



FCTUC DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE DE COIMBRA

Análise Paramétrica de uma Solução Passiva para uma Habitação com Estrutura Leve em Aço

Dissertação apresentada para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia Civil na
Especialidade de Mecânica Estrutural

Autor

Jorge Daniel Carvalho Francisco

Orientadores

Helena Maria dos Santos Gervásio

Paulo Fernando Antunes dos Santos

Esta dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor, não tendo sofrido correcções após a defesa em provas públicas. O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer responsabilidade pelo uso da informação apresentada

Coimbra, Janeiro, 2015

AGRADECIMENTOS

Quando a actividade de estudante não é a nossa actividade principal, escrever uma tese exige muita disponibilidade, dedicação e espírito de sacrifício.

Assim, e porque esta tese não teria sido possível sem o apoio de várias pessoas, gostaria de expressar alguns agradecimentos.

Apesar de saber que qualquer lista de agradecimentos é inevitavelmente incompleta, gostaria de mencionar as seguintes pessoas: Professora Doutora Helena Gervásio e Professor Doutor Paulo Santos, orientadores deste trabalho, por todo o tempo despendido e pela forma como prestaram a orientação.

Ao Sr. Vice-Reitor desta Universidade, o Senhor Professor Doutor Amílcar Falcão, meu responsável directo enquanto Director do Instituto de Investigação Interdisciplinar, instituição onde trabalho, pelo incontestável apoio.

Por último e não menos importante, agradeço aos meus pais, que sempre viveram para os filhos e para a família, por todo o amor que me deram, dedico-lhes este trabalho. À minha irmã que está sempre pronta para me ajudar e à minha namorada por ser a mulher que sempre procurei, o meu muito obrigado. Sem o apoio de todos, teria sido muito mais difícil!

RESUMO

Os combustíveis fósseis como o petróleo, o carvão mineral ou o gás natural, cujas reservas têm vindo a diminuir, são a fonte mais comum de energia. A sua utilização tem impactos ambientais significativos, como o aumento da poluição atmosférica, que traz inevitavelmente consequências para a saúde humana.

A solução para este problema está em apostar na racionalização de energia, no aumento da eficiência energética e na utilização de fontes de energia renováveis.

O sector da construção é responsável por cerca de 30 a 40% de toda a energia consumida (UNEP 2007), sendo que na Europa esse valor representa 36% do valor total.

Em edifícios, estes consumos de energia podem ser divididos em 4 grandes grupos, que são eles: o aquecimento, o arrefecimento, a iluminação e outros.

Os critérios para o conforto térmico na construção são definidos pela Directiva Europeia 2010/31/UE, Decreto-lei n.º118/2013, EN ISO 13790: 2008 e especificam como valores de referência, uma temperatura do ar interior no Inverno de 20,00 °C e uma temperatura do ar interior no Verão de 25,00 °C.

Neste sentido, diversos autores, têm estudado a influência dos diferentes climas na eficiência energética das construções.

Nesta tese, o objectivo é a análise paramétrica de uma solução passiva para uma habitação com estrutura leve em aço, de modo a avaliar o desempenho térmico da habitação. Como ponto de partida, estudou-se um modelo habitacional numa região climática específica. Posteriormente, o estudo paramétrico foi aplicado a outras regiões climáticas, o que permitiu avaliar a alteração no desempenho térmico da habitação.

Entre outros aspectos com carácter relevante, concluiu-se com a realização desta tese, que a construção de uma habitação com estrutura leve em aço deve ser projectada de acordo com a região climática onde se venha a inserir.

ABSTRACT

Fossil fuels such as oil, coal or natural gas, whose reserves have been declining, are the most common source of energy. Their use has significant environmental impacts, such as increased air pollution, which inevitably has consequences for human health.

To solve this problema we need to invest in energy rationalization, increasing energy efficiency and use of renewable energy sources.

The construction sector accounts for circa 30-40% of all energy consumption (UNEP 2007). In Europe, buildings account for 36% of all energy use.

These energy consumption can be divided into four major categories: heating, cooling, lighting and others.

The criteria for thermal comfort in construction are defined by the European Directive 2010/31/UE, Decreto-lei n.º118/2013, EN ISO 13790: 2008 and specify how benchmarks indoor air temperature in the winter of 20, 00 ° C and a temperature of indoor air in the summer of 25.00 ° C.

In this sense, several authors, have studied the influence of different climates energy efficiency of buildings.

In this thesis, the aim is to parametric analysis of a passive solution for a housing with a light steel frame, in order to evaluate the thermal performance of the housing. As a starting point, we studied a housing model in a specific climatic region. Subsequently, the parametric study was applied to various climatic regions, which allowed to evaluate the change in thermal efficiency of buildings.

Among others with relevant nature, ended with the realization of this thesis, that the construction of a dwelling with light steel structure must be designed according to the climatic region where they will enter.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Enquadramento do tema	1
1.2	Organização do trabalho	3
2	PERSPECTIVA HISTÓRICA	5
2.1	História das Casas Passivas	5
2.2	Casas passivas em Portugal	5
2.3	Casas passivas no futuro	7
3	PRINCIPAIS FACTORES NO COMPORTAMENTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS	8
3.1	Envoltente Construtiva.....	8
3.2	Janelas.....	8
3.3	Dispositivos de sombreamento	9
3.4	Área e orientação dos envidraçados.....	10
3.5	Inércia térmica	11
3.6	Isolamento térmico	11
3.7	Ventilação	13
4	ANÁLISE PARAMÉTRICA DE UM CASO DE ESTUDO	14
4.1	Descrição Geral.....	14
4.2	Modelo	15
4.3	Objectivo do caso de estudo	17
4.4	Descrição das regiões climáticas	18
4.5	Análise paramétrica para valores médios	19
4.5.1	Clima Csb	20
4.5.2	Clima Csa	23
4.5.3	Clima Cfb	26
4.5.4	Clima Dfb	29
4.5.5	Clima Dfc	33
4.6	Estudo da compatibilidade do edifício	35
4.6.1	Clima Dfb	37
4.6.2	Clima Dfc	38
4.7	Análise paramétrica para valores médios +/- desvio padrão	40
4.7.1	Clima Csa	40

4.7.2	Clima Csb	43
4.7.3	Clima Cfb	46
5	CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	50
5.1	Conclusões	50
5.2	Trabalhos futuros	52
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	53
	ANEXOS	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 4.1 - Variáveis e valores de cada cenário.	20
Tabela 4.2 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Csb). ...	22
Tabela 4.3 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Csa)....	24
Tabela 4.4 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Csa)....	26
Tabela 4.5 - Valores que constituem o cenário “Melhor 3” Verão e Inverno (Clima Cfb)....	27
Tabela 4.6 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Cfb)....	29
Tabela 4.7 - Valores que constituem o cenário “Melhor 3” Verão e Inverno (Clima Dfb). ...	30
Tabela 4.8 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Dfb). ...	32
Tabela 4.9 - Valores que constituem o cenário “Melhor 2” Verão e Inverno (Clima Dfc)....	34
Tabela 4.10 - Valores que constituem o cenário “Melhor 1” Verão e Inverno (Clima Dfc)...	35

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – A pirâmide de Kyoto (Dokka, <i>et al.</i> , 2005).....	3
Figura 2.1 – Casa tradicional alentejana, Portugal.	6
Figura 2.2 – Estudo apresentado no (Passive-On Project, 2007c).....	6
Figura 2.3 – Vista exterior do empreendimento <i>Passive Houses</i> , em Ílhavo.....	7
Figura 3.1 - Perda de calor através dos vidros (Carbon Trust, 2007).....	9
Figura 3.2 – Solução utilizada na primeira habitação <i>Passivhaus</i> em Portugal.	10
Figura 4.1 – Planta do Piso 0.	14
Figura 4.2 – Planta do Piso 1.	15
Figura 4.3 – Modelo da habitação.	17
Figura 4.4 – Modelo da habitação (outra perspectiva).	17
Figura 4.5 – Mapa do Mundo com a classificação climática de Köppen-Geiger.....	19
Figura 4.6 – Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Csb).	21
Figura 4.7 – Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Csb).....	22
Figura 4.8 – Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Csb).....	23
Figura 4.9 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Csa).....	24
Figura 4.10 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Csa).	25
Figura 4.11 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Csa).....	25
Figura 4.12 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Cfb).....	27
Figura 4.13 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Cfb).	28
Figura 4.14 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Cfb).....	28
Figura 4.15 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Dfb).....	30
Figura 4.16 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Dfb).	31
Figura 4.17 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Dfb).....	32
Figura 4.18 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Dfc).....	33
Figura 4.19 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Dfc).	34
Figura 4.20 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Dfc).....	35
Figura 4.21 – Modelo compacto.....	36
Figura 4.22 – Análise do cenário “Melhor 3” no modelo mais compacto (Clima Dfb).....	37
Figura 4.23 - Análise do cenário “Melhor 4” no modelo mais compacto (Clima Dfb).	38

Figura 4.24 - Análise do cenário “Melhor 2” no modelo mais compacto (Clima Dfc).....	39
Figura 4.25 - Análise do cenário “Melhor 1” no modelo mais compacto (Clima Dfc).....	39
Figura 4.26 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csa MT-SD).	41
Figura 4.27 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csa MT+SD).	41
Figura 4.28 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csa MT-SD).....	42
Figura 4.29 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csa MT+SD).....	43
Figura 4.30 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csb MT-SD).	44
Figura 4.31 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csb MT+SD).	44
Figura 4.32 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csb MT-SD).	45
Figura 4.33 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csb MT+SD). ...	45
Figura 4.34 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Cfb MT-SD)	46
Figura 4.35 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Cfb MT+SD)	47
Figura 4.36 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Cfb MT-SD).....	48
Figura 4.37 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Cfb MT+SD).....	48

ABREVIATURAS

UNEP – United Nations Environment Programme

CE – Indicativo de conformidade obrigatória para produtos comercializados no Espaço Económico Europeu

EN – European Norm

ISO – International Organization for Standardization

Csa – Clima temperado mediterrâneo, verões quentes (chuvas no inverno)

Csb – Clima temperado mediterrâneo, verões brandos (chuvas no inverno)

Cfb – Clima temperado marítimo húmido

Dfb – Clima continental húmido, verões brandos

Dfc – Clima subártico húmido

SCE – Sistema de Certificação Energética de Edifícios

RECS - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços

LSF – Light Steel Framing

REH - Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

MT-SD – Média menos o desvio padrão

MT+SD – Média mais o desvio padrão

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento do tema

A sustentabilidade é actualmente o maior desafio de qualquer indústria ou sector económico. O desenvolvimento económico e social, segundo os padrões actuais de consumo e de produção, não é sustentável, uma vez que a nível global estão a ser extraídos mais recursos para a produção de bens e serviços dos que o planeta pode repor.

No âmbito do Protocolo de Quioto, Portugal, em articulação com os compromissos definidos para a União Europeia, assumiu responsabilidades quanto ao controlo das emissões de gases de efeito de estufa. Nesse contexto, impôs-se um consenso sobre a importância de melhorar a eficiência energética dos edifícios e de reduzir o consumo de energia, bem como as correspondentes emissões de CO₂ no sector dos edifícios.

Surge então a Directiva n.º 2010/31/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios, na qual se implementam um conjunto de requisitos, importantes para este sector, tais como:

- Implementar um sistema de certificação energética de forma a informar o cidadão sobre a qualidade térmica dos edifícios, no momento da construção, da venda ou do arrendamento dos mesmos, exigindo também que o sistema de certificação abranja igualmente todos os grandes edifícios públicos e edifícios frequentemente visitados pelo público;
- A obrigatoriedade de uma verificação periódica dos consumos reais nos edifícios existentes de maior dimensão e a disponibilização desta informação ao público que os utilizar, mediante afixação de um certificado apropriado em local bem visível.

O Sistema de Certificação Energética de Edifícios (SCE), transpôs para Portugal a Directiva Europeia 2002/91/CE, através dos Decreto-lei n.º 78/2006, Decreto-lei n.º 79/2006 e Decreto-lei n.º 80/2006 que foram recentemente sujeitos a revisão. Surgiu então o RECS (Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços) publicado através do Decreto-lei n.º 118/2013, no qual se procurou fixar quatro objectivos:

- Definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respectivas funções;

- Melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização mas em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;
- Impor regras de eficiência e de dimensionamento aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projecto, quer a nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;
- Monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.

A Directiva Europeia 2002/91/CE, foi reformulada pela Directiva 2010/31/EU em vigor desde Junho de 2010. Esta Directiva reforça os requisitos de eficiência energética de edifícios, determinando que até 31/12/2020 a totalidade dos edifícios novos devem ter um nível quase nulo de consumo de energia.

Também a aposta em edifícios de baixo consumo, é um passo importante para ir de encontro ao Protocolo de Quioto, diminuir a dependência energética do País e cumprir a regulamentação Europeia.

Com a construção anual de aproximadamente 2,5 milhões de casas na Europa, e sendo o sector dos edifícios responsável por 27% da energia final consumida na União Europeia (energia na forma em que é disponibilizada: electricidade, gás, etc.) torna-se claro que para reduzir as emissões de CO₂ e atingir as metas do protocolo de Quioto, será necessária a aposta em casas de baixo consumo (Passive-On Project, 2007a).

Com o objectivo de desenvolver o conceito construtivo que defina um padrão que é eficiente sob o ponto de vista energético, de conforto e economicamente acessível e sustentável (conceito de “Passivhaus”), Dokka and Rodsjo em 2005 desenvolveram a pirâmide apresentada na Figura 1.1 e que deverá ser analisada de baixo para cima.

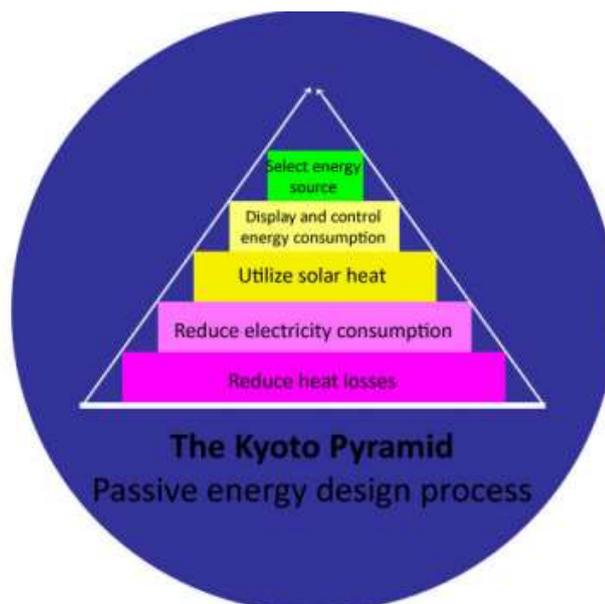


Figura 1.1 – A pirâmide de Kyoto (Dokka, *et al.*, 2005).

Dadas as necessidades energéticas evidenciadas no subcapítulo anterior, a presente tese tem como objectivo, fazer uma análise paramétrica de uma solução passiva para uma habitação com estrutura leve em aço.

Pretende-se inicialmente analisar quais os principais factores relativos à construção com estrutura leve em aço e avaliar o impacte dos mesmos, dependendo da região climática onde está inserida.

Posteriormente, estuda-se para as duas regiões climáticas com as temperaturas mais baixas, o impacte que o factor de forma da habitação poderá ter, na melhoria da sua eficiência térmica.

Por último, analisa-se o impacte no modelo habitacional, fazendo a análise paramétrica para os valores extremos da temperatura de cada região climática.

1.2 Organização do trabalho

Esta tese é composta por cinco capítulos cujos objectivos foram os indicados no ponto anterior.

No primeiro capítulo faz-se o enquadramento da temática que é alvo de estudo na presente tese e apresenta-se ainda os objectivos deste trabalho.

No segundo capítulo, aborda-se o conceito das casas passivas, desde a sua existência, à sua presença em Portugal e elabora-se um breve resumo das expectativas desta temática no futuro.

Seguidamente no terceiro capítulo descrevem-se métodos e sistemas construtivos aplicados à construção de edifícios passivos.

O quarto capítulo apresenta-se como o capítulo de estudo e desenvolvimento de diversas análises paramétricas, aplicadas a um modelo de construção passiva com estrutura leve em aço, para diversas regiões climáticas.

Por fim, no quinto capítulo, apresentam-se as conclusões obtidas neste trabalho bem como os desenvolvimentos futuros.

2 PERSPECTIVA HISTÓRICA

2.1 História das Casas Passivas

O conceito de habitação passiva foi desenvolvido em 1988 pelos professores Bo Adamsson (Lund University, Suécia) e Wolfgang Feist (Institut für Umwelt und Wohnen, Alemanha). Esta ideia surgiu a partir da existência de habitações de reduzido consumo energético já construídas na Europa do Norte, mais propriamente na Dinamarca e Suécia.

Este conceito foi investigado durante quase uma década e em 1996, foi fundado na Alemanha o *Passivhaus-Institut* que definiu o conceito *PassivHaus*.

A norma *PassivHaus*, em geral, assenta em dois requisitos fundamentais (Brotas e Gonçalves, 2007):

- Limites para o consumo de energia útil para climatização (aquecimento e arrefecimento) e consumo total de energia primária;
- Requisitos de qualidade do ambiente interior, particularmente ao nível do conforto térmico.

No entanto, aquilo a que se chama actualmente conceito passivo, surgiu inicialmente ainda sem essa designação nos EUA e na Europa, como consequência das crises do petróleo na década de 1970.

2.2 Casas passivas em Portugal

Em Portugal, tal como na Europa, o recurso a sistemas de aquecimento e arrefecimento passivo é já muito antigo. Exemplo disso são as habitações no Norte do país, onde era frequente albergar os animais no piso térreo para que o calor por eles produzido servisse para aquecer o piso superior durante o Inverno.

Na região mais a Sul do país, de modo a combater as temperaturas de Verão, recorria-se à pintura com cal branca das paredes exteriores e as janelas eram recuadas em relação às fachadas, de forma a criar sombreamento (Figura 2.1). Era também usual, que as habitações tivessem apenas um piso térreo, como forma de aproveitamento da inércia térmica do solo no Verão.



Figura 2.1 – Casa tradicional alentejana, Portugal.

No entanto, só a partir da década de 90 é que as casas passivas começaram a ser mais divulgadas em Portugal, graças à primeira construção do género num projecto liderado pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

No ano de 2007, modelou-se uma casa *Passivhaus*, no projecto PASSIVE-ON, e compararam-se os resultados obtidos com as casas tradicionais, construídas cumprindo os mínimos do regulamento em vigor nesse ano. O resultado desse estudo está representado na Figura 2.2.

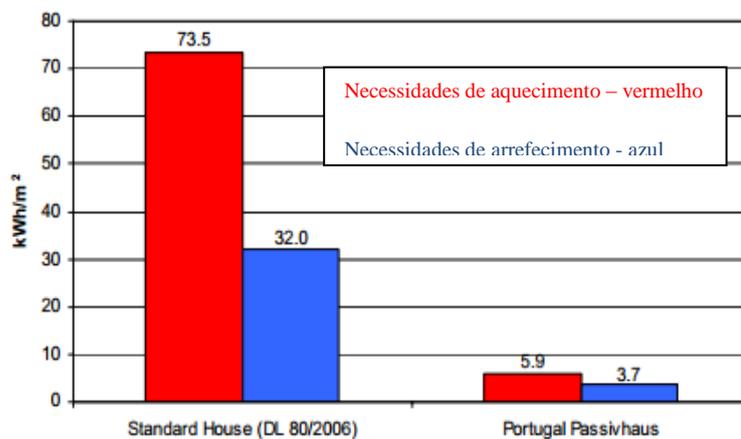


Figura 2.2 – Estudo apresentado no (Passive-On Project, 2007c).

No ano de 2012 foi certificada em Portugal a primeira casa *Passivhaus* (Figura 2.3) que obteve uma classificação A+ (desempenho ambiental 75% superior à prática actual).



Figura 2.3 – Vista exterior do empreendimento *Passive Houses*, em Ílhavo.

Entre os diversos aspectos relativos a este empreendimento, destacam-se:

- Uma melhoria na integração paisagística;
- Um melhor desempenho passivo;
- Redução do consumo de água potável;
- Melhor desempenho na gestão das águas locais;
- A aplicação de materiais locais e de baixo impacto;
- Redução de emissões atmosféricas;
- Redução de fontes de ruído para o exterior.

2.3 Casas passivas no futuro

O conceito de casa passiva tem ainda um longo caminho a percorrer, com alguns aspectos a serem melhorados. Por parte dos arquitectos, estes deverão ter especial preocupação no desenho da habitação. Os construtores por sua vez deverão implementar correctamente os sistemas de baixo consumo definidos nos diversos projectos de especialidades. Também por parte das entidades bancárias a análise para concessão de crédito no caso de habitação passiva, deverá ser revista, uma vez que as facturas mensais relativas a gastos de electricidade, água e gás, irão sofrer redução.

Estas medidas podem contribuir para a diminuição de casas construídas com pouca qualidade e o desenvolvimento de um mercado de casas *Passivhaus* (Passive-On Project, 2007a).

