



Armando José Machado Pereira Ramos

MEDIDAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES: IMPACTO NA ENERGIA E NO CONFORTO

MEASURES OF THERMAL HOUSING REHABILITATION: IMPACT ON ENERGY AND COM-
FORT

Dissertação de Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável, na área de Especialização em Energia e Ambiente Interior,
orientado pelo Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões

Coimbra, 5 de Março de 2018



UNIVERSIDADE DE COIMBRA



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

Armando José Machado Pereira Ramos

MEDIDAS DE REABILITAÇÃO TÉRMICA EM HABITAÇÕES: IMPACTO NA ENERGIA E NO CONFORTO

MEASURES OF THERMAL HOUSING REHABILITATION: IMPACT ON ENERGY AND COM- FORT

Dissertação de Mestrado em Eficiência Acústica e Energética para uma Construção Sustentável, na área de Especialização em Energia e Ambiente Interior,
orientado pelo Professor Doutor Nuno Albino Vieira Simões

Esta Dissertação é da exclusiva responsabilidade do seu autor.
O Departamento de Engenharia Civil da FCTUC declina qualquer
responsabilidade, legal ou outra, em relação a erros ou omissões
que possa conter.

Coimbra, 5 de Março de 2018

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento muito especial à minha família, esposa, filhos, nora, genro e neto pelo apoio e compreensão. O vosso incentivo foi determinante.

Ao meu orientador, Professor Doutor Nuno Simões, pela simpatia e compreensão que me dispensou. Os seus ensinamentos foram fundamentais nesta caminhada. Bem haja caro Professor.

Ao Engenheiro Pedro Correia, pela ajuda e pela paciência, o meu muito obrigado.

À restante família, sei que nutrem um orgulho muito grande pelo meu trajeto. Muito obrigado a todos.

Um agradecimento especial aos meus dois colegas de Mestrado da área de Especialização em Energia e Ambiente Interior, Flávio Rito e João Seabra, pela grande amizade e disponibilidade que me dispensaram. Bem hajam meus bons amigos.

Aos restantes colegas de Mestrado e Professores, um grande muito obrigado..

O presente trabalho foi apoiado pelo projeto ExpertA+ Promoção da eficiência energética e hídrica em infraestruturas complexas, projeto com a refª POCI-01-0246-FEDER-026751 financiado através do Portugal 2020 através do COMPETE 2020, através da disponibilização de ferramentas de cálculo.

Finalmente, ao meu saudoso Pai. Estarás sempre num cantinho especial do meu coração

RESUMO

O setor da construção é um dos grandes responsáveis pelo consumo de energia a nível global e, assim sendo, a reabilitação do edificado existente em conjunto com a nova legislação aplicável, apresenta-se como uma excelente oportunidade para se proceder a melhorias efetivas, que conduzam à redução significativa do consumo energético, ao mesmo tempo que permite reduzir as emissões de gases com efeito de estufa.

No caso da União Europeia, foram impostos objetivos energéticos e climáticos para 2020, 2030 e 2050, tendo como finalidade, atingir a meta da diminuição das emissões de gases com efeito de estufa entre os 80-95%. Este valor não será alcançável sem uma intervenção profunda na reabilitação dos edifícios, bem como nas soluções para o novo edificado.

O objectivo do presente estudo centra-se na avaliação do efeito de medidas de reabilitação térmica no desempenho energético de um edifício. Para o efeito, usou-se uma habitação de referência, que serviu de base ao estudo do impacto no consumo e na rentabilidade económica, provocadas pela introdução de reforço térmico na envolvente. Nesta avaliação inicial adotou-se o método sazonal para se estimarem as necessidades energéticas de aquecimento e arrefecimento.

Como a cultura de climatização em Portugal é baixa, avaliou-se numa segunda fase do trabalho o impacto de cada uma das medidas no nível de conforto do ambiente interior. Esta avaliação é realizada através da comparação da temperatura interior com a resultante no modelo de conforto térmico adaptativo descrito na norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 (*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*). A estimativa da temperatura interior do edifício de referência foi obtida através do método dinâmico, recorrendo-se ao software *DesignBuilder*.

Este estudo é efetuado para três localizações do edifício no território nacional. A norte, no distrito de Bragança, no centro, no distrito de Coimbra e a Sul, no distrito de Faro.

Palavras-chave: Eficiência energética, Reabilitação térmica, Conforto térmico.

ABSTRACT

The construction industry is a major player in energy consumption globally, therefore the rehabilitation of the existing building together with the new applicable legislation is an excellent opportunity to make effective improvements that lead to a significant reduction in energy consumption, while reducing greenhouse gas emissions.

In the European Union, energy and climate targets were set for 2020, 2030 and 2050, aiming to achieve the goal of reducing greenhouse gas emissions by 80-95%. This value will not be attainable without a thorough intervention in the rehabilitation of buildings, as well as in the solutions for the new building.

The objective of the present study is to evaluate the effect of thermal rehabilitation measures on the energy performance of a building. For this purpose, a reference dwelling was used, which served as a basis for the study of the impact on consumption and economic profitability, caused by the introduction of thermal reinforcement in the surroundings. In this initial evaluation the seasonal method was adopted to estimate the energy requirements of heating and cooling.

As the climate control culture in Portugal is low, the impact of each measure on the comfort level of the interior environment was evaluated in a second phase of the work.

This evaluation is performed by comparing the internal temperature with the resultant in the adaptive thermal comfort model described in the ANSI / ASHRAE Standard 55-2013 (Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy). The estimation of the interior temperature of the reference building was obtained through the dynamic method, using the Design-Builder software.

This study is carried out for three building locations in the national territory. To the north, in the district of Bragança, in the center, in the district of Coimbra and to the South, in the district of Faro.

Keywords: Energy efficiency, Thermal rehabilitation, Thermal comfort.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE.....	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE TABELAS	vi
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.1 Enquadramento e motivação.....	1
1.2 Objetivos.....	6
1.3 Estrutura da dissertação	6
2 Conceitos gerais.....	8
2.1 Conforto térmico.....	8
2.2 Avaliação do conforto térmico.....	9
2.3 Índices de conforto térmico	10
2.4 Forma do edifício.....	11
2.5 Conceitos e definições	12
2.6 Clima em Portugal	14
3 Descrição do problema e metodologias.....	16
3.1 Caso de estudo	16
3.2 Edifício de referência.....	17
3.3 Método sazonal	19
3.3.1 Nic - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento	20
3.3.2 Nvc – Necessidades Nominais anuais de energia útil para arrefecimento	23
3.4 Método dinâmico	25
3.5 Modelo de conforto adaptativo - ANSI/ASHRAE 55	26
4 Balanço energético – Cálculo com o método sazonal	29
4.1 Considerações gerais.....	29
4.2 Descrição das medidas de Melhoria	29
4.2.1 Medida 1 (MM1) - Paredes exteriores.....	29
4.2.2 Medida 2 (MM2) - Cobertura.....	30
4.2.3 Medida 3 (MM3) - Vãos envidraçados exteriores.....	30
4.2.4 Medida 4 (MM4) – Pavimento interior	30

4.3	Balço energético.....	30
4.3.1	Estação de aquecimento.....	30
4.3.2	Estação de arrefecimento.....	34
4.3.3	Necessidades Nominais de Energia Primária Ntc ($kWh_{EP}/m^2.ano$).....	37
4.3.4	Águas Quentes Sanitárias (AQS)	38
4.4	Classe Energética.....	38
4.5	Avaliação de custos associados à implementação das medidas de melhoria.....	40
4.6	Impacto dos sistemas técnicos na classe energética.	42
5	Simulação dinâmica e Avaliação do conforto térmico.....	45
5.1	Considerações gerais.....	45
5.2	Análise de resultados	45
5.2.1	Balço Energético.....	45
5.3	Análise do conforto térmico para a estação de aquecimento.....	47
5.4	Análise do conforto térmico para a estação de arrefecimento	52
5.5	Contabilização da evolução das horas de conforto e desconforto	57
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
6.1	Conclusões	60
6.2	Trabalhos futuros	61
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 - Localização das singularidades em estudo.	3
Figura 1.2 - Processo construtivo adotado para controlo da temperatura interior.....	4
Figura 2.1 - Mecanismo de trocas térmicas (condução, convecção, radiação e evaporação). ..	9
Figura 2.2 - Gráfico de determinação dos índices PPD em função de PMV.	10
Figura 2.3 - Fator de forma de diferentes tipologias.	11
Figura 2.4 - Classificação de Koppen: a) mundial, b) Portugal	14
Figura 3.1 - Faixas de temperatura operativa (to) aceitáveis para espaços naturalmente condicionados.	27
Figura 4.1 (Cont.)- Apresentação gráfica do balanço energético da estação de aquecimento; c) Necessidades energéticas na região Sul; d) Coeficientes de transferência de calor na região Norte; e) Coeficientes de transferência de calor na região Centro; f) Coeficientes de transferência de calor na região Sul; g) Redução de consumo por medida de melhoria.....	33
Figura 4.2 (Cont.) - Apresentação gráfica do balanço energético da estação de arrefecimento: g) Redução de consumo por medida de melhoria.....	37
Figura 4.3 (Cont.)- Necessidades nominais de energia primária para as 3 zonas de implantação do edifício de referência; c) N_{tc} Sul.	38
Figura 4.4 - Variação de NTC em função da presença de sistemas técnicos de arrefecimento e aquecimento de referência e de sistemas de alta eficiência.	44
Figura 5.1 - Variação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento para a 3 zonas em estudo, pelo método dinâmico.	47
Figura 5.2 - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de inverno; a) SI Norte; b) SI Centro; c) SI Sul; d) MM1 Norte; e) MM1 Centro; f) MM1 Sul.	49
Figura 5.3 - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de verão; a) SI Norte; b) SI Centro; c) SI Sul; d) MM1 Norte; e) MM1 Centro; f) MM1 Sul.	54
Figura 5.4 – Horas de desconforto por medida de melhoria: a) Região Norte; b) Região Centro; c) Região Sul.....	59

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 - Classificação pela variação do aumento da temperatura média combinada entre terra e mar, para cada um dos 10 anos mais quentes registados (Adaptado de [1]).2	
Tabela 2.1 - Taxa de metabolismo em função da atividade.	13
Tabela 2.2 Resistência térmica do vestuário.	13
Tabela 3.1 - Levantamento dimensional do edifício de referência.....	18
Tabela 4.1 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, para as 3 zonas de implantação do edifício de referência.	31
Tabela 4.2 - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, para as 3 zonas de implantação do edifício de referência.	34
Tabela 4.3 – Intervalos de classe energética.....	39
Tabela 4.4 - Evolução da classe energética com a introdução das medidas de melhoria.....	40
Tabela 4.5 - Redução de custos e tempos de retorno associados a cada uma das medidas de melhoria.	41
Tabela 4.6 - Redução percentual do consumo total anual para cada uma das medidas de melhoria.	42
Tabela 4.7 - Impacto dos sistemas técnicos na classe energética para as 3 zonas em estudo .	43
Tabela 5.1 - Variação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento para a 3 zonas em estudo, pelo método dinâmico.	46
Tabela 5.2 - Contabilização das horas de conforto e desconforto, totais anuais e por estação.	58

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento e motivação

Após a revolução industrial, o impacto da atividade humana sobre o meio ambiente, acompanhado do desenvolvimento económico, tornou-se expressivo e revelaram-se particularmente nocivos para o planeta. O crescimento populacional implicou o aumento do consumo, originando problemas ambientais cuja solução se tornou o grande desafio deste início de século para pesquisadores, ambientalistas, governos, organizações não-governamentais e comunidades do mundo inteiro.

Com o aumento da queima de combustíveis fósseis, em quantidades cada vez maiores, apareceu o conceito de aquecimento global, resultante da emissão de grandes quantidades de gases com efeito de estufa (GEE). Este fenómeno traduz-se no aumento médio das temperaturas do planeta ao longo dos últimos tempos e, de forma natural, tornou-se num problema de ampla discussão nas sociedades atuais. De acordo com alguns estudos científicos, entre as principais causas potenciadoras deste fenómeno, estão as práticas humanas realizadas de uma forma descontrolada, relativamente à utilização dos recursos naturais disponíveis e que não tiveram em conta o conceito da sustentabilidade.

Com a preocupação crescente, por parte da comunidade internacional, relativamente a este problema, foram assinados alguns acordos com o objetivo de reduzir a emissão de gases com efeito de estufa e conseqüentemente as alterações climáticas. Entre eles, podem ser destacados o Protocolo de Quioto, o Acordo de Copenhaga e o Acordo de Paris.

Apesar de todos os esforços internacionais, os dados que foram sendo recolhidos em períodos próximos continuam a ser alarmantes. Segundo um relatório divulgado pelo NOAA (*National Centers for Environmental Information*) [1] o ano de 2016 foi o ano mais quente registado, sendo que a temperatura média subiu $0,94^{\circ}\text{C}$ relativamente à média de $13,9^{\circ}\text{C}$ registada no século passado.

É referido por este organismo, que no presente século, é a quinta vez que há um recorde de aumento de temperatura média, referindo que os outros 4 anos foram os de 2010, 2014, 2015 e 2017.

A temperatura anual global aumentou uma taxa média de 0,07 °C por década desde 1880 e a uma taxa média de 0,17 °C por década desde 1970 (Tabela 1.1), sendo referenciado que o ano de 2017, foi o segundo mais quente, tendo excedido a temperatura média nacional em 1.1°C.

Tabela 1.1 - Classificação pela variação do aumento da temperatura média combinada entre terra e mar, para cada um dos 10 anos mais quentes registados (Adaptado de [1]).

CLASSIFICAÇÃO. 1=MAIS QUENTE DO PERÍODO DE REGISTO	ANO	VARIAÇÃO °C
1	2016	0,94
2	2015	0,9
3	2017	0,84
4	2014	0,74
5	2010	0,7
6	2013	0,67
7	2005	0,66
8	2009	0,64
9	1998	0,63
10	2012	0,62

É neste contexto que se encaixa a temática relacionada com a reabilitação térmica dos edifícios residenciais e a procura de estratégias eficientes, para os tornar energeticamente eficientes.

Segundo um estudo realizado por Stijn Van Craenendonck, Len Lauriks e Cédric Vuye [2], a influência de nossos edifícios sobre as mudanças climáticas é considerável. Numerosos estudos mostram que 40% das emissões de CO₂ na Europa, podem ser vinculadas aos nossos edifícios. Reduzir o impacto ambiental e o consumo de energia dos edifícios, não pode ser alcançado apenas pela regulação das novas construções. Intervenções sobre o parque existente, por meio da renovação, também são necessárias.

Este artigo identifica a influência dos detalhes da construção sobre o isolamento térmico geral e necessidade de energia em casas belgas. Para esse fim, uma tipologia de detalhes de construção foi desenvolvida primeiro. Esta tipologia foi utilizada para avaliar o potencial de poupança de energia e apuramento da importância da intervenção nesses detalhes construti-

vos. Foi aplicado isolamento térmico na envolvente, no telhado, no pavimento e trocadas as portas e janelas por outras que estavam de acordo com os regulamentos. De seguida foram feitas simulações, umas com estas alterações e outras com as alterações e tratamentos de singularidades (Figura 1.1), que depois foram comparadas com o mesmo estudo feito para as construções sem alterações. Concluíram que, embora sem relevância estatística, o tratamento das singularidades podem reduzir em quase $6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{ano})$ as necessidades de energia para aquecimento.

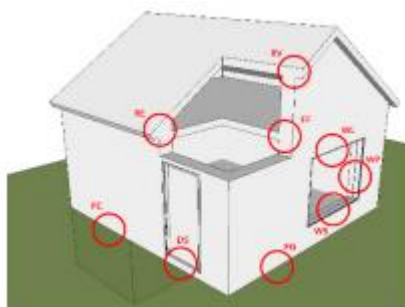


Figura 1.1 - Localização das singularidades em estudo.

Num outro estudo, realizado por Sahar N. Kharrufa e Yahyah Adil [3], refere que o controlo da temperatura no interior dos edifícios, na estação de arrefecimento, é um dos principais problemas ambientais que se apresenta aos arquitetos e construtores, em muitos países do Médio Oriente, neste caso em Bagdad, no Iraque. Nesse período de tempo, as temperaturas atingem picos na ordem dos $50 \text{ }^\circ\text{C}$ em alguns deles, sendo que apenas a utilização de ar condicionado, por vezes não é suficiente para reduzir as temperaturas para níveis de conforto, além de elevarem substancialmente o consumo energético.

