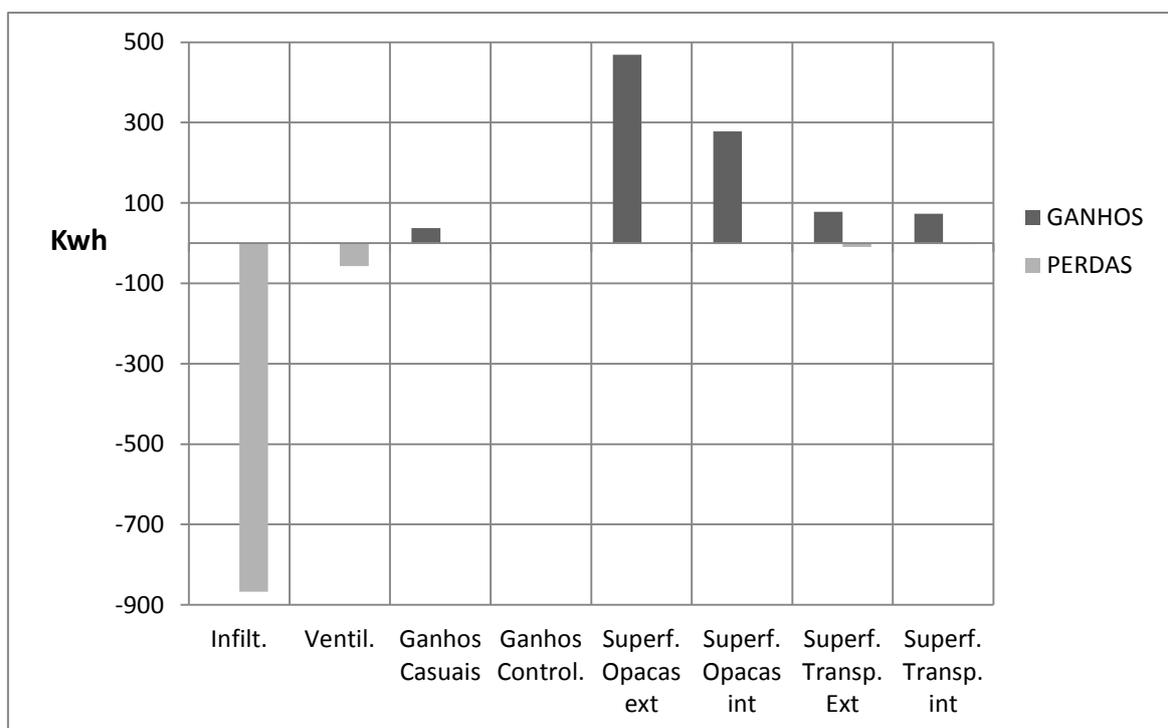


Figura 24. Balanço energético para LS2 na estação convencional de arrefecimento (somente convecção)

Vidros de Baixa Emissividade – LE

Esta opção consiste na substituição dos vidros existentes por um vidro simples, com uma película de baixa emissividade.

Esta medida de melhoria coloca-se entre a solução construtiva base e a caixilharia de vidro duplo. Esta opção tem claras vantagens, em termos económicos, uma vez que os vidros simples de baixa emissividade têm espessuras suportáveis pelas antigas caixilharias (Figura 25).

Só os avanços tecnológicos dos últimos anos é que permitiram o aparecimento dos vidros de baixa emissividade *hard coat*. Até à pouco tempo este tipo de camada era muito frágil à abrasão e tinha de estar protegida na cavidade dos vidros duplos.

A actuação destes é fundamentalmente no sentido de reduzir as perdas de calor, uma vez que a camada de baixa emissividade está na face interior, e assim grande parte da radiação de grande comprimento de onda é de novo reflectida de volta para o interior. A alteração clara é o valor do coeficiente geral de transmissão térmica (U) que passa de 5,6 para 3.6 W/m²K.

Os dados foram explorados através do programa *Window 6* do *Lawrence Berkeley National Laboratory* (LBNL). O vidro escolhido foi o *Pilkington Energy Advantage Low-e®*.

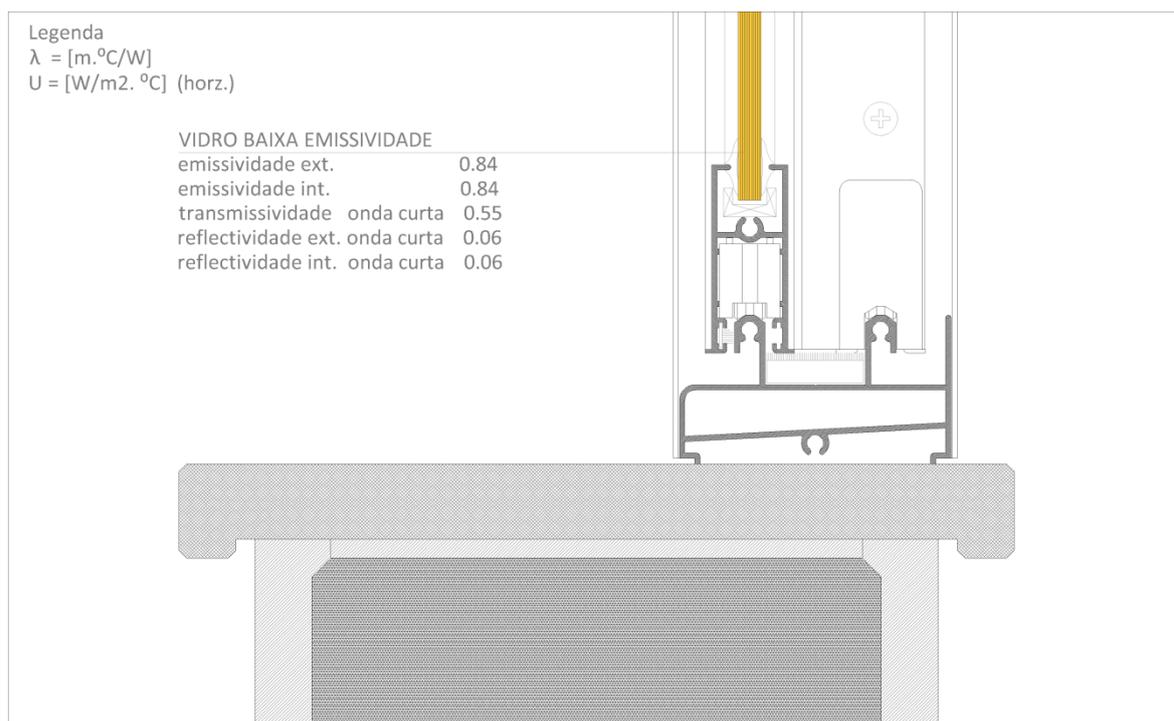


Figura 25. Corte transversal – LE. Escala 1:2

Inércia Térmica – TM

A grande oscilação das temperaturas nas marquises deve-se ao facto de estas não possuírem grande inércia térmica. Um modo de colmatar essa falta é através do uso de tanques de água.

A primeira experiência documentada, no sentido de usar a água como elemento de inércia térmica, foi talvez a realizada em 1947 pelo Prof. Hoyt Hottel, no *Massachusetts Institute of Technology* (MIT). A partir de aí, houve outros estudos, sendo um dos mais conhecidos o conduzido por Steve Baer no Novo México, com barris de 200L a servirem de recipientes (Bainbridge e Haggard, 2011). De entre muitas outras experiências com diferentes formatos e materiais para os contentores, inclusive transparentes (Fernández-González, 2007), destaco as de Denny Long e David Bainbridge. Estes construíram uns paralelepípedos em aço com as dimensões de 0,3x0,9x3,5m.

É baseado nesta última construção que são dimensionados os tanques neste trabalho. A adaptação ao espaço disponível, nas varandas envidraçadas, resultou nas dimensões de 0,3x1,1x2,5m. Assim estes recipientes têm uma capacidade de 825 L.

Ao revestimento dos tanques foi dada o valor de absorptância (na largura de banda solar) de 0.9 de forma a garantir os maiores ganhos possíveis.

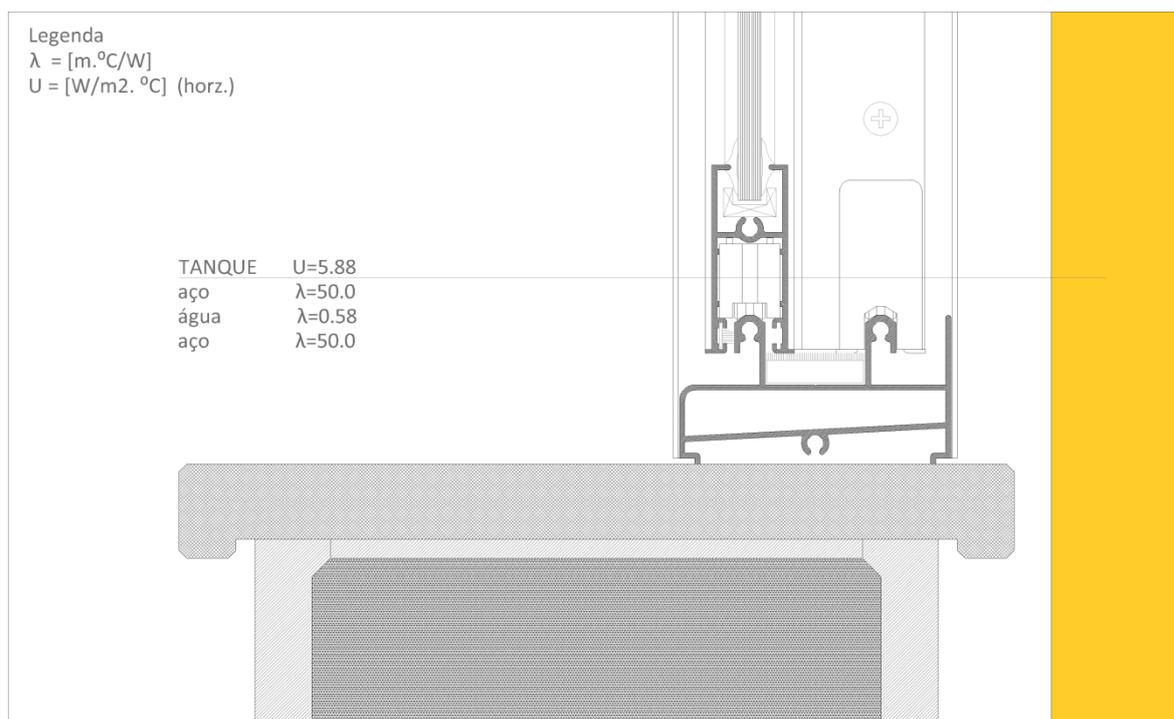


Figura 26. Corte transversal – TM. Escala 1:2

Vidro Duplo - DG

Esta medida de reabilitação envolve normalmente, no caso de caixilhos mais antigos, a substituição da caixilharia (Figura 27). Esta reforma geral do vão vai afectar o desempenho térmico das marquises de duas formas: alterando a transmissão de calor e a estanquidade ao ar do sistema.

A redução do valor de U do vão dá-se, não só pelo uso vidros duplos mas também pela mudança de isolamento térmico da caixilharia. No caso do vidro este passa de 5,6 para 2,8 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. No caso da caixilharia a mudança é de 5,7 para 2,9 $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Todos estes valores são referentes à transmissão de calor na horizontal.

A estanquidade ao ar do sistema da caixilharia irá sofrer um aumento. Passa de uma não classificação para a classe 4 (Figura 21). Com a redução das frestas inscritas na rede de circulação de ar, chegou-se ao valor de $0,9\text{m}^3/\text{h}/\text{m}^2$ (este valor é relativo à área de caixilharia), com uma diferença de pressão de 20 Pa.

Esta operação visa reduzir as perdas de calor para o exterior, mantendo os ganhos térmicos solares através dos envidraçados. Também o aumento da estanquidade terá influência no sentido de manter as temperaturas mais estáveis no inverno (Figura 24).

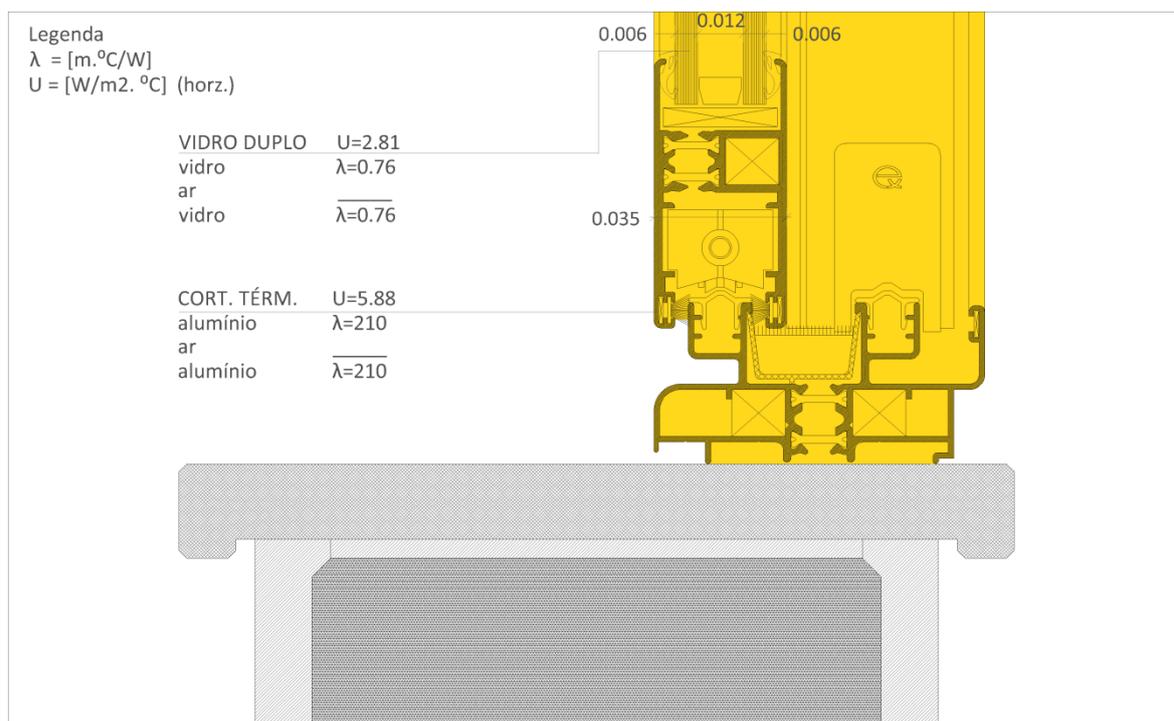


Figura 27. Corte transversal – OI. Escala 1:2

Isolamento nas Superfícies Opacas - OI

Como se viu no balanço energético (Figura 24) é interessante reforçar o isolamento térmico das superfícies opacas. Mesmo na configuração mais desfavorável, em KS3, as superfícies opacas constituem metade da envolvente das marquises.

Os sistemas de isolamento térmico pelo exterior (ETICS) são a forma mais comum de reabilitação das fachadas (Paiva et al., 2006). Foi escolhido como isolamento térmico o poliestireno extrudido com 60mm de espessura (Figura 28).

A opção de fazer o isolamento por fora, não é pacífica. Por questões de propriedade, este tipo de obras só se efectuará com a remodelação total do prédio.

Também por uma questão de simplificação foi feita a simples justaposição do sistema ETICS, no lado exterior da cobertura da varanda. Ora uma pormenorização mais cuidada, implicaria o uso de telas, e de uma protecção pesada, ao invés do uso do reboco armado.

Este tipo de intervenção tem uma dupla função, que é evitar o sobreaquecimento das marquises no verão, mas também dificultar a transferência de calor para o exterior no inverno. Ao mesmo tempo reforça a inércia térmica da varanda envidraçada.