Também uma melhor implementação do conceito *Passivhaus* na reabilitação do parque edificado, será um contributo importante para a redução da dependência energética do país.

3 PRINCIPAIS FACTORES NO COMPORTAMENTO TÉRMICO EM EDIFÍCIOS

3.1 Envolvente Construtiva

A envolvente do edifício é a componente mais importante quando se pretende analisar o balanço térmico de um edifício, uma vez que faz a “barreira” entre o interior e o exterior, sendo portanto, o principal vector de ganhos e perdas de calor. A envolvente deve assim, ser eficiente por forma a manter-se termicamente estável e confortável ao mesmo tempo, uma vez que é responsável por 50% a 75% das perdas para uma construção convencional (Hastings *et al.*, 2007). Assim, a melhoria da envolvente pode modificar drasticamente a carga de aquecimento ou arrefecimento de uma casa (Liébard, *et al.*, 2005).

A envolvente do edifício pode contribuir para a poupança de energia, o aumento da qualidade ambiental interior e a melhoria do conforto térmico, aumentando significativamente a produtividade das pessoas.

A orientação dos edifícios é dos aspectos primordiais para se conseguir uma construção passiva. Com a colocação das divisões com maiores necessidades energéticas orientadas a Sul, e compartimentos com menores necessidades orientadas para Norte (por exemplo: casas de banho e arrumos), é possível uma poupança média de 30% de energia (Mendonça, 2005).

Outro aspecto também de grande importância, é a área da superfície exterior do edifício exposta, uma vez que as perdas de calor do interior para o exterior do edifício aumentam as necessidades de aquecimento. Desta forma, quanto maior for a superfície exterior que envolve o edifício, maiores serão as perdas de calor no Inverno.

3.2 Janelas

As janelas são os elementos que permitem a transmissão de mais energia na envolvente dos edifícios (Baker, 2009). Apesar dos vidros permitirem a transmissão de energia solar, o que pode limitar a dependência de iluminação artificial, também são responsáveis pelas principais perdas de energia em edifícios (Baker e Steemers, 2000). Mesmo as janelas com um maior desempenho térmico têm um valor U, pelo menos, cinco vezes maior do que os típicos

elementos de construção (Baker, 2009). As perdas de calor através dos vidros compreendem geralmente uma grande parte da perda total de calor dos edifícios.

O calor é perdido através dos vidros de três maneiras (Button e Pye, 1993) (Figura 3.1):

- Através das trocas de radiação entre a superfície dos vidros e as superfícies opacas da habitação;
- Por convecção do ar que se move sobre a superfície do vidro e perdas de condução através dos componentes da estrutura;
- Por infiltrações de ar através das janelas.

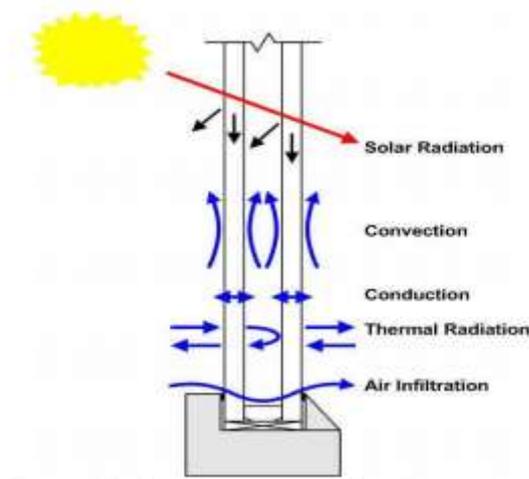


Figura 3.1 - Perda de calor através dos vidros (Carbon Trust, 2007).

3.3 Dispositivos de sombreamento

O uso de dispositivos de sombreamento poderá ser um aspecto importante a considerar ao projectar uma habitação de baixo consumo. Em particular, os edifícios que utilizam aquecimento solar passivo ou iluminação natural, dependem muitas vezes de dispositivos com controlo de sol e/ou sombra.

Durante as estações mais quentes, o sombreamento das janelas é uma excelente forma de evitar o ganho de calor solar indesejado.

A concepção dos dispositivos de sombreamento eficazes irá depender da orientação solar das fachadas do edifício. Por exemplo, as palas de sombreamento são muito eficazes no sombreamento de janelas viradas a Sul, ou no Verão, quando os ângulos solares são elevados. No entanto, estes dispositivos são ineficazes no bloqueio do sol de fim de tarde nas janelas viradas para oeste durante os períodos de pico de ganho de calor no verão.

Existem diversos tipos de palas de sombreamento, podendo ser elementos horizontais e/ou verticais com os elementos da estrutura, ou porventura elementos noutra tipo de materiais como por exemplo o alumínio, formando lâminas em disposição horizontal, vertical ou inclinada, fixas á fachada, que reduzem de forma excepcional a incidência solar.

Também os estores são de extrema importância para o controlo da temperatura interior dos edifícios. No entanto, um dos problemas usuais com os estores não se prende efectivamente com as lâminas de estores mas sim com a respectiva caixa, uma vez que esta é normalmente mal concebida, criando aqui uma grande perda de calor. A solução adoptada na construção de Ílhavo encontra-se representada na Figura 3.2.



Figura 3.2 – Solução utilizada na primeira habitação *Passivhaus* em Portugal.

3.4 Área e orientação dos envidraçados

Este é um aspecto a ter em consideração na hora de projectar um edifício, pois nas construções ditas tradicionais, aproximadamente 30% das necessidades de aquecimento devem-se a perdas de calor através dos envidraçados (Isolani, 2008).

Em Portugal, o ideal é ter na fachada Sul, entre 50% a 80% da área total de envidraçados (Gonçalves *et al.*, 1998), não excedendo 40% da superfície desta fachada. Ao ultrapassar estas percentagens provoca-se um sobreaquecimento no Verão e os ganhos de calor no Inverno deixam de ser significativos (Isolani, 2008).

Nas fachadas Este e Oeste as áreas de envidraçados devem ser reduzidas, bem como a Norte, pois é nesta direcção que ocorrem as maiores perdas térmicas através dos vidros durante o Inverno (Isolani, 2008).

3.5 Inércia térmica

A inércia térmica de um edifício é a sua capacidade de contrariar as variações de temperatura no seu interior devido à sua capacidade de acumular calor nos seus elementos de construção.

Trata-se de um factor determinante no comportamento térmico do edifício, um fenómeno pelo qual o edifício amortece as variações térmicas exteriores e interiores do edifício, proporcionando uma menor variação de temperatura interior e, conseqüentemente, aumentando o conforto dos seus ocupantes.

A inércia térmica tem influência sobre o comportamento do edifício tanto no Inverno, ao determinar a capacidade de utilização dos ganhos solares, como no Verão, ao influenciar a capacidade do edifício em absorver os picos de calor. As paredes com uma estrutura pesada (composta por materiais densos e pesados como a pedra e os tijolos maciços) têm uma elevada capacidade térmica, funcionando como reservatórios de calor e amortecedores térmicos, contrariando a oscilação climática do exterior.

As soluções encontradas para aumentar a inércia térmica de um edifício, prendem-se com a utilização de isolamentos de maiores espessuras (Mendonça, 2005). No entanto, esta definição depende da posição do isolamento e do calor específico dos restantes materiais aplicados.

No Verão, a falta de isolamento provoca elevadas temperaturas no interior no edifício, ao contrário do que acontece no Inverno, já que a falta de isolamento faz com que o edifício arrefeça mais rapidamente (Isolani, 2008).

3.6 Isolamento térmico

O isolamento térmico de edifícios é fundamental para garantir o conforto térmico nas habitações durante todo o ano, principalmente no Inverno. O objectivo principal é manter o ar interior da habitação bem como a temperatura das superfícies interiores, a uma temperatura confortável.

O isolamento térmico dificulta a passagem de calor por condução do interior ao exterior da habitação e vice-versa. Assim, a sua correcta aplicação torna-se eficaz tanto no Inverno como no Verão. A quantidade de calor necessária para manter uma habitação à temperatura de conforto depende em larga medida, do nível de isolamento térmico, que previne a transferência de calor entre o interior e exterior do edifício.

No Inverno, os espaços interiores que não estejam bem isolados tornam-se desconfortáveis e prejudiciais para a saúde do ocupante. Ainda que se gaste uma grande quantidade de energia

para compensar as perdas de calor, as paredes dos referidos espaços encontram-se sempre frias, o que provoca perda por radiação do corpo humano, impondo-se uma sensação de desconforto.

Durante a estação quente, um espaço interior sem isolamento torna-se excessivamente aquecido, em virtude do sobreaquecimento provocado pela radiação solar, através das paredes e coberturas.

Um edifício com baixos níveis de isolamento térmico conduz a perdas de calor significativas, que consequentemente conduzem a maiores consumos energéticos com o aquecimento e arrefecimento.

No Inverno os espaços arrefecem rapidamente, situação que pode dar origem a condensações que são extremamente prejudiciais para a saúde e bem-estar dos seus ocupantes. No Verão o interior aquece mais e num curto espaço de tempo. Por estas razões, o isolamento térmico representa um factor chave para reduzir o consumo energético, pois a sua implementação permite diminuir as perdas de calor e aproveitar os ganhos, utilizando técnicas de isolamento adequadas aos edifícios.

Os isolamentos térmicos possuem assim várias funções (ASHRAE, 2014):

- Conservar a energia devido à redução das perdas de calor;
- Controlar a temperatura superficial de equipamentos e estruturas;
- Ajudar a controlar a temperatura de um processo químico, equipamentos e estruturas;
- Prever as condensações em superfícies com a temperatura inferior ao ponto de orvalho;
- Reduzir as flutuações térmicas dos espaços, aumentando o conforto térmico.

Para que o isolamento térmico seja eficaz é necessário eliminar as pontes térmicas e cobrir totalmente toda a superfície a ser isolada. As pontes térmicas correspondem a descontinuidades do isolamento e que devem ser evitadas, já que se trata de pontos localizados na envolvente do edifício onde existe maior perda de calor em relação às restantes áreas dos elementos da envolvente.

Estes pontos frágeis na envolvente acarretam um aumento do consumo de energia para aquecimento, podendo mesmo causar danos como infiltrações e condensações, reduzindo a sua durabilidade.

Quanto à colocação do isolamento o ideal é colocá-lo na face exterior da massa térmica, ou seja, como recobrimento exterior das paredes, coberturas ou pavimentos, de tal forma que a massa térmica actue como acumulador eficaz no interior e bem isolado pelo exterior.

Para além do aumento do grau de conforto interior, a aplicação de isolamentos térmicos nas habitações, permite uma redução do consumo de energia e dos respectivos custos associados a equipamentos de aquecimento/arrefecimento. Aumenta também, o grau de conservação das casas o que permite evitar muitas doenças comuns.

3.7 Ventilação

A ventilação dos espaços interiores numa habitação torna-se imperiosa para maximização dos níveis de conforto térmico, caso seja feita de acordo com os valores recomendados para cada estação do ano.

Nas habitações produzem-se grandes quantidades de vapor de água, particularmente em instalações sanitárias e cozinhas. Se uma casa for insuficientemente ventilada, o excesso de vapor de água produzido não poderá ser removido e tende a condensar nas superfícies mais frias, dando origem a fungos e bolores prejudiciais para a saúde e conforto ambiental dos ocupantes.

Neste sentido, a ventilação refere-se à qualidade do ar interior de uma habitação, e a sua importância apresenta-se em vários usos:

- Na renovação de ar, para manter as condições higiénicas;
- Para incrementar o conforto térmico no Verão, uma vez que o movimento do ar acelera a dissipação de calor dos espaços e do corpo humano;
- Na climatização, porque o ar em movimento contribui para conduzir o calor acumulado nas paredes, coberturas e pavimentos pelo fenómeno de convecção, retirando maior partido, especialmente nas noites de Verão, quando o ar se torna mais fresco.

As medidas que visam aumentar a qualidade do ar interior de uma forma passiva reduzem também as necessidades energéticas durante a vida do edifício.

4 ANÁLISE PARAMÉTRICA DE UM CASO DE ESTUDO

4.1 Descrição Geral

O edifício que servirá de base para este estudo corresponde a um edifício de habitação, mais concretamente uma moradia unifamiliar isolada, de tipologia T3.

Este edifício foi dimensionado com uma estrutura em LSF, e para uma vida útil de 50 anos de acordo com o Eurocódigo Estrutural (EN 1993-1-3: 2006). A moradia tem o piso térreo composto pela cozinha, uma instalação sanitária de serviço, a sala de estar e as escadas de acesso ao piso superior.

A cozinha está orientada a norte, ficando a sala com exposição solar a Sul e com dois envidraçados. Esta disposição pode ser analisada na Figura 4.1.



Figura 4.1 – Planta do Piso 0.

No piso superior, a moradia é constituída por uma zona comum, com acesso à caixa de escadas, um quarto com WC privativo e dois outros quartos que partilham o mesmo WC. A disposição deste piso pode ser vista na Figura 4.2.

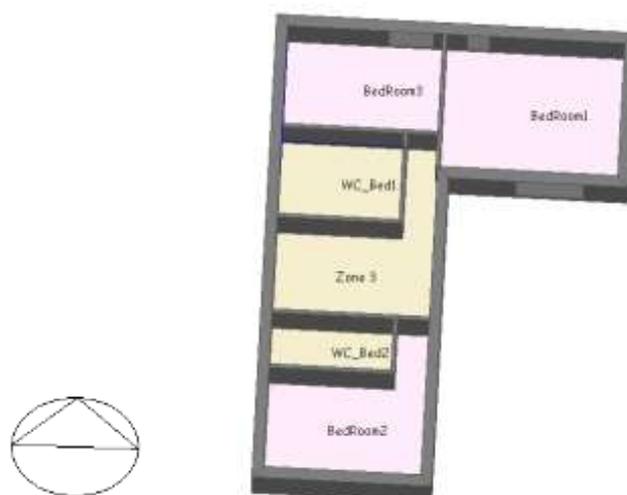


Figura 4.2 – Planta do Piso 1.

4.2 Modelo

Para a realização do presente estudo foi utilizado o programa *DesignBuilder V.3.4.0.041*, utilizando como motor de simulação dinâmica o *EnergyPlus 4.0*.

O *DesignBuilder* é um programa que permite efectuar simulações higrótérmicas de edifícios. Hoje em dia, esta ferramenta torna-se fundamental para a avaliação correcta do comportamento energético de edifícios, uma vez que permite efectuar simulações muito fiáveis, considerando uma vasta gama de variáveis, tais como as dimensões do edifício, características das superfícies, equipamentos instalados, etc.

Este programa é uma interface avançada do software *EnergyPlus*, que é o responsável pela realização dos cálculos e simulações. O programa *EnergyPlus* foi desenvolvido pelo Departamento de Energia (DOE – The Department Of Energy) nos Estados Unidos da América. É um dos mais utilizados na área, uma vez que é alvo de contínuas actualizações e os resultados são fiáveis, contudo, a introdução de dados neste programa é algo complexa e trabalhosa, e é aí que aparece o *DesignBuilder*, como interface gráfica do *EnergyPlus*, simplificando a introdução de dados.

O programa permite obter informação sub-horária, horária, diária, mensal e anual relativa a:

- Temperatura interior;
- Dados climáticos;
- Perdas e ganhos térmicos através da envolvente opaca (paredes, coberturas, envidraçados, pavimentos, portas, ...), ganhos provenientes da radiação solar, ganhos

térmicos internos (ocupação, iluminação, equipamentos, ...) e carga térmica associada à ventilação e às infiltrações.

O *Energy Plus* realiza os cálculos seguindo as metodologias descritas em ASHRAE (2014).

Os modelos criados no *DesignBuilder V.3.4.0.041* seguem a seguinte hierarquia:

- **Clima:** neste nível são inseridos dados relativos ao clima carregando no programa um ficheiro climático que constitui a base de todo o cálculo realizado pelo programa;
- **Edifício:** neste nível é criado um novo edifício que se encontra inserido no clima seleccionado e são inseridos os dados que se considerem comuns a todas as zonas. Os dados inseridos ao nível do edifício são automaticamente considerados comuns em todas as zonas existentes;
- **Blocos:** neste nível é construída a geometria do edifício através da capacidade gráfica do programa, sendo os blocos desenhados em 3D, directamente na interface do programa, com as medidas desejadas. Os dados inseridos ao nível do bloco serão considerados comuns em todas as zonas existentes nesse bloco;
- **Zonas:** depois de criados os blocos do edifício, estes podem ser divididos em diversas zonas através do desenho das respectivas divisões. Caso se pretenda inserir dados específicos para cada zona estes devem ser inseridos a este nível. O programa permite definir uma taxa de infiltração constante em cada uma das zonas;
- **Superfícies:** o programa permite seleccionar as superfícies delimitadoras de cada uma das zonas e inserir dados relativamente às propriedades das superfícies, assim como materiais de construção e cores superficiais. O *DesignBuilder V.3.4.0.041* possui uma vasta biblioteca de materiais que podem ser carregados quando não se possui informação precisa sobre as soluções construtivas do edifício;
- **Aberturas:** seleccionando uma dada superfície, o programa permite desenhar aberturas com as medidas desejadas assim como portas exteriores, portas interiores, janelas, grelhas de ventilação ou mesmo aberturas permanentes.

Para o presente trabalho, as simulações foram realizadas utilizando ficheiros climáticos obtidos de valores médios dos dados climáticos de diversas zonas.

A Figura 4.3 e Figura 4.4 representam o edifício modelado.

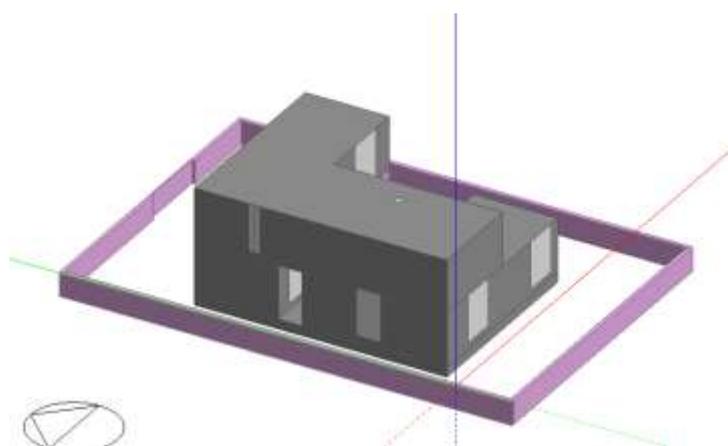


Figura 4.3 – Modelo da habitação.

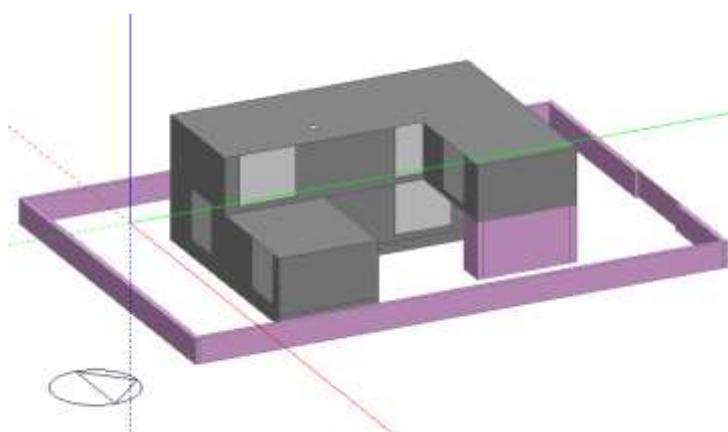


Figura 4.4 – Modelo da habitação (outra perspectiva).

4.3 Objectivo do caso de estudo

O principal objectivo deste estudo é o de avaliar o desempenho térmico do modelo anteriormente apresentado, tendo por base determinadas considerações técnicas a definir em fase de projecto.

Este estudo será feito inicialmente para zonas com climas temperados mediterrâneos (clima Csb) e será posteriormente adaptado para outras regiões climáticas (Csa, Cfb, Dfc e Dfb).

Numa segunda fase, será feita também a análise paramétrica da habitação, mantendo o mesmo volume interior e a mesma área de envidraçados, mas reduzindo a sua superfície exterior exposta. Desta forma pretende-se determinar qual a variação térmica associada.

Por último, e uma vez que na parte inicial desta tese se faz o estudo com base em temperaturas médias de determinada região climática, optar-se-á por avaliar o impacto no modelo inicial considerando não apenas a temperatura média, mas também as temperaturas extremas em cada região climática.

4.4 Descrição das regiões climáticas

A classificação climática de Köppen-Geiger, mais conhecida por classificação climática de Köppen, é o sistema de classificação global dos tipos climáticos mais utilizada em geografia, climatologia e ecologia. A classificação foi proposta em 1900 pelo climatologista alemão Wladimir Köppen, tendo sido por ele aperfeiçoada em 1918, 1927 e 1936 com a publicação de novas versões, preparadas em colaboração com Rudolf Geiger (daí o nome Köppen-Geiger).