Neste caso particular, a forma testada, que passa também pela intervenção na envolvente do edifício, foi a aplicação de refrigeradores evaporativos a insuflar ar fresco para uma caixa de ar formada entre as paredes da envolvente exterior, ficando o ar condicionado responsável pelo arrefecimento do interior do edifício. Foi construído uma lagoa na cobertura, confinada num túnel, com um ventilador numa das extremidades, para forçar o ar sobre a água e obrigar a superfície a arrefecer por evaporação (Figura 1.2).

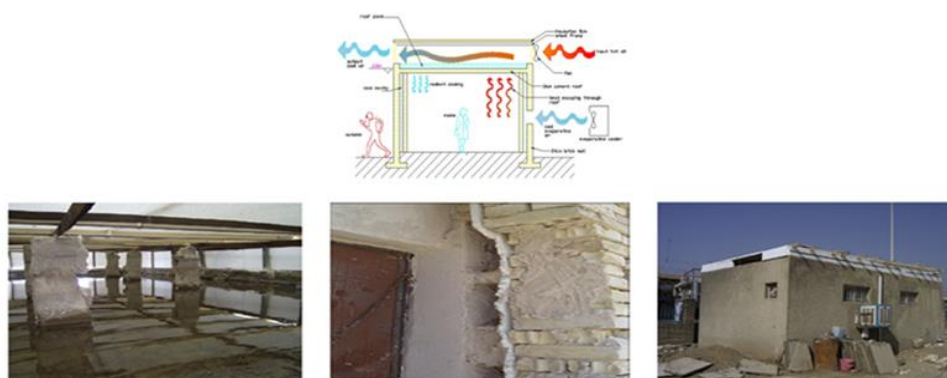


Figura 1.2 - Processo construtivo adotado para controlo da temperatura interior.

Os resultados finais foram encorajadores, tendo-se conseguido uma redução de temperatura superior a outros sistemas testados. A temperatura média interna, caiu para $31,8^{\circ}\text{C}$, sendo que o aparelho de ar condicionado é usado para baixar a temperatura para níveis de conforto, reduzindo em cerca de 88% a pressão do consumo de energia.

Num outro estudo, realizado por Jung-Min Oh et al. [4], refere a influência das pontes térmicas na envolvente dos edifícios, como responsáveis por uma parcela considerável de perdas térmicas e que é essencial a sua redução para reforçar o desempenho real do isolamento térmico.

Outro estudo, efetuado por Mohamad Kharseh, Mohammed Al-Khawaja [5], refere que os sistemas de ar condicionado, em países quentes e em vias de desenvolvimento, são os principais consumidores de energia, sendo que os países da Península Arábica dependem completamente de combustível fóssil. Neste contexto, existem razões convincentes para investigar o consumo de energia nos edifícios e o seu impacto ambiental. Foi estudado o efeito de algumas medidas de reabilitação, para reduzir a carga de refrigeração nestes edifícios. Um tipo comum de edificado residencial, com as dimensões $12 \times 12 \times 3 \text{ m}$, no Qatar, foi usado como referência de estudo. Foram introduzidas, para simulação da poupança energética e para a estimativa do tempo de retorno do investimento, 5 medidas aplicadas na envolvente, na qualidade das janelas, na iluminação, na cor da envolvente externa e controlo da temperatura interna.

Conclui-se que estas intervenções podem introduzir uma poupança de energia na ordem dos 53% com um período de retorno relativamente curto, quem varia entre os 0,5 e os 4 anos. Ainda neste estudo [5], é referenciado que a qualidade térmica da envolvente de construção, desempenha um papel importante na carga térmica dos edifícios.

Num estudo realizado por El-Darwish and Gomaa [6] é referido que estratégias simples de reabilitação, tais como sombreamento, substituição do vidro, estanquidade ao ar podem

conduzir a reduções do consumo de energia na ordem dos 33%. Este estudo foi executado num clima quente-árido.

É referido neste estudo, que os governantes de um conjunto de países estão a tomar medidas com o objetivo de aumentar a eficiência dos edifícios. No Reino Unido, parte da estratégia do governo tem como alvo a redução da emissão de carbono em cerca de 80%, até ao ano de 2050. A diretiva Europeia para o desempenho energético dos edifícios, exige um objetivo de redução de consumo de energia de 20% até 2020. Nos Estados Unidos da América, o departamento de energia que participa nos dois processos de desenvolvimento ASHRAE- (*American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers*) e o ICC- (*International Codes Council*), desenvolveu e submeteu propostas de códigos de mudança que se esforçam por fazer melhorias económicas e eficientes de energia para códigos modelo atuais.

Num outro estudo, realizado por Ana Brás, Fábio Gonçalves e Pedro Faustino [7], é referenciado que nas últimas décadas, o consumo de energia para o aquecimento em edifícios foi reduzido devido aos limites estabelecidos pelas regulamentações europeias. Em Portugal, este tipo de regulação foi estabelecido pela primeira vez em 1990, com o RCCTE (regulamento das características e comportamento térmico dos edifícios).

É aqui referido, que as pontes térmicas são responsáveis por cerca de 30% das perdas de calor no período de inverno, tendo, em habitações, um poder de dissipação na ordem de grandeza da cobertura e maior do que nas envolventes ou aberturas opacas verticais, aumentando significativamente o consumo de energia para necessidades de aquecimento

O objetivo deste trabalho, foi simular o comportamento de argamassa à base de cortiça na minimização do consumo de energia e efeitos de condensação numa habitação existente da década de 1980, construída em Lisboa, Portugal.

Foram realizados ensaios sobre argamassas de cal hidráulicas e argamassas de cimento com várias proporções de cortiça no que diz respeito à caracterização reológica, ao comportamento térmico e à permeabilidade ao vapor de água. Conclui-se que, comparativamente à solução inicial, a correção de pontes térmicas por este tipo de argamassas, incrementam uma poupança de energia entre os 8% e os 11% .

Percebe-se que, na reabilitação térmica de um edifício, com vista a redução do consumo e o aumento do conforto interior, é unanime entre os autores, referenciar a necessidade de reduzir o mais possível a transmissão térmica através da envolvente. Assim sendo, o modo de o conseguir passa por atuar nas paredes exteriores, com aplicação de isolamento térmico pelo exterior ou pelo interior, promover a instalação de envidraçados exteriores mais eficientes e

aplicação de sistemas de sombreamento e intervir nas coberturas e pavimentos, também através da aplicação de isolamento térmico pelo interior ou pelo exterior. Poderá ainda aplicar-se sistemas especiais menos comuns, tais como paredes de Trombe, solários ou coletores a ar.

Embora o reforço térmico da envolvente se enquadre nas estratégias de redução do consumo de energia e diminuição de gases com efeito estufa, refira-se que é uma medida que tem como benefício o aumento do conforto interior dos ocupantes, sobretudo nos casos em que estes usam pouco os sistemas de climatização.

1.2 Objetivos

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar o impacto de medidas de melhoria da envolvente de edifícios de habitação no seu desempenho energético e nível de conforto.

O estudo foi iniciado com o balanço térmico da solução construtiva inicial de um edifício de referência (representativo das habitações construídas entre 1961 e 1990), à qual foi sendo adicionada medidas de melhoria de forma individual, nomeadamente aplicada às paredes, envidraçados, cobertura e pavimento interior. Considerou-se ainda a combinação, em simultâneo, das quatro medidas de melhoria. Em termos energéticos, o estudo iniciou-se com a aplicação do método sazonal, preconizado na regulamentação nacional, e conhecido por Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH), tendo servido também de base à avaliação económica e ao impacto da alteração por um sistema de climatização de elevado rendimento energético. Esta avaliação foi realizada para três zonas distintas do território Português.

Numa segunda fase do trabalho estudou-se o impacto das mesmas medidas de melhoria no nível do conforto do ambiente interior. Para esse efeito, recorreu-se à simulação dinâmica, a partir do qual se calculou o balanço energético e se determinaram as temperaturas operativas interiores, as quais foram comparadas com os limites da zona de conforto estabelecidos na norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 (*Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*) e respeitante a um modelo de conforto térmico adaptativo.

1.3 Estrutura da dissertação

A presente dissertação está dividida em seis capítulos, aos quais se acrescentam as referências bibliográficas.

No presente capítulo é feito um enquadramento ao tema, onde é feita uma abordagem às iniciativas regulamentares relativas ao desempenho energético, onde se descrevem estudos efetuados por alguns autores, em particular dos que descrevem medidas de melhoria e seu impacto na reabilitação térmica de edifícios. É feita ainda, referência aos objetivos e organização da dissertação.

No segundo capítulo, são abordados os conceitos gerais relacionados com o tema, em particular o conforto térmico.

No terceiro capítulo é descrito o problema e feita a introdução às metodologias utilizadas para o desenvolvimento do trabalho proposto. É feita referência ao método sazonal, descrito no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) e ao software de simulação dinâmica utilizado para estimar as temperaturas interiores do edifício de referência estudado. Para avaliação do nível de conforto é proposto o uso do modelo de conforto adaptativo descrito na ANSI/ASHRAE 55.

No quarto capítulo são apresentados os resultados relativos ao método sazonal. São apresentados dados referentes ao balanço energético para cada uma das melhorias propostas, à influência que têm na classe energética e é feito um estudo económico referente a cada uma das melhorias.

No quinto capítulo, são apresentados os cálculos e conclusões relativas ao método dinâmico, apresentando-se também o balanço energético apurado para cada uma das melhorias implementadas. É feito um estudo direcionado para o conforto, com o objetivo de avaliar o impacto de cada medida no nível de conforto interior do edifício de referência, além do impacto ao nível energético. São apresentadas horas desconforto, com o intuito de perceber quais as medidas que, de forma isolada ou combinada, mais beneficiam o conforto interior da habitação.

No sexto capítulo, são apresentadas as considerações finais e perspetivas de trabalho futuro.

No sétimo capítulo são apresentadas as referências bibliográficas.

2 CONCEITOS GERAIS

2.1 Conforto térmico

Toda esta preocupação com a eficiência térmica dos edifícios, com vista à redução efetiva de consumo de energia e conseqüentemente com o objetivo de garantir a sustentabilidade, não pode ser dissociada da garantia do conforto térmico dos ocupantes e utentes dos edifícios em geral.

O conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é determinado por avaliação subjetiva [8]. A não satisfação pode ser causada pela sensação de desconforto pelo calor ou pelo frio, quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente [9], sendo que, o desempenho dos edifícios é determinante no conforto térmico e qualidade do ar interior. A sua tradução física depende de fatores quantificáveis (fatores ambientais e de ocupação) e de fatores não quantificáveis (fatores individuais de natureza psicológica e sociológica) [10].

O corpo humano possui mecanismos de controlo das trocas de calor com o meio ambiente. Os sistemas biológicos são sistemas abertos, na medida em que efetuam trocas de matéria e energia com o meio, o que leva a constantes alterações internas do sistema. Assim, os seres vivos utilizam certos mecanismos de forma a contrariar as mudanças provocadas pelo meio exterior, mantendo a constância do meio interno, isto é a homeostasia [11].

Sempre que há uma alteração de estado, provocada por fatores externos, o sistema reage de duas formas distintas, por forma a reequilibrar o sistema. Uma delas, designada por feedback negativo, a mais usual, que se traduz na reação do organismo por forma a reverter o estímulo, tem objetivo de estabilizar as variáveis que mantêm o equilíbrio do sistema.

A outra é designada por feedback positivo e acontece quando a resposta amplifica a mudança da variável. Isto tem um efeito desestabilizador, pelo que não contribui para a equilíbrio do sistema, sendo menos comum que o negativo.

A termorregulação é a capacidade de um organismo promover a manutenção de sua temperatura normal, através de trocas térmicas com o ambiente, condução, convecção, radiação e

evaporação (Figura 2.1). Todos os seres vivos homeotérmicos possuem um mecanismo intrínseco que os ajuda a manterem-se numa determinada temperatura para que não ocorra perda da funcionalidade do sistema. Em temperaturas muito elevadas ocorre desnaturação proteica e temperaturas muito baixas podem gerar hipotermia [12].

No homem (ser endotérmico e homeotérmico), a temperatura é regulada, em circunstâncias normais, para cerca de 37°C . O aumento e diminuição da temperatura, desencadeia mecanismos fisiológicos, que contrariam esse estímulo. A vasodilatação, o suor, a vasoconstrição e a contração muscular, são exemplo de técnicas que o organismo utiliza, com vista à regulação da temperatura corporal [13].

Para que uma pessoa esteja em estado de conforto térmico, no desempenho de qualquer atividade, são admitidas pequenas oscilações nessa temperatura interna, sendo que em situações mais extremas admitem-se variações um pouco maiores, para se evitarem os perigos do stress térmico. Desta maneira podemos dizer que as atividades desempenhadas pelo ser humano geram calor, o qual deve ser dissipado para o ambiente, com a finalidade de evitar um aumento exagerado da temperatura corporal e assim se mantenha o equilíbrio térmico [14].

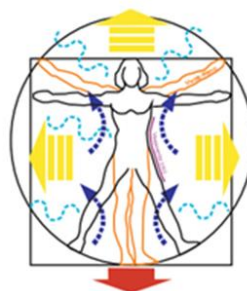


Figura 2.1 - Mecanismo de trocas térmicas (condução, convecção, radiação e evaporação).

2.2 Avaliação do conforto térmico

A avaliação térmica de um determinado espaço, pode ser definida por duas abordagens [10]. Uma delas, a abordagem analítica, traduz-se na obtenção de resultados experimentais em câmaras climáticas, onde as variáveis ambientais, temperatura do ar, humidade relativa, temperatura radiante e a velocidade do ar, são ajustadas. A partir daqui registam-se as sensações térmicas avaliadas pelos ocupantes, que estiveram expostos às referidas variáveis. Este processo é avaliado em regime estacionário.

A outra, a abordagem adaptativa, é caracterizada pela obtenção de resultados em pesquisas de campo onde as variáveis ambientais são medidas diretamente nos ambientes reais em que as pessoas desenvolvem as suas atividades e se procede à recolha das sensações térmicas dos ocupantes. Este processo é avaliado em regime dinâmico.

2.3 Índices de conforto térmico

Com a finalidade de avaliar a percepção térmica, foram criados índices de conforto térmico tais como o PMV (*Predicted Mean Vote* – voto previsto médio) e o PPD (*Predicted Percentage of Dissatisfied* - percentagem previsível de insatisfeitos). Partindo de uma equação de balanço térmico para o corpo humano, foi criado o índice PMV (Voto de conforto térmico), que corresponde a uma previsão da votação de um determinado número de pessoas relativamente a um dado ambiente térmico. Várias pessoas num mesmo espaço com vestuário e atividades diferentes terão uma diferente percepção do ambiente térmico envolvente. A escala de conforto térmico representa a avaliação das pessoas em relação ao ambiente térmico em que se encontram e varia entre -3 e 3 [11] (Figura 2.2).

Devido às diferenças entre os indivíduos, é impossível conceber um ambiente que seja considerado termicamente agradável por todos, pois haverá sempre uma percentagem de pessoas insatisfeitas.

O índice PPD, por sua vez, dá a conhecer o número de pessoas insatisfeitas com um certo ambiente térmico. Uma vez conhecidos os valores do índice PMV é possível determinar o índice PPD com base no gráfico representado na Figura 2.2:

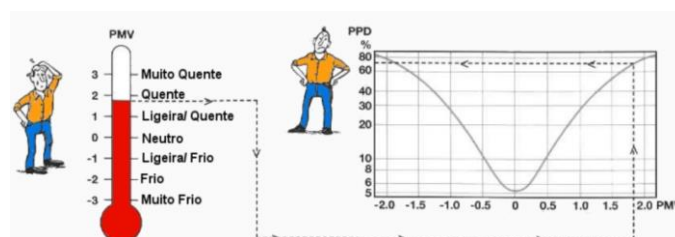


Figura 2.2 - Gráfico de determinação dos índices PPD em função de PMV.

2.4 Forma do edifício

Embora não esteja em estudo no presente trabalho, este fator de forma é importante no balanço energético dos edifícios, podendo-se adotar a norma de que a forma ótima é aquela que transmite a menor quantidade de calor no inverno e que capta a menor quantidade de calor no verão.

Num estudo efetuado por Beatriz Rodriguez-Soria, Javier Dominguez-Hernández, José M. Pérez e Juan J. del Coz-Díaz [15], refere que os principais fatores de projeto que afetam a perda de energia da envolvente dos edifícios e, portanto, as necessidades de energia devido às cargas térmicas provocadas por aparelhos de ar condicionado, são a transmissão térmica da envolvente, o fator de compactidade e a temperatura interna. Portanto, estes são os principais fatores que limitam o consumo total de energia, porque o consumo de energia durante o uso varia entre 80% e 85% do consumo de energia do ciclo de vida total.