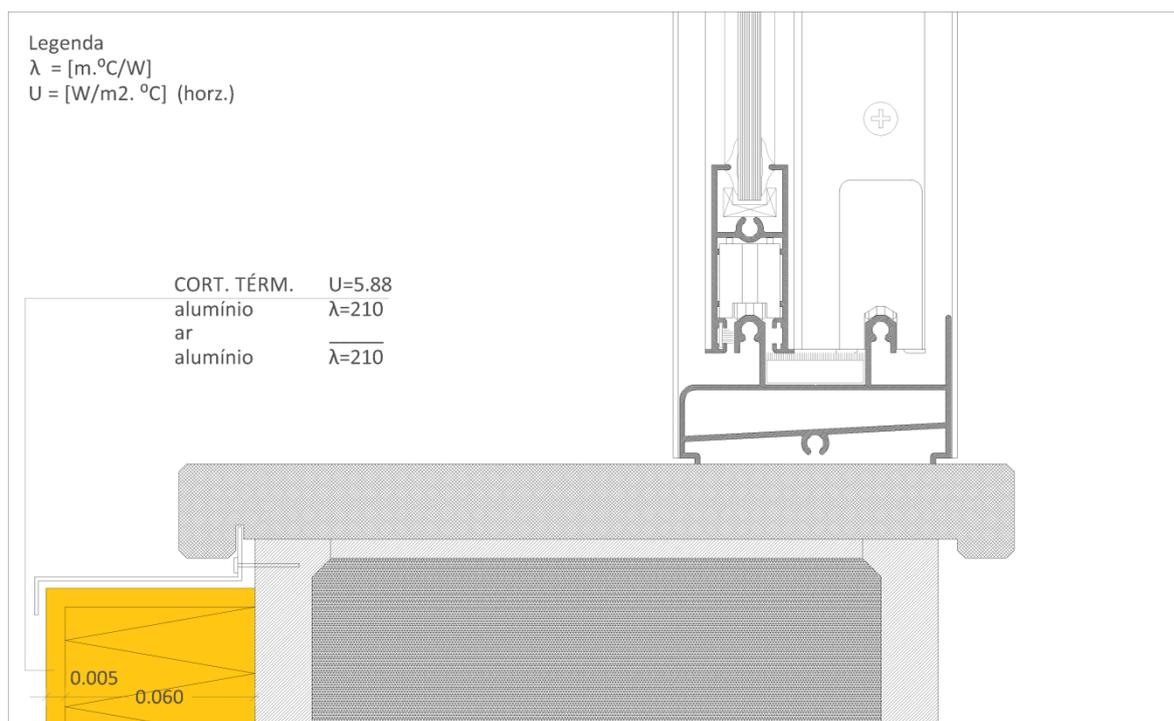


Figura 28. Corte transversal – OI. Escala 1:2

Estores Interiores – VB

Para testar a solução das venezianas interiores no ESP-r, recorreu-se à funcionalidade *Complex Fenestration Construction* (CFC). Esta consiste basicamente em construções mutáveis, desenhadas no programa *GSLeDit*, que alternam segundo um determinado controlo. A implementação no modelo seguiu as sugestões inscritas no trabalho de Lomanowski (Lomanowski, 2008). Apenas foi feita uma alteração aos dados que estão no ficheiro de transição. A emissividade à radiação solar dos estores propriamente ditos, que no modelo do *GSLeDit* têm 0.85 (exterior e interior), foi mudada para 0.09. Desta forma são simulados estores em alumínio polido. A emissividade à radiação térmica ficou igual a 0.84.

Embora este tipo de mecanismo seja normalmente associado ao controlo da luminosidade e da prevenção do encadeamento, neste trabalho está unicamente relacionado com as questões de conforto térmico.

Como o objectivo desta medida é tentar eliminar o sobreaquecimento nas marquises, a sua posição *default* é fechada. Só aquando da ocupação do espaço é que, se a temperatura (de bolbo seco, da zona em questão) estiver abaixo dos 22°C, as venezianas são recolhidas. Se a temperatura subir acima dos 26°C as venezianas são descidas. O ângulo das lâminas é sempre de 80° (Figura 29).

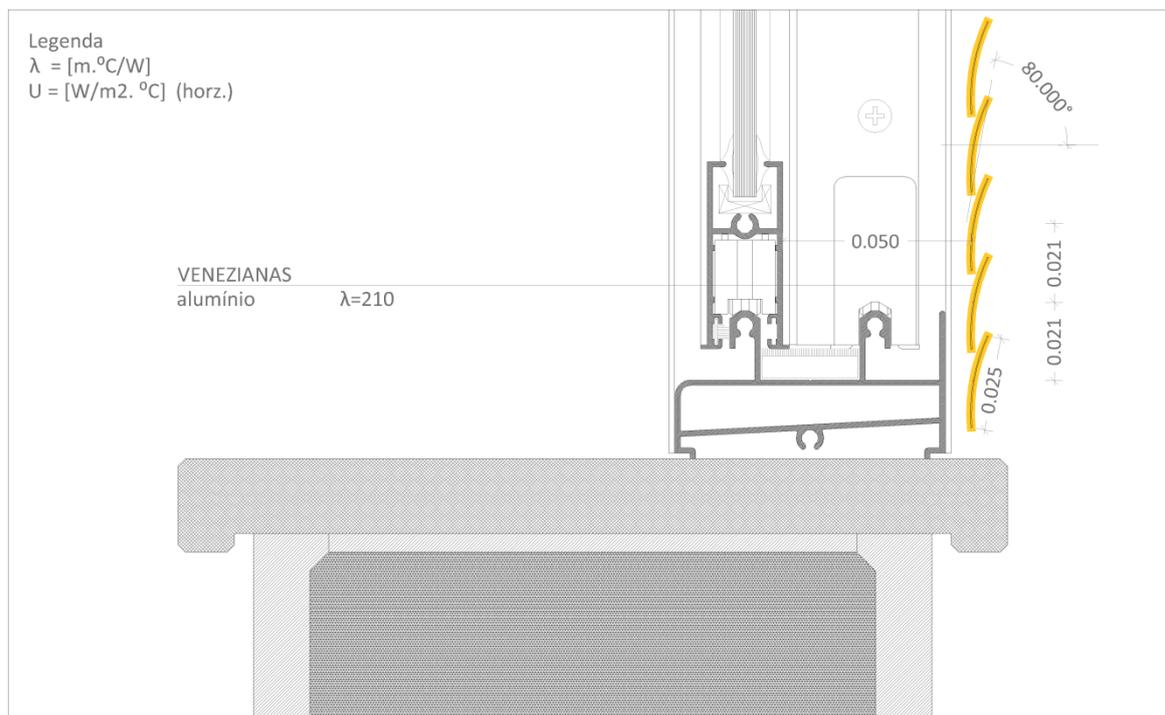


Figura 29. Corte transversal – VB. Escala 1:2

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DE RESULTADOS

Os resultados aqui dispostos correspondem aos obtidos para o quadrante sul, apresentando-se os resultados para os restantes quadrantes nos Apêndice 3 - Resultados oeste, Apêndice 4 – Resultados este, e Apêndice 5 - Resultados norte.

De acordo com o método de avaliação do conforto escolhido (2.3.1), apenas os períodos ocupados entrarão para a contabilização das horas de conforto.

Tanto os dados relativos ao conforto térmico como os de consumo de energia são apresentados em barras duplas, sendo que a primeira parte da barra corresponde ao espaço de marquise adjacente ao espaço interior. Os efeitos das medidas de reabilitação sobre os consumos são em variação percentual relativamente ao caso base (Tabela 1).

Tabela 1. Consumo de energia para aquecimento e arrefecimento no caso base, em kWh/ano

Consumos	SALA	LS	L		LS2	L2		LS3	L3
Aquecimento		58.58	3.37		59.76	2.78		60.81	2.65
Arrefecimento (ventoinha)		9.08	9.45		14.10	19.50		17.10	22.72
Consumos	COZINHA	KS	K		KS2	K2		KS3	K3
Aquecimento		9.57	18.75		8.85	16.51		8.06	41.35
Arrefecimento (ventoinha)		1.80	0.60		4.43	1.65		6.00	3.98
Consumos	QUARTO	BS	B		BS2	B2		BS3	B3
Aquecimento		39.00	9.53		43.49	7.63		46.44	7.59
Arrefecimento (ventoinha)		0.98	1.58		0.83	25.50		0.38	39.15

Nas representações gráficas, o conjunto de resultados da esquerda corresponde à configuração 1 (referida como “caixa”), o central é relativo à configuração 2 (“balcão”) e o conjunto da direita reproduz os resultados da configuração 3 (“pala”), tal como definidas na secção 1.1. Para desvendar os padrões de desconforto térmico ao longo do ano, são a seguir apresentados os valores da temperatura operativa da solução base da configuração 2, juntamente com os da melhor solução de reabilitação. É também detalhado o comportamento do conjunto ao longo de um dia de inverno e de um dia de verão, com a solução base e a melhor solução de reabilitação. As hipóteses de reabilitação estão identificadas com um código (Tabela 2).

Tabela 2. Códigos usados para as diferentes opções de reabilitação

OR	ORiginal	Caso base
LE	Low Emissivity glazing	Vidros de baixa emissividade
TM	Thermal Mass	Aumento da inércia térmica
DG	Double Glazing	Vidro duplo (e caixilharia com corte térmico)
IO	Insulation of Opaque surfaces	Isolamento das superfícies opacas
VB	Venetian Blinds	Estores interiores

4.1. Resultados com as soluções base

4.1.1. Configurações de marquises

Entre as três geometrias propostas a estudo existe uma clara concordância, sendo que quanto maior for a área envidraçada mais elevada é a temperatura à hora de maior incidência solar (Figura 30).

Regista-se que, com o aumento da área envidraçada, aumentam não só as cargas de arrefecimento (Bataineh e Fayez, 2012), mas também as de aquecimento. Tomando como exemplo o conjunto LS+L (OR) para sul, a configuração 1 consome 80.4 kWh/ano, a configuração 2, 96.1 kWh/ano e a configuração 3, 103.3 kWh/ano. Estas relações mantêm-se também nas outras soluções construtivas.

O balanço energético neste tipo de espaços é assim mais favorável às configurações com menos área envidraçada (Bataineh e Fayez, 2012).

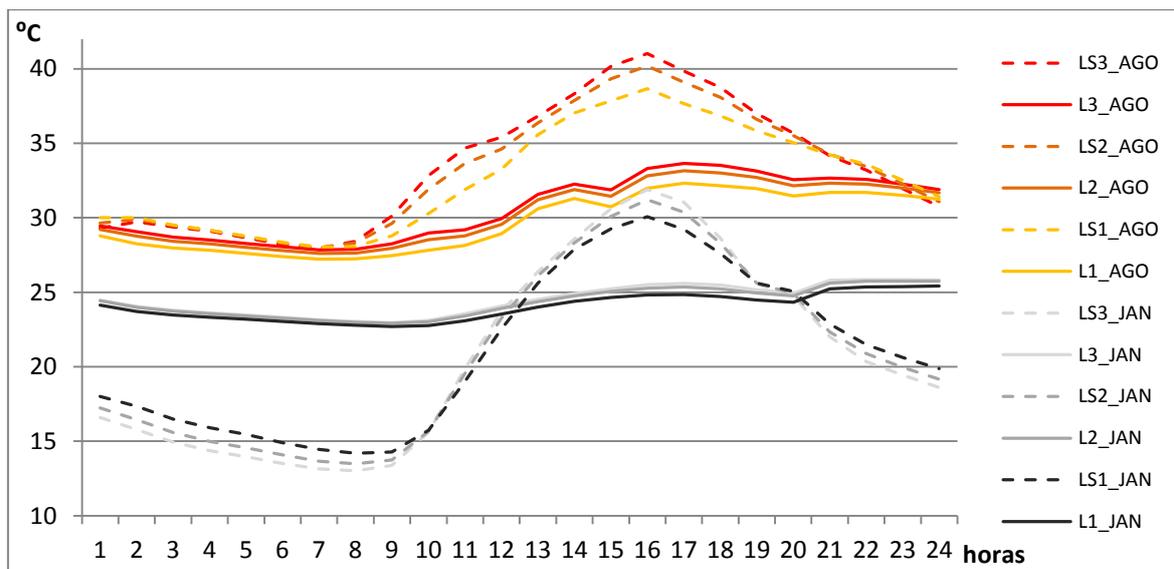


Figura 30. Temperaturas operativas para as três configurações, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto, Sul

4.1.2. Efeito da orientação

Quanto à orientação, o quadrante oeste é o mais crítico no que diz respeito aos valores máximos de temperatura (Figura 43). Também em termos de gastos energéticos, com um total de 130.5 kWh/ano, este é o quadrante com registos mais elevados, secundado pela orientação sul com 96.1 kWh/ano (conjunto LS+L, configuração 2). Esta constatação é coerente em todas as configurações.

De referir que as configurações 2 e 3 amenizam um pouco a relação entre quadrantes, ao contrário da configuração 1 que acentua as diferenças.

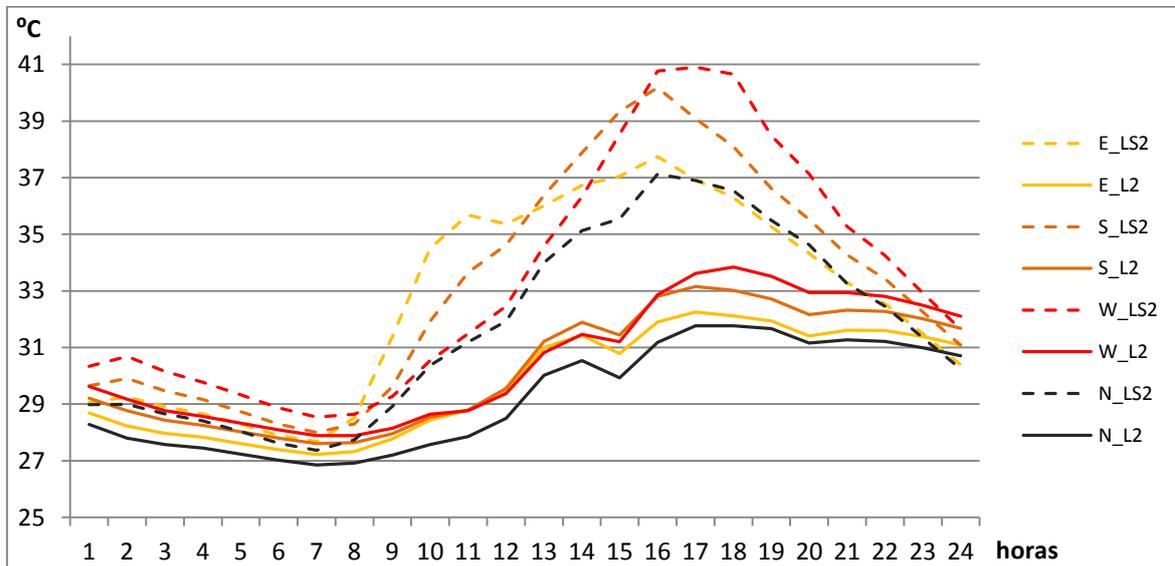


Figura 31. Temperaturas operativas para o conjunto LS2+L2, dia 10 de Agosto, todos os quadrantes

4.1.3. Tipologia de espaço

O programa associado a cada espaço tem influência nos resultados, não só pelos ganhos internos associados, como pelas estratégias de ventilação e controlo, mas também pelo horário em que é ocupado que, no caso deste trabalho, é também o período de avaliação. Assim, e embora os espaços tenham dimensões diferentes, são principalmente os ganhos internos na cozinha que fazem com que a temperatura desta seja mais elevada em relação aos restantes compartimentos (Figura 32).