A classificação é baseada no pressuposto, com origem na fitossociologia e na ecologia, de que a vegetação natural de cada grande região da Terra é essencialmente uma expressão do clima nela prevalente. Assim, as fronteiras entre regiões climáticas, foram seleccionadas para corresponder, tanto quanto possível, às áreas de predominância de cada tipo de vegetação, razão pela qual a distribuição global dos tipos climáticos e a distribuição dos biomas apresenta elevada correlação. O mapa actualmente em vigor está apresentado na Figura 4.5.

Na determinação dos tipos climáticos de Köppen-Geiger são considerados a sazonalidade, os valores médios, anuais e mensais, da temperatura do ar e da precipitação. Cada região climática é denotada por um código, constituída por letras maiúsculas e minúsculas, cuja combinação representa os tipos e subtipos considerados. (Kottek, M., *et al.*, 2006)

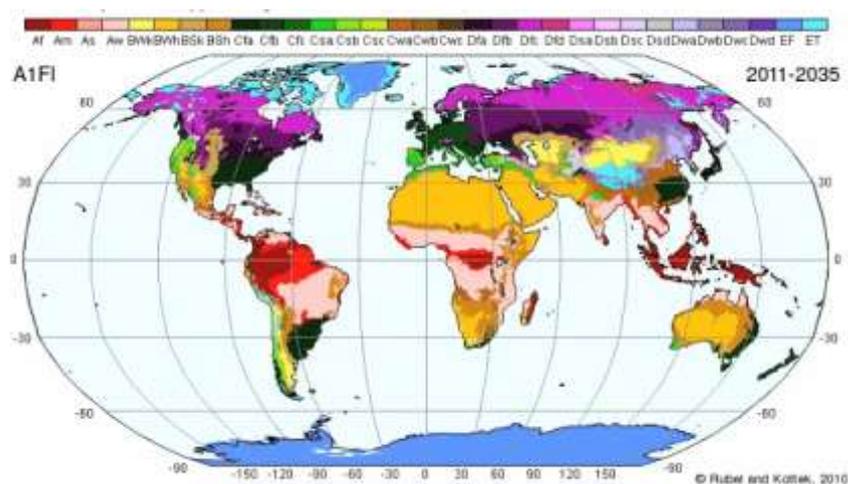


Figura 4.5 – Mapa do Mundo com a classificação climática de Köppen-Geiger (Kottek, M., *et al.*, 2006).

Neste trabalho consideram-se diferentes zonas climáticas de acordo com o esquema de Köppen-Geiger: Csa, Csb, Cfb, Dfb e Dfc. O clima típico de uma determinada região foi definido como o clima médio de 5 cidades de referência dentro da mesma região classificada.

De acordo com a classificação de Köppen-Geiger, as regiões do Sul da Europa com latitudes abaixo de 45°N têm climas designados de Csa e Csb, em que o “C” representa o clima temperado. Csa corresponde a um clima temperado húmido com Verão seco e quente e o Clima Csb corresponde a um clima temperado húmido com Verão seco e temperado.

Nos países da Europa Central Ocidental, com latitudes compreendidas entre os 45-55°N, o clima é classificado principalmente como Cfb, ou seja, “C-clima temperado”, “f-clima húmido” e “b-Verão quente”.

Nos países da Europa Central mais afastados da costa atlântica, o clima é classificado como Dfb, ou seja, o “D” corresponde a climas temperados frios, o “f” representa um clima húmido e o “b” um Verão quente.

Em regiões com latitudes ainda mais altas, acima dos 55°N, que correspondem aos países nórdicos, o clima é designado por Dfc que se caracteriza por ser um clima temperado frio, húmido e fresco de Verão.

4.5 Análise paramétrica para valores médios

A análise paramétrica foi realizada com o objectivo de verificar, nas estações de Verão e Inverno, o impacte de determinados parâmetros no comportamento térmico da habitação. Este estudo foi realizado utilizando o modelo anteriormente descrito.

Os parâmetros considerados neste estudo foram, a ventilação, o isolamento térmico (de paredes, pavimentos e coberturas), as características dos envidraçados e dois tipos de sombreamentos, os estores e as palas.

Adoptou-se para cada um dos 5 climas considerados, 15 cenários diferentes que foram comparados com o cenário de referência. Este estudo foi realizado para os valores médios de cada região climática.

O objectivo desta análise foi perceber qual o melhor cenário para o clima considerado, ou até a conjugação de vários cenários, uma vez que um determinado cenário no Verão, pode não ser o melhor cenário de Inverno.

O estudo foi realizado com base na semana típica de Verão e na semana típica de Inverno.

Apresenta-se na Tabela 4.1 os cenários considerados para cada um dos climas.

Tabela 4.1 - Variáveis e valores de cada cenário.

Modelos		Csa			Csb			Cfb			Dfb			Dfc		
Variável	Cenário	Descrição			Descrição			Descrição			Descrição			Descrição		
		Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max		Min	Max	
Ventilação	1	0,6	0,6		0,6	0,6		0,6	0,6		0,6	0,6		0,6	0,6	
	2	0,6	2,0		0,6	2,0		0,6	2,0		0,6	2,0		0,6	2,0	
	3	0,6	3,5		0,6	3,5		0,6	3,5		0,6	3,5		0,6	3,5	
	4	0,6	5,0		0,6	5,0		0,6	5,0		0,6	5,0		0,6	5,0	
Isolamento Térmico	1 (Ref)	Referência			Referência			Referência			Referência			Referência		
	5	-40%			-40%			-40%			-40%			-40%		
	6	40%			40%			40%			5%			5%		
	7	60%			60%			50%			8%			8%		
Vidros		Valor U	Transmissão de luz SHGC		Valor U	Transmissão de luz SHGC		Valor U	Transmissão de luz SHGC		Valor U	Transmissão de luz SHGC		Valor U	Transmissão de luz SHGC	
	1	1,630	0,810	0,700	1,630	0,810	0,700	1,630	0,810	0,700	1,630	0,810	0,700	1,630	0,810	0,700
	8	2,597	0,880	0,780	2,597	0,880	0,780	2,597	0,880	0,780	2,597	0,880	0,780	2,597	0,880	0,780
	9	1,193	0,780	0,670	1,193	0,780	0,670	1,193	0,780	0,670	1,193	0,780	0,670	1,193	0,780	0,670
	10	0,633	0,730	0,630	0,633	0,730	0,630	0,633	0,730	0,630	0,633	0,730	0,630	0,633	0,730	0,630
Estores	1	LIGADO_500W/m2														
	11	LIGADO_250W/m2														
	12	LIGADO_125W/m2														
	13	DESLIGADO														
Pala de sombreamento	1	SEMPALAS DESOMBREAMENTO														
	14	HORIZONTAL 30°														
	15	VERTICAL 30°														
	16	VERTICAL + HORIZONTAL 30°														

Relativamente ao isolamento térmico, as espessuras consideradas estão apresentadas no ANEXO I. Nos cenários 5, 6 e 7 definem-se as percentagens de redução ou optimização do coeficiente de transmissão térmica.

4.5.1 Clima Csb

A análise paramétrica será iniciada com o clima Csb, uma vez que esta região climática corresponde às regiões Norte e Centro de Portugal. De acordo com a classificação climática

de Koppen-Geiger (Kottek *et al.*, 2006), a cidade de Coimbra está localizada na região climática Csb.

Foi feita a análise de todos os cenários estudados, nas semanas típicas de Verão e de Inverno, obtendo o balanço de ganhos e perdas de temperatura quando comparados com o cenário de referência. Esta análise poderá ser visualizada na Figura 4.6.

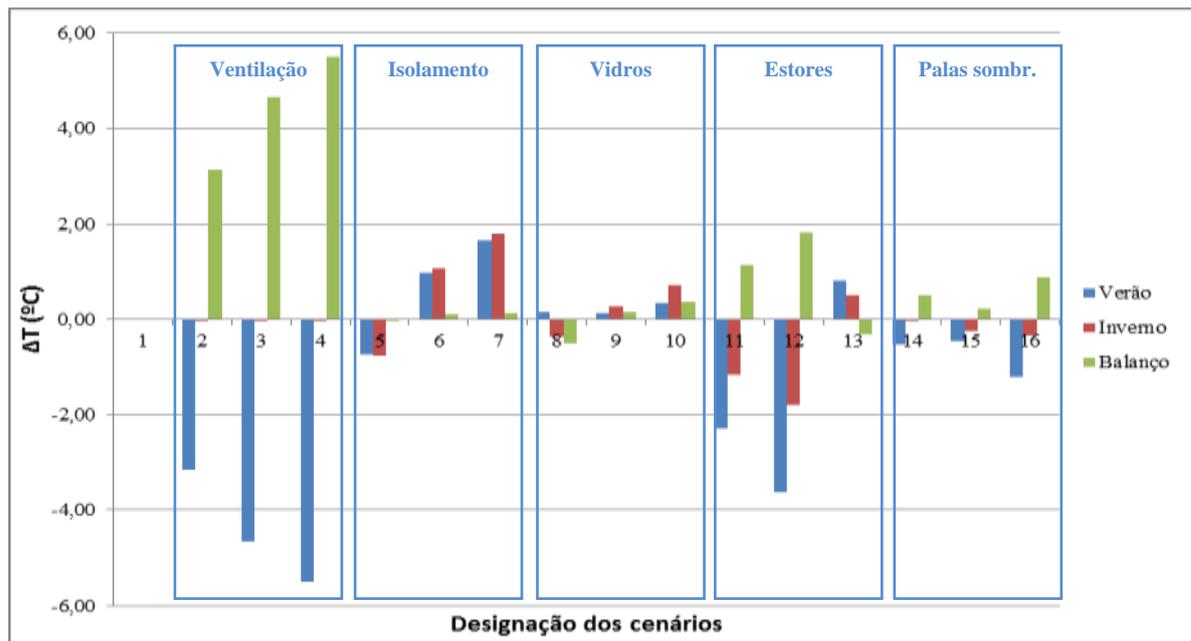


Figura 4.6 – Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Csb).

Da análise da Figura 4.6, escolheram-se as melhores soluções por variável (ventilação, isolamento térmico, vidros, estores e palas de sombreamento) e definiram-se os melhores e pior cenário, tanto para a semana de Verão como para a semana de Inverno.

A melhor solução para cada tipo de variável é aquela que apresenta o maior balanço de temperatura. Já a pior solução é aquela que apresenta o menor balanço.

Da análise da Figura 4.7, é possível concluir que o melhor cenário é o “Melhor 4”, cenário que é composto pelos valores apresentados na Tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Csb).

Clima	Variável	Melhor 4		
		Verão		Inverno
Csb Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
	Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)		

Na Figura 4.7 são apresentadas a temperatura exterior, a temperatura interior no cenário de referência, a temperatura de cada um dos melhores cenários considerados e também do pior cenário.

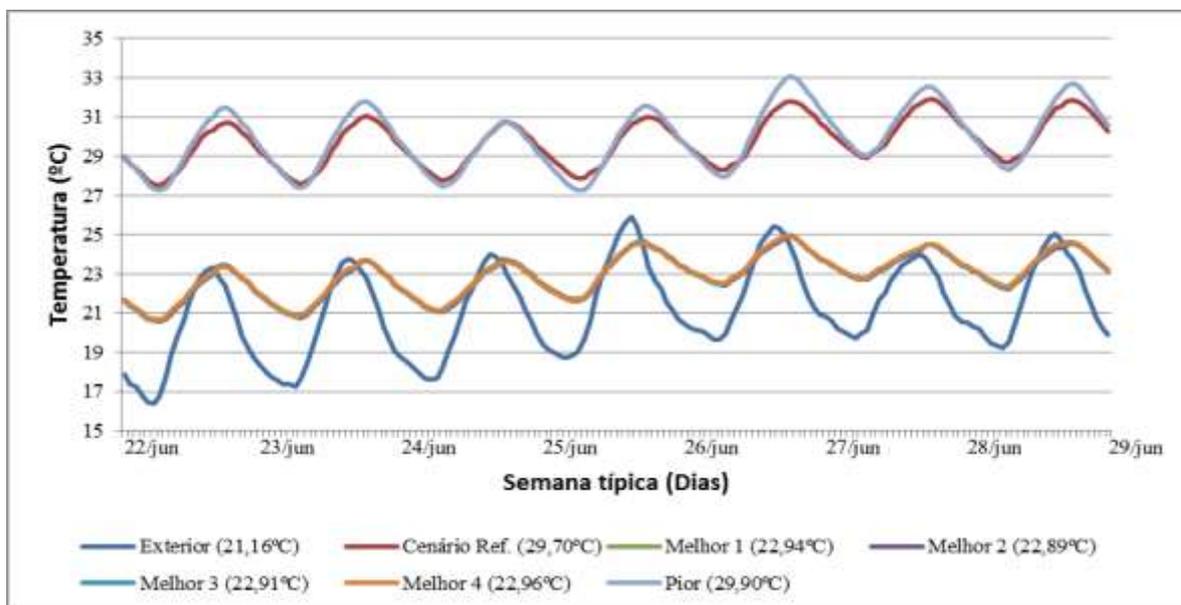


Figura 4.7 – Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Csb).

Para o cenário “Melhor 4” obteve-se uma temperatura do ar interior de 22,96 °C, aproximando-se dos 25,00°C definidos pela Directiva Europeia 2010/31/UE, como temperatura de conforto no Verão.

Na semana típica de Inverno, o melhor cenário é também o “Melhor 4”, conforme se verifica na Figura 4.8, apresentando uma temperatura do ar interior de 18,98 °C. Esta temperatura está um pouco abaixo dos 20,00 °C desejados, mas ainda assim, é de todos os cenários analisados, o mais favorável.

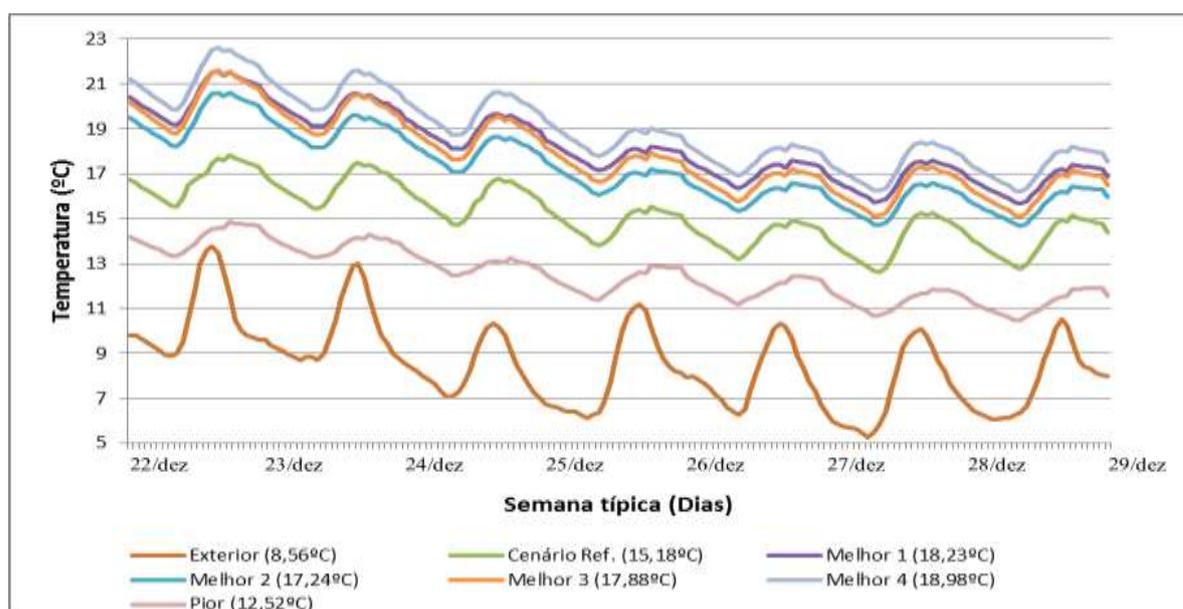


Figura 4.8 – Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Csb).

Verifica-se que no clima Csb o melhor cenário em ambas as estações coincide, situação que é muito interessante na hora de definir a construção da habitação.

4.5.2 Clima Csa

Neste subcapítulo analisa-se o clima Csa que se caracteriza por ser um clima temperado húmido com Verão seco.

Ao analisar os 15 cenários e o cenário de referência, o resultado dos ganhos e perdas de temperatura é o que se apresenta na Figura 4.9.

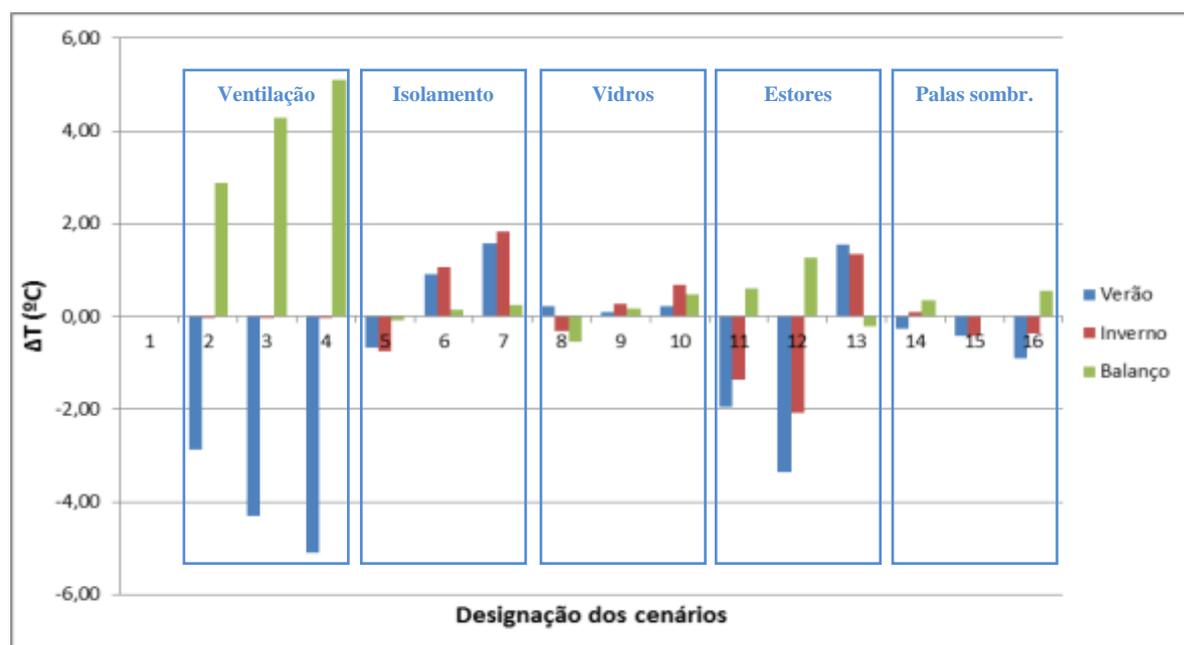


Figura 4.9 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Csa).

Da análise da Figura 4.9, escolheram-se novamente as melhores soluções por variável e definiram-se os melhores e o pior cenário, para ambas as semanas típicas.

Dos vários cenários estudados, aquele que apresenta uma temperatura do ar interior na semana típica de Verão, mais próxima dos 25,00 °C é o cenário “Melhor 4”, com uma temperatura do ar interior de 25,66 °C, no entanto, todos os outros cenários “Melhor” apresentam resultados muito similares (Figura 4.10).

Este cenário é composto pelos valores apresentados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Csa).

Clima	Variável	Melhor 4		
		Verão		Inverno
Csa Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)			

Na Figura 4.10 são apresentadas a temperatura do ar exterior, a temperatura do ar interior no cenário de referência, a temperatura de cada um dos melhores cenários considerados e também do pior cenário.

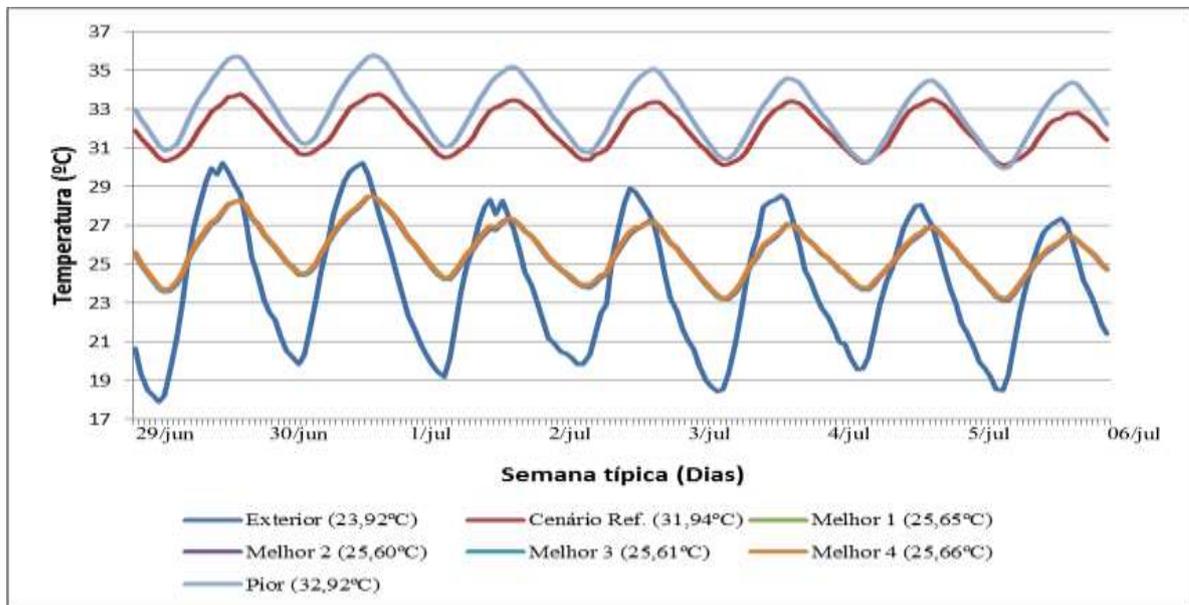


Figura 4.10 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Csa).