A transmissão térmica da envolvente, inclui paredes de cave, as paredes exteriores, pavimentos, coberturas e qualquer outro elemento que encerre o espaço condicionado.

A forma ótima varia consoante o tipo de clima. Quanto mais compacta for a forma de um edifício (com poucas saliências e reentrâncias e uma reduzida superfície exterior), menores serão as perdas de calor e melhor será o seu balanço energético global [16].

É possível comparar a forma de diferentes edifícios através dos seus fatores de forma. O fator de forma é a relação entre a área exterior envolvente do edifício, com o seu volume interior. Quanto maior for esta relação, maior será a compactidade do edifício (Figura 2.3). Nesta figura estão retratadas diferentes formas de edifícios e o valor da fator de forma. O *Passivhaus Institut* considera o valor de $0,7 \text{ m}^2/\text{m}^3$, como o máximo para uma compactidade de edifício favorável [16].

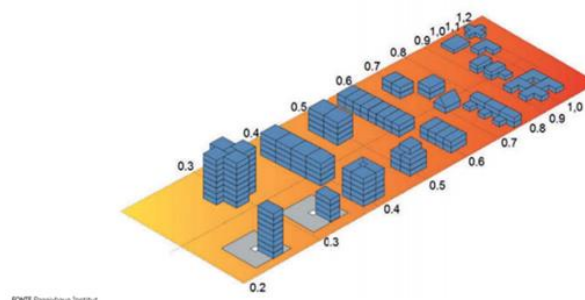


Figura 2.3 - Fator de forma de diferentes tipologias.

2.5 Conceitos e definições

A temperatura interior é a temperatura do ar dentro de uma divisão. Os intervalos de valores dentro dos quais esta temperatura deve cair são regulados, tal como a temperatura operativa [15].

A temperatura Média Radiante (TMR), é a temperatura média das superfícies envolventes de um espaço de forma geométrica cúbica. A TMR pode ser superior ou inferior à temperatura do ar no espaço considerado. Por definição, a TMR é a temperatura uniforme das superfícies envolventes de um espaço imaginário, onde a transferência de calor por radiação entre este espaço e um ocupante seja igual à soma das transferências de calor por radiação não uniformes das superfícies envolventes de um espaço real [17].

A temperatura operativa (Top) é a média entre a temperatura do ar e a TMR. A temperatura operativa é normalmente medida com um termómetro de globo colocado ao nível do tronco do corpo humano. Pode também ser medida com mais precisão utilizando um transdutor de forma geométrica elipsoidal [17].

O intervalo da temperatura interior e portanto da temperatura operativa, nem sempre é a mesma, mas depende de vários fatores que determinam a temperatura mais ajustada ao conforto térmico da divisão. Este índice de conforto térmico, é medido pela percentagem de pessoas insatisfeitas (PPD), que traduz a percentagem de pessoas que percebem que a divisão ora está muito fria ou muito quente. A temperatura ambiente ideal para alcançar uma quantidade de percentagem de pessoas insatisfeitas, depende de vários parâmetros, entre os quais:

- A taxa metabólica, que se traduz na velocidade em que um organismo usa a energia disponível e é estimada medindo a libertação de calor [9] e do modo como que se faz a sua transferência para as superfícies envolventes do espaço onde se encontra [17]. Este parâmetro, que é medido em met ou W/m^2 ($1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2$), depende da intensidade da actividade (Tabela 2.1). Se a taxa metabólica aumenta, a temperatura operativa deve baixar [9].

Tabela 2.1 - Taxa de metabolismo em função da atividade.

Atividade	Metabolismo Energético	
	[W/m ²]	[met]
Repouso, deitado	46	0,8
Repouso, sentado	58	1
Atividade sedentária	70	1,2
Atividade ligeira	93	1,6
Atividade média	116	2
Caminhada em terreno plano		
2 Km/h	110	1,9
3 Km/h	140	2,4
4 Km/h	165	2,8
5 Km/h	200	3,4

Nota: 1 met = 58,15 W/m², área média do corpo humano A = 1,75 m²

- O isolamento térmico da roupa é medido em clo (1 clo = 0,155 m²°C/W) e é estimado de acordo com a combinação de roupa. O isolamento térmico de uma pessoa sem roupa tem o valor 0,0 clo, enquanto que o isolamento térmico de alguém que use um fato tem o valor de 1 clo (Tabela 2.2).

Se o isolamento for maior, a temperatura operativa deve baixar [9].

Tabela 2.2 Resistência térmica do vestuário.

Tipo de Vestuário	Resistência Térmica	
	[m ² °C/W]	[Clo]
Nu	0	0
Calções	0,1	0,016
Vestuário tropica	0,3	0,047
Vestuário leve de verão	0,5	0,078
Vestuário de trabalho	0,7	0,124
Vestuário de inverno	1,0	0,155
Fato completo	1,5	0,233

1 clo = 0,115 m² °C/W

- A velocidade do ar, que aumenta o arrefecimento e o aquecimento do corpo e da sensação térmica de desconforto, quando a turbulência é percebida. Em condições sedentárias, a velocidade do ar deve ser limitada a menos de 0,25 m/s, em condições frias e

menos de 0,50 m/s em condições consideradas quentes, porque o desconforto térmico é causado por diferenças de temperatura.

- A humidade relativa que, sendo alta, limita a evaporação do suor, particularmente quando combinada com temperaturas elevadas, baixa velocidade do ar ou actividades intensas.

2.6 Clima em Portugal

O clima português é caracterizado por Invernos suaves e Verões amenos, variando, no entanto, de região para região. No norte registam-se precipitações mais elevadas e temperaturas mais baixas, mas é no interior que se registam as maiores amplitudes térmicas. A sul do Tejo, o maior rio português, fazem-se sentir as influências mediterrânicas, com verões bastante quentes e prolongados, e invernos curtos e de pouca pluviosidade. A Madeira regista um clima de tipo mediterrânico com temperaturas amenas e agradáveis todo o ano, enquanto os Açores apresentam um clima temperado marítimo com chuvas abundantes. Classificação de Köppen [18] (Figura 2.4).

A classificação principal de *Köppen* divide o clima da Terra em 5 regiões:

- Clima Tropical Húmido;
- Clima Seco;
- Clima Temperado com Inverno suave;
- Clima Temperado com Inverno rigoroso;
- Clima Polar.

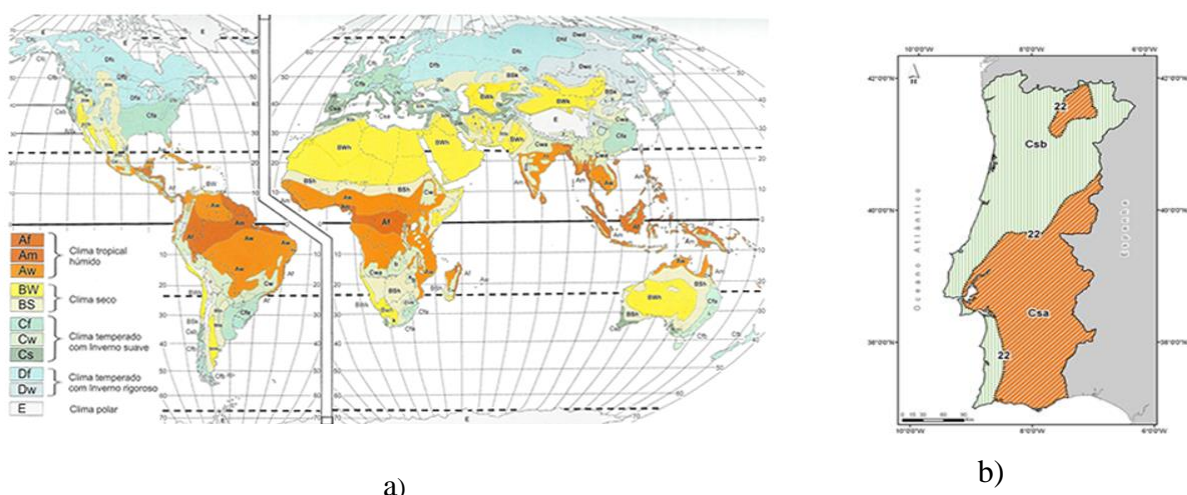


Figura 2.4 - Classificação de Köppen: a) mundial, b) Portugal

A classificação é baseada, com exceção do Clima Seco, nas temperaturas médias de cada região. O Clima Seco é definido com base na precipitação e evapotranspiração da região. Cada um destes tipos de clima divide-se ainda em sub-climas, tendo em conta a precipitação.

O clima de Portugal Continental, segundo a classificação de Koppen, divide-se em duas regiões: uma de clima temperado com Inverno chuvoso e verão seco e quente (Csa) e outra de clima temperado com inverno chuvoso e verão seco e pouco quente (Csb).

3 DESCRIÇÃO DO PROBLEMA E METODOLOGIAS

3.1 Caso de estudo

O presente estudo incide essencialmente, na determinação do impacto dos parâmetros térmicos no balanço energético de um edifício de referência, identificando a sua influência na variação da temperatura no seu interior e tentar fazer perceber em que medida influenciam o conforto térmico dos seus ocupantes. Para o efeito, foi utilizado o método sazonal de cálculo, através da folha de cálculo do ITeCons e o método dinâmico, utilizando o software de cálculo dinâmico *DesignBuilder*.

O estudo iniciou-se com o primeiro método. Este analisa o balanço total de ganhos e perdas térmicas do local em regime permanente, assumindo-se para o efeito uma determinada temperatura interior de referência na estação de aquecimento e arrefecimento [19]. Foram determinados os balanços térmicos do edifício e os cálculos iniciais incidirão sobre o edifício com a solução construtiva inicial, ao que se seguiu o cálculo para a introdução de cada uma das melhorias proposta para o estudo. O objetivo passa pela avaliação do impacto de cada umas melhorias, de forma isolada, combinadas e após introdução de sistemas técnicos de climatização de elevado rendimento, no referido balanço inicial, com especial incidência nos indicadores que mais influenciam a sua temperatura interior, as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento ($kWh/m^2.ano$) (N_{ic}), para arrefecimento ($kWh/m^2.ano$) (N_{vc}) e necessidades nominais de energia primária ($kWh_{EP}/m^2.ano$) (N_{ic}).

Como medidas de melhoria de comportamento térmico, foi dada especial atenção à envolvente do edifício. A primeira medida de melhoria, designada por MM1, correspondeu à intervenção nas paredes exteriores do edifício, com a aplicação de ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*). A segunda melhoria, designada por MM2, foi relativa à aplicação de isolamento térmico na cobertura interior, sobre a laje de esteira. A terceira melhoria, designada por MM3, foi a intervenção nos envidraçados exteriores, com a troca dos iniciais por outros mais eficientes e aplicação de dispositivos de oclusão noturna pelo exterior (portadas). A quarta melhoria, designada por MM4, assentou na aplicação de isolamento térmico no piso interior sobre vazio sanitário. A quinta melhoria, correspondeu à combinação entre as quatro anteriores, designada por CM e por último a introdução de um sistema técnico de climatização, em substituição dos de referência, à anterior medida apresentada e será designada de forma abreviada por CM+SC.

Para o estudo foi selecionada esta proposta de medidas de melhoria, pelo facto de ser a mais usual e de mais fácil implementação em edifícios desta natureza, pelo facto de não necessitarem de grandes alterações nos elementos construtivos que o compõem.

A segunda parte do estudo, método dinâmico, tem o objetivo de estudar as condições de conforto térmico do edifício. Seguiu os mesmos passos do anterior, sendo retirados os dados necessários a análise da variação do conforto pela introdução das medidas de melhoria, quando comparadas com os resultados obtidos para a solução construtiva inicial.

Este estudo do conforto interior foi efetuado, aplicando os valores obtidos por este método, utilizando o modelo adaptativo, contemplado da Norma ANSI/ASHRAE 55, na parte que diz respeito aos edifícios naturalmente condicionados.

Para o desenvolvimento do trabalho, consideraram-se três zonas de implementação do edifício (Norte, Centro, Sul). Para a zona Norte, foi escolhida a freguesia de Alfandega da Fé, Concelho de Bragança. Para a zona Centro, a freguesia de santo António dos Olivais, no Concelho e Distrito de Coimbra. Para a zona Sul, a freguesia e Concelho de Faro.

3.2 Edifício de referência

O edifício de referência é representativo do tipo de habitação construída entre 1961 e 1990, tendo sido definido no âmbito do estudo de rentabilidade económica que Portugal preparou no âmbito da diretiva nº 2010/31/EU, e cuja responsabilidade pertenceu à Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG). Pelo facto de não existir na época, regulamentação a exigir requisitos construtivos, a maioria destes edifícios foi construído em alvenaria e betão armado, com janelas de vidros simples sem corte térmico e com coberturas inclinadas em telha cerâmica assente sobre estrutura em betão e sem isolamento térmico.

As suas características geométricas e térmicas foram estabelecidas usando duas fontes. Uma é o sistema de certificação de energia de banco de dados (ECS), fornecido pela Agência Nacional de Energia (ADENE). Contém dados estatísticos de mais de 800.000 certificados. O outro é dado estatísticos fornecidos pelo Instituto Nacional de Estatística (INE). Com base nesses dados, concluiu-se que a tipologia típica consiste em uma casa de um andar com paredes de alvenaria com dois quartos. Os quartos seriam aquecidos por aquecedores elétricos, cuja eficiência nominal é de 1,00, enquanto o sistema de esquentador a gás seria para água quente sanitária, com uma eficiência média de 0,60.

O edifício é de tipologia T2 e composto por sala comum, cozinha, dois quartos, W.C., tem uma área útil de 100 m^2 , com pé direito de $2,70\text{ m}$.

Relativamente a solução construtiva e na envolvente vertical exterior, as paredes são em alvenaria de tijolo furado de 22 cm, rebocadas de ambos os lados, totalizando a espessura de 26 cm e pintadas com uma cor clara e os envidraçados são em caixilharia metálica de correr, com vidro simples, com dispositivos de oclusão noturna, portadas pelo interior, sem classificação e apresentando elevada permeabilidade ao ar.

Na envolvente interior, a cobertura é inclinada, revestida com telha cerâmica de cor clara, com laje aligeirada em blocos cerâmicos e com espessura de 15 cm, rebocada no teto com 2 cm de estuque e o pavimento interior é constituído por laje aligeirada de 15 cm de espessura, com 4 cm de betonilha e revestida em ladrilho.

O edifício é naturalmente ventilado e a taxa de renovação horária nominal atribuída para a estação de aquecimento, $R_{ph,i}$, é de $0,4h^{-1}$ e para a estação de arrefecimento de $0,6h^{-1}$.

O levantamento dimensional, assim como os valores dos coeficientes de transmissão térmica atribuídos, são apresentados na tabela 3.1. O fator solar considerado para os vidros foi de 0,85.

Tabela 3.1 - Levantamento dimensional do edifício de referência.

LEVANTAMENTO DIMENSIONAL				
Edifício de referência		Unidades		$U [W/m^2 \cdot ^\circ C]$
Configuração	Tipologia		T2	
	Nº de pisos		1	
	Nº de frentes		4	
Área Útil de Pavimento Média Atribuída		[m ²]	100	
Pé Direito Atribuído		[m]	2,7	
Cobertura	Área Atribuída	[m ²]	100	2,8
	Tipo Atribuído		C/Desvão	
	Coe. Redução de Perdas Atribuído		1	
Envolvente Vertical Exterior	Largura Média das Fachadas Atribuídas	[m]	10	1,76 (majorada em 35%, para consideração das PTP)
	Área Total de Fachadas Atribuído	[m ²]	108	
	Área de Envolvente Exterior Opaca atribuída	[m ²]	93	
	Área de Env. Exterior Opaca Sul	[m ²]	23,25	
	Área de Env. Exterior Opaca Norte	[m ²]	23,25	
	Área de Env. Exterior Opaca Este	[m ²]	23,25	
	Área de Env. Exterior Opaca Oeste	[m ²]	23,25	4,1
	Área de Envidraçado/Área de Pavimento	%	13,56	
	Área de Envidraçado a Sul	[m ²]	3,75	
	Área de Envidraçado a Norte	[m ²]	3,75	
Área de Envidraçado a Este	[m ²]	3,75		
Área de Envidraçado a Oeste	[m ²]	3,75		
Envolvente Interior	Cobertura interior	[m ²]	100	2,8
	Pavimento Interior	[m ²]	100	1,65

3.3 Método sazonal

A metodologia de cálculo referente ao método sazonal, seguida no presente trabalho, corresponde ao Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH) [20].