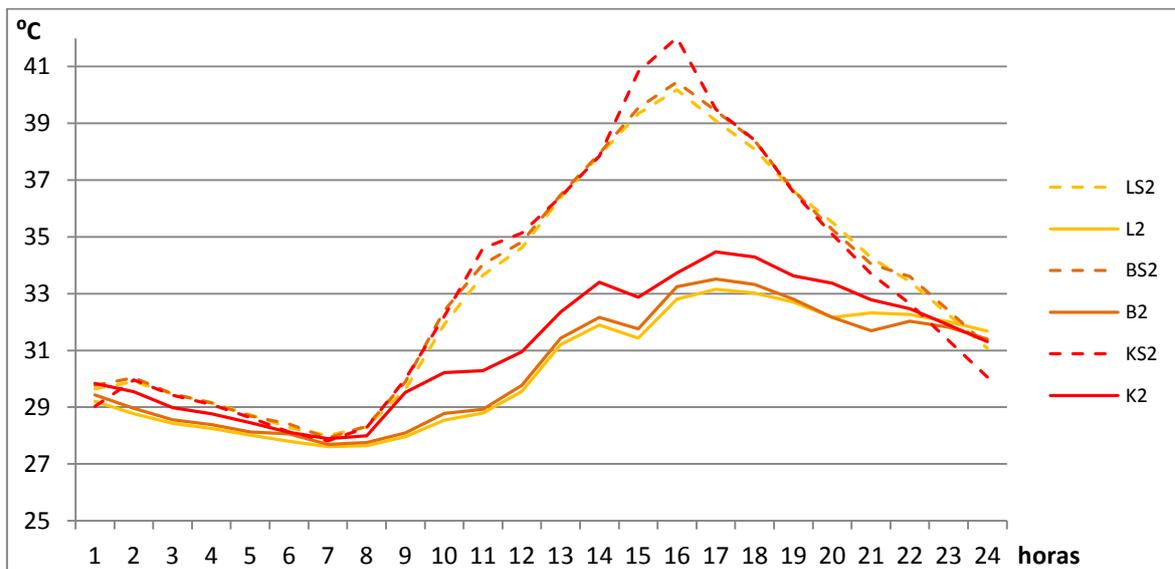


Figura 32. Temperaturas operativas para o conjunto L+K+B, dia 10 de Agosto, Sul

4.2. Efeitos das medidas de reabilitação – orientação sul

4.2.1. Sala

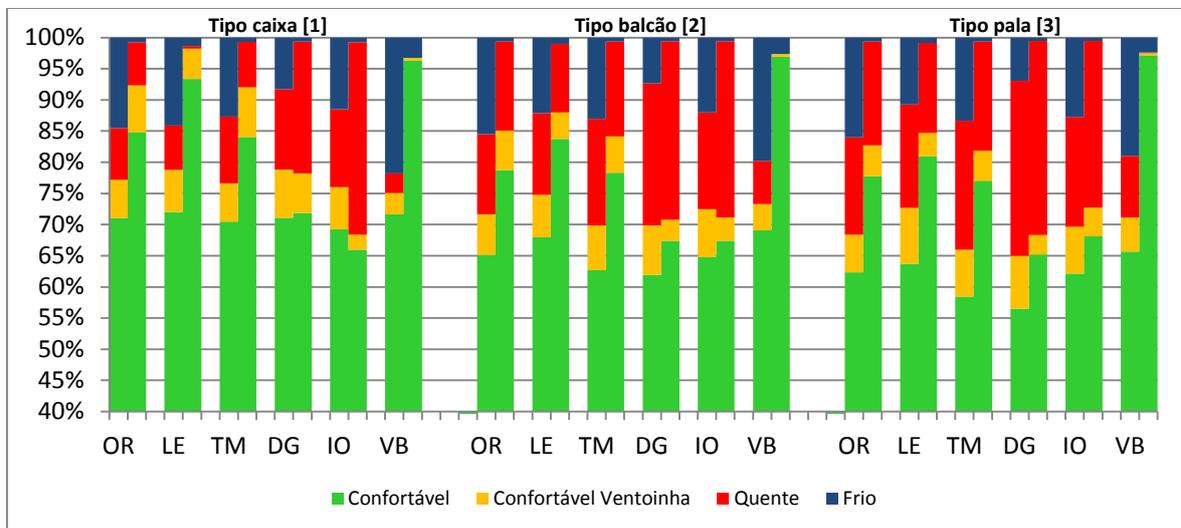


Figura 33. Percentagem de horas de conforto

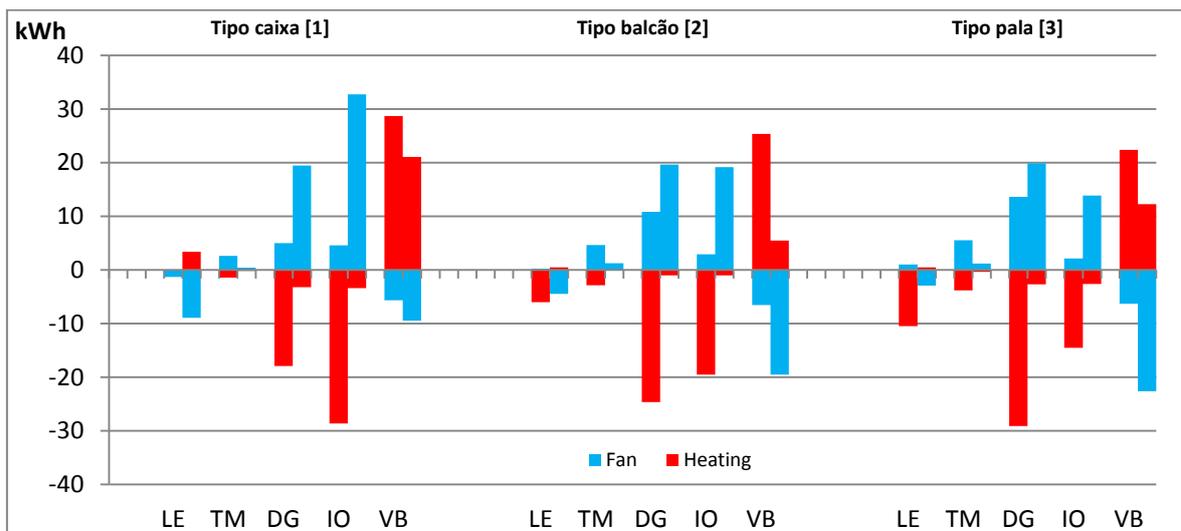


Figura 34. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base

No conjunto sala, só duas das soluções apresentam melhorias consistentes relativamente ao caso base. Relativamente ao conforto térmico a melhor solução é a LE para a configuração 1, enquanto para as restantes é a VB. Com a solução VB, a meta de 95% de tempo em condições de conforto é atingida, em todas as configurações sem recorrer ao uso da ventoinha. Os resultados mais pobres são sem dúvida os DG e IO, que não apresentam melhorias significativas quer nas marquises quer nas divisões principais. Quanto aos consumos de energia (aquecimento e arrefecimento), apenas a LE é que regista poupanças. Por exemplo, em LS1+L1, de 80.4 kWh/ano em OR passa para 73 kWh/ano.

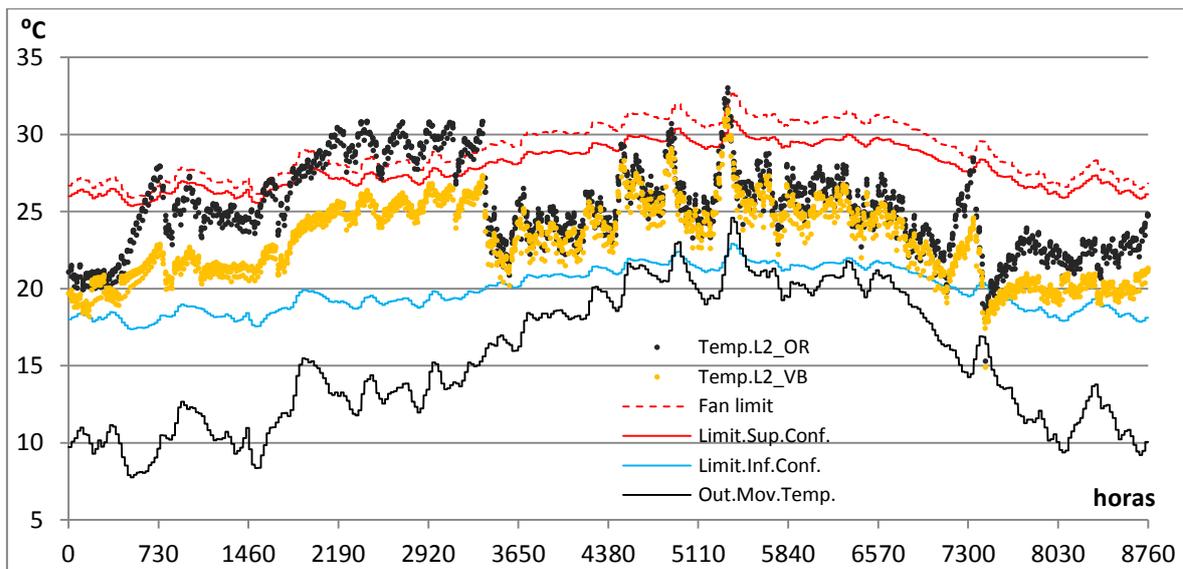


Figura 35. Dispersão da temperatura operativa da L2 ao longo do ano, e margens de conforto térmico

Existe um período que sai claramente da zona de conforto, com temperaturas elevadas (Figura 32). Embora estranho (porque não se situa no pico do verão), explica-se pelo facto de a ventilação em períodos não ocupados, só ser permitida aquando de uma temperatura média móvel exterior de 16°C (3.1). No início do inverno, a temperatura exterior ainda não “autoriza” o aquecimento (só abaixo dos 10°C), mas já se registam temperaturas fora da zona de conforto.

Na análise mais focada do comportamento das soluções (Figura 33), com a utilização de VB é constatado a descida da temperatura em ambas as divisões e nas duas estações (uma vez que a estratégia de controlo das venezianas é igual para todo o ano).

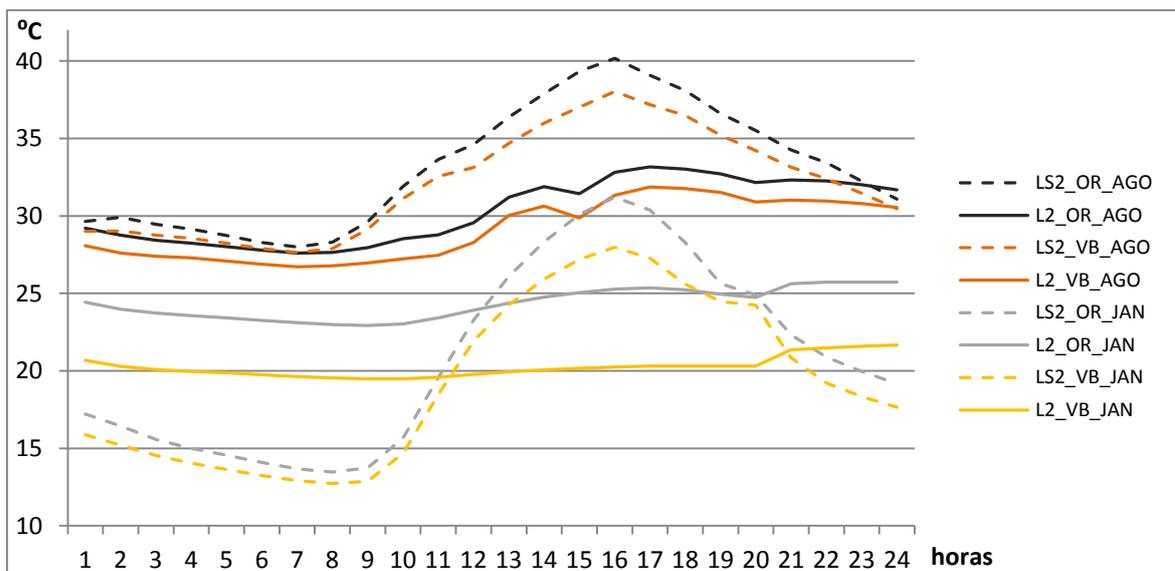


Figura 36. Temperaturas operativas para o conjunto LS2+L2, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto

4.2.2. Cozinha

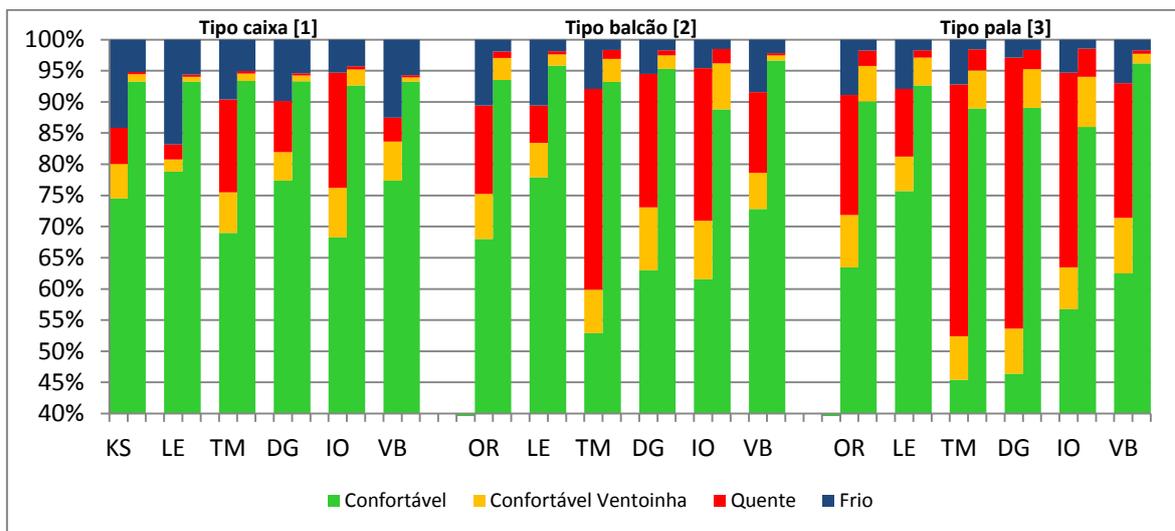


Figura 37. Percentagem de horas de conforto

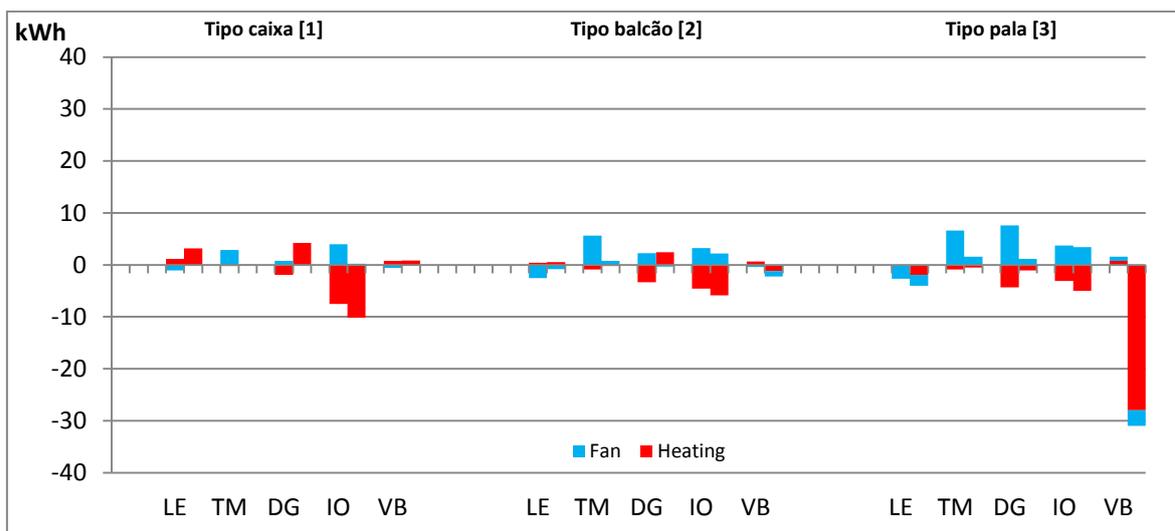


Figura 38. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base

Na tipologia de cozinha, a solução base tem já registos muito bons relativamente ao conforto térmico do espaço da cozinha em si. As soluções de reabilitação neste caso apenas trazem melhorias de conforto térmico à marquise (Figura 37). Nos solários a solução de LE é a que proporciona maiores melhorias dos níveis de conforto térmico. As soluções IO e DG têm de novo prestações negativas tanto nos níveis de conforto como nos consumos.

Em termos de balanço energético as opções LE, IO e VB apresentam resultados globais positivos. A melhor solução corresponde a IO que reduz para 26 kWh/ano o consumo de 31 kWh/ano da versão OR (configuração 1).

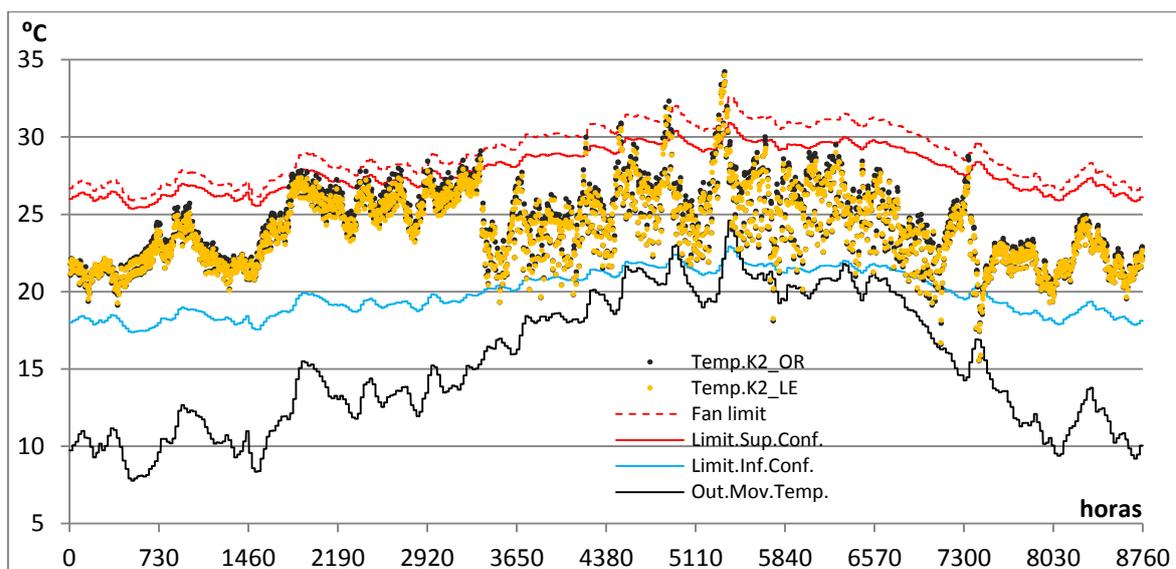


Figura 39. Valores horários da temperatura operativa em K2 ao longo do ano, e limites de conforto térmico

Os valores de temperatura operativa nas cozinhas apresentam uma maior dispersão dentro da zona de conforto. Exceptuando três curtos picos de calor durante o verão, não existe nenhum outro período em que se registem temperaturas acima do limite superior da zona de conforto. Quanto aos registos considerados de “frio”, exceptuando um registo pontual no início do inverno, estes são praticamente inexistentes.

Quanto ao desempenho pormenorizado, a solução de reabilitação escolhida para as marquises (LE), apresenta resultados positivos tanto no verão como no inverno. No verão reduz a temperatura máxima nos compartimentos e no inverno não deixa que a temperatura no solário desça abaixo dos 15°C (Figura 40).