Na semana típica de Inverno, o melhor cenário continua a revelar-se o “Melhor 4”, conforme se verifica na Figura 4.11.

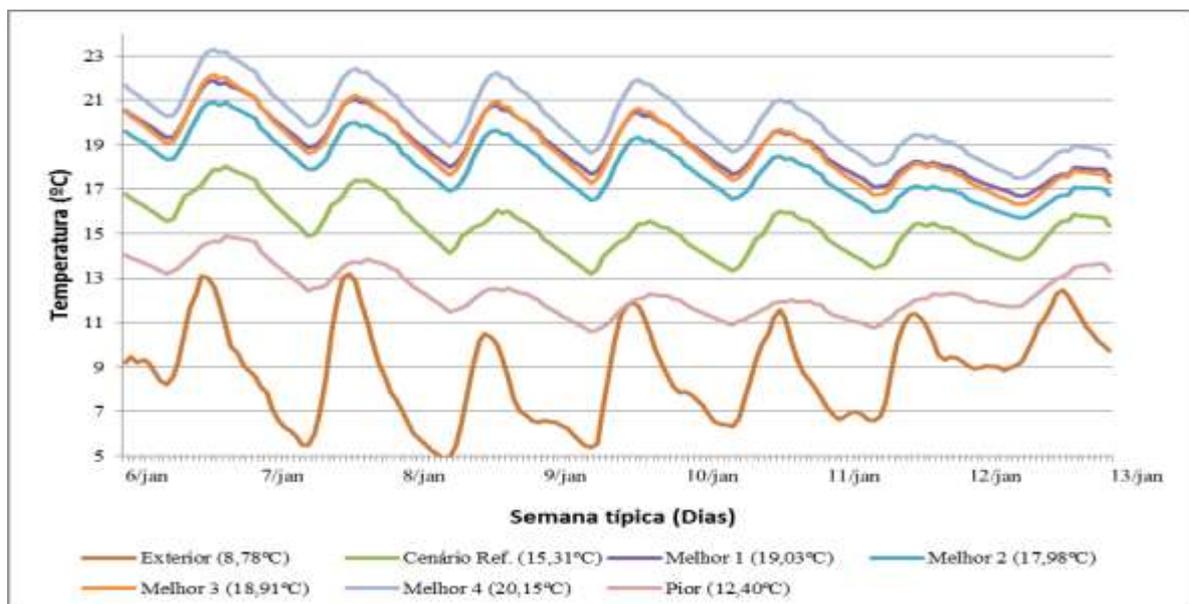


Figura 4.11 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Csa).

Com este cenário obteve-se uma temperatura do ar interior de 20,15 °C, quase idêntica aos valores que se considera como temperatura de referência de Inverno de acordo com a Directiva Europeia 2010/31/UE.

Os valores que constituem o “Melhor 4” podem ser analisados na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Csa).

Clima	Variável	Melhor 4			
		Verão		Inverno	
Csa Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	60% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	0,633 (10)		SHGC 0,63 (10)
		Transmissão da Luz	0,73 (10)		
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)				

No clima Csa, por análise da Tabela 4.3 e Tabela 4.4 verificou-se que a construção de uma habitação para as estações de Verão e Inverno deverá optar pelos mesmos esquemas construtivos, que consistem essencialmente em permitir boa ventilação no Verão e fraca no Inverno, bons níveis de isolamento e não ter sombreamentos fixos, uma vez que no Inverno os ganhos solares são extremamente importantes para o aumento da temperatura interior.

4.5.3 Clima Cfb

O clima Cfb é um clima temperado húmido com Verão também temperado.

Ao analisar os diversos cenários, o resultado dos ganhos e perdas de temperatura quando comparado cada cenário com o de referência, é o que se apresenta na Figura 4.12.

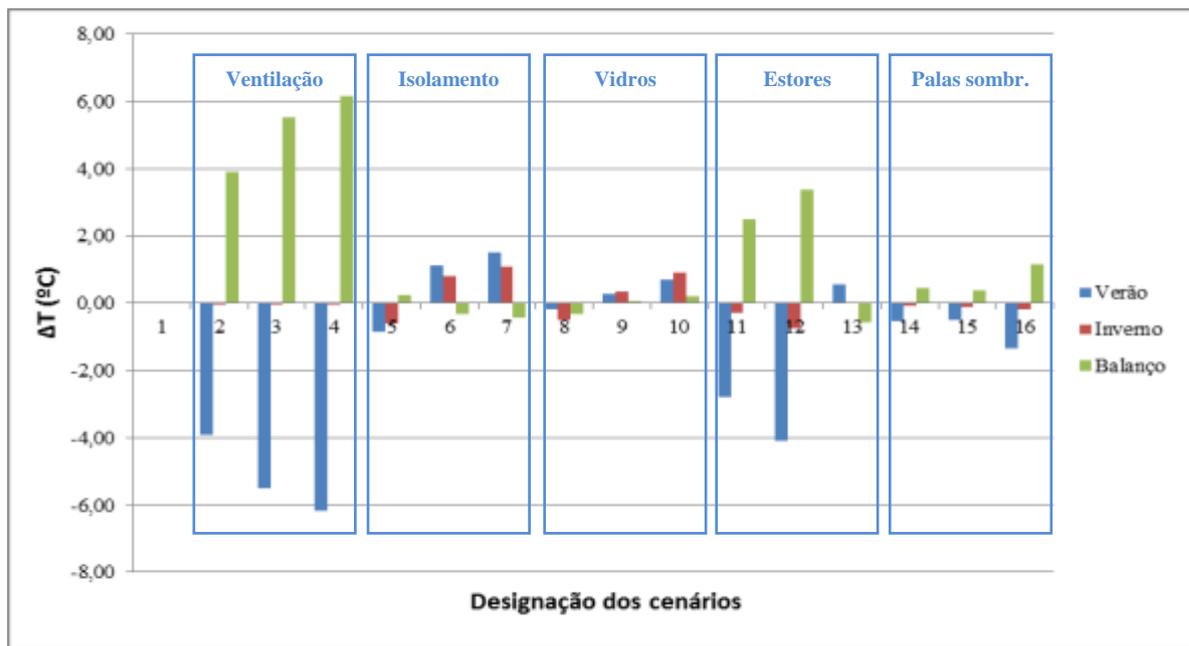


Figura 4.12 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Cfb).

Da análise da Figura 4.12, escolheram-se diversas soluções que permitiam obter maiores balanços entre os diversos cenários e o cenário de referência. Também para o pior cenário, escolheram-se os valores que apresentavam pior balanço.

Dos vários cenários estudados, aquele que apresenta uma temperatura na semana típica de Verão, mais próxima dos 25,00 °C é o cenário “Melhor 3”, com uma temperatura média de 20,93 °C, no entanto, todos os outros cenários “Melhor” apresentam resultados muito similares. Este cenário é composto pelos valores apresentados na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Valores que constituem o cenário “Melhor 3” Verão e Inverno (Clima Cfb).

Clima	Variável	Melhor 3			
		Verão		Inverno	
Cfb Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	0,633 (10)	Transmissão da Luz	0,73 (10)
		Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_250W/m2 (11)		DESLIGADO (13)
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			

Na Figura 4.13 são apresentadas a temperatura do ar no exterior, a temperatura do ar interior no cenário de referência, a temperatura do ar interior de cada um dos melhores cenários considerados e também do pior cenário.

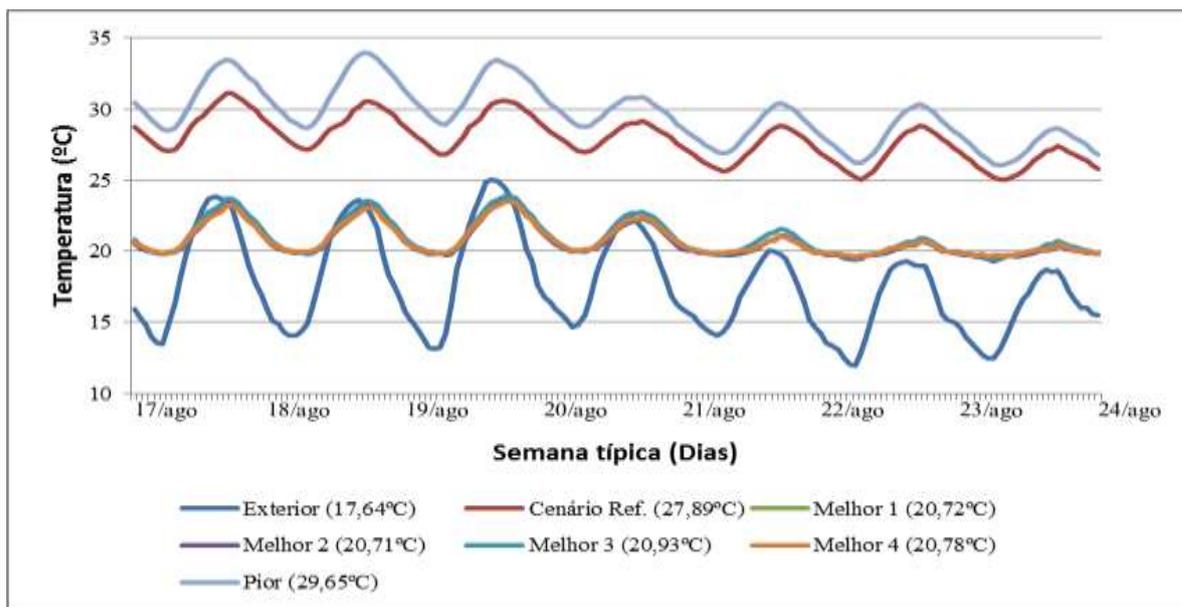


Figura 4.13 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Cfb).

Na semana típica de Inverno, o cenário que apresenta a maior temperatura do ar interior é o “Melhor 4” (Figura 4.14), no entanto, apresenta uma temperatura média de 10,00 °C, muito longe dos valores pretendidos. Quando comparado este valor com a temperatura do ar exterior, pode considerar-se um bom resultado, uma vez que a temperatura do ar exterior na semana típica de Inverno é de 1,78 °C.

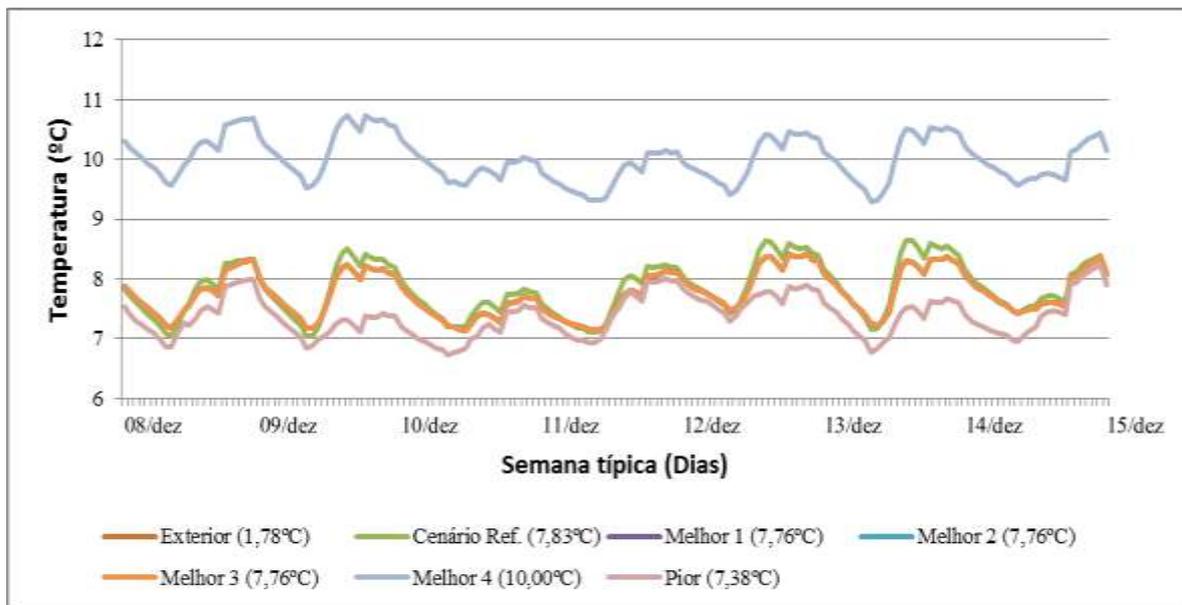


Figura 4.14 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Cfb).

O cenário “Melhor 4” é composto pelo conjunto de valores apresentados na Tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Cfb).

Clima	Variável	Melhor 4			
		Verão		Inverno	
Cfb Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	50% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m ² .K]	Transmissão da Luz	SHGC	
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)	
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m ² (12)		DESLIGADO (13)	
	Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)			

Nesta região climática verifica-se que a melhor solução para o Verão não se aplica no Inverno e vice-versa, situação que é inteiramente justificável pela temperatura do ar exterior que se verifica no Verão, aproximadamente 4,00 °C abaixo do que se verificava no Clima Csb.

Assim, como as temperaturas exteriores no Verão são mais baixas, é melhor ter um isolamento térmico com menos espessura para permitir absorver as temperaturas exteriores.

No entanto, e uma vez que não é possível criar uma habitação com um isolamento para o Verão e outro para o Inverno, optar-se-ia no caso de ter de projectar um edifício para esta região climática, por definir as características do cenário “Melhor 4”, uma vez que no Inverno este cenário representa uma melhoria de aproximadamente 2,30 °C quando comparado com os restantes. Já no Verão, optando por esta alteração, obteríamos uma perda de 0,14 °C.

4.5.4 Clima Dfb

O clima Dfb é um clima temperado frio sem estação seca e com Verão temperado.

Ao analisar os diversos cenários, o resultado dos ganhos e perdas de temperatura é o que se apresenta na Figura 4.15.

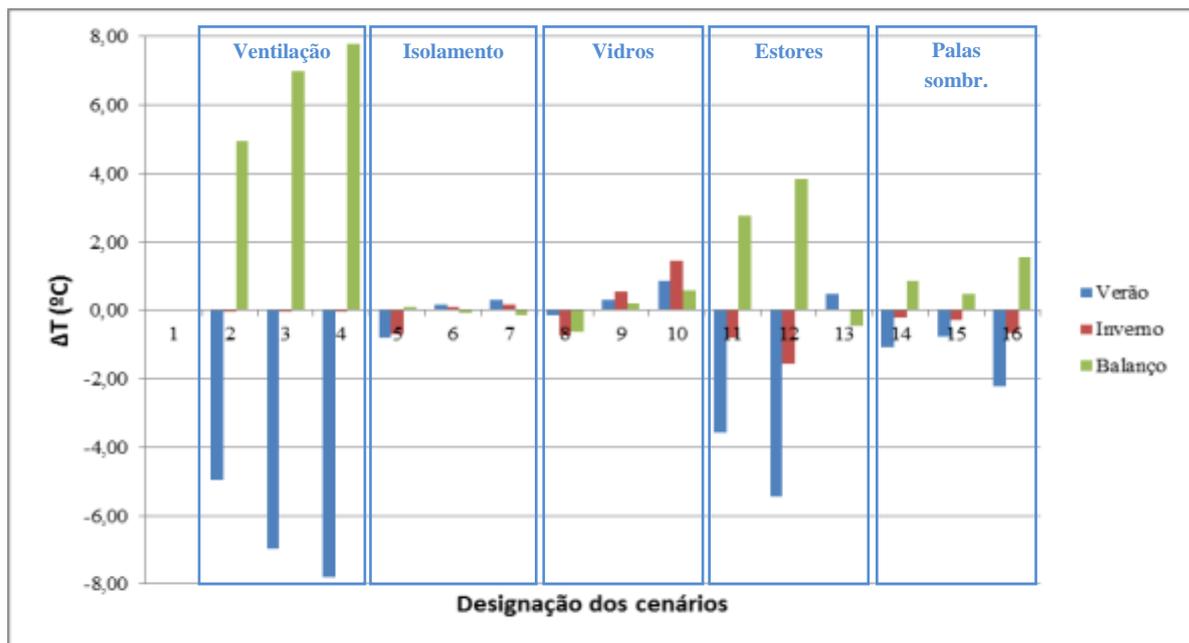


Figura 4.15 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Dfb).

Da análise da Figura 4.15, escolheram-se novamente as melhores soluções por variável (ventilação, isolamento térmico, vidros, estores e palas de sombreamento) e definiram-se os melhores e pior cenário, tanto para a semana típica de Verão como para a semana típica de Inverno.

Dos vários cenários estudados, aquele que apresenta uma temperatura na semana típica de Verão, mais próxima dos 25,00 °C é o cenário “Melhor 3”, conforme se verifica ao analisar a Figura 4.16 com uma temperatura média de 20,75 °C, no entanto, todos os outros cenários “Melhor” apresentam resultados muito similares.

Este cenário é composto pelos valores apresentados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Valores que constituem o cenário “Melhor 3” Verão e Inverno (Clima Dfb).

Clima	Variável	Melhor 3		
		Verão		Inverno
Dfb Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	-40% (5)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_250W/m2 (11)		DESLIGADO (13)
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)		

Na Figura 4.16 são apresentadas a temperatura do ar no exterior, a temperatura do ar interior no cenário de referência, a temperatura do ar interior de cada um dos melhores cenários considerados e também do pior cenário.

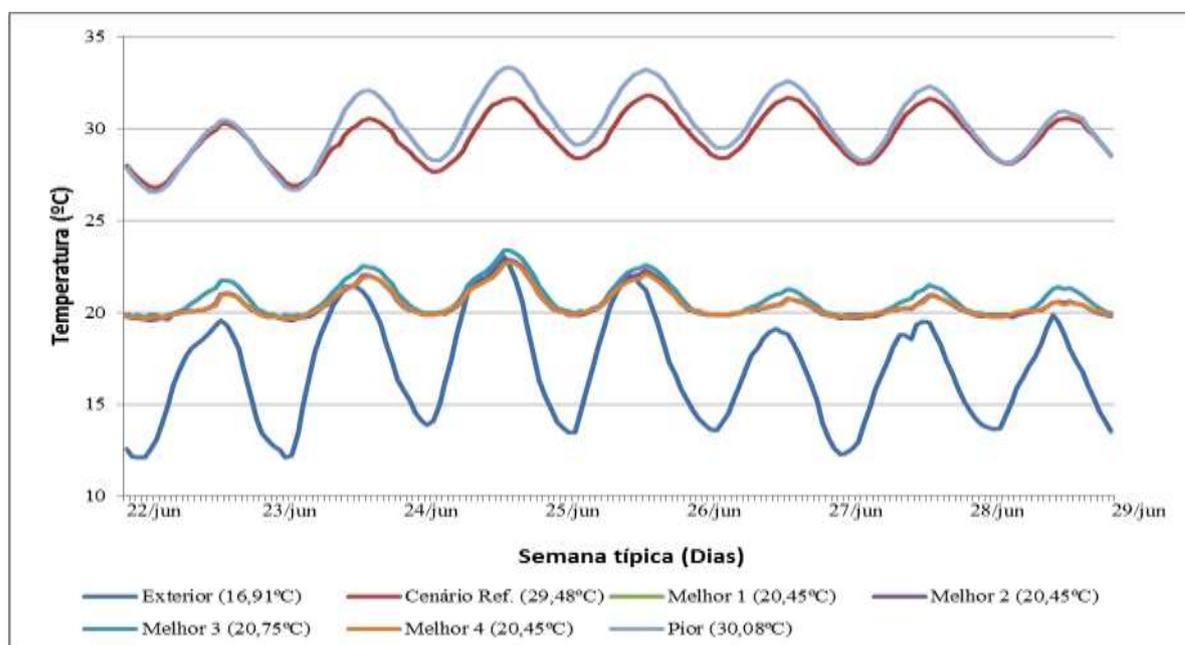


Figura 4.16 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Dfb).

Na semana típica de Inverno, o cenário que apresenta uma temperatura do ar interior mais elevada é o “Melhor 4” (Figura 4.17). No entanto, este cenário apresenta uma temperatura de 7,09 °C, muito longe dos valores pretendidos.

Contudo, apesar de estar muito aquém dos valores de referência dados pela Directiva Europeia 2010/31/UE, quando comparando este valor com a temperatura do ar exterior, pode considerar-se, um bom resultado, já que a temperatura do ar exterior na semana típica de Inverno é de -4,02 °C.