Este decreto, transpõe para a ordem jurídica nacional a Diretiva n.º 2010/31/UE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de maio de 2010, relativa ao desempenho energético dos edifícios. Este regulamento está associado ao Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE). A implementação deste sistema tem contribuído para o crescente destaque dos temas relacionados com a eficiência energética e utilização de energia renovável nos edifícios, e para uma maior proximidade entre as políticas de eficiência energética, os cidadãos e os agentes de mercado [21]. A certificação energética de edifícios permite aos utilizadores dos edifícios obter informação sobre o desempenho energético dos mesmos. Para além desse aspeto serve igualmente, em contexto de edifícios novos, de mecanismo de verificação do cumprimento dos requisitos térmicos a que esses edifícios estão sujeitos. Já no que respeita aos edifícios existentes, é um importante elemento de promoção, bem como de identificação de quais as medidas que podem conduzir a uma melhoria no desempenho energético e conforto e, conseqüentemente, permitem aos utilizadores dos edifícios reduzir a sua fatura energética [21].

Quanto ao REH, este estabelece os requisitos para os edifícios de habitação, novos ou sujeitos a intervenções, bem como os parâmetros e metodologias de caracterização do desempenho energético, em condições nominais, de todos os edifícios de habitação e dos seus sistemas técnicos, no sentido de promover a melhoria do respetivo comportamento térmico, a eficiência dos seus sistemas técnicos e a minimização do risco de ocorrência de condensações superficiais nos elementos da envolvente.

Nos edifícios abrangidos pelo regulamento a aplicação do REH deve ser verificada para a totalidade do edifício, caso este seja um edifício de habitação unifamiliar. No caso de edifícios multifamiliares, deve ser verificado para cada fração. Caso seja um edifício misto, este regulamento é apenas aplicável para as frações destinadas a habitação.

São excluídos do âmbito de aplicação do REH todos os edifícios não destinados a habitação. Os edifícios abrangidos por este regulamento devem ser avaliados de acordo com as características da envolvente opaca e envidraçada, ventilação e necessidades nominais anuais de energia para aquecimento e arrefecimento de forma a garantir melhorias no seu comportamento térmico, bom conforto ambiente e redução das necessidades energéticas. De forma a cumprir todos os objetivos, o REH estabelece algumas exigências, tais como, requisitos da qualidade térmica da envolvente, requisitos de ventilação dos espaços e valores de necessida-

des nominais de energia útil para aquecimento e arrefecimento do edifício, bem como limites para cumprir estas necessidades.

Quanto aos sistemas técnicos, este regulamento define requisitos ao nível da qualidade e da eficiência destes, regras de cálculo para o contributo de energias renováveis e valores para as necessidades nominais de energia primária, bem como limites a cumprir.

Relativamente ao comportamento térmico dos edifícios novos, o valor das necessidades anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento (N_{ic} e N_{vc}) não podem exceder o valor máximo de energia definido com base em parâmetro de referência (N_i e N_v). Os requisitos descritos anteriormente devem ser cumpridos sem serem ultrapassados os valores-limite de qualidade térmica da envolvente. O valor da taxa de renovação horaria nominal de ar para as estações de aquecimento e arrefecimento deve ser igual ou superior ao valor mínimo de renovações horárias.

Deve promover-se a utilização de sistemas passivos que melhorem o desempenho energético do edifício e considera-se o seu contributo nas necessidades de energia.

A instalação de sistemas solares térmicos para aquecimento de águas sanitárias é obrigatória caso exista exposição solar adequada. Contudo a energia fornecida pelo sistema solar térmico tem de ser igual ou superior à obtida por um sistema com valores padrão. Se este sistema for destinado também para aquecimento do ambiente interior, deve garantir-se que a contribuição do sistema de prioridade a preparação de águas quentes sanitárias.

Em alternativa ao sistema solar térmico, podem ser utilizados outros sistemas de aproveitamento de energias renováveis, desde que estes garantam a obtenção de energia equivalente a que se iria alcançar com o coletor solar.

O valor das necessidades nominais anuais de energia primaria (N_{ic}) não pode exceder o valor máximo das necessidades de energia primaria (N_i) [22].

Apresenta-se, de seguida, as equações principais para determinação dos valores de necessidade energética referidos.

3.3.1 Nic - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento são determinadas de acordo com o descrito no Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, que assenta nas disposições da norma europeia EN ISO 13790. O cálculo é efetuado, considerando cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referên-

cia e a ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de aquecimento [23].

O cálculo é efetuado pela seguinte expressão geral Equação (4):

$$N_{ic} = (Q_{tr,i} + Q_{ve,i} - Q_{gu,i})/A_p \text{ [kWh/m}^2 \cdot \text{ano]} \quad (1)$$

em que:

$Q_{tr,i}$ - Transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios, [kWh];

$Q_{ve,i}$ - Transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, [kWh];

$Q_{gu,i}$ - Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes, [kWh];

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício medida pelo interior [m^2].

A transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento através da envolvente dos edifícios ($Q_{tr,i}$), a transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento ($Q_{ve,i}$) e os Ganhos térmicos úteis na estação de aquecimento resultantes dos ganhos solares através dos vãos envidraçados, da iluminação, dos equipamentos e dos ocupantes ($Q_{gu,i}$), vão ser comparados, com o objetivo de se perceber qual deles tem maior peso no consumo energético.

O parâmetro $Q_{tr,i}$ é calculado pela Equação 5:

$$Q_{tr,i} = 0.024 \cdot GD \cdot H_{tr,i} \text{ [kWh]} \quad (2)$$

em que:

GD - Número de graus-dias de aquecimento especificados para cada região NUTS III, [$^{\circ}C \cdot dia$];

$H_{tr,i}$ - Coeficiente global de transferência de calor por transmissão na estação de aquecimento, [$W/^{\circ}C$];

O coeficiente global de transferência de calor por transmissão traduz a condutância através da toda a superfície dos elementos da envolvente, compreendendo paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas, para efeito de cálculo das necessidades na estação de aquecimento resulta da soma de quatro parcelas:

$$H_{tr,i} = H_{ext} + H_{enu} + H_{adj} + H_{ecs} \text{ [W/^{\circ}C]} \quad (3)$$

em que:

H_{ext} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com o exterior, [$W/^{\circ}C$];

H_{enu} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com espaços não úteis, [$W/^{\circ}C$];

H_{adj} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos da envolvente em contacto com edifícios adjacentes, [$W/^{\circ}C$];

H_{ecs} - Coeficiente de transferência de calor através de elementos em contacto com o solo, $[W/°C]$.

Perdas de calor por renovação do ar:

$$Q_{ve,i} = 0.024 \cdot GD \cdot H_{ve,i} \text{ [kWh]} \quad (4)$$

em que:

$$H_{ve,i} = 0,34 \cdot R_{ph,i} \cdot A_p \cdot P_d$$

sendo:

$H_{ve,i}$ - Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de aquecimento, $[W/°C]$;

$R_{ph,i}$ - Taxa nominal de renovação do ar interior na estação de aquecimento, $[h^{-1}]$;

A_p - Área interior útil de pavimento, medida pelo interior, $[m^2]$;

P_d - Pé direito médio da fração, $[m]$.

Ganhos térmicos uteis:

$$Q_{gu,i} = \eta_i \cdot Q_{g,i} \text{ [kWh]} \quad (5)$$

em que:

η_i - Fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de aquecimento;

$Q_{g,i}$ - Ganhos térmicos brutos na estação de aquecimento, $[kWh]$, dados por:

$$Q_{g,i} = Q_{int,i} + Q_{sol,i} \text{ [kWh]} \quad (6)$$

onde:

$-Q_{int,i}$ - Ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, na estação de aquecimento, $[kWh]$;

$Q_{sol,i}$ - Ganhos térmicos associados ao aproveitamento da radiação solar pelos vãos envidraçados, na estação de aquecimento, $[kWh]$;

Os ganhos térmicos incluem todas as fontes de calor presentes no espaço a aquecer, incluindo ganhos de calor produzido pelo metabolismo dos ocupantes, calor dissipado nos equipamentos e dispositivos de iluminação. Na estação de aquecimento são calculados pela seguinte equação:

$$Q_{int,i} = 0.72 \cdot q_{int} \cdot M \cdot A_p \text{ [kWh]} \quad (7)$$

onde:

$Q_{int,i}$ - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície, iguais a 4 W/m^2 ;

M - Duração média da estação convencional de aquecimento, [mês];

A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior [m^2].

Para o cálculo dos ganhos solares brutos, através dos vãos envidraçados na estação de aquecimento, utiliza-se a seguinte equação:

$$Q_{sol,i} = G_{Sul} \cdot \sum_j \left[X_j \cdot \sum_n F_{s,i_{nj}} \cdot A_{s,i_{nj}} \right] \cdot M \quad [kWh] \quad (8)$$

onde:

G_{Sul} é o valor médio mensal de radiação solar média incidente na superfície vertical orientada a Sul, expresso em $kWh/(m^2 \cdot mês)$;

X_j é o fator de orientação para as diferentes exposições de acordo com a tabela 01 do Despacho n.º 15793- I/2013;

$F_{s,i_{nj}}$ é o fator de obstrução do vão envidraçado n com orientação j , caso não haja obstruções este parâmetro é igual a 1;

$A_{s,i_{nj}}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície n com orientação j , em m^2 .

A área efetiva coletora é calculada pela seguinte equação:

$$A_{s,i_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_i \quad [m^2] \quad (9)$$

onde:

A_w é a área total do vão envidraçado, em m^2 ; F_g é a fração envidraçada do vão envidraçado; g_i é o fator solar.

3.3.2 Nvc – Necessidades Nominais anuais de energia útil para arrefecimento

As necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento são determinadas de acordo com o descrito no Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, que assenta nas disposições da norma europeia EN ISO 13790. O cálculo é efectuado pelo método sazonal, considerando

Cada edifício e/ou fração autónoma do edifício como uma única zona, com as mesmas condições interiores de referência e a ocorrência dos fenómenos envolvidos em regime permanente, integrados ao longo da estação de arrefecimento.

O cálculo é efectuado pela seguinte expressão geral:

$$N_{vc} = (1 - n_v) Q_{g,v} / A_p \quad [kWh/m^2 \cdot ano] \quad (10)$$

onde:

η_v é o fator de utilização dos ganhos térmicos na estação de arrefecimento; $Q_{g,v}$ são os ganhos térmicos brutos, em kWh ; A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, em m^2 ;

$Q_{g,v}$ são ganhos térmicos brutos na estação de arrefecimento, $[kWh]$;

A_p é a área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, $[m^2]$.

Transferência de calor por transmissão

$$Q_{tr,v} = H_{tr,v} \cdot (\Theta_{v,ref} - \Theta_{v,ext}) L_v / 1000 [kWh] \quad (11)$$

onde:

$H_{tr,v}$ é o coeficiente global de transferência de calor por transmissão, em $[kWh]$, dad ; $\Theta_{v,ref}$ é a temperatura de referência na estação de arrefecimento, em $^{\circ}C$; $\Theta_{v,ext}$ é a temperatura exterior média durante a estação de arrefecimento, em $^{\circ}C$; L_v é a duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Transferência de calor por renovação do ar

$$Q_{ve,v} = H_{ve,v} \cdot (\Theta_{v,ref} - \Theta_{v,ext}) L_v / 1000 [kWh] \quad (12)$$

onde

$$H_{ve,v} = 0.34 \cdot R_{ph,v} \cdot A_p \cdot P_d [kWh] \quad (13)$$

em que:

$H_{ve,v}$ - Coeficiente global de transferência de calor por ventilação na estação de arrefecimento, $[W/^{\circ}C]$.

Ganhos térmicos brutos a considerar no cálculo das necessidades nominais de arrefecimento do edifício

$$Q_{g,v} = Q_{int,v} + Q_{sol,v} [kWh] \quad (14)$$

onde:

$Q_{int,v}$ são os ganhos térmicos associados a fontes internas de calor, em kWh ; $Q_{sol,v}$ são os ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior, em kWh .

Ganhos térmicos internos

$$Q_{int,v} = q_{int} \cdot A_p \cdot L_v / 1000 [kWh] \quad (15)$$

em que:

q_{int} - Ganhos térmicos internos médios por unidade de superfície igual a 4 W/m^2 ; A_p - Área interior útil de pavimento do edifício, medida pelo interior, [m^2]; L_v - Duração da estação de arrefecimento igual a 2928 horas.

Ganhos térmicos associados à radiação solar incidente na envolvente exterior

$$Q_{sol,v} = \sum_j \left[G_{sol,j} \sum_n F_{s,v_{nj}} \cdot A_{s,v_{nj}} \right] [kWh] \quad (16)$$

em que:

$G_{sol,j}$ é o valor médio de radiação solar média incidente na superfície vertical com orientação j , expresso em kWh/m^2 ; $F_{s,v_{nj}}$ é o fator de obstrução da superfície n com orientação j , caso não haja obstruções este parâmetro é igual a 1; $A_{s,v_{nj}}$ é a área efetiva coletora de radiação solar da superfície n com orientação j , em m^2 ; j - Índice correspondente a cada uma das orientações por octante e à posição horizontal; n - Índice correspondente a cada um dos elementos opacos e envidraçados com a orientação j .

Área efetiva coletora de radiação solar de cada vão envidraçado n com orientação j
Equação (20)

$$A_{s,v_{nj}} = A_w \cdot F_g \cdot g_v [m^2] \quad (17)$$

em que:

A_w - Área total do vão envidraçado, incluindo o vidro e caixilho, [m^2]; F_g - Fração envidraçada do vão envidraçado, obtida de acordo com o despacho que procede à publicação dos parâmetros térmicos; g_v - Fator solar do vão envidraçado na estação de arrefecimento.

3.4 Método dinâmico

Para o cálculo dinâmico foi utilizado o software *DesignBuilder*, que consiste no primeiro interface exaustivo para o programa de simulação térmica dinâmica *EnergyPlus*, motor este utilizada em larga escala por projetistas e comunidade científica. Permite uma rápida e fácil introdução de geometrias e oferece um conjunto de ferramentas que tornam mais fácil a modelação de edifícios.

O programa *EnergyPlus*, internacionalmente conhecido, possibilita simulações de diversas tipologias arquitetónicas, sistemas construtivos e condicionamento de ar. Trata-se de um software de simulação de carga térmica e análise energética, desenvolvido pelo Departamento de Energia dos Estados Unidos, a partir da fusão de dois outros softwares, o *BLAST* e o *DOE-*

2, sendo da iniciativa do Departamento de Energia Norte Americano, para estimular o desenvolvimento de um código computacional que fosse capaz de calcular não só a carga térmica dos edifícios, mas também que pudesse prever o consumo de energia dos sistemas de climatização [24].

3.5 Modelo de conforto adaptativo - ANSI/ASHRAE 55

A avaliação do conforto térmico, pode ser efetuada por abordagem analítica ou por abordagem adaptativa. A primeira, mais conhecida como estática, representa uma linha analítica, ou racional, da avaliação das sensações térmicas humanas e considera o homem como um simples recetor passivo do ambiente térmico [14]. Esta abordagem traduz-se pela obtenção de resultados experimentais em câmaras climáticas, onde são ajustadas as variáveis ambientais, como temperatura do ar, velocidade do ar, temperatura radiante e a humidade do ar. Procedese de seguida ao registo das sensações térmicas experimentadas pelos ocupantes quando sujeitos, no seu interior, a diferentes combinações das ditas variáveis. A análise da equação de balanço térmico do organismo estabelece-se em regime estacionário [10].

A segunda abordagem, denominada de adaptativa, considera o homem como um agente ativo, que interage com o ambiente em resposta às suas sensações e preferências térmicas [14]. É caracterizada pela obtenção de resultados em pesquisas de campo onde as variáveis ambientais são medidas diretamente em ambientes reais onde as pessoas desenvolvem as suas atividades, procedendo-se à recolha das suas sensações térmicas. A análise da equação de balanço térmico do organismo estabelece-se em regime dinâmico, considerando que os ocupantes podem interagir física e psicologicamente com o ambiente térmico que o rodeia [10].