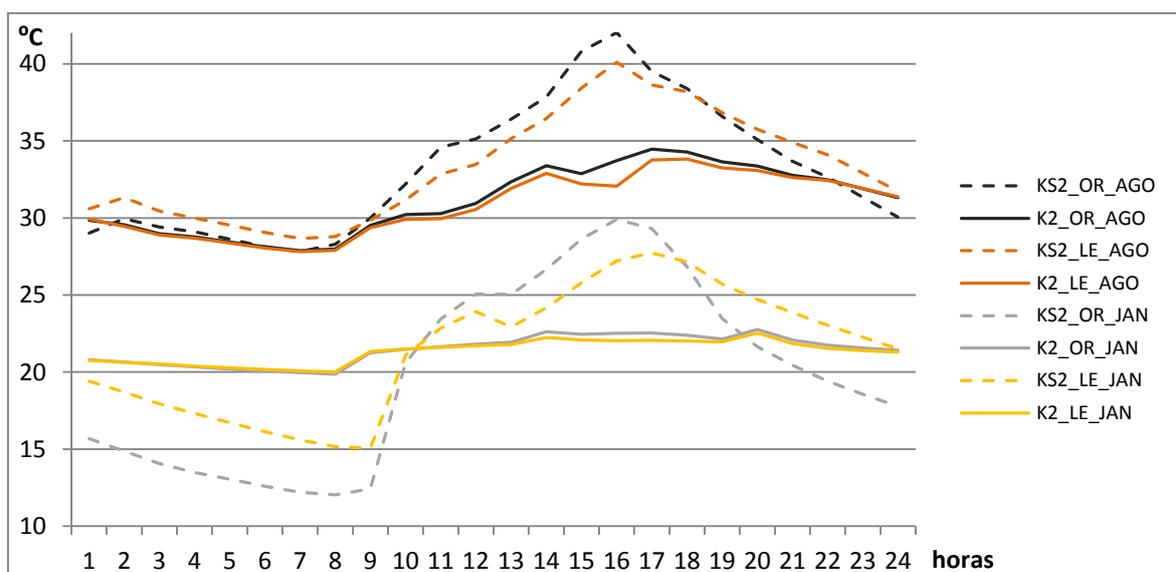


Figura 40. Temperaturas operativas para o conjunto KS2+K2, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto

4.2.3. Quarto

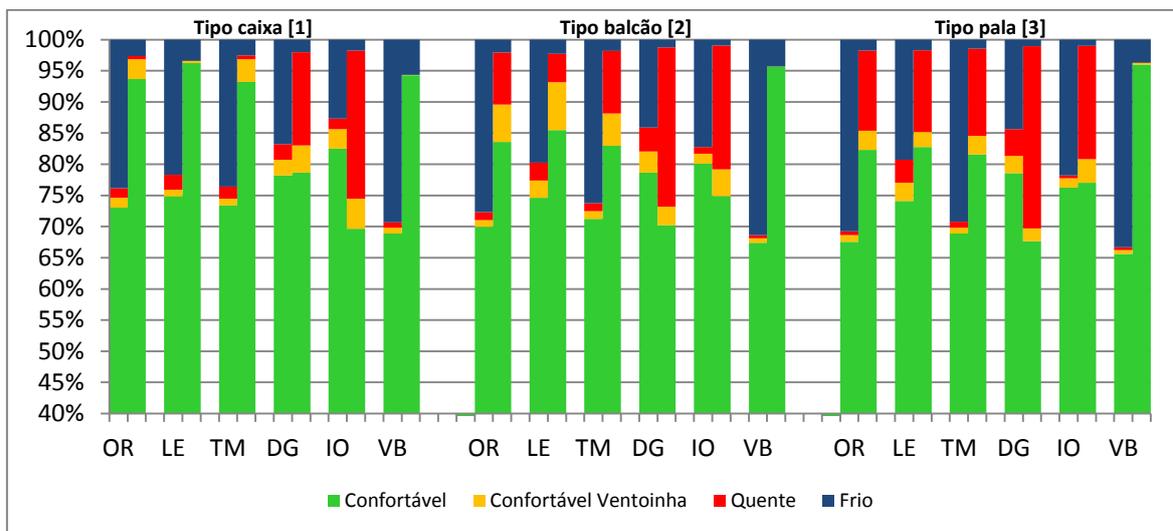


Figura 41. Percentagem de horas de conforto

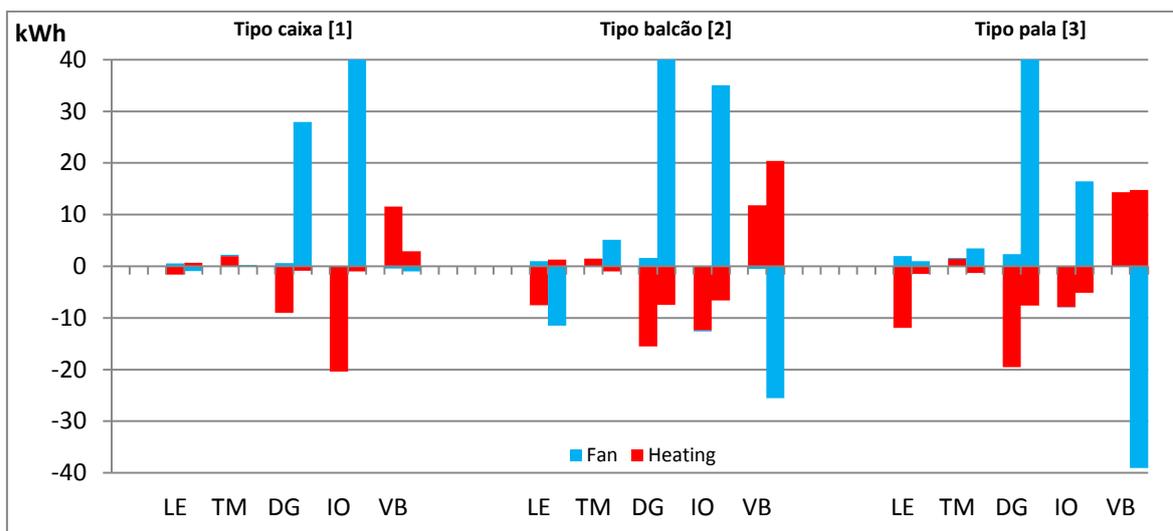


Figura 42. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base

No conjunto do quarto, a solução base (OR) obtém um bom desempenho de condições térmicas apenas na configuração 1, melhorando apenas com a solução LE. As outras duas configurações ficam-se pelos 85% de horas de conforto com a OR, sendo que apenas a VB tem um desempenho melhor que o caso base, atingindo o objectivo dos 95% (EN15251). De referir que existem mesmo soluções contraproducentes como o vidro duplo (DG) e o isolamento das partes opacas (IO).

Quanto aos consumos a solução VB é a que tem a melhor desempenho, com poupanças no caso da configuração 3 de cerca de 10 kWh/ano para todo o conjunto.

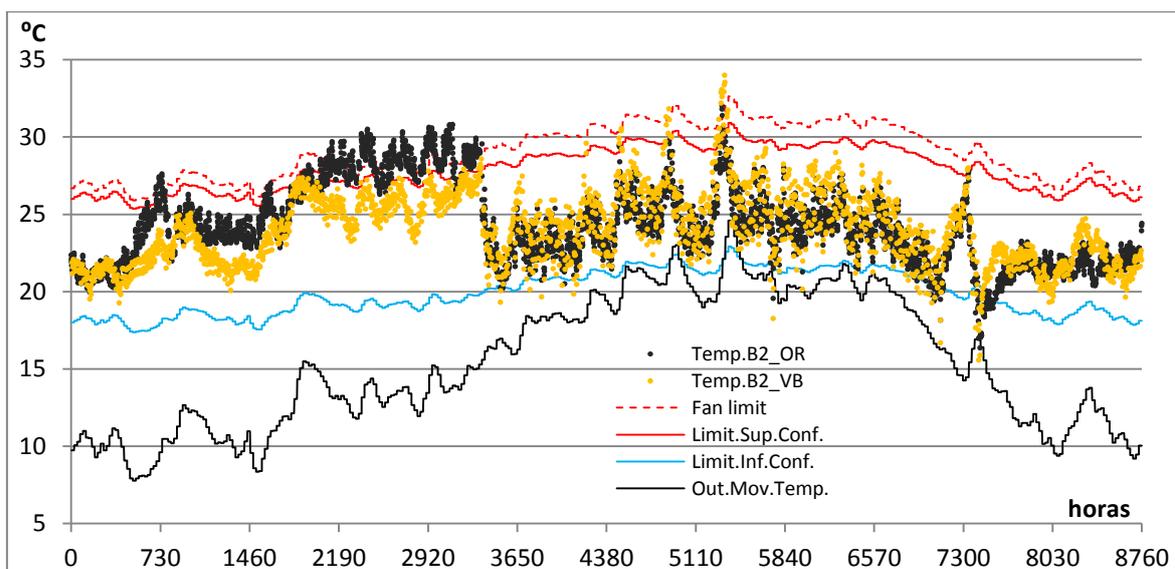


Figura 43. Valores horários da temperatura operativa em B2 ao longo do ano, e limites de conforto térmico.

No que diz respeito à dispersão da temperatura operativa ao longo do ano, estas são semelhantes às das do conjunto LS+L.

O período de temperaturas elevadas antes do Verão, registado também nas outras tipologias, também se observa aqui. Os picos de calor no verão aqui são muito mais suaves, também em virtude da ocupação mais tardia desta tipologia. Em termos de períodos frios apenas se registam dois pequenos períodos antes da estação de aquecimento.

A solução VB tem na tipologia quarto o mesmo efeito do que na sala. Ou seja reduz os picos de calor a meio do dia em BS e consequentemente ao longo de todo o dia em B.

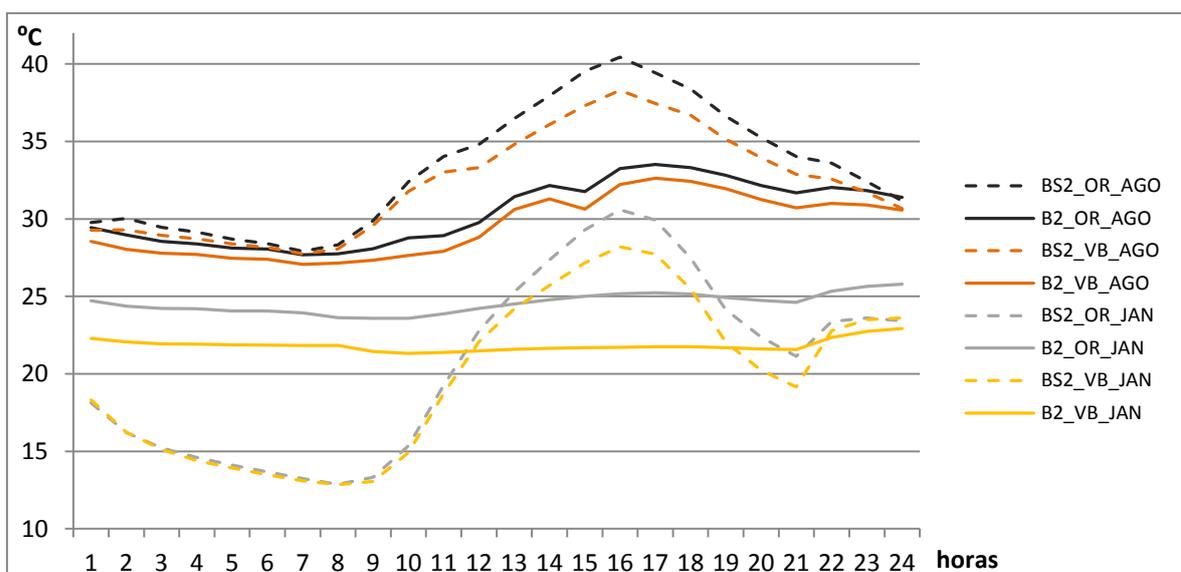


Figura 44. Temperaturas operativas para o conjunto BS2+B2, dia 26 de Janeiro e dia 10 de Agosto

4.3. Taxas de renovação de ar

Embora a redução dos consumos energéticos (com níveis mínimos de conforto) seja o objectivo principal deste trabalho, é importante validar as soluções quanto à renovação do ar interior. O valor mínimo defendido para as renovações de ar por hora é de 0,6 rph (RCCTE). Este é um valor a manter sob condições médias de funcionamento.

Foi apenas avaliado o quadrante sul e os valores são referentes à média anual (Tabela 3, Tabela 4, Tabela 5). Imediatamente a seguir ao valor de rph está o desvio padrão (d.p.) correspondente. Foi avaliada a solução base (OR) e também a com dupla caixilharia (DG), uma vez que é a única cujo nível de estanquidade dos vãos difere da original.

A renovação de ar é sempre maior nas marquises do que nas divisões interiores, excepto na cozinha. Isto deve-se à ligação directa ao exterior que a cozinha tem para a exaustão de fumos. A média de renovação do ar nos quartos (B) é maior do que a registada na sala (L) porque o período de operação das janelas é maior. Os valores para a renovação de ar aumentam com a área de superfície envidraçada. O desvio padrão é sempre maior nas divisões interiores, devido à grande oscilação de caudais provenientes das portas (que estão sempre abertas) de ligação destas com os *halls*.

Todos os compartimentos (os *halls* não são avaliados) cumprem o valor médio estabelecido, muito embora os valores apresentados sejam uma média anual (que conta por exemplo, com a abertura de janelas no verão) e não a mínima.

Tabela 3. Taxas de renovação do ar no conjunto LS_L [rph]

		LS	d.p.	L	d.p.	LS2	d.p.	L2	d.p.	LS3	d.p.	L3	d.p.
OR		0.92	1.19	0.70	2.60	0.96	1.20	0.7	2.62	0.97	1.20	0.69	2.63
DG		0.87	1.20	0.74	2.61	0.91	1.21	0.73	2.62	0.92	1.22	0.72	2.61

Tabela 4. Taxas de renovação do ar no conjunto KS_K [rph]

		KS	d.p.	K	d.p.	KS2	d.p.	K2	d.p.	KS3	d.p.	K3	d.p.
OR		1.09	1.46	1.68	6.65	0.98	1.17	1.37	5.66	0.99	1.16	1.40	5.90
DG		1.06	1.47	1.69	6.65	0.96	1.19	1.36	5.63	0.98	1.18	1.39	5.89

Tabela 5. Taxas de renovação do ar no conjunto BS_B [rph]

		BS	d.p.	B	d.p.	BS2	d.p.	B2	d.p.	BS3	d.p.	B3	d.p.
OR		0.79	1.13	1.11	4.36	0.80	1.13	1.08	4.33	0.81	1.14	1.06	4.32
DG		0.76	1.14	1.10	4.36	0.78	1.15	1.06	4.32	0.80	1.15	1.05	4.29

4.4. Validação – ESP-r versus Energy Plus

A verificação dos resultados de uma simulação energética de um edifício pode ser feita através três metodologias: uma validação empírica, uma verificação analítica, ou uma comparação entre dois programas de simulação (Judkoff, 2008).

Para testar a precisão dos dados obtidos pelo programa ESP-r, um dos modelos foi avaliado no *Energy Plus* com na versão 7.0.0.036. Foi necessário actualizar os dados exportados do ESP-r através do *IDF Version Updater*. O modelo usado foi o conjunto LS+L+LH na versão original, orientado a oeste.

A ligeira diferença de resultados pode ter origem em dois tipos de fenómenos: a adaptação do modelo à estrutura do *Energy Plus*, e o processamento dos dados pelo próprio programa. Um exemplo do primeiro é a criação de raiz da circulação de ar no E+. Já um exemplo do segundo é a lista de equações disponíveis (e a respectiva escolha) para o cálculo do coeficiente de convecção, tanto interior como exterior.

De qualquer modo, o desvio entre as temperaturas operativas dos dois programas é, no máximo, 1°C (Figura 45), o que confere um bom nível de credibilidade na precisão das simulações levadas a cabo pelo ESP-r.

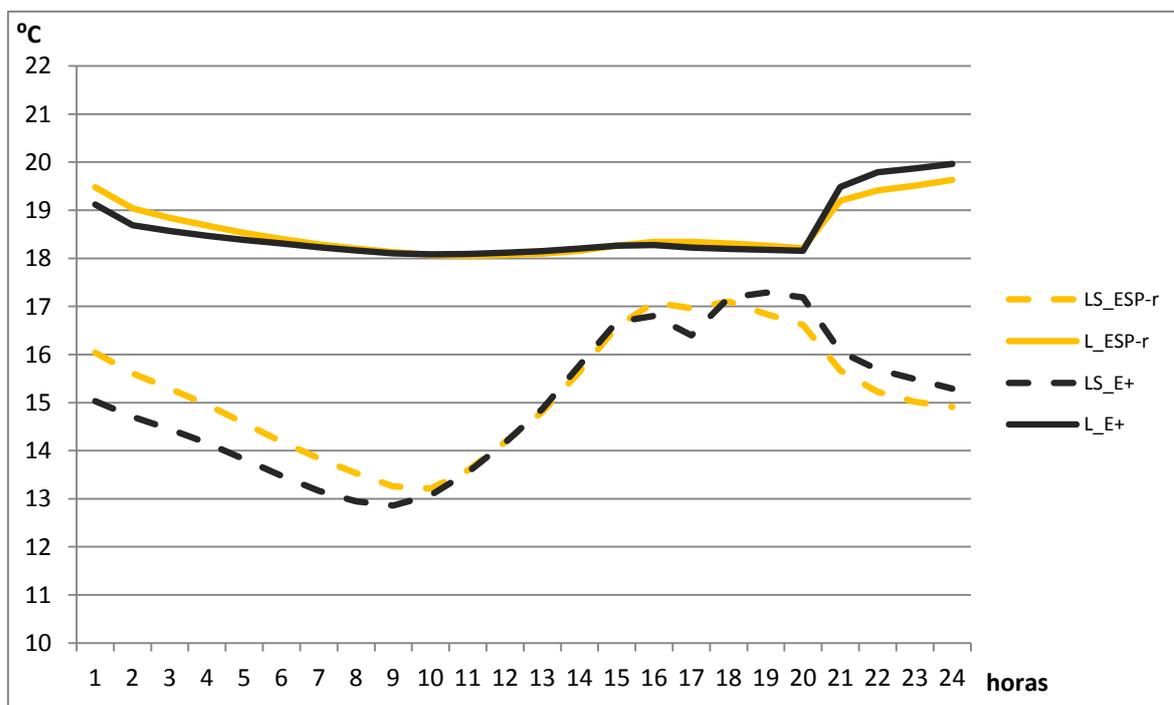


Figura 45. Temperaturas operativas ESP-r vs Energy Plus, 1 de Janeiro

4.5. Notas conclusivas

4.5.1. Soluções construtivas de reabilitação

Vidros de Baixa Emissividade – LE

Esta solução revelou ser uma das mais versáteis. Este vidro com a película de baixa emissividade passa a ter um factor solar de 0,70 contra os 0,83 (valores do *Window 6*) de OR, o que traz efeitos notórios na redução do número de horas de desconforto por calor (Figura 46). O aumento do valor do coeficiente de transferência de calor superficial contribuiu para o bom desempenho nos períodos mais frios (Figura 60).