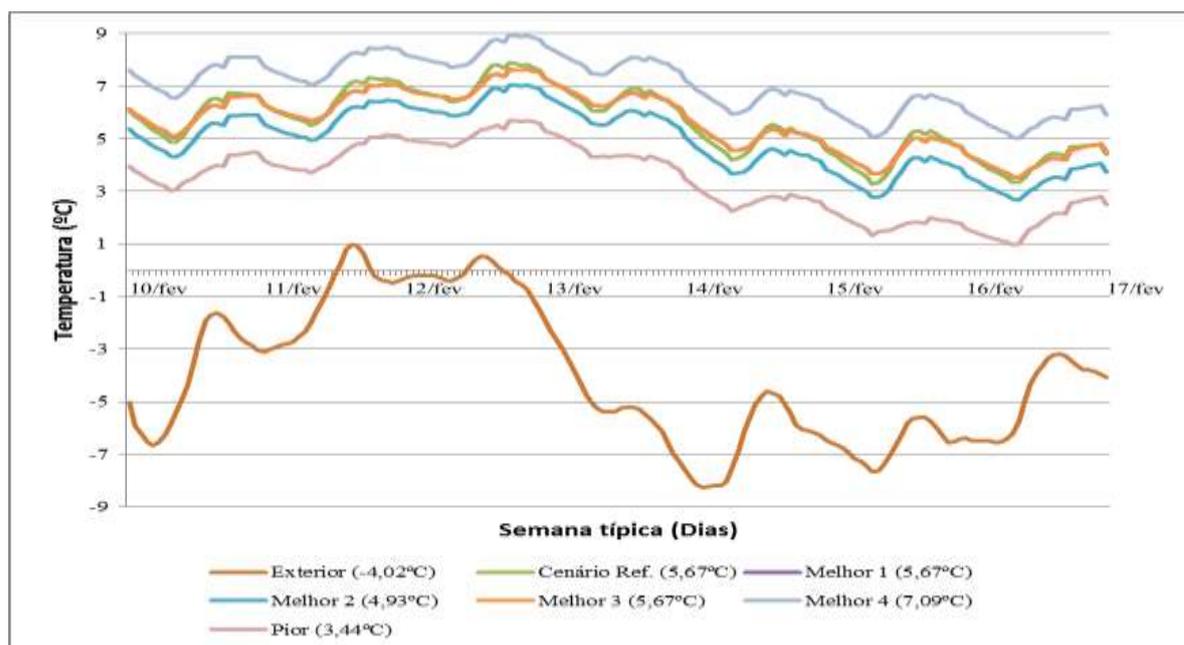


Figura 4.17 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Dfb).

O melhor cenário na semana típica de Inverno é composto pelo conjunto de valores apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Valores que constituem o cenário “Melhor 4” Verão e Inverno (Clima Dfb).

Clima	Variável	Melhor 4			
		Verão		Inverno	
Dfb Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	8% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m ² .K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m ² (12)		DESLIGADO (13)	
	Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)			

Mais uma vez se verifica que nesta região climática não é possível obter uma solução óptima para Verão e Inverno, uma vez que a melhor solução no Verão não é a melhor no Inverno e vice-versa.

No entanto, e porque no Verão os cenários “Melhor” apresentam todos eles, resultados bastante próximos, optar-se-ia como cenário modelo para uma construção nesta região climática, o cenário “Melhor 4”. Nesta situação, a temperatura interior na semana típica de Verão iria reduzir-se em 0,30 °C.

4.5.5 Clima Dfc

O clima Dfc é um clima temperado frio sem estação seca e com Verão curto e fresco.

Ao analisar a totalidade dos cenários, o resultado dos ganhos e perdas de temperatura é o que se apresenta na Figura 4.18.

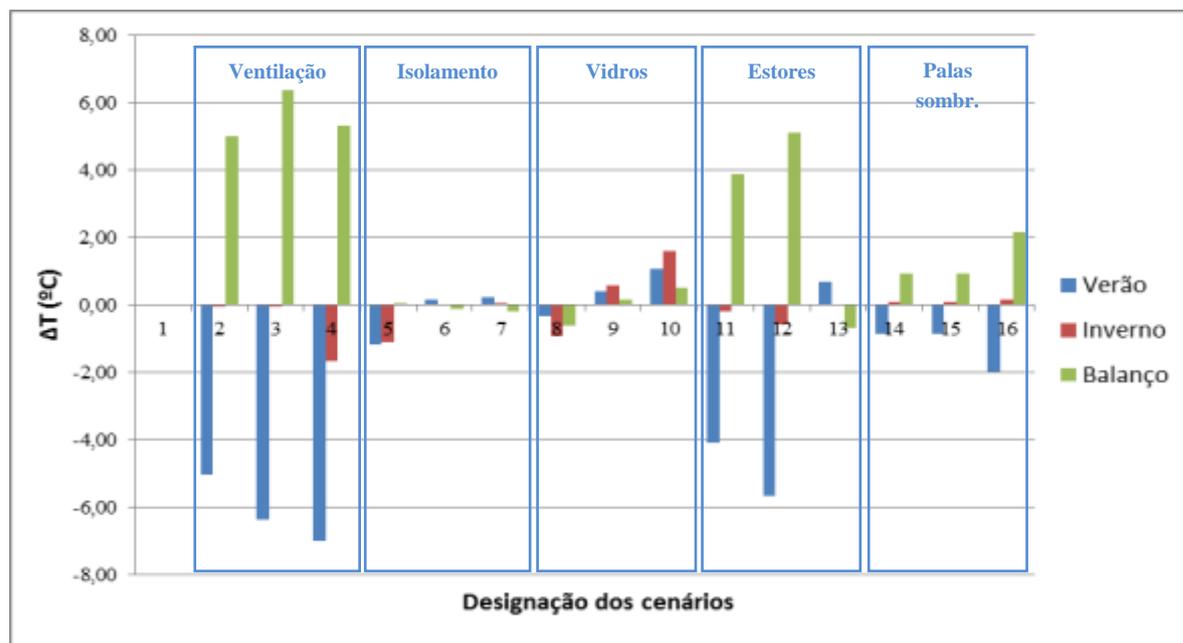


Figura 4.18 - Balanço de temperatura para os diversos cenários (Clima Dfc).

Da análise da Figura 4.18, escolheram-se novamente as melhores soluções por variável (ventilação, isolamento térmico, vidros, estores e palas de sombreamento) e definiram-se os melhores e pior cenário, tanto para a semana típica de Verão como para a semana típica de Inverno.

Dos vários cenários estudados, aquele que apresenta uma temperatura na semana típica de Verão, mais próxima dos 25,00 °C é o cenário “Melhor 2”, com uma temperatura média de 19,83 °C, no entanto, todos os outros cenários “Melhor” apresentam resultados muito similares. Os valores do cenário “Melhor 2” podem ser analisados na Tabela 4.9.

Tabela 4.9 - Valores que constituem o cenário “Melhor 2” Verão e Inverno (Clima Dfc).

Clima	Variável	Melhor 2			
		Verão		Inverno	
Dfc Melhor 2	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	0,633 (10)	Transmissão da Luz	0,73 (10)
					SHGC
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_250W/m2 (11)		LIGADO_250W/m2 (11)	
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			

Na Figura 4.19 são apresentadas a temperatura do ar no exterior, a temperatura do ar interior, considerando o cenário de referência, a temperatura do ar interior de cada um dos melhores cenários considerados e também do pior cenário.

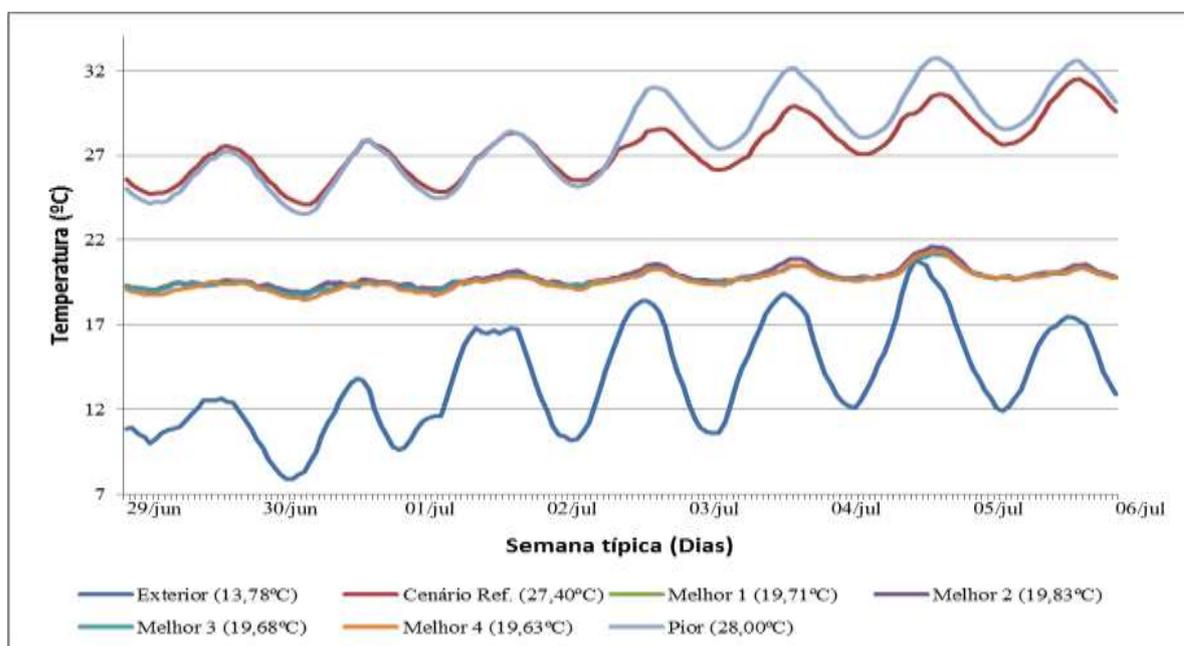


Figura 4.19 - Temperaturas médias na semana típica de Verão (Clima Dfc).

Na semana típica de Inverno, o cenário que apresenta a maior temperatura interior é o “Melhor 1”, no entanto, apresenta uma temperatura de 0,29 °C, muito longe dos valores pretendidos (Figura 4.20).

No entanto, quando comparado este valor com a temperatura média exterior, pode considerar-se um bom resultado, já que a temperatura do ar no exterior na semana típica de Inverno é de -9,22 °C.

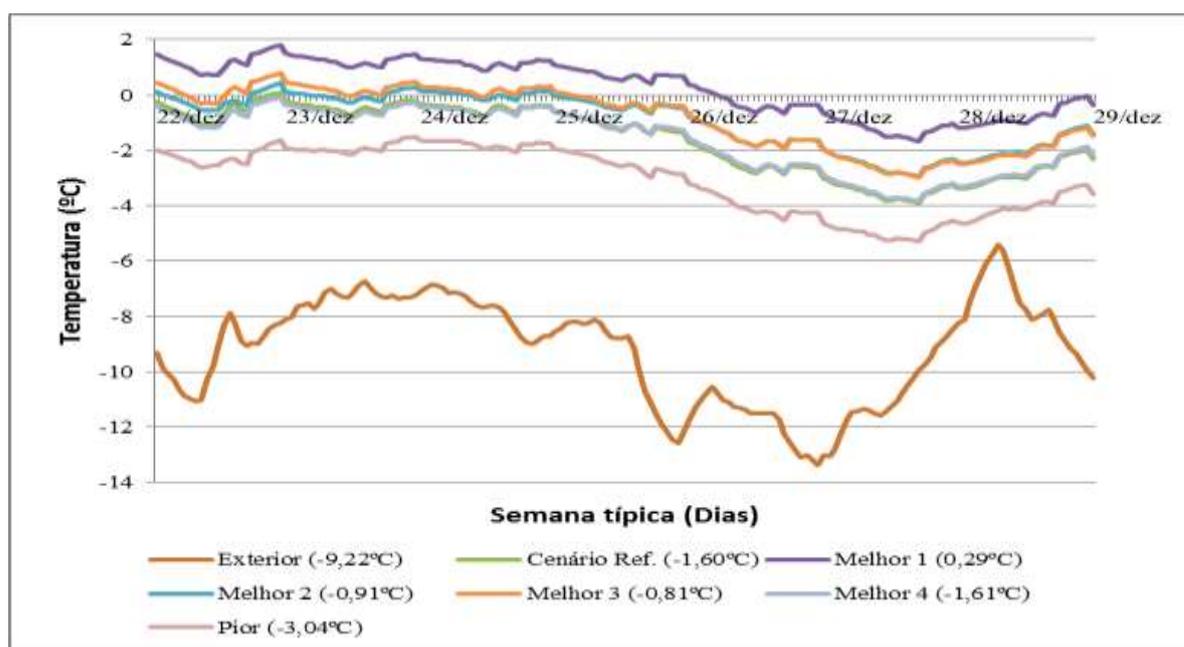


Figura 4.20 - Temperaturas médias na semana típica de Inverno (Clima Dfc).

Este cenário, “Melhor 1” é composto pelo conjunto de valores apresentados na Tabela 4.10.

Tabela 4.10 - Valores que constituem o cenário “Melhor 1” Verão e Inverno (Clima Dfc).

Clima	Variável	Melhor 1			
		Verão		Inverno	
Dfc Melhor 1	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	8% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	0,633 (10)		0,63 (10)
		Transmissão da Luz	0,73 (10)		
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			

Mais uma vez se verifica, que nesta região climática não é possível obter uma solução óptima para Verão e Inverno, uma vez que a melhor solução no Verão não é a melhor no Inverno e vice-versa.

4.6 Estudo da compactidade do edifício

Na generalidade, pode assumir-se que a qualidade das construções e os respectivos pormenores construtivos são em grande parte da responsabilidade dos gabinetes de arquitectura. No entanto, pode também assumir-se, que é da responsabilidade dos arquitectos

grande parte das perdas térmicas dos edifícios, uma vez que a forma das construções pode ter um impacto muito significativo nos consumos de energia para o aquecimento e arrefecimento.

Este tema tem sido estudado por alguns autores entre eles, Ourghi *et al*, (2007) que tem desenvolvido ferramentas de análise simplificadas que estimam o efeito da forma do edifício nos consumos anuais de energia.

Também Alanzi *et al*, (2009) criou um conjunto de expressões que permitem obter a avaliação energética relativa à forma dos edifícios e aos coeficientes de ganhos solares.

O rácio entre a área exposta ao exterior e o volume interior do edifício é definido como sendo o factor de forma da construção e é uma medida de compactidade da mesma. Construções com um elevado factor de forma são menos compactas, ou seja, têm uma grande área exposta ao exterior para determinado volume interior. Este tipo de construções permite maiores perdas de calor.

No caso específico desta tese, foi construído um modelo com o mesmo volume interior e a mesma área de envidraçados do modelo base, mas com uma área exposta muito menor.

Apresenta-se na Figura 4.21 uma representação do mesmo.

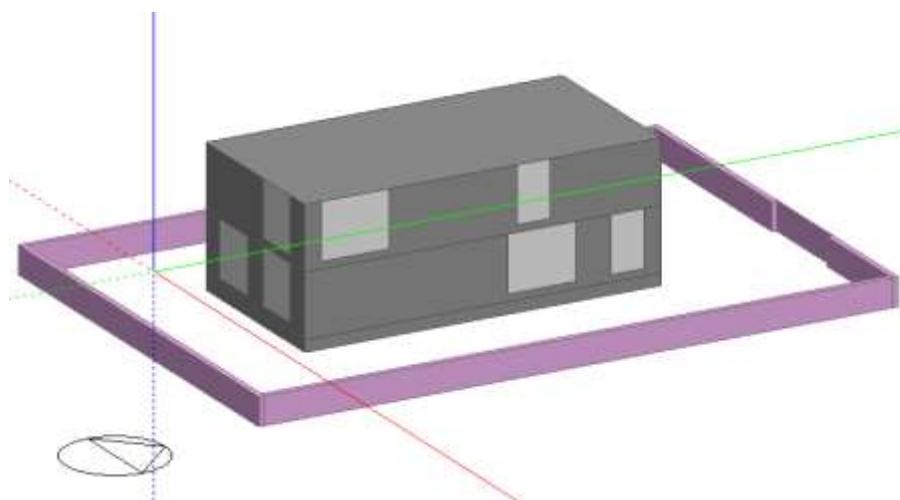


Figura 4.21 – Modelo compacto.

Este estudo foi aplicado somente às regiões climáticas Dfb e Dfc uma vez que são as regiões que apresentaram temperaturas do ar exterior mais baixas no Inverno e onde a relevância do factor de forma é superior. Foi considerado também nesta análise, os melhores cenários anteriormente considerados.

4.6.1 Clima Dfb

Na Figura 4.22 é possível analisar a variação de temperatura no interior da habitação quando aplicado o cenário “Melhor 3” ao modelo compacto na semana típica de Verão.

Ao analisar esta variação, e quando comparada com o modelo de habitação inicial, pode retirar-se a informação descrita no parágrafo seguinte.

No modelo inicial obteve-se uma temperatura do ar no interior da habitação de 20,75 °C (Figura 4.16), com o modelo compacto obteve-se o valor de 21,21 °C. É possível otimizar o conforto térmico da habitação em 0,46 °C.

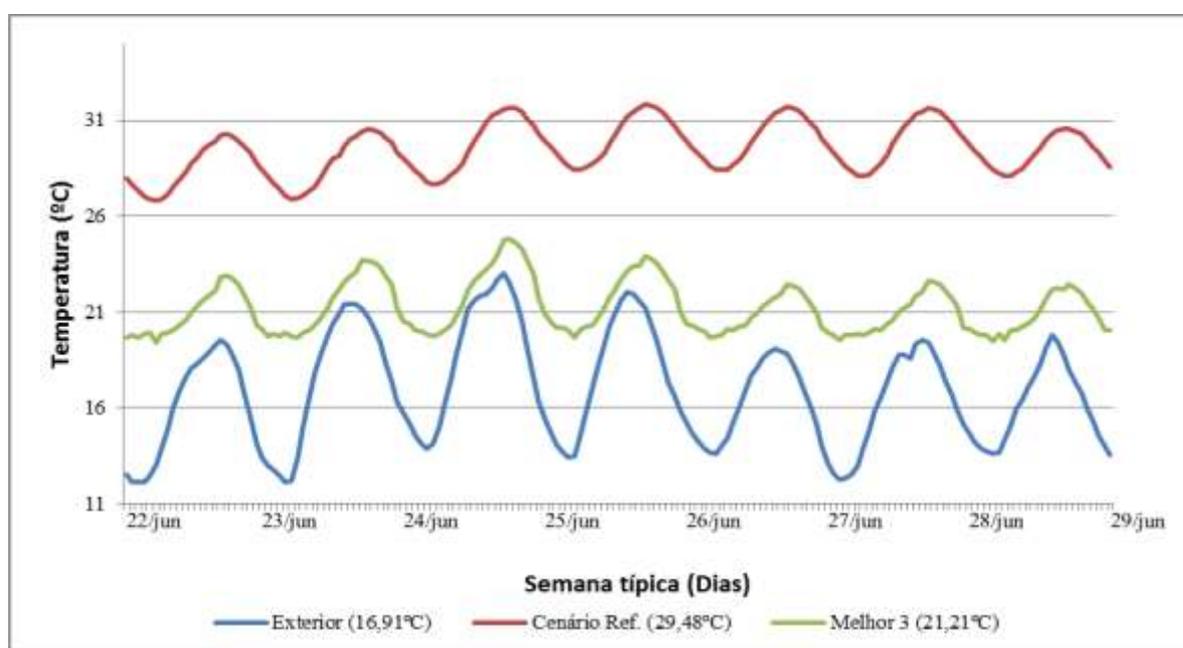


Figura 4.22 – Análise do cenário “Melhor 3” no modelo mais compacto (Clima Dfb).

Relativamente à estação de Inverno efectuou-se o mesmo estudo e os resultados são apresentados na Figura 4.23.