Para o presente estudo, tratando-se de um edifício naturalmente ventilado, optou-se pela abordagem adaptativa definida pela norma ANSI/ASHRAE 55. O modelo adaptativo, é representado graficamente (Figura 3.1) e é restrito à definição de ambientes térmicos aceitáveis, apenas para espaços condicionados naturalmente, controlados pelos ocupantes e que satisfaçam todos os seguintes critérios [10]:

- A temperatura média mensal exterior, T_m , é variável entre 10 °C e 33.5 °C;
- Os edifícios têm ventilação natural sendo o ambiente térmico dos compartimentos regulado pelos seus ocupantes, pela abertura e fecho dos vãos envidraçados, de fácil acesso;
- Os edifícios podem dispor de sistema de aquecimento. O modelo de conforto adaptativo não é contudo válido quando o sistema estiver em funcionamento;
- Os edifícios não podem ter qualquer sistema mecânico de refrigeração. Podem, no entanto, ter instalados sistemas mecânicos de ventilação, como um ventilador;

- Os ocupantes devem ter nível de atividade entre 1,0 e 1,3 met e ser livres para adaptar o seu vestuário às condições ambientais interiores e exteriores.

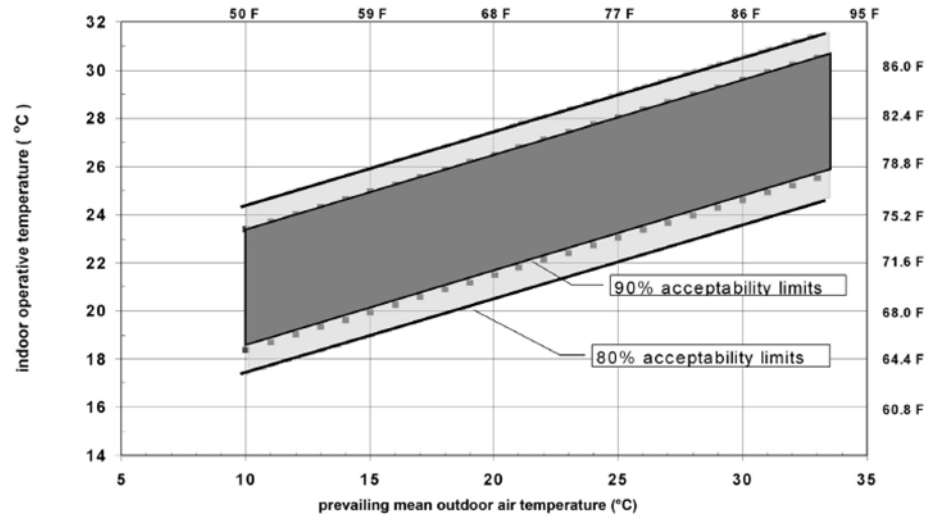


Figura 3.1 - Faixas de temperatura operativa (to) aceitáveis para espaços naturalmente condicionados.

Para o estudo das condições de conforto térmico do edifício de referência, foram utilizados dois processos:

- A modelação do edifício, através do software DesignBuilder, com a definição das características dos elementos construtivos, antes e depois da introdução das medidas de melhoria aplicadas à sua envolvente. Posteriormente, foi efetuado o cálculo para cada uma das soluções construtivas propostas, sem sistemas de climatização, com o intuito de retirar os dados referentes à temperatura interior, temperatura radiante, temperatura operativa, temperatura de bolbo seco e humidade relativa. Seguiu-se o cálculo, de cada uma das soluções construtivas, com a introdução de sistemas técnicos por defeito, para análise da variação do necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento.
- Depois de exportados os valores de cálculo, obtidos através do processo anterior, para uma folha de cálculo Excel, utilizou-se as orientações da norma ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 para edifícios naturalmente ventilados, com o objetivo de determinar o número de horas de conforto e desconforto térmico e determinar a relação linear para a classe de conforto correspondente a 80% de satisfação dos ocupantes [10].

A representação gráfica da relação linear para a classe de conforto correspondente a 80% de satisfação dos ocupantes, foi obtida de a cordo com as seguintes fórmulas Equações (18; 19) [10]:

$$\text{Limite superior de aceitabilidade de 80\%} = 0,31 \cdot t_{m,ext} + 21,3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (18)$$

$$\text{Limite inferior de aceitabilidade de 80\%} = 0,31 \cdot t_{m,ext} + 14,3 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (19)$$

em que:

$t_{m,ext}$ é a temperatura média exterior em $^\circ\text{C}$.

No presente trabalho foi efetuado o cálculo para todas as horas do ano, tendo sido usada a temperatura média horária disponível nos dados climáticos.

Dos resultados resultantes da aplicação das duas formulas anteriores, aplicadas às 8761 horas anuais e para cada uma das zonas de implementação do edifício, foram selecionados os valores para duas semanas, consideradas no estudo como representativas da estação de aquecimento e arrefecimento. Foram selecionadas as semanas compreendidas entre os dias 4 a 10 de Janeiro e dias 2 a 8 de Agosto, respetivamente e representados graficamente a definir o limite superior e inferior da classe de conforto de 80%. Seguidamente, selecionaram-se os valores da temperatura operativa, provenientes do cálculo dinâmico e referentes a estas duas semanas e representados nesses mesmos gráficos, com o intuito de perceber e comparar, as condições de conforto de cada uma das medidas de melhoria implementadas.

4 BALANÇO ENERGÉTICO – CÁLCULO COM O MÉTODO SAZONAL

4.1 Considerações gerais

Com as crescentes exigências de conforto térmico, que se têm vindo a verificar nos últimos anos, fruto de um maior desenvolvimento económico e social, torna-se cada vez mais importante o estudo pormenorizado das perdas e ganhos térmicos que ocorrem através da envolvente dos edifícios. A equação de equilíbrio entre os ganhos e as perdas energéticas, designa-se por balanço energético. Este balanço, efetuado em regime de temperatura do ar interior constante (regime permanente), permite obter as necessidades de aquecimento ou arrefecimento dos espaços de forma a garantir as exigências de conforto térmico dos seus ocupantes.

Para a realização do balanço energético de um edifício, consideram-se os ganhos de calor relativos à energia solar e à ocupação interna, as perdas e os ganhos por infiltração e por condução através da envolvente, a energia fornecida para aquecimento/arrefecimento, entre outros fatores como a inércia térmica da construção [25].

4.2 Descrição das medidas de Melhoria

As medidas de melhoria implementadas, visam promover a correção térmica da envolvente do edifício e são as seguintes:

4.2.1 Medida 1 (MM1) - Paredes exteriores

Aplicação de ETICS (*External Thermal Insulation Composite System*) em EPS de 60mm, aplicado sobre o isolante térmico, com condutibilidade térmica de $0,040 \text{ W/(m}\cdot\text{°C)}$, De acordo com o ITE 50, esta solução apresenta um coeficiente de transmissão térmica de $U = 0,45 \text{ W/(m}^2\cdot\text{°C)}$ [26].

4.2.2 Medida 2 (MM2) - Cobertura

Intervenção na cobertura, com aplicação de XPS de 80 *mm*, aplicado na esteira horizontal, com condutibilidade térmica de 0,037 $W/(m \cdot ^\circ C)$, com os coeficientes de transmissão térmica de 0,40 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, no fluxo ascendente e de 0,37 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, para o fluxo descendente [26].

4.2.3 Medida 3 (MM3) - Vãos envidraçados exteriores

Substituição dos vãos envidraçados, por outros mais eficientes, constituídos por janelas fixas, em caixilharia de alumínio com corte térmico, vidro duplo com caixa de ar e aplicação de portadas exteriores

O valor por defeito do coeficiente de transmissão térmica médio dia-noite desta solução, é de $U_{wdn}=2,80 W/(m^2 \cdot ^\circ C)$.

4.2.4 Medida 4 (MM4) – Pavimento interior

Aplicação de isolamento térmico em XPS de 60 *mm*, pelo interior, no pavimento interior sobre ENU (vazio sanitário). De acordo com ITE 50 [26], o valor por defeito do coeficiente de transmissão térmica para o fluxo descendente desta solução é de 0,48 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$. No entanto, por se tratar de um pavimento de separação entre um espaço útil interior (aquecido) e um local não aquecido, o coeficiente de transmissão térmica passa a ter o valor de 0,45 $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$, calculado através da seguinte formula:

$$U_{lna} = \frac{1}{\frac{1}{U} + 0.13} [W/(m^2 \cdot ^\circ C)] \quad (20)$$

4.3 Balanço energético

De acordo com os cálculos efetuados, o balanço energético registou os seguintes valores:

4.3.1 Estação de aquecimento

Depois de efetuados os cálculos, obtiveram-se os valores constantes da tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, para as 3 zonas de implantação do edifício de referência.

Solução Construtiva	Estação de Aquecimento							
	NORTE							
	N_{ic} (kWh/m ² .ano)	$Q_{tr,i}$ (kWh)	$H_{tr,i}$ (W/°C)	$Q_{ve,i}$ (kWh)	$H_{ve,i}$ (W/°C)	$Q_{gu,i}$ (kWh)	$Q_{g,i}$ (kWh)	Q_{soLi} (kWh)
Solução Inicial - SI	291,49	31 778,08	657,12	1 775,78	36,72	4404,51	4424,33	2321,93
Medida de Melhoria 1 - MM1	232,92	25 908,87	535,75	1 775,78	36,72	4392,69	4424,33	2321,93
Medida de Melhoria 2 - MM2	198,88	22 492,96	465,12	1 775,78	36,72	4380,93	4424,33	2321,93
Medida de Melhoria 3 - MM3	284,77	30 835,06	637,62	1 775,78	36,72	4134,11	4151,16	2048,76
Medida de Melhoria 4 - MM4	245,16	27 135,52	561,12	1 775,78	36,72	4395,84	4424,33	2321,93
Combinação das 4 Melhorias - CM	88,15	11 038,17	228,25	1 775,78	36,72	3998,76	4151,16	2048,76
	CENTRO							
Solução Inicial - SI	176,98	20 565,07	657,12	1 149,19	36,72	4016,47	4058,72	2244,32
Medida de Melhoria 1 - MM1	139,24	16 766,83	535,75	1 149,19	36,72	3992,30	4058,72	2244,32
Medida de Melhoria 2 - MM2	117,37	14 556,24	465,12	1 149,19	36,72	3968,78	4058,72	2244,32
Medida de Melhoria 3 - MM3	173,45	19 954,80	637,62	1 149,19	36,72	3758,67	3794,68	1980,28
Medida de Melhoria 4 - MM4	147,11	17 560,66	561,12	1 149,19	36,72	3998,69	4058,72	2244,32
Combinação das 4 Melhorias - CM	47,85	7 143,31	228,25	1 149,19	36,72	3507,86	3794,68	1980,28
	SUL							
Solução Inicial - SI	95,15	12 045,71	657,12	673,12	36,72	3203,55	3275,57	1893,17
Medida de Melhoria 1 - MM1	73,29	9 820,94	535,75	673,12	36,72	3164,73	3275,57	1893,17
Medida de Melhoria 2 - MM2	60,71	8 526,12	465,12	673,12	36,72	3128,07	3275,57	1893,17
Medida de Melhoria 3 - MM3	93,70	11 688,25	637,62	673,12	36,72	2991,86	3052,84	1670,44
Medida de Melhoria 4 - MM4	77,84	10 285,91	561,12	673,12	36,72	3174,86	3275,57	1893,17
Combinação das 4 Melhorias - CM	22,22	4 184,10	228,25	673,12	36,72	2635,34	3052,84	1670,44

O valores de referência das necessidades nominais de energia para aquecimento (N_i), de acordo com os cálculos, são de 74,34 kWh/m².ano para a zona Norte, de 46,45 kWh/m².ano na zona Centro e de 22,22 kWh/m².ano na zona Sul.

É notório que cada uma das melhorias, de forma isolada, tem impacto no consumo de energia, neste caso, nas necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento (N_{ic}), em todas as zonas consideradas para a implementação do edifício de referência (Tabela 4.1).

Se compararmos o Norte com o Sul, verifica-se um decréscimo para ¼ do valor do N_{ic} .

Pela análise dos gráficos a, b e c, (Figura 4.1), relativos às 3 zonas de implementação, conclui-se que a medida de melhoria que mais impacto tem na redução das necessidades de energia para aquecimento é a intervenção na cobertura, seguindo-se a intervenção nas paredes exteriores, a intervenção no pavimento interior, sendo que a que apresenta a menor redução é a intervenção ao nível dos envidraçados exteriores.

Pela análise dos mesmos gráficos, se os valores de cálculo obtidos para cada uma das melhorias forem comparados com o valor de referência para as necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento, é perceptível o que foi referenciado anteriormente. É a interven-

ção na cobertura que mais favorece a melhoria do consumo, sendo que a combinação entre as melhorias adotadas, aproxima-se do valor de cálculo ao valor de referência (Figura 4.1), ou seja, do valor limite das necessidades de aquecimento.

Relativamente aos parâmetros que compõem a fórmula geral de cálculo das Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Aquecimento (gráficos d, e, f da Figura 4.1), é o que representa a parcela referente à transferência de calor por transmissão através da envolvente ($Q_{tr,i}$), que tem maior peso no valor final de cálculo gráfico (b). Da sua fórmula de cálculo, percebe-se que os valores que toma, são função da variação do coeficiente global de transferência de calor por transmissão ($H_{tr,i}$), que traduz a condutância através da toda a superfície dos elementos da envolvente, compreendendo paredes, envidraçados, coberturas, pavimentos e pontes térmicas planas (Figura 4.1).

Em termos percentuais, o comportamento do edifício tem características equivalentes nas 3 zonas. Em termos médios, a medida de melhoria MM1 incrementa uma redução de consumo de cerca 21%, a medida de melhoria numero MM2 uma redução de cerca de 34%, a medida numero MM3 apenas uma redução que ronda os 2% e a medida numero MM4 uma redução de cerca de 17%, sendo que a combinação entre as 4 melhorias (CM) uma melhoria significativa de cerca de 73% de redução no consumo (Figura 4.1 (g)).

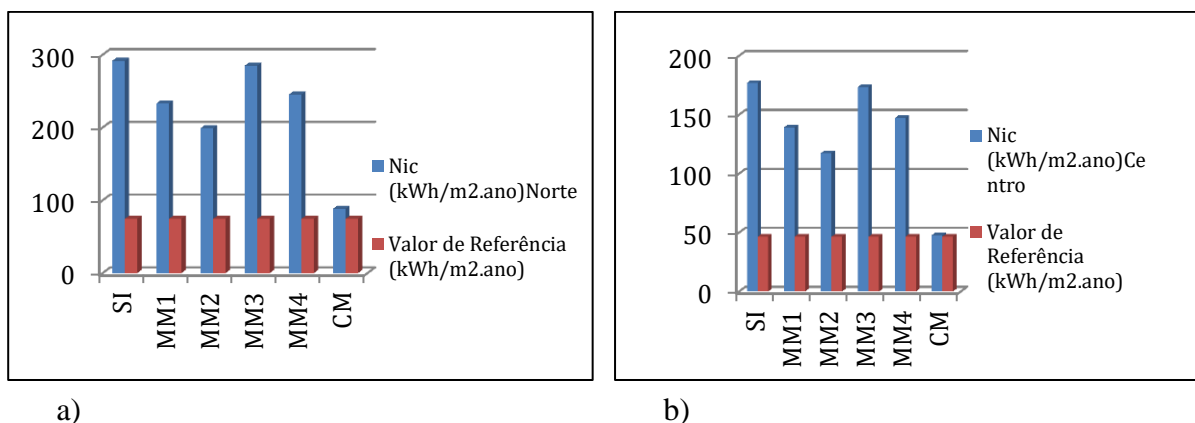


Figura 4.1 - Apresentação gráfica do balanço energético da estação de aquecimento: a) Necessidades energéticas na região Norte; b) Necessidades energéticas na região Centro.