Inércia Térmica – TM

A solução da Massa Térmica foi a que teve, no geral, piores resultados. A exposição à radiação solar directa, nas configurações 2 e 3, serviu de uma forma geral para aumentar as oscilações de temperatura nos espaços correspondentes.

Vidro Duplo – DG

Esta hipótese de reabilitação apenas teve bons desempenhos nos quadrantes norte (Figura 58) e este (Figura 54). Nos outros dois quadrantes esta solução é mesmo prejudicial, tanto em relação ao conforto como aos consumos, o que contradiz alguns estudos (Bataineh e Fayez, 2011). Isto acontece porque o efeito de estufa é reforçado e existem assim mais horas de desconforto no período em que a ventilação não é permitida.

Isolamento nas Superfícies Opacas – OI

Esta solução actua sempre no sentido de diminuir as horas de desconforto por sensação de frio, tanto na marquise como no compartimento adjacente. Mas de uma forma geral aumenta a conforto no primeiro espaço, reduzindo-o no segundo à conta das horas de desconforto por sensação de calor. É portanto nos quadrantes norte e este que esta opção de reabilitação tem os melhores desempenhos (Figura 60).

Estores Interiores – VB

A aplicação de estores venezianos pelo interior foi a hipótese de reabilitação que mais se aproximou da meta dos 95% de horas de conforto térmico, nos quadrantes sul e oeste. Esta medida de reabilitação reduz drasticamente as cargas de arrefecimento devido à grande reflectividade das lâminas das venezianas que reflectem grande parte da radiação solar de volta para o exterior através do envidraçado.

4.5.2. Recomendações para reabilitação de marquises

Com este trabalho foi possível avaliar a possível contribuição de várias hipóteses de reabilitação de espaços envidraçados, tendo em vista o conforto térmico dos mesmos conjugados com os respectivos desempenhos energéticos. Para cada situação foi identificada a melhor solução e mesmo algumas soluções a evitar (Tabela 6). Mesmo escolhendo a solução certa é necessário ter alguns cuidados com a construção de cada hipótese.

Aquando da instalação de venezianas, tem de haver alguns cuidado na escolha das características físicas das lâminas, em particular a sua emissividade. Se a emissividade (relativamente à radiação solar) das lâminas for elevada, a radiação não reflectida é de imediato (uma vez que não têm capacidade de acumulação) transformada em calor por convecção, quando no sua ausência, a radiação vinda do sol era absorvida pelas paredes e chão da marquise sendo libertada só mais tarde.

Embora o reforço do isolamento das superfícies opacas possa ter um papel preponderante em alguns quadrantes (Figura 59), a escolha do vidro é essencial para o bom desempenho térmico da marquise mesmo se for um vidro monolítico, como no caso da solução LE.

A recomendação para o uso das massas de inércia térmica é a de que devem estar protegidas da radiação solar directa. Para além disso, as propriedades das suas superfícies devem ser escolhidas de forma a que a transferência de calor se coordene com a ocupação do espaço.

Por fim, o contexto em que a marquise é utilizada deve ser clarificada porque existem soluções pouco eficazes ou mesmo prejudiciais com certas tipologias.

Tabela 6. Recomendações para reabilitação , opções a evitar

	NORTE									ESTE									SUL									OESTE								
	L			K			B			L			K			B			L			K			B			L			K			B		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
LE			o						o	o			o	o		o	o		o			o	o		o			o	o		o	o				
TM	x							o				x		o							x		x			x	x									
DG						o			o								x	x											x							
OI	o	o		o	o		o	o				o														o	o		o	o						
VB																o	o			o	o		o	o		o	o						o			

5. CONCLUSÃO

A necessidade de reabilitar parte do parque habitacional português, é uma oportunidade para tornar os nossos edifícios energeticamente mais eficientes. Neste contexto verificou-se que as marquises podem desempenhar um papel importante. Primeiro, simplesmente pelo facto de estarem de tal forma difundidas que já integram o imaginário urbano (Henriques e Barros, 2011), a que se alia a impossibilidade legal da sua extinção. E depois porque são bastante semelhantes aos sistemas solares passivos.

Foi feito um esforço no sentido de reproduzir o mais fielmente todas as condições de uma marquise e seu espaço adjacente. Para tal, foram conduzidas simulações no ESP-r com grande detalhe geométrico. No sentido de tornar o estudo o mais abrangente possível, foram testados os programas de uma sala, uma cozinha e um quarto com as correspondentes marquises. Nestas foram simuladas 3 configurações geométricas. Todos os conjuntos foram ainda orientados para os 4 quadrantes. Foi utilizado o conceito de conforto adaptativo, tanto para a operação da ventilação nos modelos como para a avaliação do conforto.

Constatou-se que os vidros de baixa emissividade (monolíticos) podem ser uma boa opção de reabilitação para todas as situações.

Verificou-se que o aumento da inércia térmica das marquises através da adição de tanques de água, salvo raras exceções, contribuiu de uma forma muito limitada para o aumento das horas de conforto nas marquises.

Foi também possível demonstrar que os vidros duplos não são uma boa opção para todos os quadrantes, isto porque nos quadrantes oeste e sul apenas contribuíram para piorar os registos de conforto e consumos.

A aplicação de isolamento térmico pelo exterior pode ser também uma opção válida para os quadrantes norte e este, nestes espaços onde o ponto mais fraco é justamente a área de vidro.

Verificou-se também, que as venezianas, mesmo interiores, podem ser um meio eficaz de combater o sobreaquecimento nestes espaços. Mesmo nos quadrantes sul e oeste, e na configuração com mais área envidraçada, estes meios conseguiram atingir a meta do 95% de horas de conforto.

Através da condução destas simulações dinâmicas foi possível identificar quais as soluções de reabilitação térmica que se melhor se adequam a cada situação.

5.1. Sugestões para trabalho futuro

Controlos

Embora alguns controlos dos meios de adaptação do ambiente interior estejam cada vez mais semelhantes ao comportamento humano, existem outros que ainda não o mimetizam. Tal é o caso dos meios de aquecimento e arrefecimento, que ainda foram implementados com base em *setpoints* fixos. Além disso a temperatura média móvel exterior que determina a possibilidade de aquecimento, e que foi fixa nos 10°C, poderia ser futuramente avaliada.

O valor mínimo da temperatura média móvel do ar exterior para se poder realizar a ventilação nocturna sem que haja correntes de ar, foi estabelecida em 16°C. Deveria no entanto ser estudada a hipótese de calcular esta temperatura com base no valor instantâneo da temperatura e não com base na temperatura média móvel.

Algumas limitações do próprio programa podem levar a erros. Por exemplo as janelas estão sempre fechadas, ou seja os panos de vidro estão sempre presentes, mesmo quando uma janela é “aberta”. Este facto poderia ser investigado com o *Energy Plus*, que identifica as superfícies pelas quais é realizada a ventilação.

As taxas de renovação do ar interior nos compartimentos poderiam ter sido avaliadas mais profundamente se fosse monitorizada a renovação de ar em cada etapa de avaliação.

Uma outra questão que ficou em aberto é eficácia que a conjugação de dois ou mais meios de reabilitação poderia ter para o conjunto.

Incerteza

Uma das limitações deste tipo de trabalho é a rigidez dos dados iniciais. Na construção dos modelos, que se queriam o mais universais possível, isto é válido tanto para as dimensões, construções e configurações possíveis do próprio modelo, como para os ganhos internos associados a cada programa. Por exemplo uma forma de fornecer alguma robustez aos resultados seria de usar o módulo de Incerteza do ESP-r, através por exemplo do método de análise Diferencial. Como variáveis a testar destacam-se os ganhos internos, a área envidraçada, e as construções.

Para validar os resultados poderiam ser usados testes normalizados, que já estão disponíveis no ESP-r. Um dos exemplos destes testes são as temperaturas de verão num compartimento (EN_ISO13791, 2004).

Experimentação

Creio que o passo seguinte deste trabalho seria o de efectuar medições de campo. É importante que as experiências passem por uma verificação por via experimental (Mottard e Fissore, 2007; Roux et al., 2004).

Inércia Térmica

A solução do aumento da inércia térmica, em particular, merecia um estudo mais detalhado. A sua forma e construção não foi de certo modo optimizada.

As experiências conduzidas neste trabalho no sentido de aumentar a inércia térmica dos espaços das marquises, utilizaram meios simples (tanques de água) para atingir esse fim. No entanto existe hoje em dia, um conhecimento cada vez mais profundo das matérias de mudança de fase (PCM's), que valeria a pena explorar (Heim, 2005).

Economia

Uma avaliação económica, contrabalançando a prestação energética com o custo de cada hipótese de reabilitação seria muito interessante para avaliar a exequibilidade de cada proposta. Para além da alteração física destes espaços teria de ser contabilizado o custo da operação (aquecimento e arrefecimento) e manutenção de cada opção de reabilitação.

Luminosidade

Uma outra limitação em relação à reprodução do comportamento humano é a aspereza do controlo usado para movimentar as venezianas. A utilização de uma temperatura fixa como accionador, não abona a favor de uma utilização anual optimizada e equilibrada deste meio de controlo. Para além disso, este meio é primeiramente usado para controlar o encadeamento.

Assim, num estudo mais abrangente sobre a qualidade do ambiente interior teria de ser incluído, entre outros, a avaliação dos níveis da iluminância e da possibilidade de encadeamento. Estes parâmetros teriam muita importância na apreciação global da solução das venezianas. Estes estudos poderiam ser efectuados com o acoplamento do programa *Radiance* ao ESP-r de forma a efectuar simulações interactivas.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Antunes , A., Gomes, A. , Menéres, A., Freitas, A., Araújo, A., Martins, A., Dias, C., Castro, C., Távora, F., Torres, F., Amaral, K., Dias, F., George, F., Malato, J., Lobo, J., Pereira, N., Filgueiras, O., Pimentel, R., (1988), 3ª edição, “Arquitectura Popular em Portugal”, Associação dos Arquitectos Portugueses
- *ASHRAE Handbook – Fundamentals*, (2005), *Chapter 30: Nonresidential Cooling And Heating Load Calculations*, *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, SI edition, Atlanta
- Bainbridge, D., Haggard, K., (2011), “*Passive Solar Architecture: Heating, Cooling, Ventilation, Daylighting and More Using Natural Flows*”, Chelsea Green Publishing, Vermont
- Bakos, G., (2003) “*Electrical energy saving in a passive-solar-heated in a residence using a direct gain attached sunspace*”. *Building and Energy*, 35, 147-151.
- Balkow, D., Schittich, C., Staib, G., Schuler, M., Sobek, W. (1999) “*Glass construction manual*”, Basel; Boston; Berlin; Birkhauser.
- Bataineh, K., Fayez, N., (2011), “*Analysis of thermal performance of building attached sunspace*”. *Energy and Buildings*, 43, 1863–1868
- *CIBSE Guide A: Environmental design* (2006), *The Chartered Institution of Building Services Engineers*, 7th revision, Londres
- de Dear, R., Brager, G. (1998). “*Towards an adaptive model of thermal comfort and preference*”. *ASHRAE Transactions*, Vol 104 (1), 145-167.
- Direcção Geral de Energia e Geologia (2004), “Eficiência energética em equipamentos e sistemas eléctricos no sector residencial, 2004”. Acedido em 21 de Junho de 2011, em <http://www.dgeg.pt>.
- Direcção Geral de Energia e Geologia (2011), “Balanço Energético, 2011”. Acedido em 23 de Julho de 2012, em <http://www.dgeg.pt>.
- EN 12207 (1999) - *Windows and doors - Air permeability – Classification*”.

Brussels: Comité Européen de Normalisation

- EN 15251 (2007). “*Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics*”. Brussels: Comité Européen de Normalisation.
- Fernández-González, A., (2007), “*Analysis of the thermal performance and comfort conditions produced by five different passive solar heating strategies in the United States Midwest*”, Solar Energy, 81, 581–593
- Ferreira, J., (2009) “*A Periferia Perfeita – Pós-Modernidade na Arquitectura Portuguesa*”, Tese de Doutoramento, FCTUC, Coimbra
- Freitas, V., Guimarães, A., Ferreira, C., Alves, S., (2011), “*Edifícios Existentes – Medidas de Melhoria de Desempenho Energético e da Qualidade do Ar Interior*”, ADENE.
- Gonçalves, J. (2007), “*Edifícios modernos de habitação colectiva, 1948-61 : desenho e standard na arquitectura portuguesa.*”. Tese de Doutoramento, UPC - Department de Projectos d'Arquitectura, Barcelona
- Hamlyn, D., Cash, J., Biggs, C., Fitzgerald, S. (2011), “*Whole Building Ventilation Strategy Selection – A Toolkit*”, CIBSE Technical Symposium, De Montfort University, Leicester, UK,- 6th and 7th September
- Heim, D., (2005) “*Two solution methods of heat transfer with phase change within whole building dynamic simulation*”, Ninth International IBPSA Conference, Montréal, Canada, Agosto 15-18
- Henriques A., Barros , J., (2011), “*Não se pode exterminar as marquises. Vamos legalizá-las?*”, Público, 15 de Maio
- Humphreys, M., Nicol, J., (2002), “*The validity of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments*”, Building and Energy, 34, 667-684.
- Humphreys, M., Rijal, H., Nicol, J., (2010), “*Adapting to Change: New Thinking on Comfort*”, Proceedings of Conference of the Network for Comfort and Energy Use in Buildings , Cumberland Lodge, Windsor, UK, London, 9th-11th April 2011.

-
- Instituto Nacional de Estatística (2001) “IV Recenseamento Geral da Habitação”, Acedido em 10 de Janeiro de 2012, em: <http://www.ine.pt>.
 - Instituto Nacional de Estatística (2012), “Resultados Provisórios dos Censos 2011”. Acedido em 17 de Maio de 2012, em: <http://www.ine.pt>.
 - Instituto Nacional de Estatística, Direcção Geral de Energia e Geologia (2011), “Inquérito ao Consumo de Energia no Sector Doméstico 2010” Acedido em 18 de Julho de 2012, em: <http://www.ine.pt>.
 - ISO 13791 (2004), “*Thermal performance of buildings -- Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling -- General criteria and validation procedures*” International Standard Organization, Switzerland
 - ISO 7730 (2005), Third Edition. “*Ergonomics of the thermal environment — Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*” International Standard Organization, Switzerland
 - Judkoff, R., Wortman, D., O’Doherty, B., Burch, J., (2008) *A Methodology for Validating Building Energy Analysis Simulations*”, Technical Report NREL/TP-550-42059
 - Lomanowski, B. (2008), “*Implementation of window shading models into dynamic whole-building simulation*” Master of Applied Science Thesis, University of Waterloo, Waterloo.
 - McCartney, K., Nicol, J. (2002), “*Developing an adaptive control algorithm for Europe*”, *Energy and Buildings* 34, 623–635.
 - Mihalakakou, G., (2002), “*On the use of sunspace for space heating/cooling in Europe*”, *Renewable Energy*, 26, 415–429
 - Mottard, J., Fissore, A., (2007) “*Thermal simulation of an attached sunspace and its experimental validation*”. *Solar Energy* 81, 305–315
 - Nichols, W., (1976) “*Unit 1, First Village*”, *Passive Solar Heating and Cooling Conference and Workshop Proceedings*, Albuquerque, New Mexico, May
 - Nicol, J., Humphreys, M., (2002), “*Adaptive Thermal Comfort and Sustainable Thermal Standards for Buildings*”, *Building and Energy*, 34, 563-572.