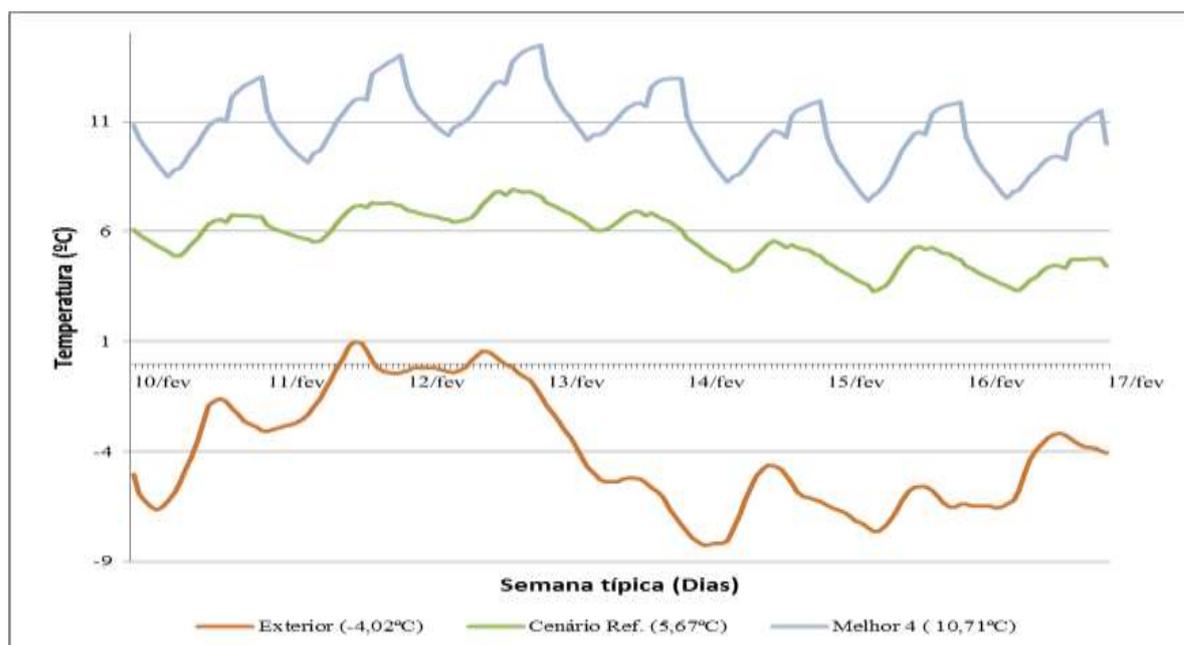


Figura 4.23 - Análise do cenário “Melhor 4” no modelo mais compacto (Clima Dfb).

Como se pode constatar ao analisar a Figura 4.23, na semana típica de Inverno, os resultados são bastante melhores, pois no modelo de habitação inicial obteve-se uma temperatura interior de 7,09 °C (Figura 4.17), neste modelo obteve-se uma temperatura de 10,71 °C.

Constatou-se com este estudo, aquilo que já seria de prever, ou seja, o impacto na semana típica de Inverno é bastante superior ao da semana típica de Verão. Além disso, verificou-se que com a aplicação de um modelo compacto é possível melhorar a temperatura do ar interior em 3,61°C.

4.6.2 Clima Dfc

Na Figura 4.24 é possível analisar a variação de temperatura na habitação, durante a semana típica de Verão, quando aplicado o cenário “Melhor 2” ao modelo compacto da habitação.

No modelo analisado no subcapítulo 4.5 obteve-se uma temperatura do ar no interior da habitação de 19,83 °C (Figura 4.19), com o modelo agora analisado obteve-se o valor de 20,16 °C, ou seja, obteve-se uma melhoria no conforto térmico da habitação de 0,33 °C.

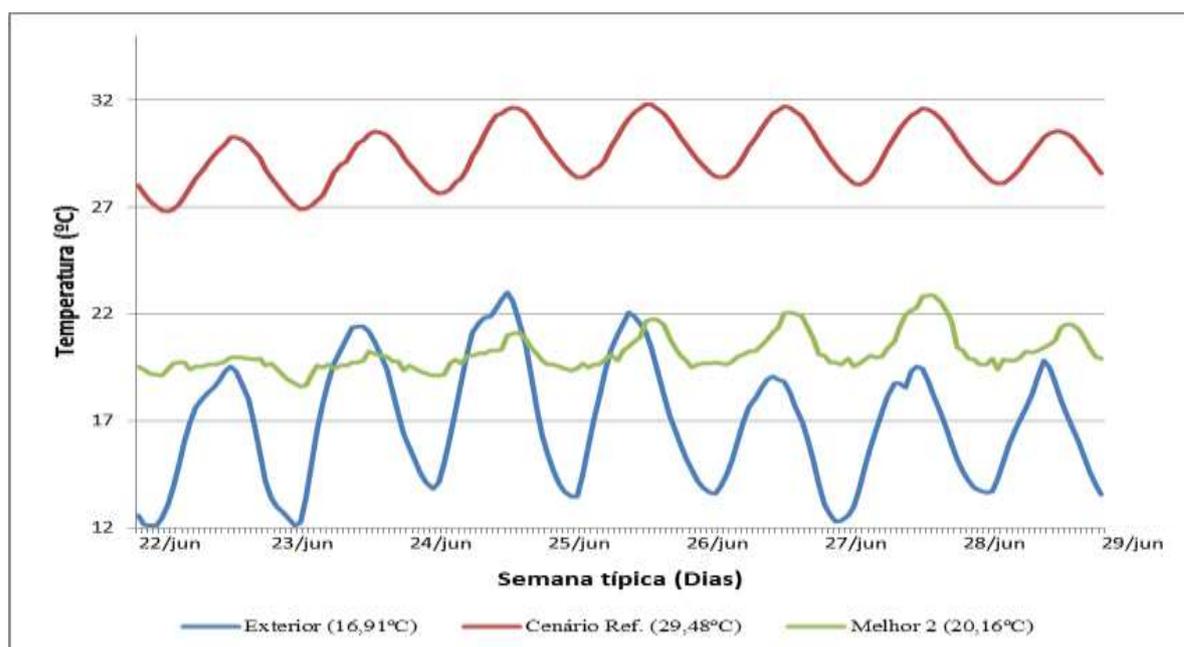


Figura 4.24 - Análise do cenário “Melhor 2” no modelo mais compacto (Clima Dfc).

Relativamente à semana típica de Inverno foi feito o mesmo estudo e os resultados são apresentados na Figura 4.25.

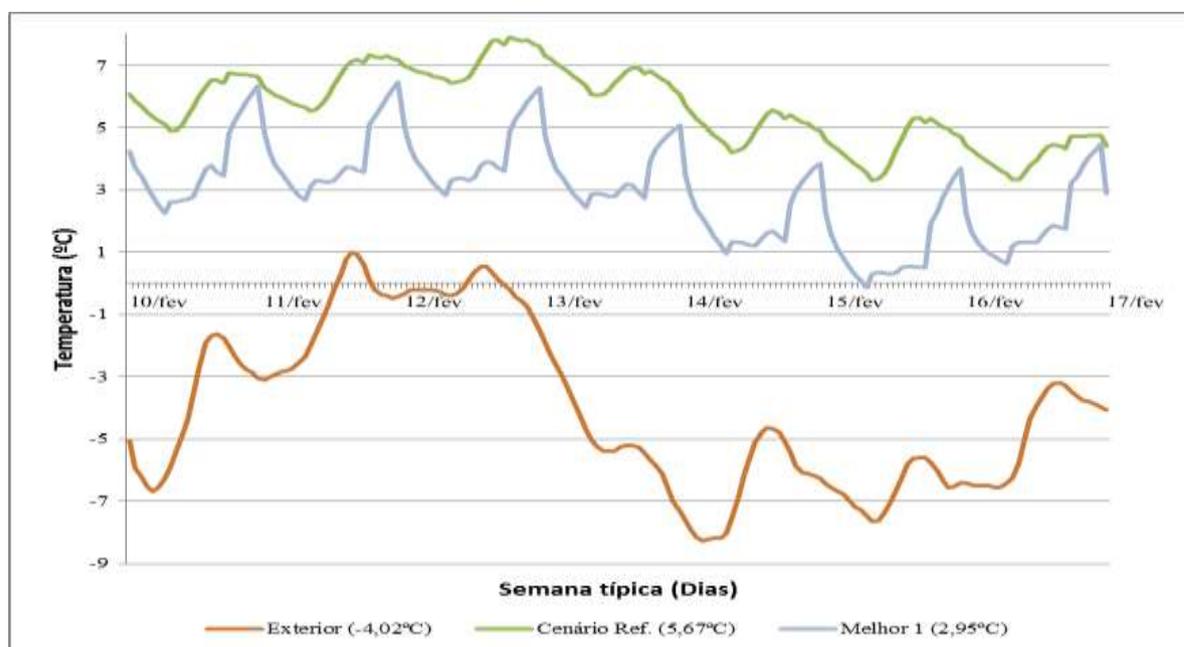


Figura 4.25 - Análise do cenário “Melhor 1” no modelo mais compacto (Clima Dfc).

Como se pode constatar, na semana típica de Inverno, os resultados são bastante melhores, uma vez que no modelo inicial a temperatura no interior era de 0,29 °C (Figura 4.20), agora neste modelo foi possível obter uma temperatura de 2,95 °C.

Verificou-se novamente que o impacto na semana típica de Inverno é bastante superior ao da semana típica de Verão, uma vez que com a aplicação de um modelo compacto é possível nesta região climática melhorar a temperatura do ar interior em 2,65 °C.

4.7 Análise paramétrica para valores médios +/- desvio padrão

No subcapítulo 4.5, apresentou-se a análise paramétrica efectuada com base na temperatura média de cada região climática alvo de estudo. No entanto, pretendeu-se neste subcapítulo efectuar a análise paramétrica do modelo habitacional, considerando a temperatura média bem como os seus valores extremos, ou seja, alargando a zona de estudo.

Para caracterizar a temperatura de toda a região climática, considerou-se o valor da temperatura média menos o seu desvio padrão (MT-SD) e também o valor da temperatura média mais o seu desvio padrão (MT+SD).

Para este estudo optou-se por analisar as regiões climáticas Csa, Csb e Cfb.

4.7.1 Clima Csa

Nesta análise paramétrica foi seguido todo o procedimento descrito no subcapítulo 4.5, desde o estudo dos ganhos e perdas de temperatura até à definição dos melhores cenários. No entanto, apresenta-se de seguida apenas os gráficos de desempenho de temperaturas, uma vez que ao fazer o estudo para os cenários MT-SD e MT+SD esta tese tornar-se-ia demasiado extensa, se fossem apresentados todos os dados tal como aconteceu no subcapítulo 4.5.

Na Figura 4.26 e Figura 4.27 pode analisar-se o desempenho das temperaturas na semana típica de Verão, nos cenários MT-SD e MT+SD.

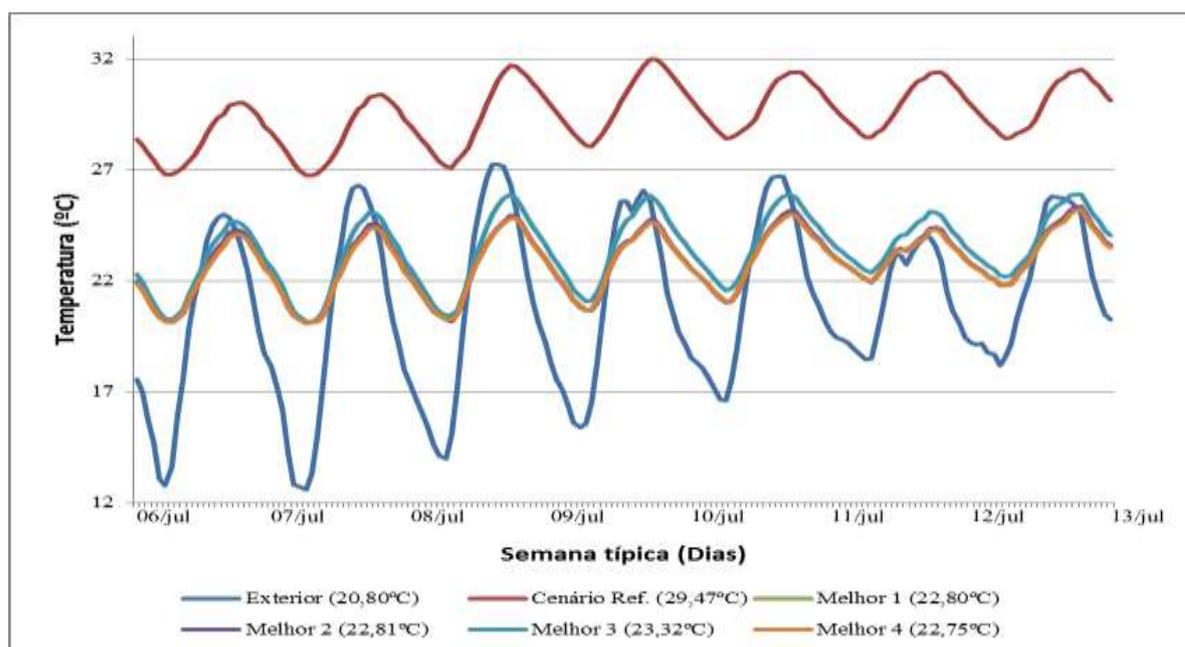


Figura 4.26 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csa MT-SD).

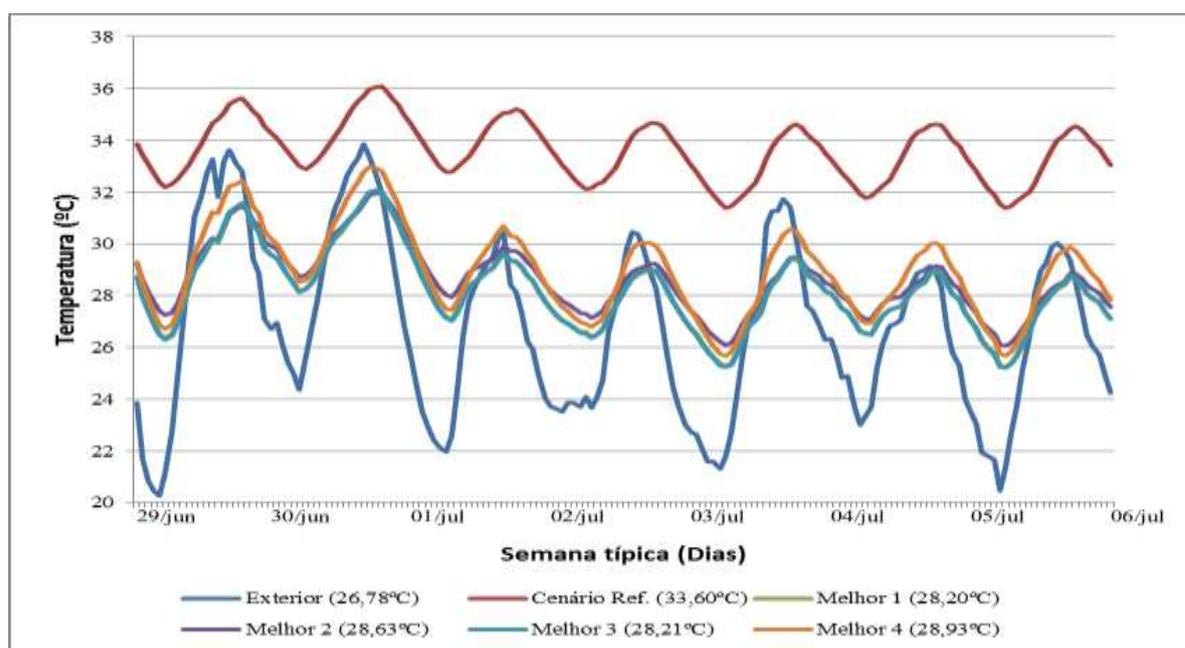


Figura 4.27 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csa MT+SD).

Da análise da Figura 4.26 e Figura 4.27, verifica-se que ao fazer a análise paramétrica para valores extremos, o mesmo modelo habitacional pode ter uma variação na sua temperatura do ar interior de 5,61 °C.

Nesta análise, verifica-se que o melhor desempenho para a região climática agora representada é exactamente o mesmo cenário para a situação analisada no capítulo 4.5 relativa ao clima Csa.

No entanto, e dada a variação de temperatura que existe entre MT-SD e MT+SD, o modelo habitacional deverá ser projectado com base na localização geográfica exacta da sua implantação.

De seguida, no Figura 4.28 e Figura 4.29 apresenta-se a mesma análise para a semana típica de Inverno.

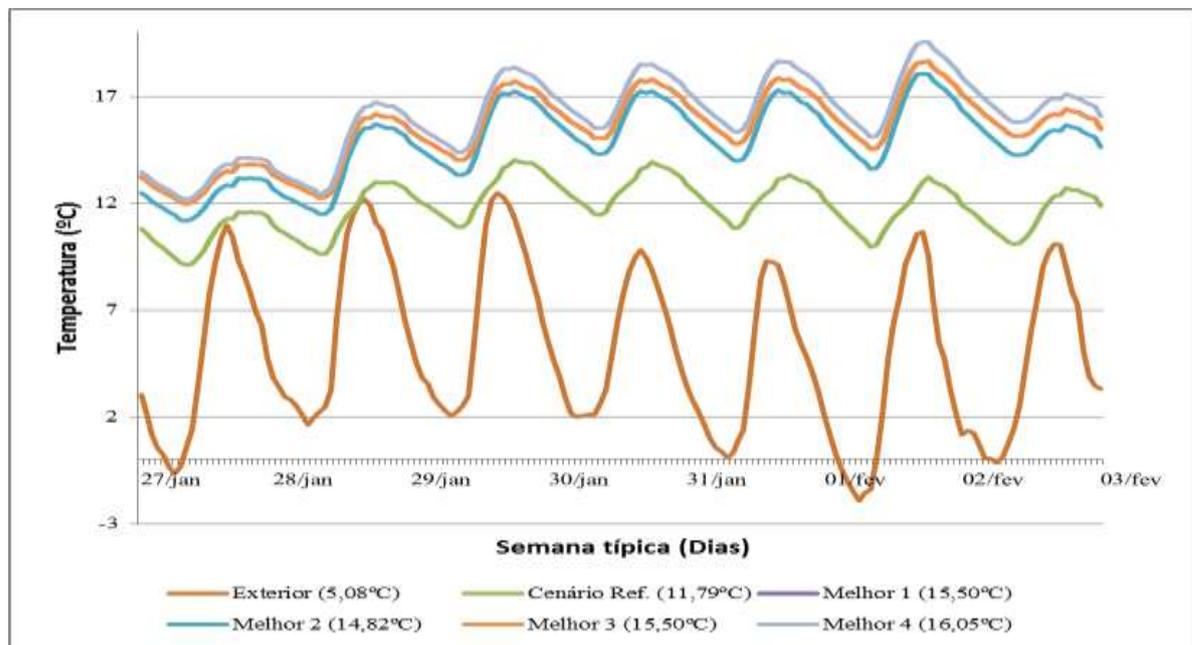


Figura 4.28 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csa MT-SD).

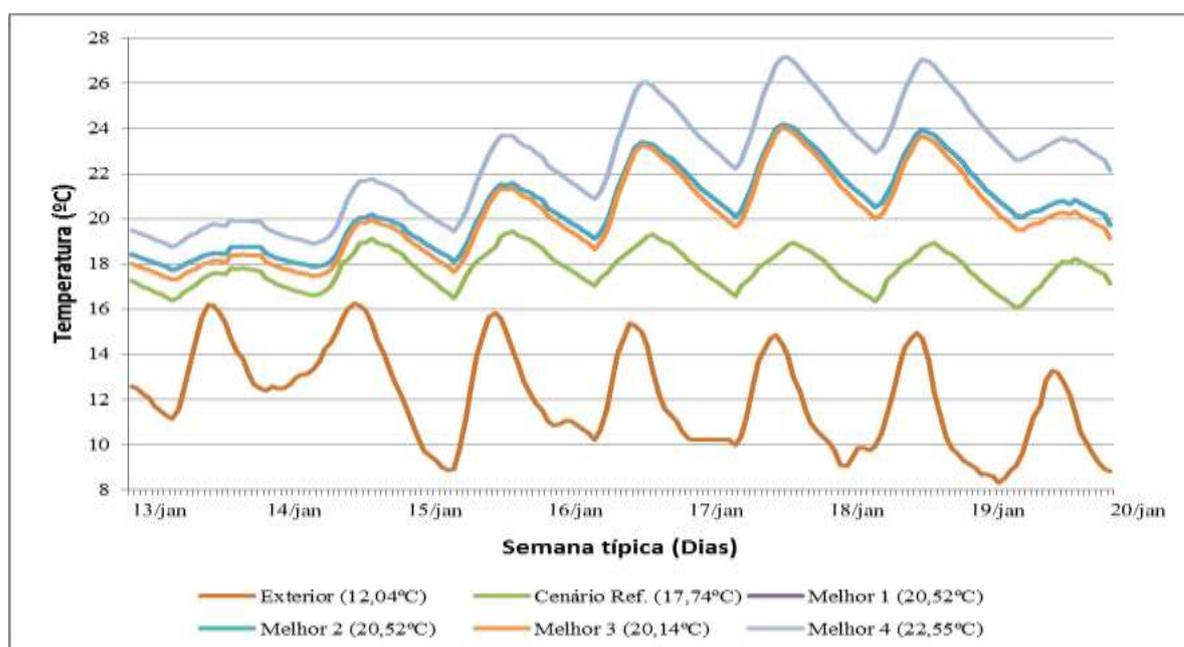


Figura 4.29 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csa MT+SD).

Da análise à Figura 4.28 e Figura 4.29, verifica-se que os melhores cenários são nas 2 situações o “Melhor 4”.

No entanto, e dada a variação de temperatura que existe entre MT-SD e MT+SD, o modelo habitacional deverá ser projectado com base na localização geográfica exacta da sua implantação.