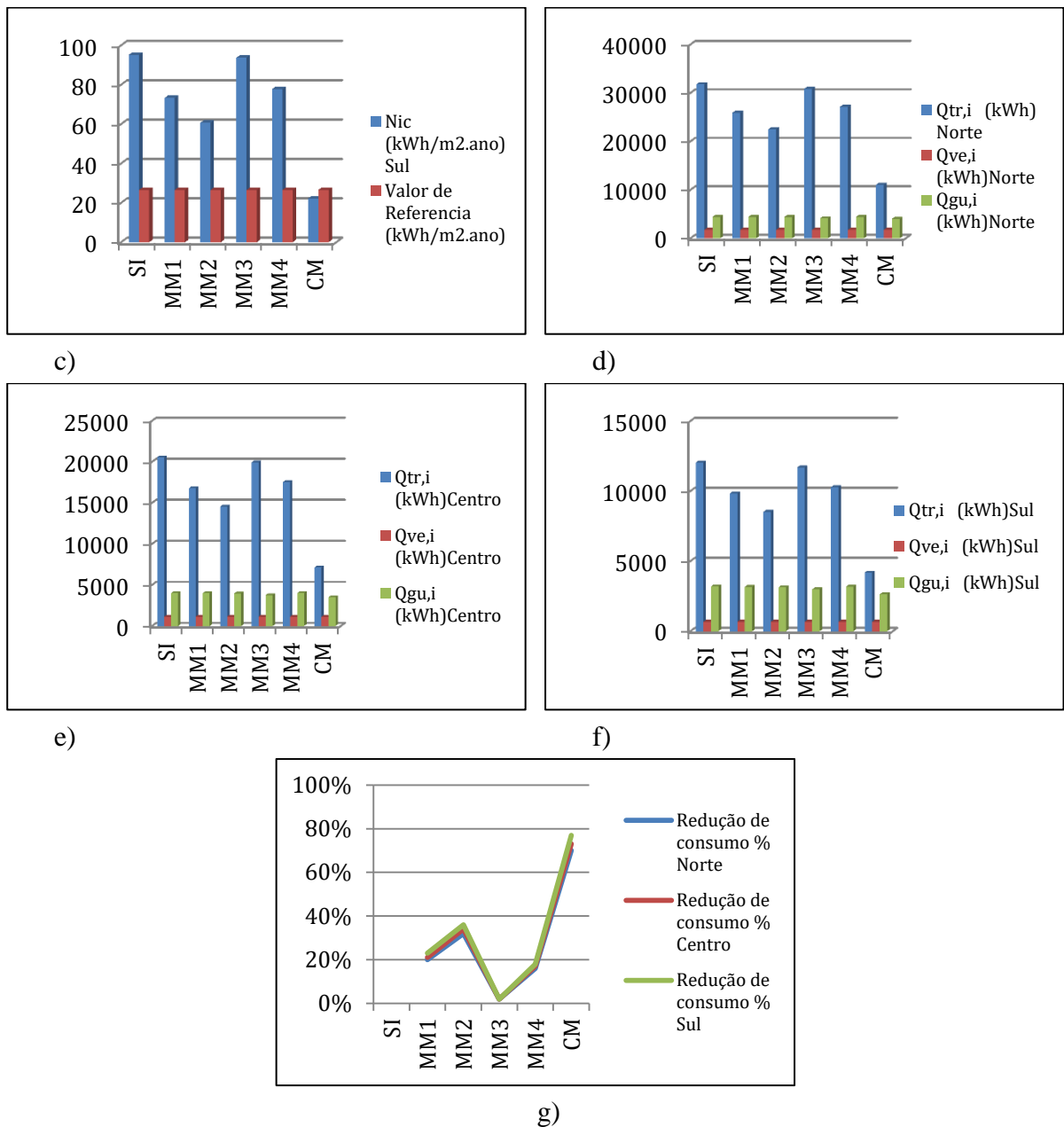


Figura 4.1 (Cont.)- Apresentação gráfica do balanço energético da estação de aquecimento; c) Necessidades energéticas na região Sul; d) Coeficientes de transferência de calor na região Norte; e) Coeficientes de transferência de calor na região Centro; f) Coeficientes de transferência de calor na região Sul; g) Redução de consumo por medida de melhoria.

4.3.2 Estação de arrefecimento

Dos cálculos efetuados, apresentam-se na tabela 4.2 os valores para as Necessidades Nominais Anuais de Energia Útil para Arrefecimento (N_{vc}) e os parâmetros que compõem o cálculo do fator de utilização de ganhos térmicos (ηv): ganhos e perdas de calor resultantes do balanço energético feito nos 4 meses da estação de arrefecimento.

Tabela 4.2 - Necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, para as 3 zonas de implantação do edifício de referência.

Solução Construtiva	Estação de Arrefecimento					
	NORTE					
	N_{vc} (kWh/m ² .ano)	$Q_{g,v}$ (kWh)	$Q_{sol,v}$ (kWh)	$Q_{tr,v}$ (kWh)	$Q_{ve,v}$ (kWh)	$H_{ve,v}$ (kWh)
Solução Inicial - SI	12,68	6000,15	4828,95	6 734,11	564,46	55,08
Medida de Melhoria 1 - MM1	11,83	5220,98	4049,78	5 490,37	564,46	55,08
Medida de Melhoria 2 - MM2	9,10	4351,89	3180,69	4 766,50	564,46	55,08
Medida de Melhoria 3 - MM3	10,08	5390,34	4219,14	6 534,28	564,46	55,08
Medida de Melhoria 4 - MM4	15,58	6000,15	4828,95	5 750,31	564,46	55,08
Combinação das 4 Melhorias - CM	8,45	2962,92	1791,72	2 339,11	564,46	55,08
	CENTRO					
Solução Inicial - SI	10,53	6143,74	4972,54	7 888,53	661,22	55,08
Medida de Melhoria 1 - MM1	9,90	5350,01	4178,81	6 431,57	661,22	55,08
Medida de Melhoria 2 - MM2	7,40	4422,46	3251,26	5 583,61	661,22	55,08
Medida de Melhoria 3 - MM3	8,30	5522,52	4351,32	7 654,44	661,22	55,08
Medida de Melhoria 4 - MM4	13,18	6143,74	4972,54	6 736,07	661,22	55,08
Combinação das 4 Melhorias - CM	7,07	3007,51	1836,31	2 740,10	661,22	55,08
	SUL					
Solução Inicial - SI	29,95	6433,69	5262,49	3 655,66	306,42	55,08
Medida de Melhoria 1 - MM1	26,10	5483,18	4311,98	2 980,48	306,42	55,08
Medida de Melhoria 2 - MM2	21,27	4628,96	3457,76	2 587,53	306,42	55,08
Medida de Melhoria 3 - MM3	24,09	5657,78	4486,58	3 547,18	306,42	55,08
Medida de Melhoria 4 - MM4	32,24	6289,05	5117,85	3 121,59	306,42	55,08
Combinação das 4 Melhorias - CM	16,22	3047,18	1875,98	1 269,80	306,42	55,08

Relativamente ao valor inicial de cálculo, referente à solução construtiva original, as melhorias introduzidas, de forma isolada, introduzem uma redução no consumo energético, com exceção da intervenção no pavimento interior (MM4), que incrementa o consumo. Este facto deve-se à interrupção do fluxo vertical descendente de calor pela aplicação do isolamento térmico neste elemento construtivo, que, antes da intervenção, promovia as perdas de calor para o desvão sanitário do edifício.

Relativamente às necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento (N_{vc}), a zona centro é a menos exigente, neste caso particular. Embora pertencendo à zona climática V2, a mesma que a zona Norte (Bragança) o facto desta zona apresentar um consumo mais reduzido, será provavelmente pela distância à costa, visto que o edifício está implantado em Coimbra. Como esperado, a zona sul apresenta uma maior necessidade de energia para

arrefecimento, já que o edifício se encontra implantado em Faro, que pertence à zona climática de verão V3 (Figura 4.2).

Pela análise dos gráficos a, b e c, (Figura 4.2) conclui-se que a medida de melhoria que mais impacto tem na redução das necessidades de energia para arrefecimento, continua a ser a intervenção na cobertura, seguindo-se a intervenção nos envidraçados exteriores, a intervenção nas paredes exteriores, sendo que a intervenção no pavimento, só por si, não apresenta qualquer melhoria, incrementando mesmo um aumento de consumo, como referido anteriormente.

Pela análise dos mesmos gráficos, se os valores de cálculo obtidos para cada uma das melhorias forem comparados com o valor de referência para as necessidades nominais anuais de energia útil para arrefecimento, é a intervenção na cobertura que mais favorece a melhoria do consumo, seguida da intervenção nos envidraçados exteriores. Como esperado, a combinação entre as melhorias adotadas, reduz o consumo de energia para valores abaixo do valor de referência (Figura 4.2).

Relativamente aos parâmetros que intervêm no cálculo da quantidade de energia para arrefecimento e que mais peso introduzem para o valor final de N_{vc} (gráficos d, e e f da Figura 4.2), são os ganhos térmicos brutos ($Q_{g,v}$ (kWh)) e a transferência de calor por transmissão que ocorre através da envolvente ($Q_{tr,v}$ (kWh)), esta com mais peso que a primeira. A outra parcela, referente à transferência de calor correspondente à renovação de ar interior, para esta estação ($Q_{ve,v}$ (kWh)), tem um impacto menor, visto o edifício ser naturalmente ventilado

Em termos percentuais e de acordo com o gráfico g (Figura 4.2), o comportamento do edifício continua a ter características equivalentes nas 3 zonas. Em termos médios, a medida de melhoria MM1 incrementa uma redução de consumo de cerca 9%, a medida de melhoria número MM2 uma redução de cerca de 29%, a medida número MM3 uma redução que ronda os 20% e a medida número MM4 um aumento de cerca de 10%, sendo que a combinação entre as 4 melhorias (CM) uma melhoria significativa de cerca de 37% de redução no consumo nas zonas norte e centro, sendo que o impacto é maior na sul, situando-se num valor que ronda os 45%.

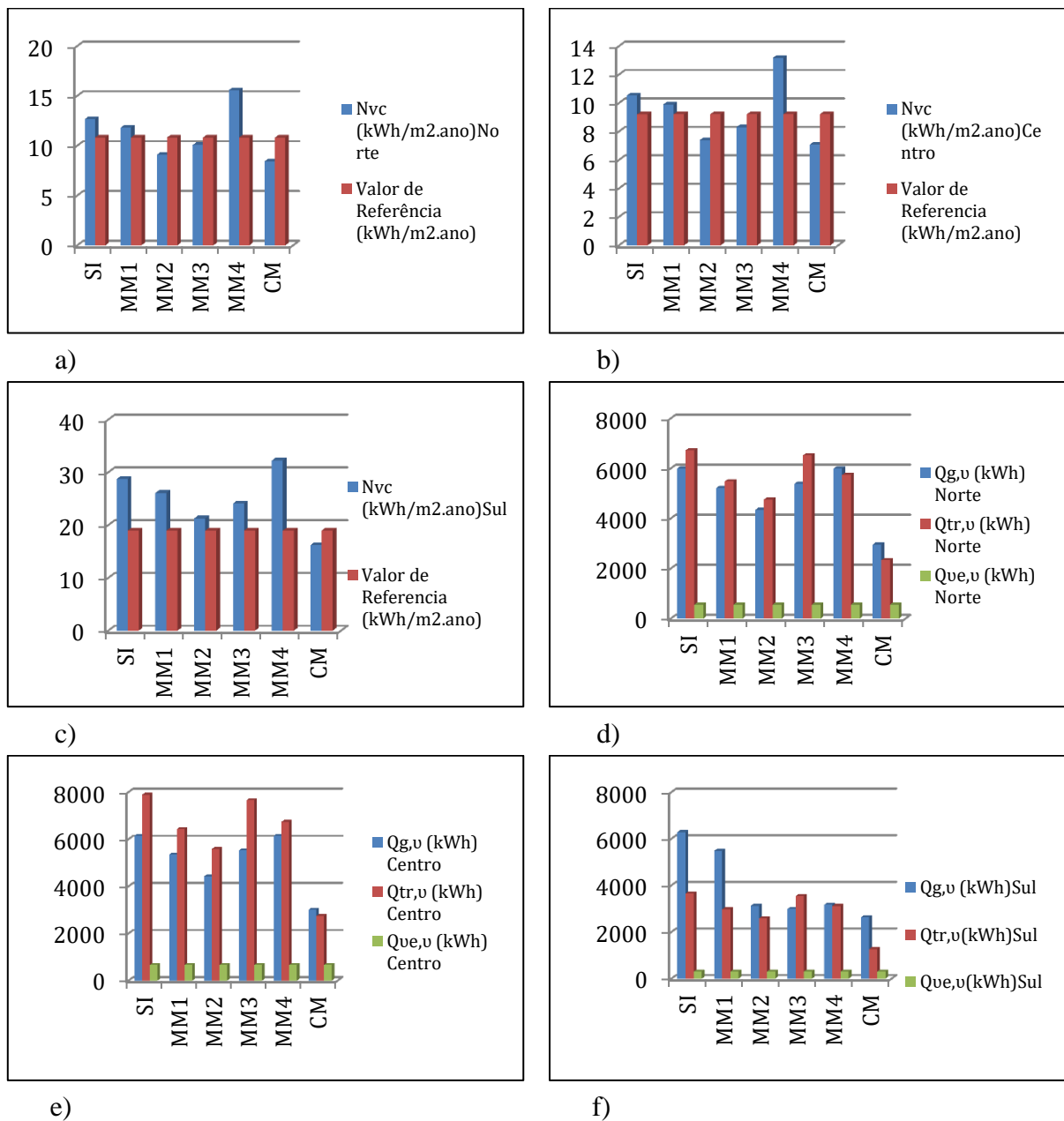


Figura 4.2 - Apresentação gráfica do balanço energético da estação de arrefecimento: a) Necessidades energéticas na região Norte; b) Necessidades energéticas na região Centro; c) Necessidades energéticas na região Sul; d) Coeficientes de transferência de calor na região Norte; e) Coeficientes de transferência de calor na região Centro; f) Coeficientes de transferência de calor na região Sul.

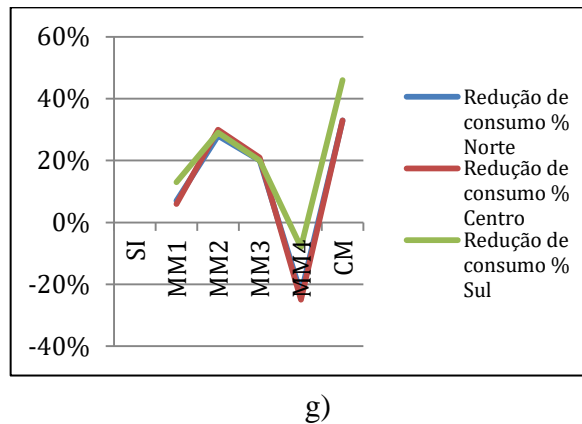


Figura 4.2 (Cont.) - Apresentação gráfica do balanço energético da estação de arrefecimento:
g) Redução de consumo por medida de melhoria.

4.3.3 Necessidades Nominais de Energia Primária Ntc ($kWh_{EP}/m^2.ano$)

Relativamente às necessidades nominais de energia primária N_{tc} ($kWh_{EP}/m^2.ano$), constata-se que, em todas as melhorias introduzidas, há uma redução de consumo e, mais uma vez, é a intervenção na cobertura que regista um maior impacto. Continua a ser observado que, numa requalificação energética de um edifício, o melhor resultado aparece com a combinação de melhorias, neste caso particular, na intervenção em toda a envolvente do edifício (Figura 4.3).

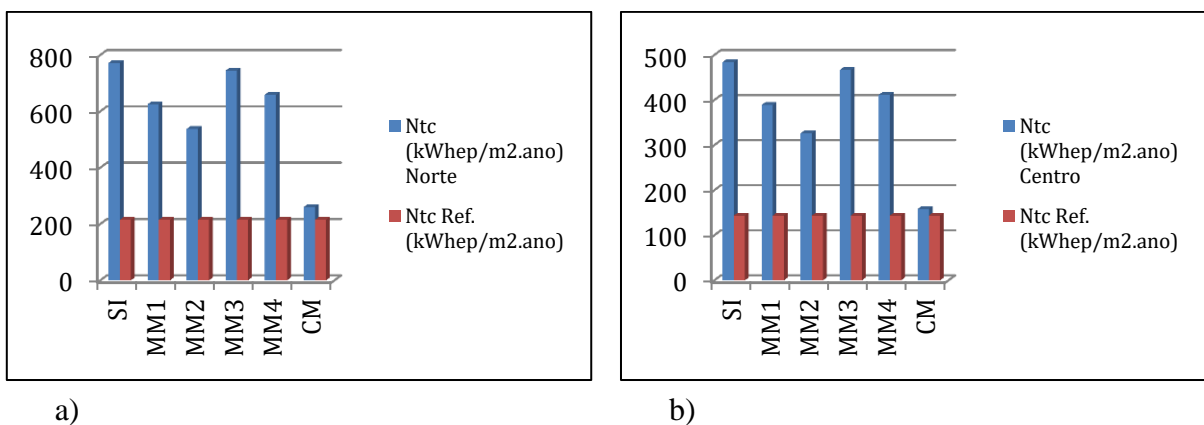
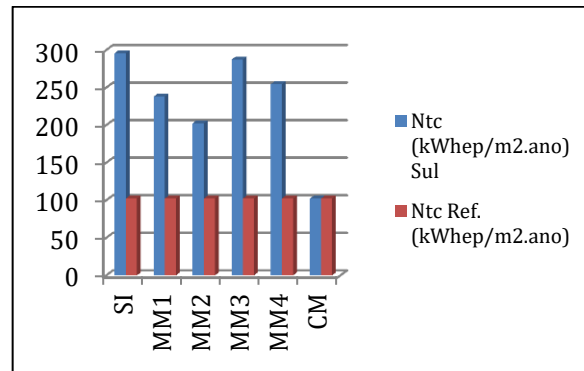


Figura 4.3 - Necessidades nominais de energia primária para as 3 zonas de implantação do edifício de referência; a) N_{tc} Norte; b) N_{tc} Centro.



c)

Figura 4.3 (Cont.)- Necessidades nominais de energia primária para as 3 zonas de implantação do edifício de referência; c) N_{tc} Sul.