-
- Oliveti, G., Arcuri, N., Simone, M., Bruno, R. (2012), “*Solar heat gains and operative temperature in attached sunspaces*”. *Renewable Energy*, 39, 241-249
 - Paiva, J., Aguiar, J., Pinho, A., (2006) “Guia técnico de reabilitação habitacional”, LNEC, I.N.H., Lisboa
 - Pedro, J. (1999), “Programa Habitacional. Espaços e Compartimentos. Informação Técnica de Arquitectura ITA4”, LNEC, Lisboa
 - Pereira, L., Gago M. e Lopes, M. (1984), “Inquérito à Habitação Urbana. Informação Técnica Arquitectura e Urbanismo, DIT 12” I Volume, LNEC, Lisboa
 - Ralha, D., Cortesão, J., (2005), “A cidade ficou refém da ditadura do alumínio”, Público, 6 de Março
 - Regulamento Geral das Edificações Urbanas Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU) Decreto-Lei n.º 38382, de 7 de Agosto de 1951
 - Regulamento Municipal de Urbanização e Edificação, Taxas e Compensações Urbanísticas de Coimbra (RMUE) II série do Diário da República de 30 de Dezembro de 2004, N° 304 Apêndice 159
 - Rijal, H., Tuohy, P., Humphreys, M., Nicol, J., Samuel, A. (2011), “*An algorithm to represent occupant use of windows and fans including situation-specific motivations and constraints*” *Building Simulation*, 4, 117–134
 - Rodrigues, A., Piedade, A., Braga, A., (2009) “Térmica de edifícios”, Orion, Alfragide
 - Roux, J., Teodosiu, C., Covalet, D., Chareille, R., (2004), “*Validation of a glazed space simulation model using full-scale experimental data*”, *Energy and Buildings* 36, 557–565
 - Silva, J., (2009), “A problemática das marquises clandestinas” Acedido em 30 de Julho de 2012, em: <http://www.construir.pt>
 - Strachan, P., (2000). “*ESP-r: Summary of Validation Studies*”, ESRU Technical Report, University of Strathclyde, Glasgow

1. APÊNDICE 1 – Alteração do código base

A necessidade de fazer coincidir as fórmulas de conforto adaptativo e possibilitar a ventilação nocturna, ambas no âmbito do controlo da abertura de janelas, levou à alteração do código base. As modificações feitas no ficheiro original “mfcntl.F” estão em **BOLD**.

```

SUBROUTINE MFCNTR

C ***** FCL04 Nicol Control algorithm

C This subroutine controls an airflow opening based on a statistical
C algorithm emulating occupant behaviour. The algorithm depends upon
C ambient temperature, operative temperature and comfort temperature.
C For further information refer to energy and buildings paper ....
C Get ambient temperature TOUT
C TODM = outside daily mean temperature TODM
C TRM = running mean outside air temperature TRM
C TCOMF = comfort temperature TCOMF
C TOP = operative temperature TOP
C PW = probability function for window open PW
C COMF = comfort COMF
C WINDOW = window status WINDOW
C WSIZE = window opening size WSIZE
...
C Calculate comfort temperature TCOMF (based on the summer and winter
behaviours)
C These are algorithm version 1 equations and will be overwritten
C (retained for historic purposes)
      IF (TRM.GE.10.) TCOMF=0.33*TRM+18.8
      IF (TRM.LT.10.) TCOMF=0.09*TRM+22.6

C Pakistan mode determination (four modes)
C Mode = AC air conditioning
C Mode = NC night cooling
C Mode = HT heating
C Mode = FR free running (no heating or air conditioning, may have
fan)
C Calculate mode and Tcomfort.
      IF (ACAVAIL.GT.0..AND.TRM.GT.28.1) THEN
        MODE='AC'
        TCOMF=0.416*TRM+16.5
      ELSEIF (Havail.GT.0..AND.TRM.LT.10.) THEN
        MODE='HT'
        TCOMF=0.09*TRM+22.6
      ELSE
        MODE='FR'

```

```

      IF (IFANON.EQ.0) THEN
        TCOMF=0.408*TRM+16.6
      ELSE
        TCOMF=0.480*TRM+16.6
      ENDIF
    ENDIF
  ENDIF

```

C Pakistan fan status determination. Note that fans are assumed on C in AC mode. If Tout < 23.6 then fans are assumed to be off.

```

    IF (MODE.EQ.'FR'.AND.Fposs.GT.0.) THEN
      FUNCF=0.595*(TOP-TCOMF+(IFANON-0.5)*FD)
      PF=EXP(FUNCF)/(1.+EXP(FUNCF))
      RNF=RNOR()
      RNF=ABS(RNF)
      RNF=1000.*RNF
      IRNF=INT(RNF)
      RNF=RNF-REAL(IRNF)
      IF (PF.GT.RNF) THEN
        IFANON=1
      ELSE
        IFANON=0
      ENDIF
    ELSEIF (MODE.EQ.'AC'.AND.Fposs.GT.0.) THEN
      IFANON=1
    ELSE
      IFANON=0
    ENDIF
    IF (TRM.LT.23.6) IFANON=0

```

C Pakistan window status determination. If Night cooling then window C open if Trm > 16.0, WNposs should only be set to 1 outside of the C occupied hours!! If window opening not effective for cooling then C window is closed - this is currently defined as when Tout>(Top+4).
 C The windows will be forced shut if alpha is set to 0.

```

    IF (Wposs.GT.0.) THEN
      FUNCW=0.525*(TOP-TCOMF+(IWIN-0.5)*WD)
      PW=EXP(FUNCW)/(1.+EXP(FUNCW))
      RNW=RNOR()
      RNW=ABS(RNW)
      RNW=1000.*RNW
      IRNW=INT(RNW)
      RNW=RNW-REAL(IRNW)
      IF (PW.GT.RNW) THEN
        IWIN=1
      ELSE
        IWIN=0
      ENDIF
    ELSE
      IWIN=0
    ENDIF

IF (TOUT.GT.(TOP+4.) .AND. TRM.GT.16.0) IWIN=0
    IF (WNposs.GT.0.1.AND.TRM.GT.16.0) IWIN=1
    IF (MODE.EQ.'AC') IWIN=0
    IF (ALPHA.LT.0.1) IWIN=0

```

2. APÊNDICE 2 – Relatório ESP-r

Synopsis

This is a synopsis of the model Sunspaces Thermal Retrofit defined in Suns_W.cfg generated on 10/07/2012 16:02:29

ID	Zone Name	Volume m ³	Surface			~Floor	
			No.	Opaque	Transp		
1	LS	15.6	30	41.4	4.8	6.0	LS living r sunspace
2	L	52.0	23	110.9	4.8	22.2	L living room
3	KS	7.5	17	23.3	2.4	3.5	KS kitchen sunspace
4	K	25.0	17	66.5	2.4	10.1	K kitchen
5	LH	15.6	8	44.2	0.0	6.0	LH living room hall
6	KH	7.5	8	24.5	0.0	2.9	KH kitchen hall
7	BS	9.4	21	27.9	2.4	4.2	BS bedroom sunspace
8	B	31.2	16	73.4	2.4	15.6	B bedroom
9	BH	9.4	8	29.0	0.0	3.6	BH bedroom hall
10	LS2	15.6	38	41.4	4.8	6.0	LS2 living r sunspace
11	L2	52.0	23	110.9	4.8	22.2	L2 living room
12	LH2	15.6	8	44.2	0.0	6.0	LH2 living room hall
13	KS2	7.5	25	23.3	2.4	3.5	KS2 kitchen sunspace
14	K2	25.0	17	66.5	2.4	10.1	K2 kitchen
15	KH2	7.5	8	24.5	0.0	2.9	KH2 kitchen hall
16	BS2	9.4	29	27.9	2.4	4.2	BS2 bedroom sunspace
17	B2	31.2	16	73.4	2.4	15.6	B2 bedroom
18	BH2	9.4	8	29.0	0.0	3.6	BH2 bedroom hall
19	LS3	15.6	40	41.4	4.8	6.0	LS3 living r sunspace
20	L3	52.0	23	110.9	4.8	22.2	L3 living room
21	LH3	15.6	8	44.2	0.0	6.0	LH3 living room hall
22	KS3	7.5	27	23.3	2.4	3.5	KS3 kitchen sunspace
23	K3	25.0	17	66.5	2.4	10.1	K3 kitchen
24	KH3	7.5	8	24.5	0.0	2.9	KH3 kitchen hall
25	BS3	9.4	31	27.8	2.4	4.2	BS3 bedroom sunspace
26	B3	31.2	16	73.4	2.4	15.6	B3 bedroom
27	BH3	9.4	8	29.0	0.0	3.6	BH3 bedroom hall
all		519.0	498	1324.0	58.0	222.0	

The model includes an air flow network.

Flow network description.

33 nodes, 20 components, 75 connections; wind reduction = 1.0
 Component Type C+ L+ Description
 BSo 110 2 0 Specific air flow opening $m = \rho \cdot f(A, dP)$

Fluid	1.0	opening area (m)	2.000					
KSo	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.200					
LSo	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	3.000					
d	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.600					
LHv	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	0.160					
BHv	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	0.160					
KHv	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	0.160					
Lo	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	2.400					
Ko	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.200					
Bo	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.200					
Ld	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.600					
kd	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.600					
Bd	110	2	0	Specific air flow opening	m	=rho.f(A, dP)		
Fluid	1.0	opening area (m)	1.600					
LSo_ck_frt	120	3	0	Specific air flow crack	m	=rho.f(W, L, dP)		
Fluid	1.0	crack width (m)	0.0050 crack length (m)	5.000				
Lo_ck	120	3	0	Specific air flow crack	m	=rho.f(W, L, dP)		
Fluid	1.0	crack width (m)	0.0050 crack length (m)	2.400				
KSo_ck_frt	120	3	0	Specific air flow crack	m	=rho.f(W, L, dP)		
Fluid	1.0	crack width (m)	0.0050 crack length (m)	2.400				
Ko_ck	120	3	0	Specific air flow crack	m	=rho.f(W, L, dP)		
Fluid	1.0	crack width (m)	0.0050 crack length (m)	1.200				
BSo_ck	120	3	0	Specific air flow crack	m	=rho.f(W, L, dP)		
Fluid	1.0	crack width (m)	0.0050 crack length (m)	3.000				
Bo_ck	120	3	0	Specific air flow crack	m	=rho.f(W, L, dP)		
Fluid	1.0	crack width (m)	0.0050 crack length (m)	1.200				
# +Node		dHght	-Node	dHght	Component	Z @+	Z	@-

1	FrontLS	0.000	LS	0.000	LSo	1.300	1.300
2	FrontKS	0.000	KS	0.000	KSo	1.300	1.300
3	FrontBS	0.000	BS	0.000	BSo	1.300	1.300
4	LS	0.000	L	0.000	Lo	1.300	1.300
5	KS	0.000	K	0.000	Ko	1.300	1.300
6	BS	0.000	B	0.000	Bo	1.300	1.300
7	L	0.000	LH	0.000	Ld	1.300	1.300
8	K	0.000	KH	0.000	kd	1.300	1.300
9	B	0.000	BH	0.000	Bd	1.300	1.300
10	FrontLS	0.700	LS	0.700	LSo_ck_frt	2.000	2.000
11	FrontLS	-0.300	LS	-0.300	LSo_ck_frt	1.000	1.000
12	LS	0.700	L	0.700	Lo_ck	2.000	2.000
13	LS	-1.300	L	-1.300	Lo_ck	0.000	0.000
14	FrontKS	0.700	KS	0.700	KSo_ck_frt	2.000	2.000
15	FrontKS	-0.300	KS	-0.300	KSo_ck_frt	1.000	1.000
16	KS	0.700	K	0.700	Ko_ck	2.000	2.000
17	KS	-1.300	K	-1.300	Ko_ck	0.000	0.000
18	FrontBS	0.700	BS	0.700	BSo_ck	2.000	2.000
19	FrontBS	-0.300	BS	-0.300	BSo_ck	1.000	1.000
20	BS	0.700	B	0.700	Bo_ck	2.000	2.000
21	BS	-1.300	B	-1.300	Bo_ck	0.000	0.000
22	LH	1.300	TopLH	-1.300	LHv	2.600	2.300
23	KH	1.300	TopKH	-1.300	KHv	2.600	2.300
24	BH	1.300	TopBH	-1.300	BHv	2.600	2.300
25	FrontLS	0.000	LS2	0.000	LSo	1.300	1.300
26	FrontKS	0.000	KS2	0.000	KSo	1.300	1.300
27	FrontBS	0.000	BS2	0.000	BSo	1.300	1.300
28	LS2	0.000	L2	0.000	Lo	1.300	1.300
29	KS2	0.000	K2	0.000	Ko	1.300	1.300
30	BS2	0.000	B2	0.000	Bo	1.300	1.300
31	L2	0.000	LH2	0.000	Ld	1.300	1.300
32	K2	0.000	KH2	0.000	kd	1.300	1.300
33	B2	0.000	BH2	0.000	Bd	1.300	1.300
34	FrontLS	0.700	LS2	0.700	LSo_ck_frt	2.000	2.000
35	FrontLS	-0.300	LS2	-0.300	LSo_ck_f	1.000	1.000
36	LS2	0.700	L2	0.700	Lo_ck	2.000	2.000
37	LS2	-1.300	L2	-1.300	Lo_ck	0.000	0.000
38	FrontKS	0.700	KS2	0.700	KSo_ck_frt	2.000	2.000
39	FrontKS	-0.300	KS2	-0.300	KSo_ck_frt	1.000	1.000
40	KS2	0.700	K2	0.700	Ko_ck	2.000	2.000
41	KS2	-1.300	K2	-1.300	Ko_ck	0.000	0.000
42	FrontBS	0.700	BS2	0.700	BSo_ck	2.000	2.000
43	FrontBS	-0.300	BS2	-0.300	BSo_ck	1.000	1.000
44	BS2	0.700	B2	0.700	Bo_ck	2.000	2.000
45	BS2	-1.300	B2	-1.300	Bo_ck	0.000	0.000
46	LH2	1.300	TopLH	-1.300	LHv	2.600	2.300
47	KH2	1.300	TopLH	-1.300	KHv	2.600	2.300
48	BH2	1.300	TopBH	-1.300	BHv	2.600	2.300
49	FrontLS	0.000	LS3	0.000	LSo	1.300	1.300
50	FrontKS	0.000	KS3	0.000	KSo	1.300	1.300
51	FrontBS	0.000	BS3	0.000	BSo	1.300	1.300
52	LS3	0.000	L3	0.000	Lo	1.300	1.300
53	KS3	0.000	K3	0.000	Ko	1.300	1.300
54	BS3	0.000	B3	0.000	Bo	1.300	1.300
55	L3	0.000	LH3	0.000	Ld	1.300	1.300
56	K3	0.000	KH3	0.000	kd	1.300	1.300

57	B3	0.000	BH3	0.000	Bd	1.300	1.300
58	FrontLS	0.700	LS3	0.700	LSo_ck_frt	2.000	2.000
59	FrontLS	-0.300	LS3	-0.300	LSo_ck_frt	1.000	1.000
60	LS3	0.700	L3	0.700	Lo_ck	2.000	2.000
61	LS3	-1.300	L3	-1.300	Lo_ck	0.000	0.000
62	FrontKS	0.700	KS3	0.700	KSo_ck_frt	2.000	2.000
63	FrontKS	-0.300	KS3	-0.300	KSo_ck_frt	1.000	1.000
64	KS3	0.700	K3	0.700	Ko_ck	2.000	2.000
65	KS3	-1.300	K3	-1.300	Ko_ck	0.000	0.000
66	FrontBS	0.700	BS3	0.700	BSo_ck	2.000	2.000
67	FrontBS	-0.300	BS3	-0.300	BSo_ck	1.000	1.000
68	BS3	0.700	B3	0.700	Bo_ck	2.000	2.000
69	BS3	-1.300	B3	-1.300	Bo_ck	0.000	0.000
70	LH3	1.300	TopLH	-1.300	LHv	2.600	2.300
71	KH3	1.300	TopKH	-1.300	KHv	2.600	2.300
72	BH3	1.300	TopBH	-1.300	BHv	2.600	2.300
73	K	1.300	TopKH	-1.300	Kv	2.600	2.300
74	K2	1.300	TopKH	-1.300	Kv	2.600	2.300
75	K3	1.300	TopKH	-1.300	Kv	2.600	2.300

Multi-layer constructions used:

Details of complex fenestration construction: LSg_venetian

Layer	Matr	Thick	Conduc-	Density	Specif	IR	Solr	Diffu	R
Descr	db	(mm)	tivity		heat	emis	abs	resis	m^2K/W
Ext	242	6.0	0.760	2710.	837.	0.83	0.05	19200.	0.01
plate glass : Plate glass with placeholder s									
2	0	50.0	0.000	0.	0.	0.99	0.99	1.	0.17 air
0.17	0.17	0.17							
Int	52	15.0	100.000	1000.	750.	0.10	0.20	19200.	0.00
venetian_blind : (derived from steelSheedSBE									
ISO 6946 U values (horiz/upward/downward heat flow)=								2.873	3.144
2.577 (partition)								2.283	
Total area of LSg_venetian is									27.04