4.7.2 Clima Csb

Nesta análise paramétrica foi novamente seguido todo o procedimento anterior, desde o estudo dos balanços de ganhos e perdas de temperatura até à definição das características dos melhores cenários.

Na Figura 4.30 e Figura 4.31 pode-se analisar o desempenho das temperaturas na semana típica de Verão, para valores extremos de temperatura da região climática Csb.

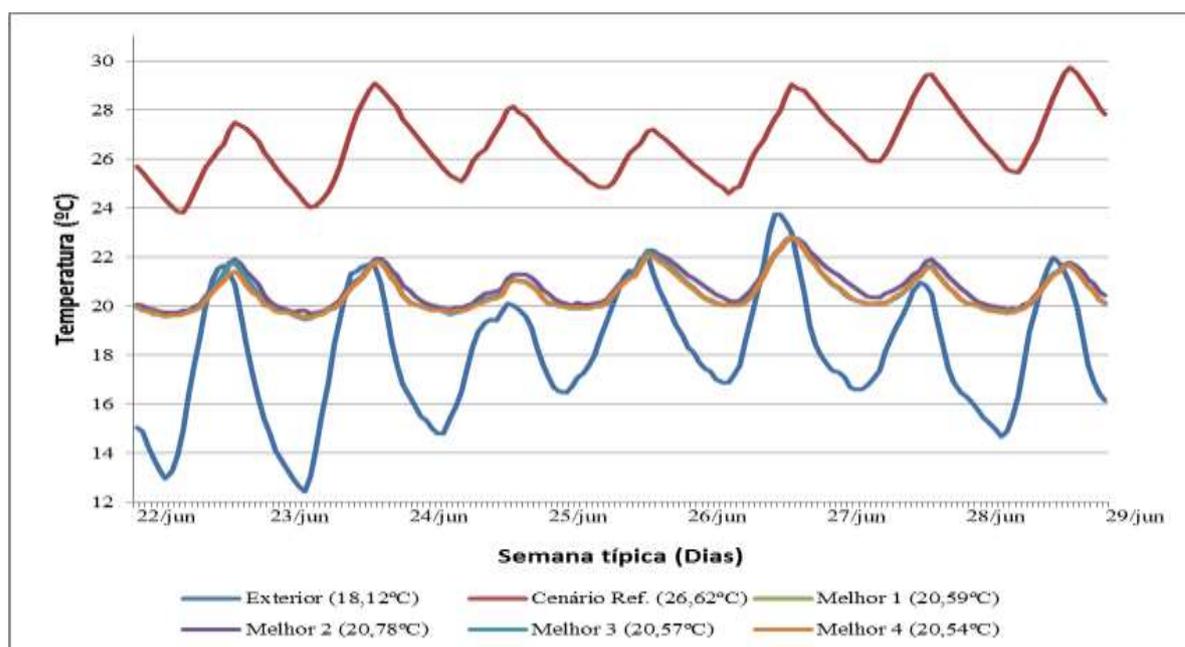


Figura 4.30 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csb MT-SD).

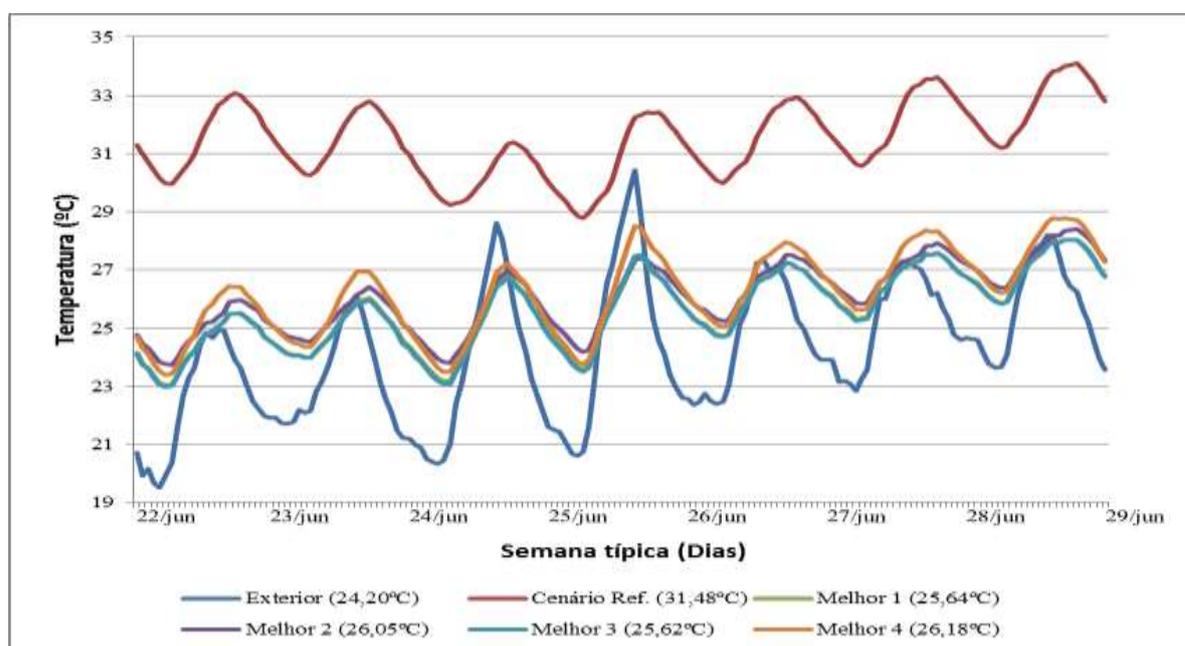


Figura 4.31 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Csb MT+SD).

Da análise das figuras anteriores, verifica-se que caracterizando toda a região, o mesmo modelo habitacional pode ter uma variação na sua temperatura do ar interior de 4,83 °C.

Ainda assim, é possível verificar que o melhor desempenho para a região climática Csb MT-SD é possível com o cenário “Melhor2” e para a região climática é o Csb MT+SD é possível com o “Melhor 3”.

De seguida na Figura 4.32 e Figura 4.33, pode fazer-se a mesma análise para a semana típica de Inverno.

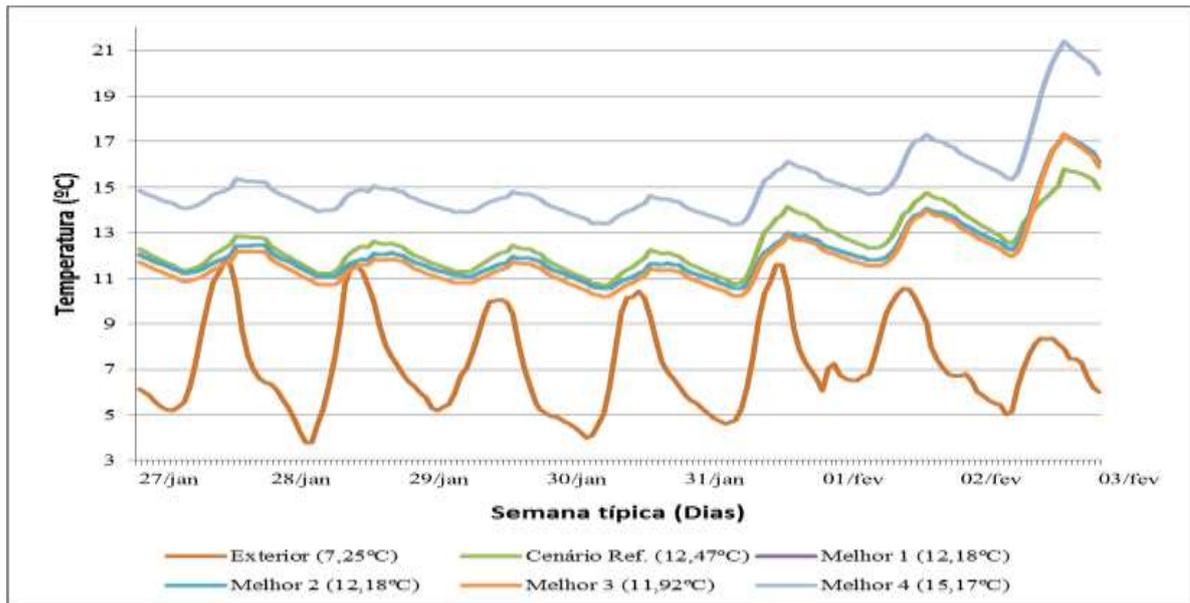


Figura 4.32 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csb MT-SD).

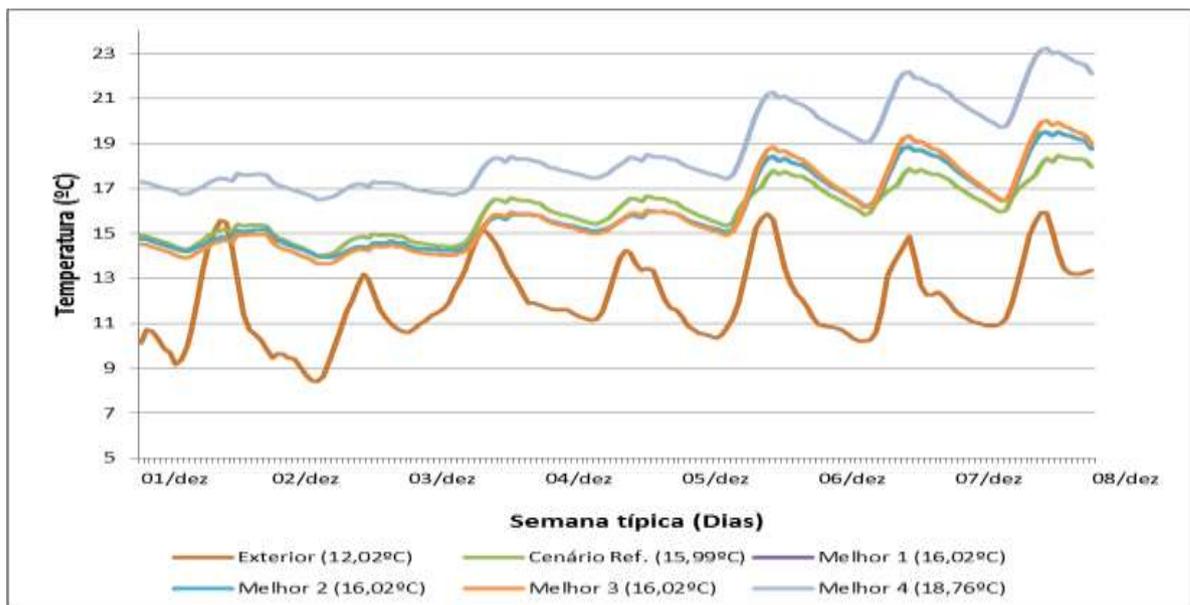


Figura 4.33 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Csb MT+SD).

Ao analisar a Figura 4.32 e a Figura 4.33, verifica-se que os melhores cenários são nas duas situações o “Melhor 4”.

Conclui-se assim, que o melhor cenário considerado no subcapítulo 4.5 continua a ser a melhor solução para a análise paramétrica agora efectuada. Contudo, e uma vez que a variação térmica entre os valores extremos é considerável, dever-se-á projectar o modelo habitacional de acordo com a temperatura e a localização da sua implantação.

4.7.3 Clima Cfb

Nesta análise foi seguido todo o procedimento já explicado nos subcapítulos anteriores.

Na Figura 4.34 e Figura 4.35 pode analisar-se o desempenho das temperaturas na semana típica de Verão, para as temperaturas extremas da região climática Cfb.

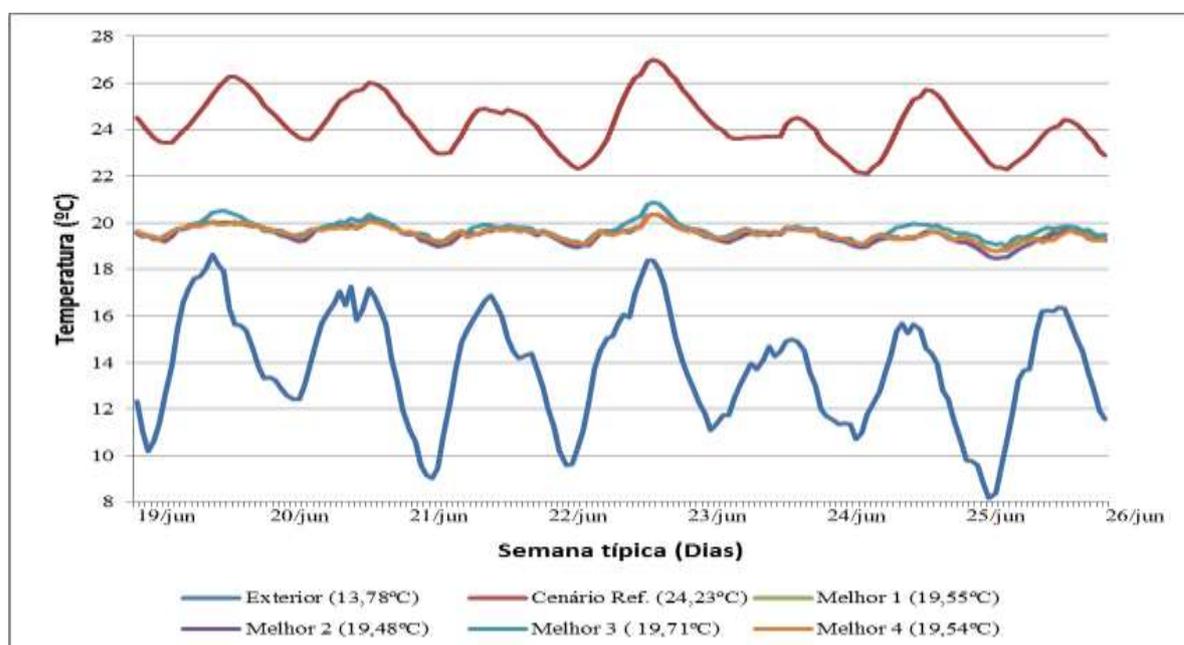


Figura 4.34 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Cfb MT-SD)

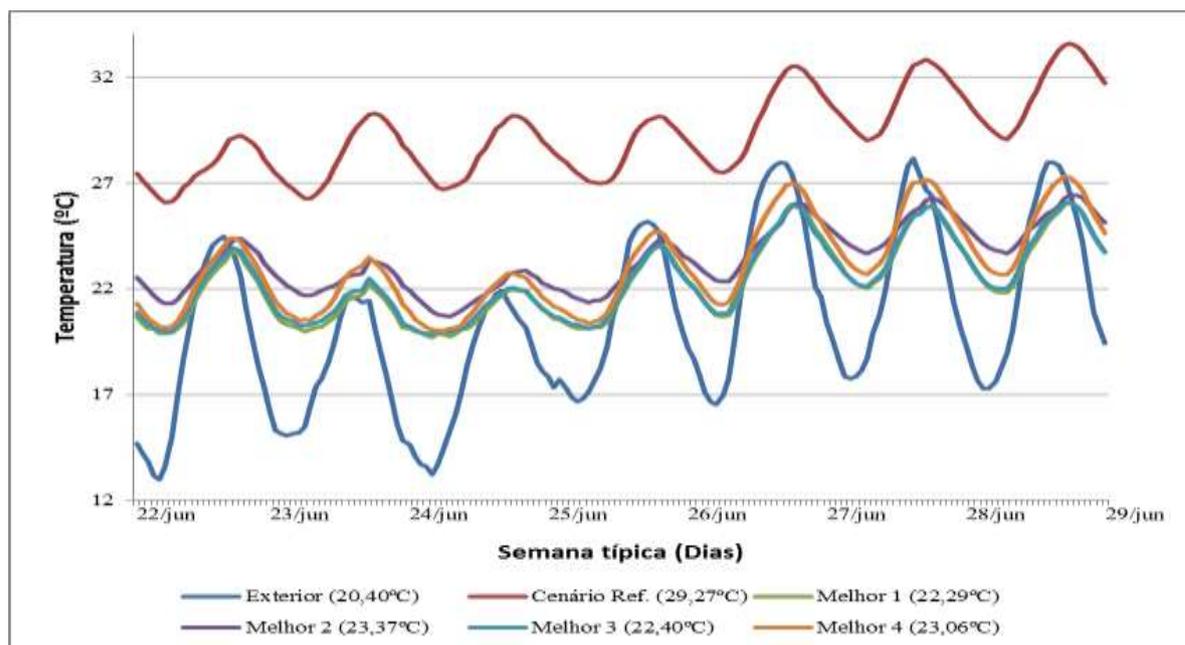


Figura 4.35 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Verão (Cfb MT+SD)

Da análise da Figura 4.34 e Figura 4.35, verifica-se que caracterizando toda a região, o mesmo modelo habitacional pode ter uma variação na sua temperatura do ar interior de 3,67 °C.

Nesta análise, verifica-se que o melhor desempenho para a região climática Cfb MT-SD é possível com o cenário “Melhor 3” e para a região climática Cfb MT+SD é o “Melhor 2”.

De seguida, na Figura 4.36 e Figura 4.37, apresenta-se a mesma análise para a semana típica de Inverno.

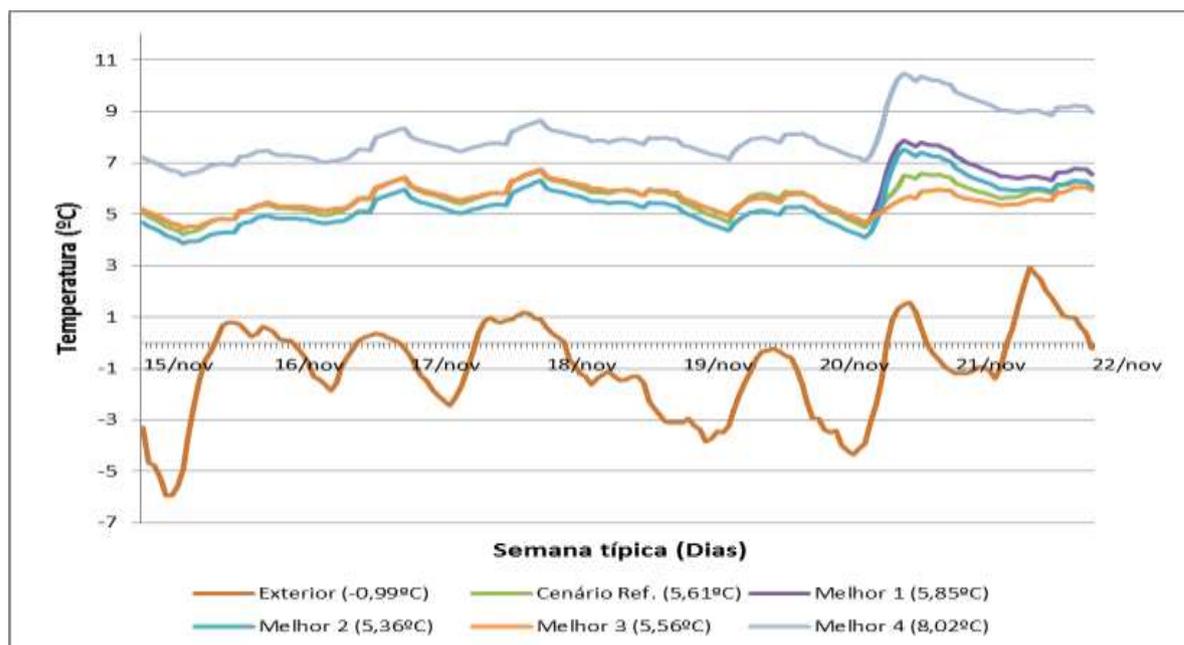


Figura 4.36 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Cfb MT-SD).

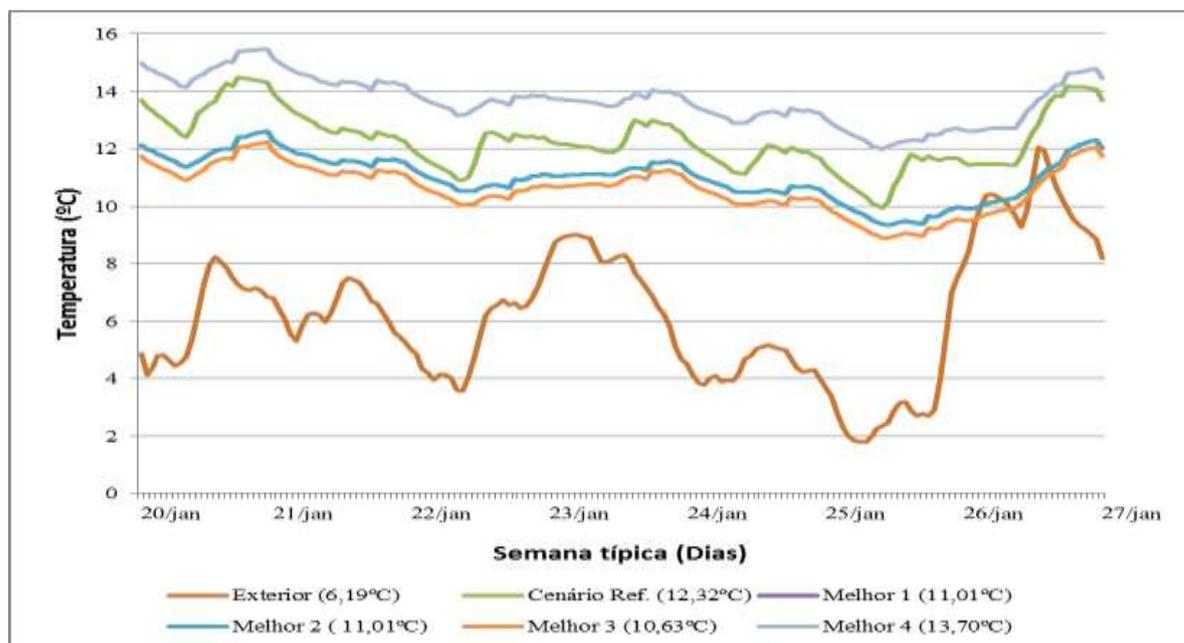


Figura 4.37 - Desempenho das temperaturas na semana típica de Inverno (Cfb MT+SD).