4.3.4 Águas Quentes Sanitárias (AQS)

A produção de Águas Quentes Sanitárias (AQS), apresenta o mesmo valor de consumo energético, porque só depende da estimativa de litros, não sendo afetado pelo local onde o edifício está implantado.

4.4 Classe Energética

A classe energética do edifício, é calculada de acordo com o estabelecido pelo Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013, de acordo com a seguinte expressão:

$$R_{NT} = \frac{N_{TC}}{N_T} \quad (21)$$

onde N_{tc} corresponde ao valor das necessidades nominais anuais de energia primária e N_t corresponde ao valor limite regulamentar para as necessidades nominais anuais de energia primária, ambos calculados de acordo com o disposto no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação [27].

De acordo com o determinado pelo referido despacho, A escala de classificação energética dos edifícios ou frações autónomas destes edifícios será composta por 8 classes, correspon-

dendo a cada classe um intervalo de valores de R_{NT} , de acordo com o apresentado na Tabela 4.3, arredondados a duas casas decimais.

Tabela 4.3 – Intervalos de classe energética.

Classe Energética	Valor de R_{NT}
A +	$R_{NT} \leq 0,25$
A	$0,26 \leq R_{NT} \leq 0,50$
B	$0,51 \leq R_{NT} \leq 0,75$
B -	$0,76 \leq R_{NT} \leq 1,00$
C	$1,01 \leq R_{NT} \leq 1,50$
D	$1,51 \leq R_{NT} \leq 2,00$
E	$2,01 \leq R_{NT} \leq 2,5$
F	$R_{NT} \geq 2,51$

A classe energética do edifício, apesar das melhorias de consumo apresentadas pela introdução de cada uma das melhorias, mantém-se inalterada em “F”, com exceção da intervenção na cobertura, que altera a classe para “E” e altera para “C” com a intervenção na totalidade da envolvente do edifício, isto no que diz respeito às zonas norte e centro. Relativamente à zona sul, o impacto das intervenções é muito significativa, sendo que a medida MM3 é a única que não altera a classe inicial. A intervenção nas paredes exteriores (MM1) permite a subida da classe energética para “E”, a intervenção na cobertura (MM2) tem uma forte expressão, subindo a classe para “D”, a intervenção nos envidraçados exteriores tem aqui também um forte impacto, alterando a classe para “E” e a intervenção global (CM), tem um desempenho francamente razoável, elevando a classe energética do edifício para “B-“ (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Evolução da classe energética com a introdução das medidas de melhoria.

Evolução da classe energética		
NORTE		
Solução Construtiva	<i>Ntc /Nt</i>	Classe Energética
SI	3,59	F
MM1	2,91	F
MM2	2,50	E
MM3	3,47	F
MM4	3,07	F
CM	1,21	C
CENTRO		
SI	3,37	F
MM1	2,71	F
MM2	2,27	E
MM3	3,24	F
MM4	2,86	F
CM	1,10	C
SUL		
SI	2,89	F
MM1	2,33	E
MM2	1,98	D
MM3	2,81	F
MM4	2,49	E
CM	1,00	B-

4.5 Avaliação de custos associados à implementação das medidas de melhoria

São apresentados neste capítulo, o investimento inicial associado a cada uma das melhorias implementadas e o respetivo tempo de retorno. Pretende-se concluir da viabilidade da sua aplicação isolada.

As melhorias implementadas no edifício de referência, nas 3 localizações em estudo, e de acordo com os dados retirados da folha de cálculo, a partir de preços médios de mercado, apresentam os valores indicados a seguir (Tabela 4.5).

Tabela 4.5 - Redução de custos e tempos de retorno associados a cada uma das medidas de melhoria.

<i>Solução Construtiva</i>	Tipo de Intervenção	Descrição Solução Técnica	Custo unitário Medio (€/m2)	Custo estimado de investimento (€)	Redução Anual da Fatura Energética (€/ano) (N;C;S)	Período de retorno (anos) (N;C;S)
Medida de Melhoria 1	Envolvente Opaca	Aplicação de revestimento Térmico pelo Exterior - EIICS	36	3500	1005; 650; 390	3,5; 5,4; 9
Medida de Melhoria 2	Cobertura Interior	Aplicação de Isolamento Térmico no Desvão sobre a lagem de Esteira - EPS	20	2000	1595; 1075; 635	1,3; 1,9; 3,1
Medida de Melhoria 3	Envidraçados Exteriores	Aplicação de Caixilharia Metálica c/corte térmico e Vidro Duplo + portadas exteriores	700	10500	190; 120; 60	55,3; 87,5; 175
Medida de Melhoria 4	Pavimento Interior	Aplicação de Isolamento Térmico sobre o pavimento e pelo Interior - EPS	35	3500	775; 495; 275	2,58; 7,07; 12,73
Combinação das 4 Melhorias	Totalidade da Envolvente	Aplicação Simultânea de todas as medidas de melhoria		19500	3485; 2215; 1320	5,16; 8,8; 14,77

De acordo com os cálculos efetuados, todas as medidas de melhoria adotadas e aplicadas de forma isolada, oferecem uma redução na fatura energética. Esta redução é menor no Sul do que no Norte do País, como era de esperar, já que as exigências impostas pelo clima, vão diminuindo também.

A intervenção na cobertura e paredes exteriores, têm um tempo de retorno razoável, e poderão, em casos particulares, sendo que, relativamente a esta segunda melhoria, esse período é mais reduzido na zonas Norte e Centro.

A tentativa de correção térmica, ao nível do pavimento interior e envidraçados exteriores, parecem não fazer sentido de forma isolada.

Comparados os valores de poupança e tempos de retorno, além de ser o processo mais completo, a intervenção na totalidade da envolvente é sempre a melhor opção.

Os valores aproximados dos custos anuais da fatura energética, é apresentado na tabela 4.6.

De acordo com os cálculos, podem ser tomados como valores de referência, em termos percentuais, que uma intervenção isolada nas paredes exteriores, promove uma redução de cerca de 17% do consumo inicial, de cerca de 29% ao nível da cobertura, apenas de 3% nos envidraçados e dispositivos de oclusão noturna pelo exterior e de cerca de 13% se intervencionado o piso interior sobre vazio sanitário (Tabela 4.6).

Tabela 4.6 - Redução percentual do consumo total anual para cada uma das medidas de melhoria.

Solução Construtiva	Redução Anual da Fatura Energética (€/ano)			Custo Anual da fatura Energética (€)			Redução de consumo Anual (%)			Redução de consumo Anual Total (%)
	Norte	Centro	Sul	Norte	Centro	Sul	Norte	Centro	Sul	
Solução Inicial				5525,79	3566,83	2285,85				
Medida de Melhoria 1	1005,00	650,00	390,00	4525,25	2921,72	1899,57	-15	-18	-17	-16,67
Medida de Melhoria 2	1595,00	1075,00	635,00	3931,05	2493,80	1651,21	-29	-30	-28	-29,00
Medida de Melhoria 3	190,00	120,00	60,00	5339,61	3447,27	2227,88	-3	-3	-3	-3,00
Medida de Melhoria 4	775,00	495,00	275,00	4754,46	3074,14	2011,90	-14	-14	-12	-13,33
Combinação das 4 Melhorias	3485,00	2215,00	1320,00	2045,02	1352,00	968,21	-63	-62	-58	-61,00

4.6 Impacto dos sistemas técnicos na classe energética.

O estudo inicial ao comportamento térmico do edifício, foi efetuado sem a aplicação de sistemas de climatização, sendo utilizados no cálculo os de referência. Pretende-se estudar o impacto da aplicação de sistemas técnicos de elevado rendimento no balanço energético final e relação com a classe energética.

Para o efeito, foi escolhido um sistema Multi-Split [ar-ar], pela sua mais fácil implantação no edifício que serve de referência ao presente estudo. O equipamento apresenta uma eficiência nominal de 4,3 na função de aquecimento e de 4 na função de refrigeração.

O sistema foi estudado em associação a cada uma das medidas de melhoria e para cada uma das localizações.

A aplicação do sistema selecionado, de alto rendimento energético, introduz uma grande redução nas necessidades nominais anuais globais de energia primária (N_{tc}), sendo, portanto, uma medida a ter em consideração, não só pela redução que incrementa no valor da fatura energética, mas especialmente no que diz respeito ao impacto ambiental, que é a grande preocupação das comunidades atuais.

De forma isolada ou combinada com cada uma das melhorias propostas, é notória a redução de N_{tc} , em todas as localizações consideradas no presente estudo, para o edifício de referência (Fig 4.5).

A legenda “sem climatização”, representa os sistemas técnicos de referência.

Da análise dos resultados obtidos através dos cálculos, ressalta uma evidência que, aparentemente parece ser profundamente injusta. Apesar do decréscimo acentuado das necessidades nominais de energia primária, a classe energética do edifício não se altera, nalguns casos sobre uma classe onde o desempenho é pior, passando por uma redução de classe em algumas situações.

Nas situações em que as melhorias apresentam um melhor comportamento em termos de classe energética (Combinação das melhorias), não provoca nenhuma alteração ou, inclusivamente, baixa a classe energética no caso da localização a Sul, baixando a classe de “B-“ para “C”. O mesmo acontece na outra situação, relacionada com a intervenção MM2, também a Sul, que reduz a classe de “D” para “C” (Tabela 4.7).

Esta situação relativa à variação da classe energética, é motivada pelo valor de referência das necessidades nominais anuais globais de energia primária (Nt), que considera para o cálculo, um equipamento equivalente ao introduzido, alterando a eficiência nominal (η_i) do sistema técnico por defeito (resistência elétrica), de 1 para 3.4, que fazendo descer o valor de Nt, interfere na melhoria da classe energética do edifício, quando da aplicação da formula 23(Figura 4.4).

Tabela 4.7 - Impacto dos sistemas técnicos na classe energética para as 3 zonas em estudo

Sol. Construtiva	Ntc (kWhep/m2.ano)												Variação da Classe Energética					
	Norte				Centro				Sul				Norte		Centro		Sul	
	S/CLIMATIZAÇÃO		C/CLIMATIZAÇÃO		S/CLIMATIZAÇÃO		C/CLIMATIZAÇÃO		S/CLIMATIZAÇÃO		C/CLIMATIZAÇÃO		S/CLI:	C/CLI:	S/CLI:	C/CLI:	S/CLI:	C/CLI:
	V. Cál.	V. Refe.	V. Cál.	V. Refe.	V. Cál.	V. Refe.	V. Cál.	V. Refe.	V. Cál.	V. Refe.	V. Cál.	V. Refe.	S/CLI:	C/CLI:	S/CLI:	C/CLI:	S/CLI:	C/CLI:
SI	772,32	214,90	210,41	83,70	484,23	143,83	142,49	61,86	295,85	102,28	107,05	55,38	F	F	F	E	F	D
MM1	625,18	214,90	175,83	83,70	389,36	143,83	120,16	61,86	238,00	102,28	92,73	55,38	F	E	F	D	E	D
MM2	537,79	214,90	154,33	83,70	326,43	143,83	101,25	61,86	202,52	102,28	81,61	55,38	E	D	E	D	D	C
MM3	744,94	214,90	198,58	83,70	466,65	143,83	133,86	61,86	287,33	102,28	102,55	55,38	F	E	F	E	F	D
MM4	658,88	214,90	185,28	83,70	411,78	143,83	126,78	61,86	254,49	102,28	99,23	55,38	F	E	F	E	E	D
CM	260,44	214,90	89,55	83,70	158,52	143,83	65,25	61,86	102,08	102,28	56,07	55,38	C	C	C	C	B-	C

Como referenciado anteriormente, esta situação da variação da classe energética provocada pela introdução de sistemas de climatização de alto rendimento, em substituição dos sistemas de referência, parece ser penalizadora, por não premiar os consumidores pela redução significativa no consumo de energia primária. Se tomarmos como referência a comparação da utilização destes sistemas com o sistema considerado por defeito, muito mais gastadores e menos amigos do ambiente, parece não trazer muitos benefícios aos seus utilizadores, estando, aparentemente, em contraditório com os conceitos de eficiência e sustentabilidade energética.

tica. Assim sendo e no limite, é um tema que deve merecer a devida atenção e ser matéria de discussão.

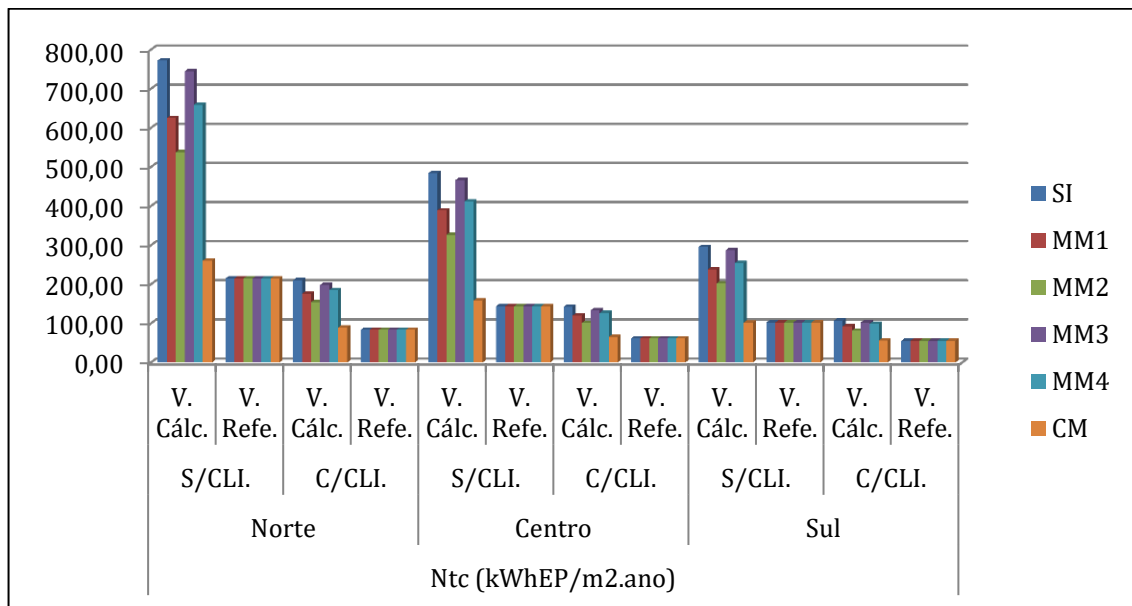


Figura 4.4 - Variação de NTC em função da presença de sistemas técnicos de arrefecimento e aquecimento de referência e de sistemas de alta eficiência.

5 SIMULAÇÃO DINÂMICA E AVALIAÇÃO DO CONFORTO TÉRMICO

5.1 Considerações gerais

“O conforto térmico é a condição da mente que expressa satisfação com o ambiente térmico e é determinado por avaliação subjetiva (ANSI/ASHRAE 55)”

Segundo Lamberts [14], Conforto térmico, tido como uma sensação humana, é um conceito subjectivo, já que depende de fatores físicos, fisiológicos e psicológicos. Os fatores físicos determinam as trocas de calor do corpo com o meio, os fatores fisiológicos referem-se a alterações na resposta do organismo, resultantes da exposição contínua a determinada condição térmica e finalmente os fatores psicológicos, que são aqueles que se relacionam às diferenças na percepção e na resposta a estímulos sensoriais, frutos da experiência passada e da expectativa do indivíduo.

Os estudos em conforto térmico visam principalmente analisar e estabelecer as condições necessárias para a avaliação e concepção de um ambiente térmico adequado às atividades e ocupação humanas, bem como estabelecer métodos e princípios para uma detalhada análise térmica de um ambiente.