3. APÊNDICE 3 – Resultados orientação oeste

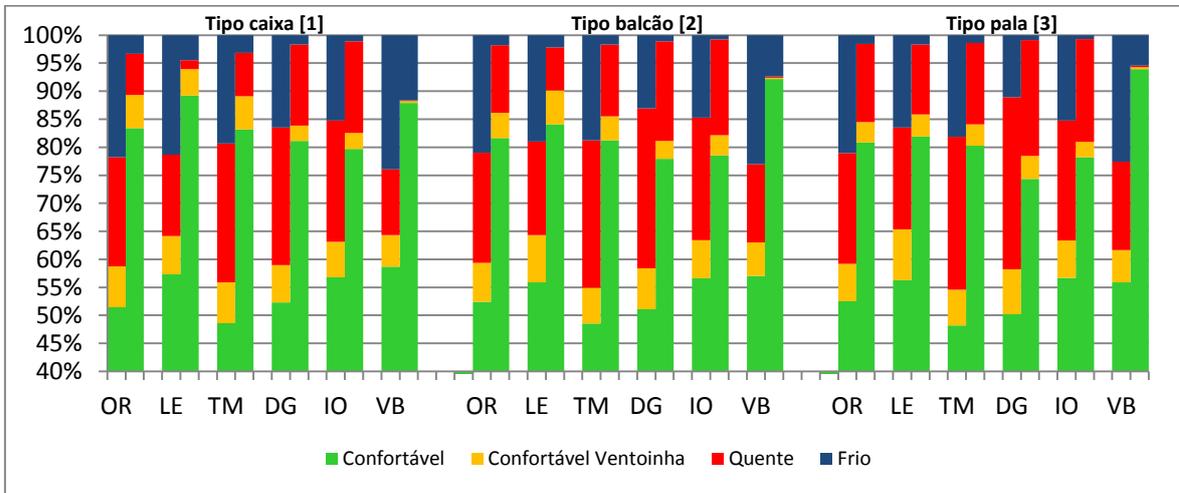


Figura 46. Percentagem de horas de conforto LS+L

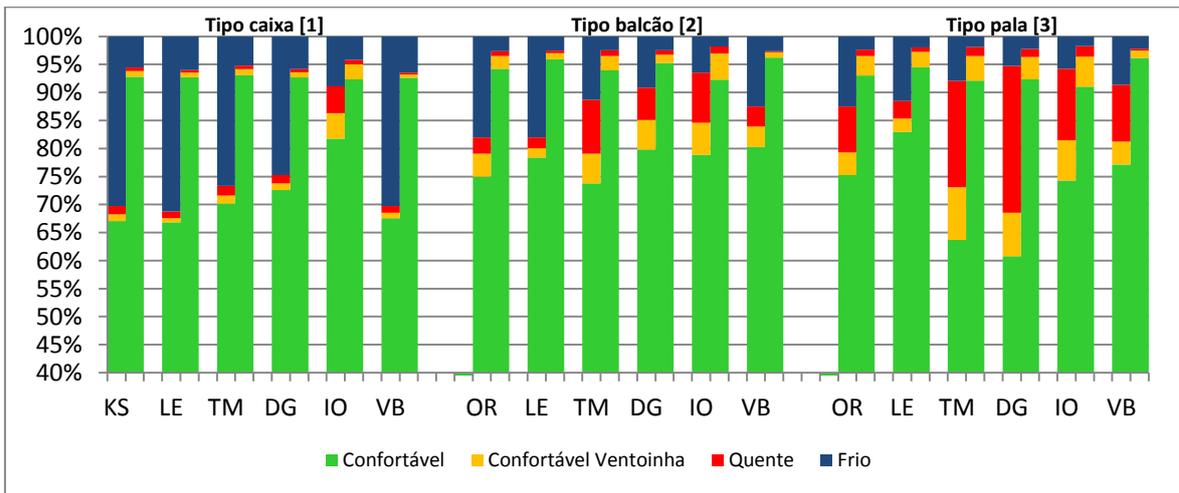


Figura 47. Percentagem de horas de conforto KS+K

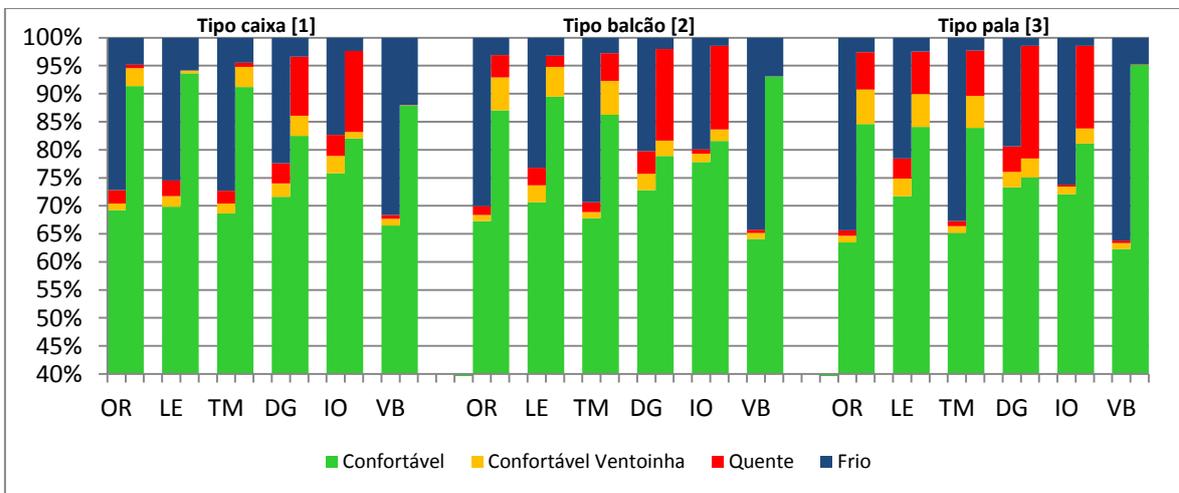


Figura 48. Percentagem de horas de conforto BS+B

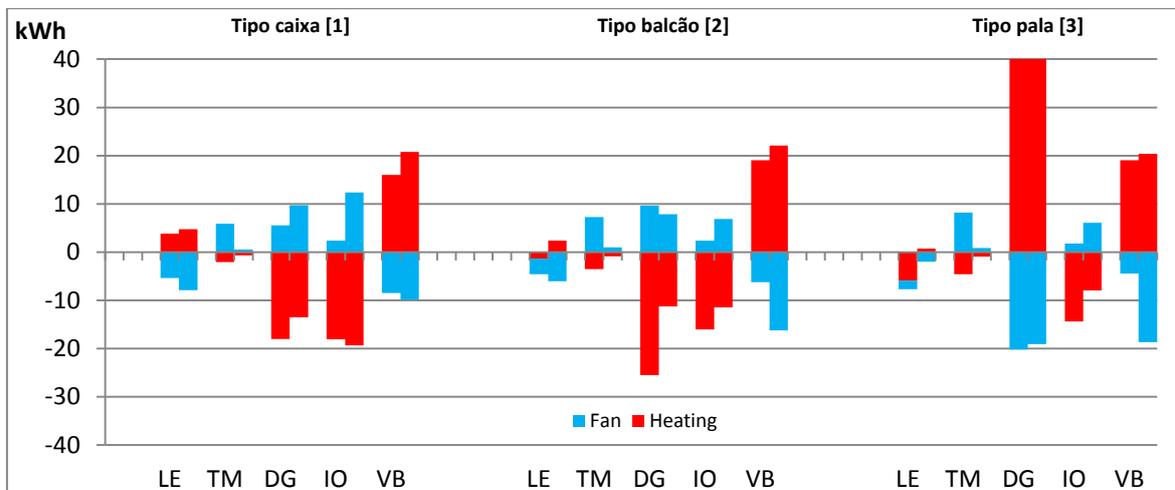


Figura 49. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base LS+L

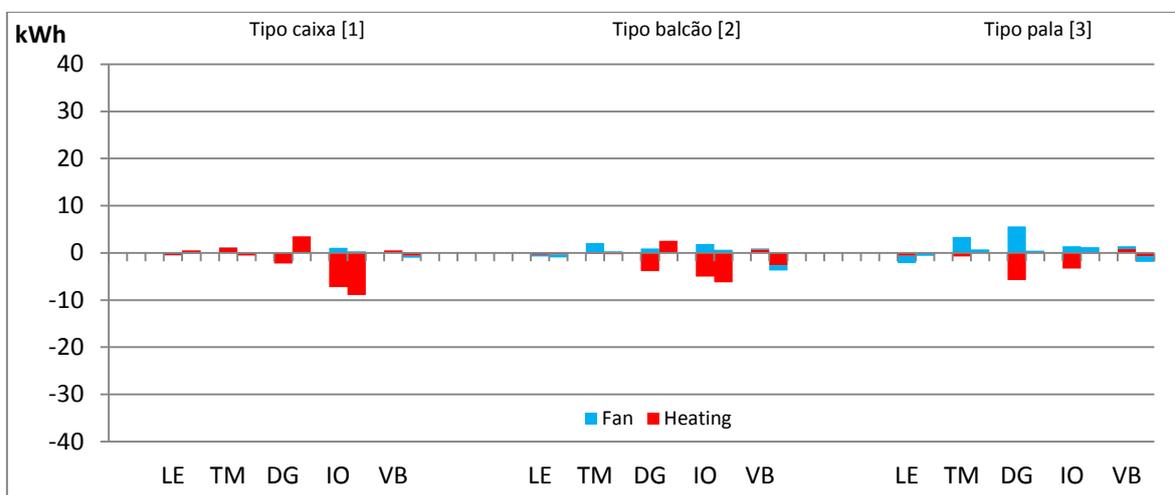


Figura 50. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base KS+K

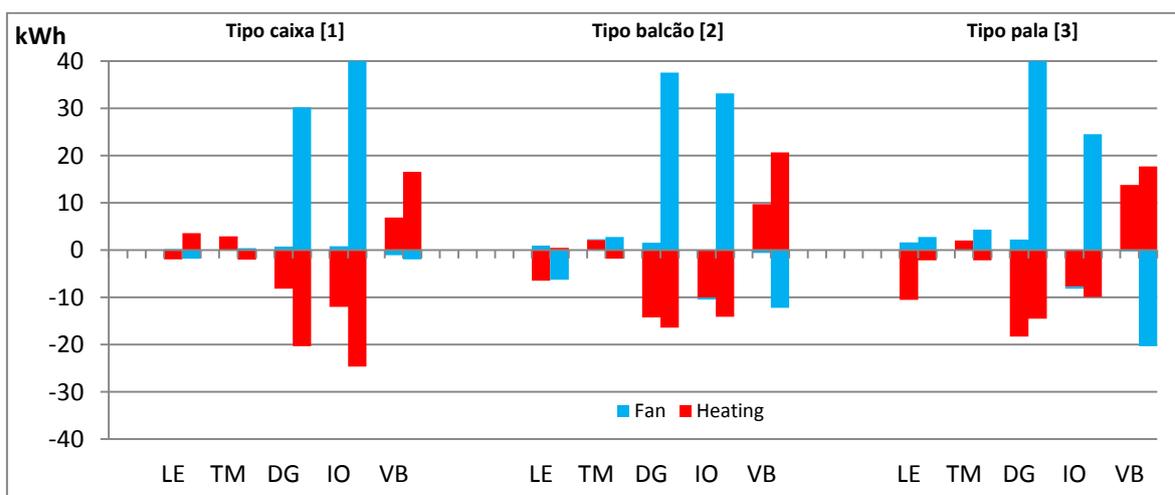


Figura 51. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base BS+B

4. APÊNDICE 4 – Resultados orientação este

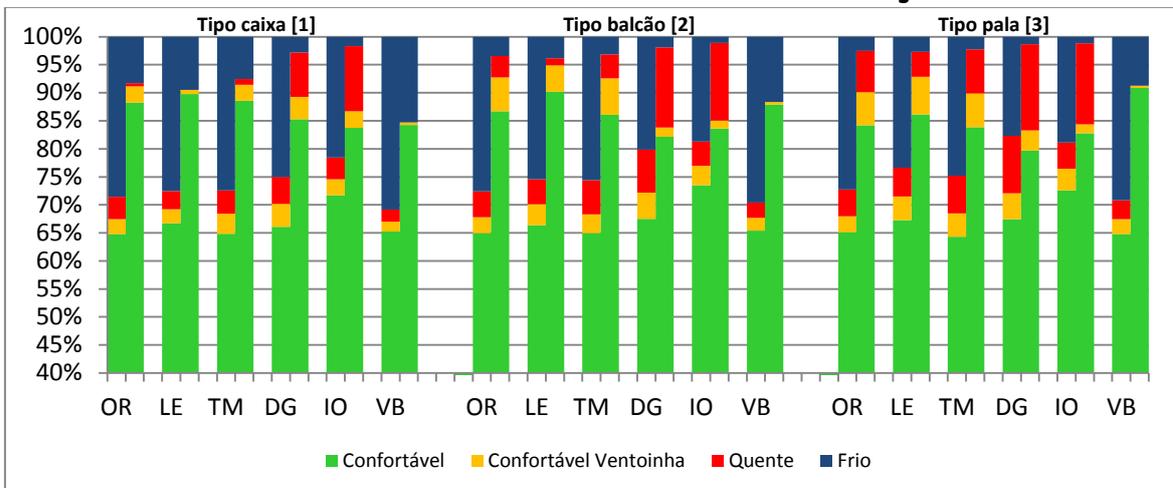


Figura 52. Percentagem de horas de conforto LS+L

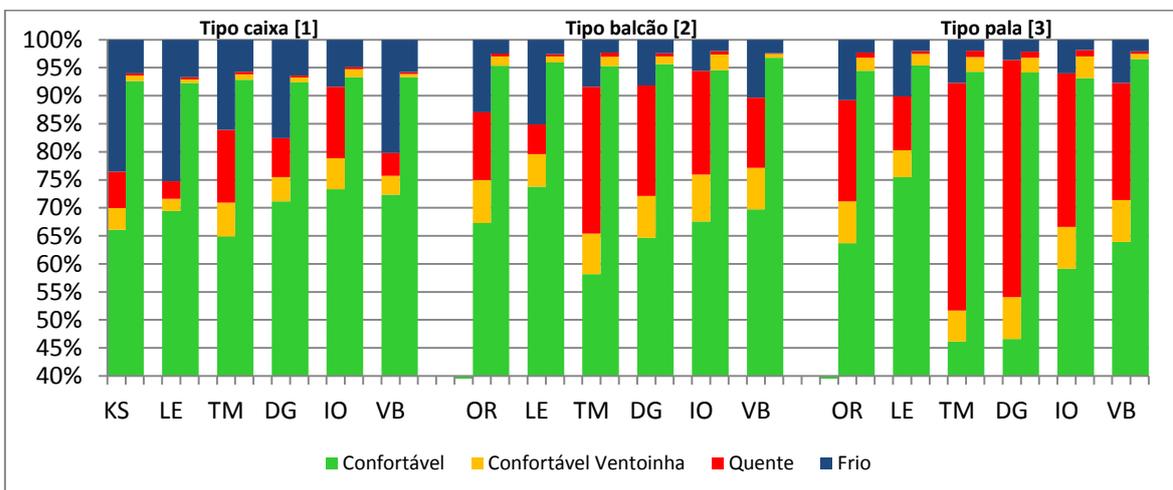


Figura 53. Percentagem de horas de conforto KS+K

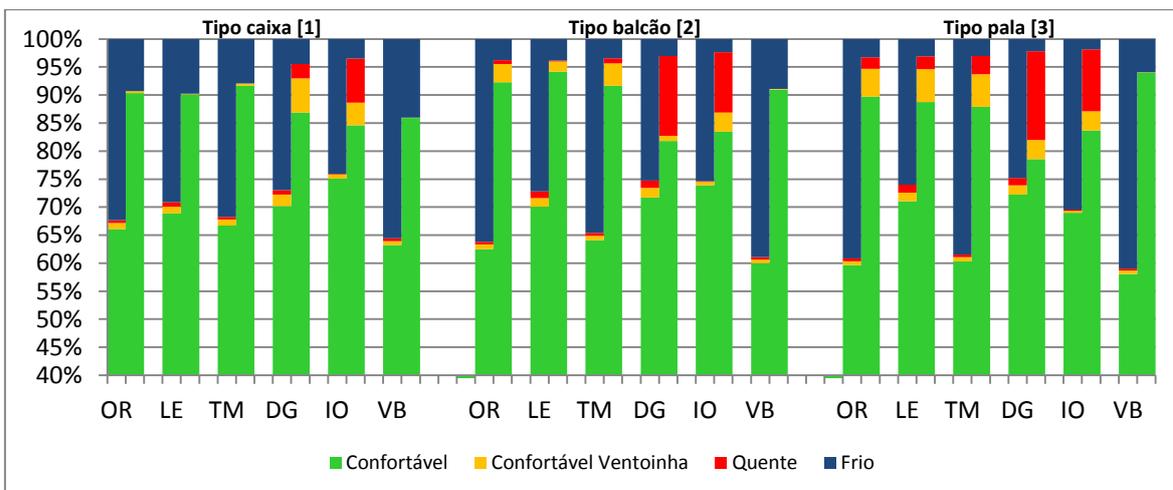


Figura 54. Percentagem de horas de conforto BS+B

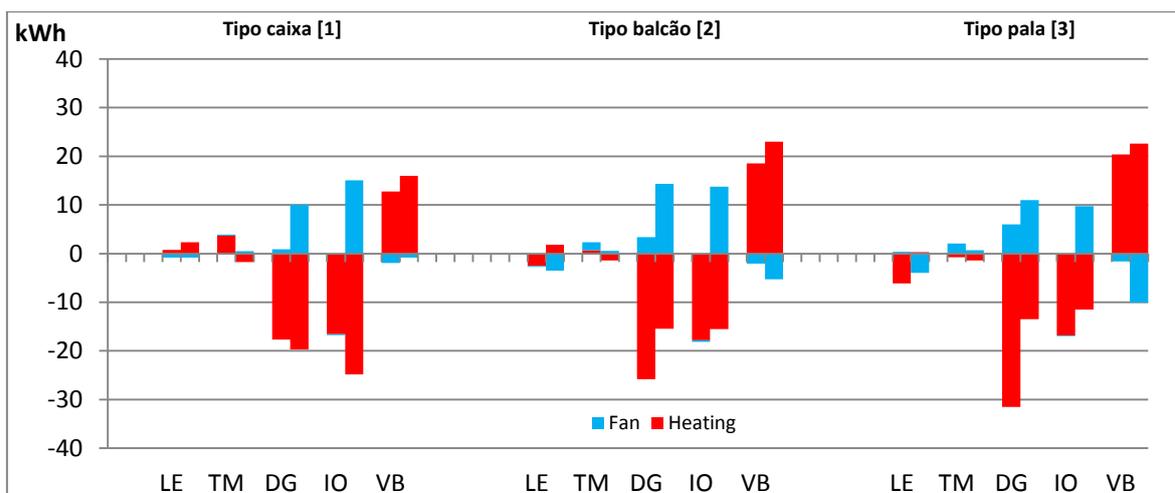


Figura 55. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base LS+L

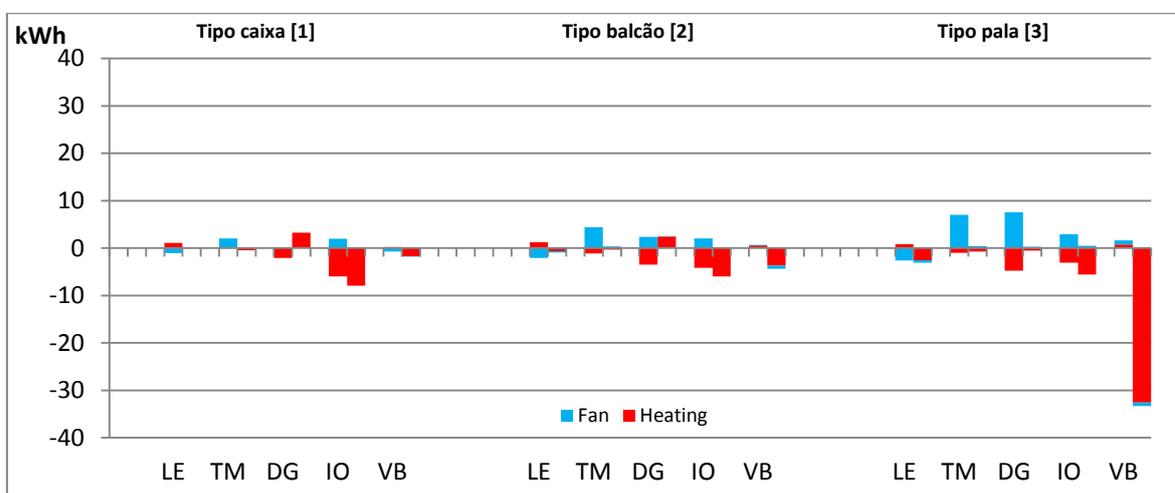


Figura 56. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base KS+K

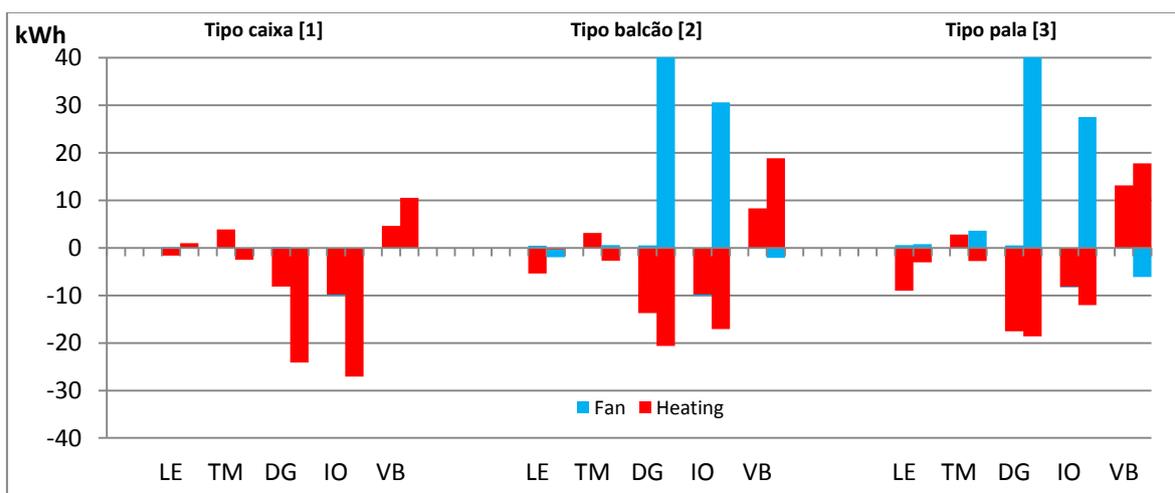


Figura 57. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base BS+B

5. APÊNDICE 5 – Resultados orientação norte

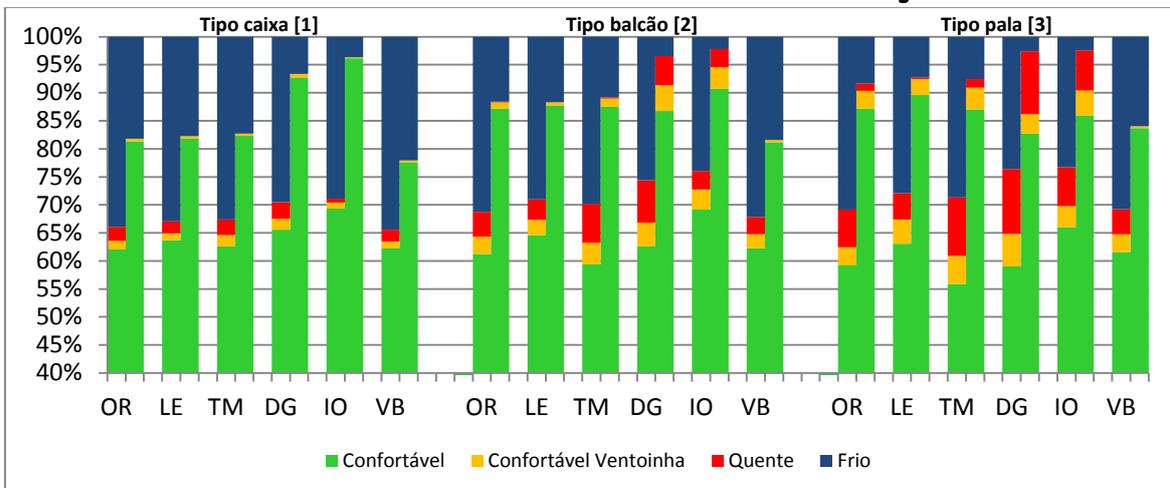


Figura 58. Percentagem de horas de conforto LS+L

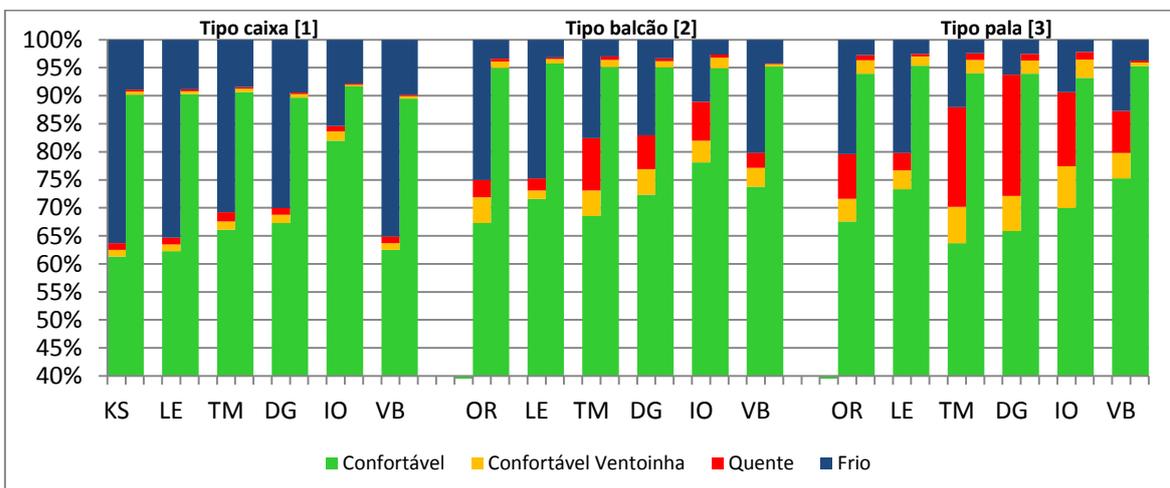


Figura 59. Percentagem de horas de conforto KS+K

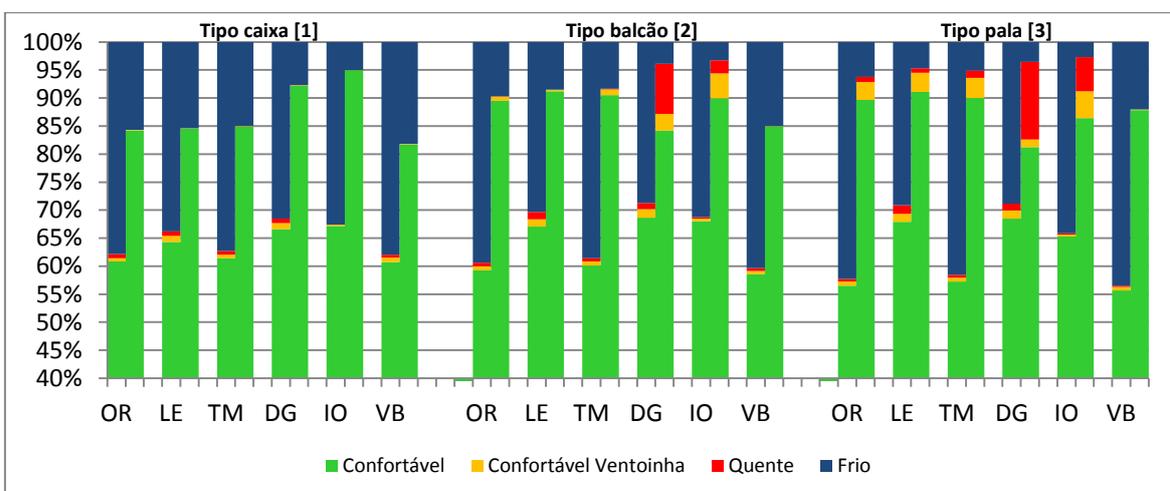


Figura 60. Percentagem de horas de conforto BS+B

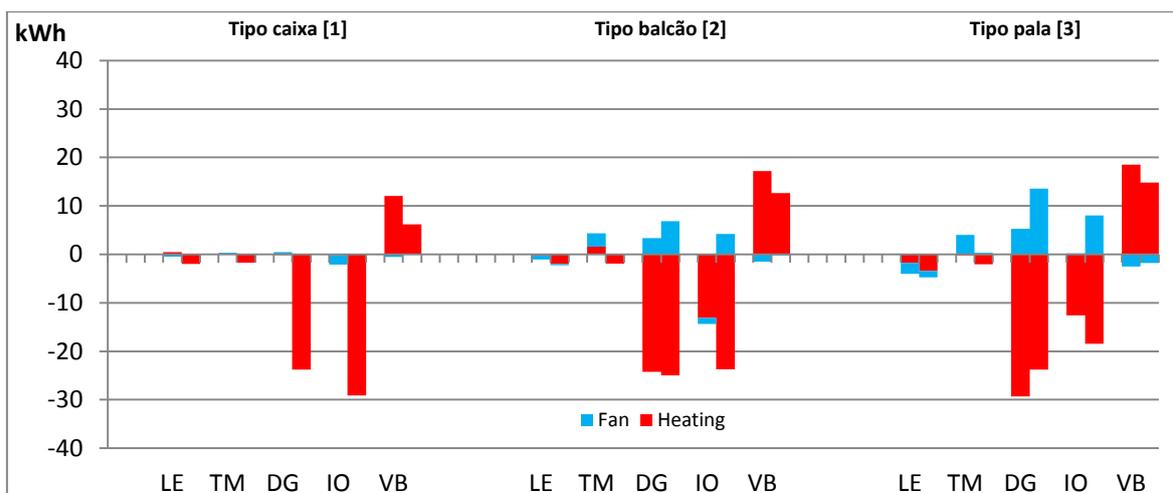


Figura 61. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base LS+L

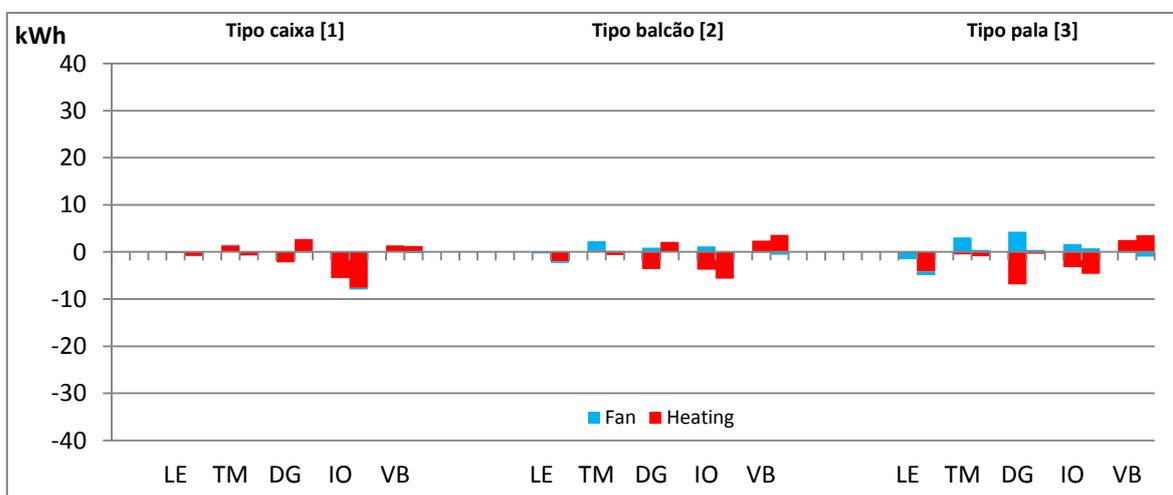


Figura 62. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base KS+K