Da análise à Figura 4.36 e Figura 4.37, verifica-se que os melhores cenários são nas 2 situações o “Melhor 4”.

Conclui-se novamente, que o melhor cenário considerado no subcapítulo 4.5 para esta região climática, continua a ser a melhor solução para a análise paramétrica agora efectuada. Contudo, e uma vez que a variação térmica entre os valores extremos é considerável, deverá-se projectar o modelo habitacional de acordo com a temperatura e a localização da sua implantação.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 Conclusões

As exigências a nível europeu obrigam à implementação de práticas de projecto e construtivas, que conduzam a edifícios sustentáveis e racionais no consumo de energia.

A obtenção de bons resultados em habitações construídas com estruturas leves em aço, só é possível usando uma combinação de diversos valores adaptados ao local, ao respectivo clima e à orientação. Dependendo do local, as preocupações a nível construtivo devem variar essencialmente com a ventilação, isolamento térmico, características de envidraçados e sombreamentos.

Da análise paramétrica efectuada para as temperaturas médias, foi possível verificar que para os climas “Cs” é importante ter boa espessura de isolamento tanto no Verão como no Inverno.

Na região climática Csb, obteve-se os melhores resultados quando considerada uma melhoria de 60% do coeficiente de transmissão térmica do isolamento considerado no cenário de referência. No cenário de referência considerou-se o isolamento das paredes exteriores com 53mm de ETICS e 120mm de lã de rocha e na cobertura considerou-se 80mm de lã de rocha (estes valores podem ser visualizados no Anexo I).

Contudo, os resultados obtidos, estão um pouco abaixo dos valores de referência para a temperatura de ar interior definidos pela Directiva Europeia, uma vez que se obteve no Verão uma temperatura do ar interior de 22,96°C e no Inverno 18,98°C.

Na região climática Csa, obteve-se novamente os melhores resultados, quando considerada uma melhoria de 60% do coeficiente de transmissão térmica do isolamento considerado no cenário de referência. No cenário de referência da região climática Csa consideraram-se as mesmas espessuras de isolamento que foram consideradas para a região Csb.

Na análise efectuada a esta região climática obteve-se com o melhor cenário uma temperatura do ar interior no Verão de 25,66°C e no Inverno 20,15°C. Conseguiu-se com estes valores quase que igualar os valores de referência definidos pela Directiva Europeia para o conforto térmico na construção.

Além das características do isolamento, foi possível concluir, que para as regiões climáticas Csa e Csb dever-se-á ter bons níveis de ventilação na estação quente e valores mínimos na estação fria.

Os vidros deverão ter valores baixos do coeficiente de transmissão térmica e as habitações não deverão ter palas de sombreamento.

Nos climas Cfb, Dfb e Dfc o ideal seria ter um baixo isolamento térmico no Verão, situação que prejudicaria significativamente o desempenho térmico no Inverno.

Assim, e porque aquilo que se perde no Verão é bastante inferior ao que se ganha no Inverno, o ideal será ter sempre boas espessuras de isolamento de acordo com as variáveis estudadas.

Na região climática Cfb, uma vez que a temperatura exterior no Verão já é mais baixa do que nas regiões Csa e Csb, os melhores resultados já foram obtidos considerando uma redução de 40% no coeficiente de transmissão térmica dos isolamentos considerados no cenário de referência. No Inverno, a melhor solução continua a estar associada a uma melhoria de 50% do coeficiente de transmissão térmica.

Nesta região climática, uma vez que a temperatura média no Inverno é de 1,78°C, já se considerou para o cenário de referência uma espessura de 140 mm de lã de rocha para as paredes exteriores e 200 mm de espessura para a cobertura.

Nas regiões climáticas Dfb e Dfc por se tratar de regiões com temperaturas do ar exterior no Inverno bastante baixas, -4,02°C e -9,22°C respectivamente, os melhores resultados continuam a ser os que têm o melhor coeficiente de transmissão térmica, ou seja, o que apresenta valor mais baixo. Quanto à ventilação, continua a ser desejável ventilar bem as casas no Verão e ventilar o mínimo no Inverno.

Nos climas Dfb e Dfc foram considerados para cenário de referência valores de 370 mm de espessura de lã de rocha na cobertura e 240 mm e 300 mm de espessura respectivamente, quando de trata das paredes exteriores.

Relativamente ao estudo do factor de forma da habitação, foi possível constatar que o desenho de uma habitação compacta tem especial impacte na semana típica de Inverno, uma vez que no Verão as melhorias foram de 0,46°C e 0,33°C respectivamente para os climas Dfb e Dfc. Na semana típica de Inverno, as melhorias foram consideráveis., na região Dfb obteve-se uma melhoria na temperatura do ar interior de 3,61°C e na região Dfc a melhoria da temperatura do ar interior foi de 2,65°C.

Neste sentido, para otimizar os consumos energéticos, torna-se imperativo a preocupação com este aspecto, logo na fase inicial do projecto, juntamente com a equipa de arquitectura.

Com a realização deste trabalho, foi ainda possível concluir, que o mesmo modelo habitacional instalado numa zona onde a temperatura tem o valor extremo MT-SD, existe uma redução da temperatura do ar interior na semana típica de Verão, relativamente à temperatura média do clima, de 2,34°C. Caso se analise na zona onde a temperatura tem o valor extremo MT+SD, existe um aumento de temperatura de 3,27°C.

Ao fazer a mesma análise para a semana típica de Inverno, percebe-se que o mesmo modelo habitacional instalado numa zona onde a temperatura tem o valor extremo MT-SD, existe uma redução da temperatura do ar interior na semana típica de Verão, relativamente à temperatura média do clima, de 4,10°C. Caso se analise na zona onde a temperatura tem o valor extremo MT+SD, existe um aumento de temperatura de 2,40°C.

Nas restantes regiões climáticas estudadas, Csb e Cfb, os resultados são semelhantes, podendo concluir-se que ao projectar uma habitação, deverá ser feito um estudo para os valores extremos uma vez que a variação de temperatura entre as zonas MT-SD e MT+SD é considerável.

5.2 Trabalhos futuros

Após a conclusão deste trabalho, verificou-se que esta temática deverá ser tema fundamental de estudo, por se tratar de uma questão de sustentabilidade energética.

Uma vez que em todas as análises efectuadas, apenas se conseguiu atingir os valores de referência para a temperatura do ar interior definidos pela Directiva Europeia 2010/31/UE, para a região climática Csa, deverão ser efectuadas novas análises paramétricas com outros valores a nível de isolamentos, ventilações, tipologia de envidraçados e sistemas de sombreamentos.

Entende-se também, que este estudo deverá ser alargado para todo o ano, e não apenas para as semanas típicas de Verão e de Inverno, aumentado assim o rigor do mesmo.

Seria também uma maior valia, a criação de habitações reais e a sua colocação *in-situ* para realização de medições, de modo a validar os resultados obtidos;

Além disso, seria importante considerar a conjugação deste sistema com outros sistemas passivos, nomeadamente estufas e/ou paredes de Trombe no sentido de reduzir ainda mais o consumo energético.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alanzi, A; Seo, D; Krarti, M; (2009) Impact of Building shape on thermal performance of office buildings in Kuwait, Energy Conversion and Management

ASHRAE (2014) ASHRAE Handbook-Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta

Baker, Nick; Steemers, K; (2000) Energy and Environment in Architecture: A Technical Design Guide, E&FN Spon, London

Baker, Nick; (2009). The Handbook of Sustainable Refurbishment: Non- Domestic Buildings. London, United Kingdom: Earthscan.

Brotas, L., Gonçalves, H. (2007). “A norma PassivHaus em climas quentes da Europa: Diretrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético”, partes 1, 2 e 3. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P., Lisboa,

Button, D. & Pye, B. (eds.). (1993). Glass in building: Guide to modern architectural glass performance. Oxford: Butterworth Architecture

DesignBuilder@ (2014). <http://designbuilder.co.uk/> (página internet oficial).

Dokka, T.K and Rødsjø, A. (2005). Hvordan planlegge en lavenergibolig. lavenergiboliger. [Online] October 23, 2005.

EN 1993-1-3, (2006). Eurocode 3. Brussels, Belgium: CEN – European Committee for Standardization.

Energy Plus@ (2014). <http://www.energyplus.gov> (página internet oficial)

European Directive 2010/31/EU. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. Brussels, Belgium: Official Journal of the European Communities.

Gaterell, M.R. and McEvoy, M.E., (2005). The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings. *Energy and buildings*, 37 (9), 982-995.

Gonçalves, Helder; Oliveira, Marta; Patrício, Anita; Cabrito, Pedro (1998). “Passive Solar Buildings in Portugal Experiences in the Last 20 years”. Department of Renewable Energies- INETI. Lisboa, Portugal.

Hastings, *et al*, (2007). Sustainable solar housing. Exemplary buildings and technologies. London : Earthscan, 2007. Vol. 2, IEA task 28.

Instituto Português de Estatística@ (2014). <http://www.ine.pt> Portal do Instituto Nacional de Estatística (página internet oficial). Portugal

Isolani, Pieraldo (2008). “Eficiência energética nos edifícios residenciais”. Intelligent Energy Europe.

Jokisalo, J. and Kurnitski, J., (2005). Effect of the thermal inertia and other building and HVAC factors on energy performance and thermal Comfort in Finnish apartment buildings (Teknillinen korkeakoulu. Konetekniikan osasto. LVI-tekniikan laboratorio). Espoo: Helsinki University of Technology, Report B79.

Kottek, M., *et al.*, (2006). World Map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15 (3), 259-263.

Liébard, *et al*, (2005). *Traité d'architecture et d'urbanisme bioclimatiques. Concevoir, édifier et aménager avec le développement durable*. Paris : Observ'ER, 2005.

Mendonça, Paulo (2005). “Habitar sob uma segunda pele: estratégias para a redução do impacto ambiental de construções solares passivas em climas temperados” Tese de doutoramento, Departamento de Engenharia Civil da Universidade do Minho, Guimarães.

Ourghi R., Al-Anzi A., Krarti M., (2007) A Simplified Analysis Method To Predict The Impact of Shape On Annual Energy Use For Office Buildings, *Energy Convers Manage J*, 48:300-5.

Passivhaus Institut@ (2014). <http://passiv.de/en/>. Passivhaus Institut (página internet oficial), Darmstadt

Passive house international@ (2014). <http://www.passivehouse-international.org>. International passive house association (página internet oficial). Rheinstraße

Passive-On Project (2007a). “ A descrição longa do Passive-On”. European Commission under the Intelligent Energy – Europe Programme.

Passive-On Project (2007c). “ A norma Passivhaus em climas quentes da Europa – Directrizes de projecto para casas confortáveis de baixo consumo energético, Parte 1: Revisão de casas confortáveis de baixo consumo energético”. European Commission under the Intelligent Energy – Europe Programme.

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS) – Decreto-lei n.º118/2013, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal.

Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) – Decreto-Lei n.º118/2013, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal.

Santos, P., *et al.*, (2011). Parametric analysis of the thermal performance of light steel residential buildings in Csb climatic regions. *Journal of Building Physics*, 35 (1), 7-53.

UNEP, (2007). *Buildings and climate change – status, challenges and opportunities*. Paris, France: United Nations Environmental Programme.

UNEP (United Nations Environment Programme), (2009). *Resource efficiency*.

ANEXOS

Anexo I - Composição dos elementos construtivos

Csb						
Macro-component Reference	Material layers	Thickness [mm]	Density [kg/m2]	U-value [W/m2.K]	km [J/m2.K]	
Roof Floor						
B1020.20 Roof deck deck, slabs and sheathing	Cement slab	30mm			13435	
	XPS slab	30mm (FIXO)				
	Air cavity	30 mm				
	Waterproof film	1,63 kg/m2				
	XPS	0 mm (FIXO)				
	Concrete screed	40 mm		0,397		
	OSB	18mm		0,397		
	Air cavity	25 mm (FIXO)		0,292		
	Rock wool	80		0,124		
	Light weight steel	17 kg/m2		0,081		
	Gypsum board	15 mm				
Painting	0,125 k/m2					
Interior Floor						
C2030 Flooring	Ceramic Tiles	31 kg/m2			61062	
	Concrete screed	13 mm				
B1010.10 Floor structural frame	OSB	18 mm				
	Air cavity	160 mm				
	Rock wool	40 mm		0,666		
	Light weight steel	14 Kg/m2				
	Gypsum board	15 mm				
C2050 Ceiling finishes	Painting	0,125 kg/m2				
External Floor						
C2030 Flooring	Ceramic Tiles	31 kg/m2				47627
	Concrete screed	13mm				
B1010.10 Floor structural frame	OSB	18mm				
	Air cavity	25 mm (FIXO)		0,389		
	Rock wool	80		0,389		
	Gypsum board	15mm		0,198		
	Light weight steel	14 kg/m2				
B1020.20 Roof deck, slab and sheathing	ETICS	53				
Ground Floor						
C2030 Flooring	Ceramic Tiles	31 kg/m2			65957	
	Concrete screed	13 mm				
B1010.10 Floor structural frame	Precast concrete slab	180 mm				
	XPS	25				
Exterior Wall						
B2010.10 Exterior wall veneer	ETICS	53			26782	
B2010.20 Exterior wall construction	OSB	13 mm				
	Air cavity	25 mm (FIXO)		0,502		
	Rock wool	120		0,502		
	Light weight steel	15 kg/m2		0,124		
	Gypsum board	15 mm				
C2010 Interior wall finishes	Painting	0,125 kg/m2				
Interior wall						
C2010 Interior wall finishes	Painting	0,125 kg/m2			26782	
	Gypsum board	15 mm				
C1010 Interior partitions	Rock wool	60 mm				
	Light weight steel	10 kg/m2		1,069		
	Gypsum board	15 mm				
C2010 Interior wall finishes	Painting	0,125 kg/m2				

Região Climática Csa – Os elementos construtivos possuem as mesmas características dos elementos construtivos da região climática Csb

Região Climática Cfb – Existem as seguintes alterações quando comparados os elementos construtivos com os da região climática Csb

- Lã de rocha (Roof Floor): 200mm
- Lã de rocha (External Floor): 220mm
- XPS (Ground Floor): 120mm
- Lã de rocha (Exterior Wall): 140mm

Região Climática Dfb – Existem as seguintes alterações quando comparados os elementos construtivos com os da região climática Csb

- Lã de rocha (Roof Floor): 370mm
- Lã de rocha (External Floor): 450mm
- XPS (Ground Floor): 250mm
- Lã de rocha (Exterior Wall): 240mm

Região Climática Dfc – Existem as seguintes alterações quando comparados os elementos construtivos com os da região climática Csb

- Lã de rocha (Roof Floor): 370mm
- Lã de rocha (External Floor): 450mm
- XPS (Ground Floor): 300mm
- Lã de rocha (Exterior Wall): 300mm

Anexo II - Cenários Clima Csb MT

Clima	Variável	Melhor 1		
		Verão		Inverno
Csb Melhor 1	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			
Clima	Variável	Pior		
		Verão		Inverno
Csb Pior	Ventilação	0,6 (1)		5,0 (4)
	Isolamento térmico	- 40% (5)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		2,597 (8)	0,88 (8)	0,78 (8)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	DESLIGADO (13)		LIGADO_125W/m2 (12)
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)			
Clima	Variável	Melhor 2		
		Verão		Inverno
Csb Melhor 2	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	40% (6)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			
Clima	Variável	Melhor 3		
		Verão		Inverno
Csb Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		1,193 (9)	0,78 (9)	0,67 (9)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)			
Clima	Variável	Melhor 4		
		Verão		Inverno
Csb Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)			

Anexo III - Cenários Clima Csa MT

Clima	Variável	Melhor 1		
		Verão		Inverno
Csa Melhor 1	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			
Clima	Variável	Pior		
		Verão		Inverno
Csa Pior	Ventilação	0,6 (1)		5,0 (4)
	Isolamento térmico	- 40% (5)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		2,597 (8)	0,88 (8)	0,78 (8)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	DESLIGADO (13)		LIGADO_125W/m2 (12)
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)			
Clima	Variável	Melhor2		
		Verão		Inverno
Csa Melhor 2	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	40% (6)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)			
Clima	Variável	Melhor 3		
		Verão		Inverno
Csa Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		1,193 (9)	0,78 (9)	0,67 (9)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)			
Clima	Variável	Melhor 4		
		Verão		Inverno
Csa Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	60% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)			

Anexo IV - Cenários Clima Cfb MT

Clima	Variável	Melhor 1			
		Verão		Inverno	
Cfb Melhor 1	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	VERTICAL+ HORIZONTAL_30° (16)				
Pior					
Clima	Variável	Pior			
		Verão		Inverno	
Cfb Pior	Ventilação	0,6 (1)		5,0 (4)	
	Isolamento térmico	50% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		2,597 (8)	0,88 (8)		0,78 (8)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	DESLIGADO (13)		LIGADO_125W/m2 (12)	
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)				
Melhor 2					
Clima	Variável	Melhor 2			
		Verão		Inverno	
Cfb Melhor 2	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		1,193 (9)	0,78 (9)		0,67 (9)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	VERTICAL+ HORIZONTAL_30° (16)				
Melhor 3					
Clima	Variável	Melhor 3			
		Verão		Inverno	
Cfb Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_250W/m2 (11)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	VERTICAL+ HORIZONTAL_30° (16)				
Melhor 4					
Clima	Variável	Melhor 4			
		Verão		Inverno	
Cfb Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	50% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)				

Anexo V - Cenários Clima Dfb MT

Clima	Variável	Melhor 1			
		Verão		Inverno	
Dfb Melhor 1	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	VERTICAL+ HORIZONTAL_30° (16)				
Clima	Variável	Pior			
		Verão		Inverno	
Dfb Pior	Ventilação	0,6 (1)		5,0 (4)	
	Isolamento térmico	8% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		2,597 (8)	0,88 (8)		0,78 (8)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	DESLIGADO (13)		LIGADO_125W/m2 (12)	
Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)				
Clima	Variável	Melhor 2			
		Verão		Inverno	
Dfb Melhor 2	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		1,193 (9)	0,78 (9)		0,67 (9)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	VERTICAL+ HORIZONTAL_30° (16)				
Clima	Variável	Melhor 3			
		Verão		Inverno	
Dfb Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	-40% (5)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_250W/m2 (11)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	VERTICAL+ HORIZONTAL_30° (16)				
Clima	Variável	Melhor 4			
		Verão		Inverno	
Dfb Melhor 4	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)	
	Isolamento térmico	8% (7)			
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz		SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)		0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)	
Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)				

Anexo VI - Cenários Clima Dfc MT

Clima	Variável	Melhor 1		
		Verão		Inverno
Dfc Melhor 1	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	8% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)		
Clima	Variável	Pior		
		Verão		Inverno
Dfc Pior	Ventilação	0,6 (1)		5,0 (4)
	Isolamento térmico	8% (7)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		2,597 (8)	0,88 (8)	0,78 (8)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	DESLIGADO (13)		LIGADO_125W/m2 (12)
	Palas de sombreamento	SEM PALAS DE SOMBREAMENTO (1)		
Clima	Variável	Melhor 2		
		Verão		Inverno
Dfc Melhor 2	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	-40% (5)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_250W/m2 (11)		LIGADO_250W/m2 (11)
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)		
Clima	Variável	Melhor 3		
		Verão		Inverno
Dfc Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	-40% (5)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		0,633 (10)	0,73 (10)	0,63 (10)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
	Palas de sombreamento	HORIZONTAL_30° (14)		
Clima	Variável	Melhor 4		
		Verão		Inverno
Dfc Melhor 3	Ventilação	5,0 (4)		0,6 (1)
	Isolamento térmico	-40% (5)		
	Janelas: Vidros+Caixilhos	Valor U [W/m2.K]	Transmissão da Luz	SHGC
		1,193 (9)	0,78 (9)	0,67 (9)
	Dispositivos de sombreamento de janelas	LIGADO_125W/m2 (12)		DESLIGADO (13)
	Palas de sombreamento	VERTICAL + HORIZONTAL_30° (16)		