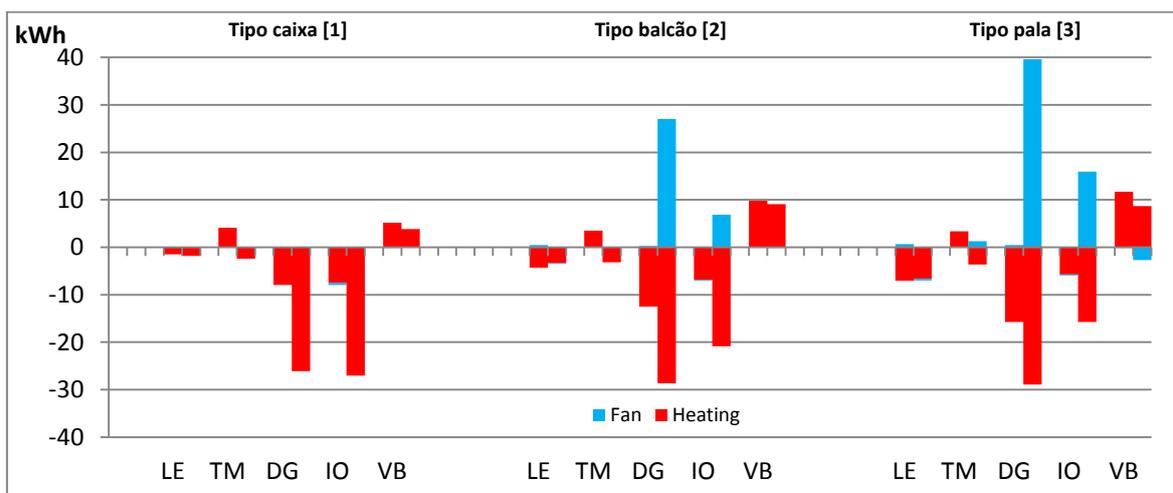


Figura 63. Variação sobre os consumos relativamente ao caso base BS+B

ⁱ Área bruta – superfície total do fogo, medida pelo perímetro exterior das paredes exteriores e eixos das paredes separadoras dos fogos, e inclui varandas privativas, locais acessórios e a quota-parte que lhe corresponda nas circulações comuns do edifício

ⁱⁱ Área útil – soma das áreas de todos os compartimentos da habitação, incluindo vestíbulos, circulações interiores, instalações sanitárias, arrumos, outros compartimentos de função similar e armários nas paredes, e mede-se pelo perímetro interior das paredes que limitam o fogo, descontando encaixos até 30cm, paredes interiores, divisórias e condutas

ⁱⁱⁱ Espaço não útil – conjunto dos locais fechados, fortemente ventilados ou não, que não se encontram englobados na definição de área útil de pavimento, e que não se destinam à ocupação humana em termos permanentes e, portanto, em regra, não são climatizados. Incluem-se aqui armazéns, garagens, sótãos e caves não habitados, circulações comuns a outras fracções autónomas do mesmo edifício, etc.

^{iv} Temperatura operativa: valor teórico de temperatura uniforme de uma envolvente negra na qual o ocupante troca a mesma taxa de calor por radiação e convecção que com o ambiente real. Corresponde à média ponderada entre as temperaturas do ar e radiante média, sendo os factores de ponderação os coeficientes de transferência de calor por radiação e convecção

^v Estação convencional de aquecimento: período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15°C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15°C;

^{vi} “Estação convencional de arrefecimento”, é o conjunto dos 4 meses de Verão (Junho, Julho, Agosto e Setembro) em que é maior a probabilidade de ocorrência de temperaturas exteriores elevadas que possam exigir arrefecimento ambiente em edifícios com pequenas cargas internas;