5.2 Análise de resultados

De acordo com os cálculos efetuados, o balanço energético registou os resultados registados na tabela 5.1.

5.2.1 Balanço Energético

Os resultados do balanço energético obtido pelo método dinâmico apresentam diferenças relativamente grandes comparativamente aos obtidos pelo cálculo sazonal. Além das diferenças relativas ao método de cálculo (simplificado vs dinâmico horário), note-se que os ficheiros climáticos utilizados em cada um dos métodos não são os mesmos.

O balanço energético obtido, mostra que as medidas de melhoria provocam a redução no consumo energético, confirmando que, de forma isolada, são as intervenções na cobertura e paredes exteriores que melhor resultado apresentam e que a melhoria dos envidraçados exteriores e no pavimento interior têm um impacto muito mais reduzido, confirmando o que foi referenciado no método sazonal, que a sua implementação não fará sentido se aplicada de forma isolada.

Confirma também, que a combinação das 4 melhorias e a introdução de sistemas de climatização de elevado rendimento, são a opção mais eficiente (Tabela 5.1).

Relativamente às estações de aquecimento e arrefecimento, pode ser concluído que o comportamento das medidas de melhoria não é uniforme. Relativamente a solução construtiva inicial (SI), podemos observar que, na zona Sul, a maior fatia de consumo energético é da responsabilidade da estação de arrefecimento, ao contrário do que acontece nas outras duas zonas. O mesmo acontece, ainda para esta zona Sul, com todas as outras melhorias.

As medidas CM e CM+SC, seguem o comportamento descrito anteriormente, quando analisadas a zona Centro e Sul.

Tabela 5.1 - Variação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento para a 3 zonas em estudo, pelo método dinâmico.

Sol. Construtiva	NORTE		CENTRO		SUL	
	Nic [kWh/m ² .ano]	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nic [kWh/m ² .ano]	Nvc [kWh/m ² .ano]	Nic [kWh/m ² .ano]	Nvc [kWh/m ² .ano]
SI	123,88	39,04	63,20	45,60	41,60	58,60
MM1	92,05	21,49	40,72	23,08	23,51	34,91
MM2	90,78	30,71	44,62	34,15	27,46	45,63
MM3	112,47	29,33	50,68	33,06	30,26	46,44
MM4	118,88	37,63	56,84	43,55	35,82	57,41
CM	57,54	31,42	28,26	34,66	25,04	59,09
CM + SC	13,39	7,86	6,57	8,67	13,39	7,86

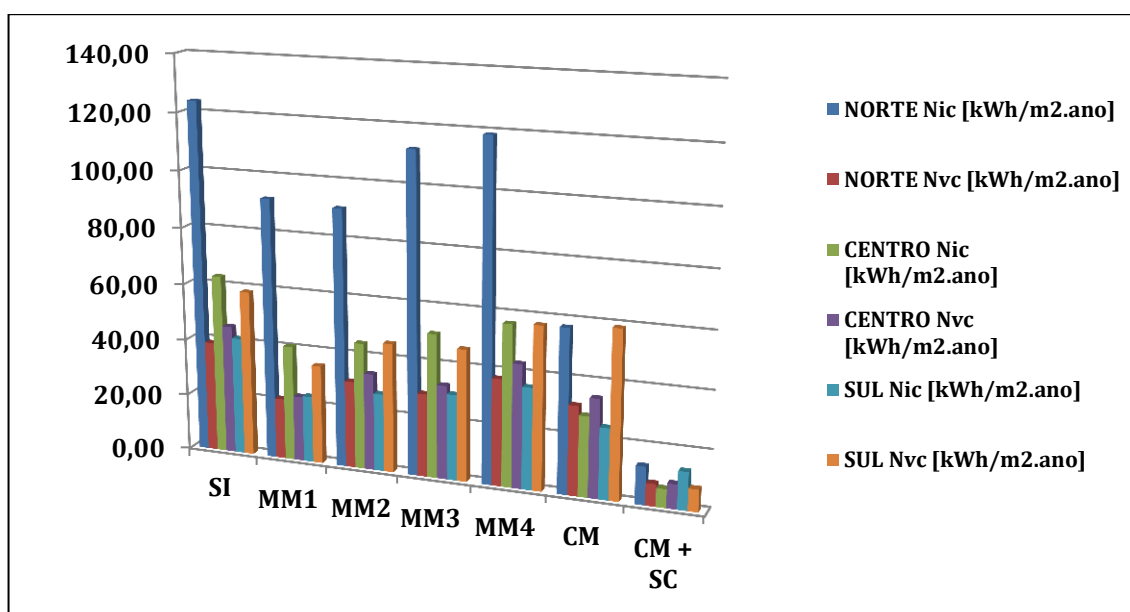


Figura 5.1 - Variação das necessidades nominais anuais de energia útil para aquecimento e arrefecimento para a 3 zonas em estudo, pelo método dinâmico.

5.3 Análise do conforto térmico para a estação de aquecimento

Os dados referentes à variação do conforto, para a semana representativa, encontram-se representados seguidamente (Figura 5.2).

Pelos dados obtidos, e comparando a evolução da curva das temperaturas operativas, conclui-se que em todas as soluções construtiva de melhoria, os níveis de conforto sofrem alterações.

Nesta estação em particular, praticamente em todas as melhorias, a temperatura de conforto posiciona-se abaixo do limite inferior de aceitabilidade de 80% e só esporadicamente penetra na zona de conforto. Embora mantendo um comportamento semelhante, relativamente ao comportamento da temperatura de conforto, pode verificar-se que as medidas de melhoria introduzidas, MM1, MM2, MM3, MM4 e CM, quando comparadas com a solução inicial (SI), introduzem melhorias na temperatura operativa. Estas melhorias são evidentes, quando analisados os picos térmicos da temperatura de conforto.

A título demonstrativo, relativamente à SI e pela análise dos gráficos a, b e c, (Figura 5.2) os picos mínimos, variam sensivelmente entre os 3 e 5 °C, para a zona Norte, entre os 5 e 7 °C na zona Centro e entre os 10 e 11 °C na zona Sul. Comparando com as medidas de melhoria em estudo, a medida MM1, de acordo com a análise dos gráficos d, e, f, eleva os picos térmicos

mínimos para temperaturas compreendidas entre os 5,5 e 8 °C, entre os os 8 e 10 °C e entre os 12 e os 14 °C, para cada uma das zonas respectivamente.

Todas as outras medidas de melhoria têm um comportamento semelhante, neste aspeto particular, elevando os picos mínimos para valores compreendidos entre os 5 e os 14 °C, com exceção da MM4, que analisando os gráficos m, n e o, têm um comportamento semelhante à sua solução inicial, ilustrada nos gráficos a, b e c, (Figura 5.2) o que parece indicar que esta solução, de forma isolada, não introduz nenhum benefício, em termos de conforto térmico, para nenhuma das zonas em estudo.

Relativamente aos picos térmicos máximos e analisando os gráficos da Figura 5.2, a tendência, na maior parte dos casos, parece ser contrária à situação anterior. As temperaturas máximas operativas descem de valor, relativamente à solução inicial. Nesta, os picos térmicos máximos, atingem valores compreendidos entre os os 9 °C, na zona Norte (gráfico a) e sensivelmente os 24 °C, na zona Sul (gráfico c). Se compararmos estes valores com os das Melhorias, verificamos que a MM1 faz variar os picos máximos entre os valores aproximados de 8°C, na zona Norte e os 19°C na zona Sul (gráficos d, f), o que confirma o anteriormente descrito, mas que, por outro lado, introduz uma forte estabilização na amplitude térmica da temperatura de conforto. Este benefício, poderá proporcionar aos ocupantes do edifício, que aparentemente terão a tarefa adaptativa mais facilitada e, como tal, conseguir subir o seu nível de conforto.

A solução MM4, continua a não ter impacto significativo, continuando a ter um comportamento idêntico ao da solução inicial, continuando a não parecer uma boa solução de melhoria, no que ao conforto térmico diz respeito.

Das medidas de melhoria apresentadas e que introduzem impacto no conforto térmico, a que confere maior estabilidade térmica, é na intervenção nas paredes exteriores (MM1). Além de elevar a temperatura de operação, é a que mais suaviza o gradiente térmico.

A combinação das 4 melhorias (CM), que aparentemente deveria ser a mais favorável, neste capítulo do conforto, parece não apresentar uma melhoria efetiva, tendo um comportamento idêntico à solução inicial, no que diz respeito às zonas Norte e Centro (gráficos a, b da fig. 5.2). Relativamente à zona Sul, faz com que a temperatura de conforto atravesse os limites inferior e superior de aceitabilidade, na transição entre os picos mínimos e máximos, mas que têm uma considerável amplitude térmica, que variam entre os 9 e 30°C.

Este comportamento, poderá ser motivado pela hermeticidade provocada pelo isolamento total do edifício e que, devido a ausência de sistemas técnicos de climatização e de ventilação adequada, dificulta o controlo da temperatura radiante e da temperatura do ar interior, o que se repercute na temperatura operativa e consequentemente no conforto térmico dos ocupantes,

como descrito no gráfico r. Neste contexto, pode ser concluído que, para que se optimize a reabilitação térmica, que passa por baixar efectivamente o consumo de energia para aquecimento, consequência do isolamento global da envolvente do edifício, a aplicação de sistemas de climatização de alto rendimento, além de não terem um impacto significativo no consumo energético, são a garantia de um ambiente interior francamente razoável, no que diz respeito aos limites de aceitabilidade de 80%, proposto pela norma ANSI/ASHRAE 55.

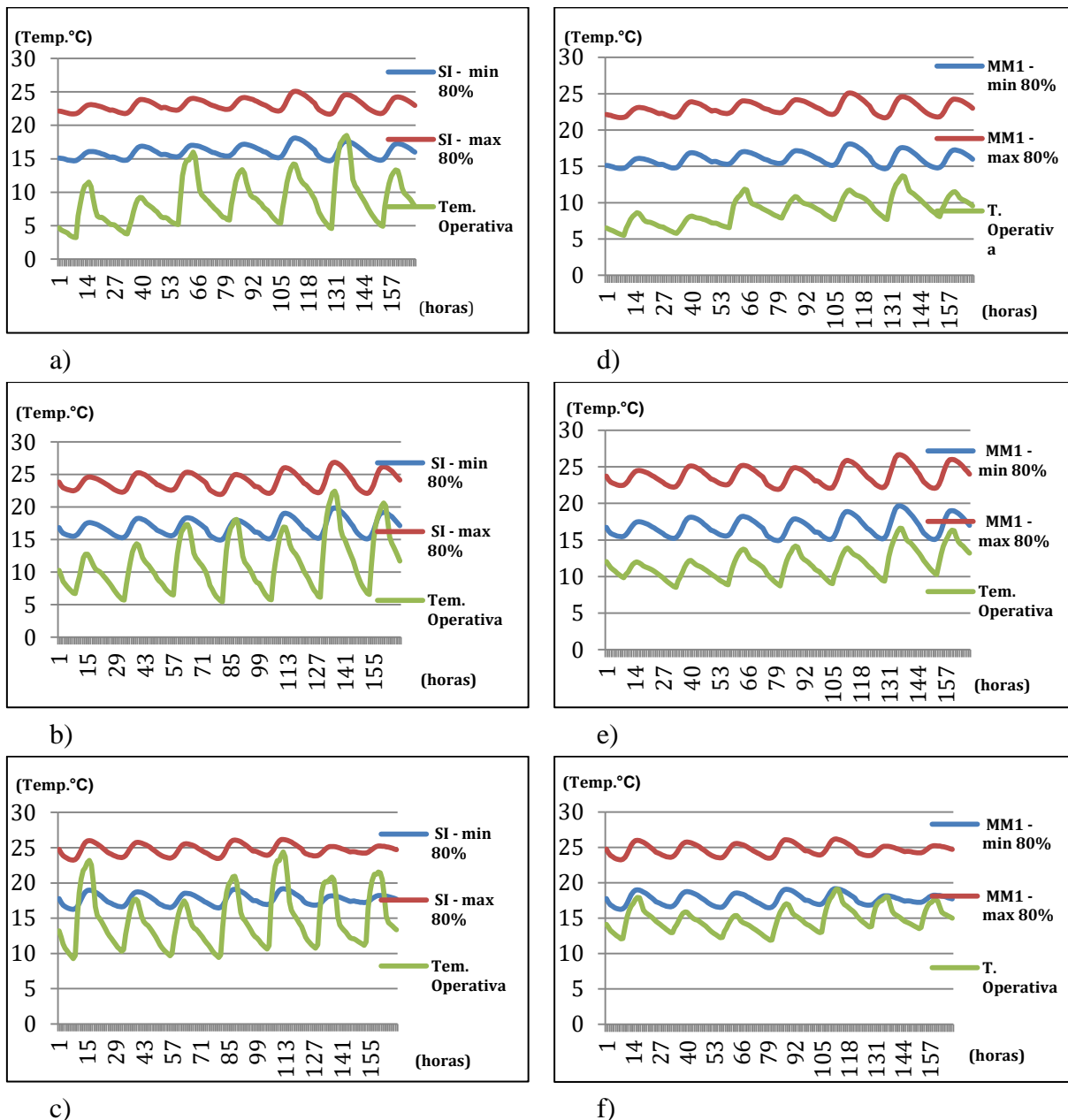
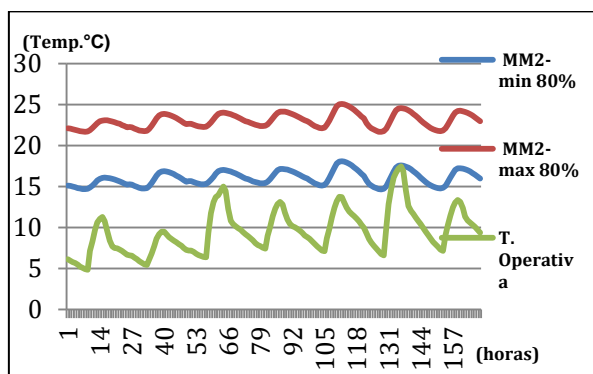
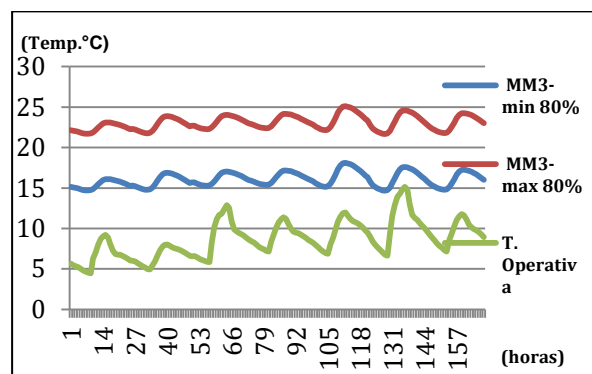


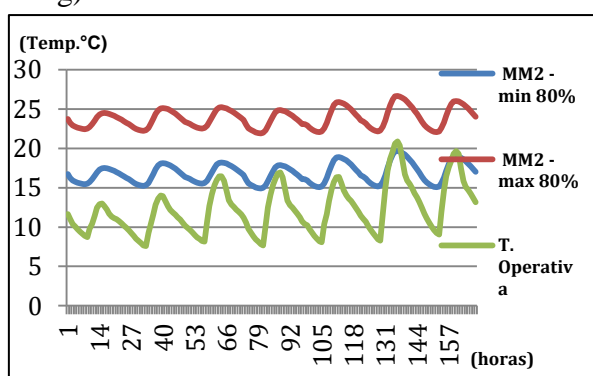
Figura 5.2 - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de inverno; a) SI Norte; b) SI Centro; c) SI Sul; d) MM1 Norte; e) MM1 Centro; f) MM1 Sul.



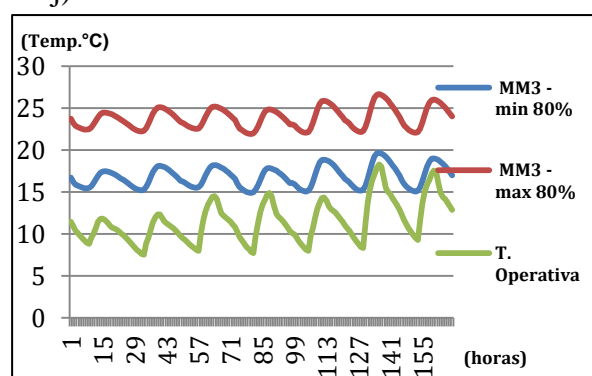
g)



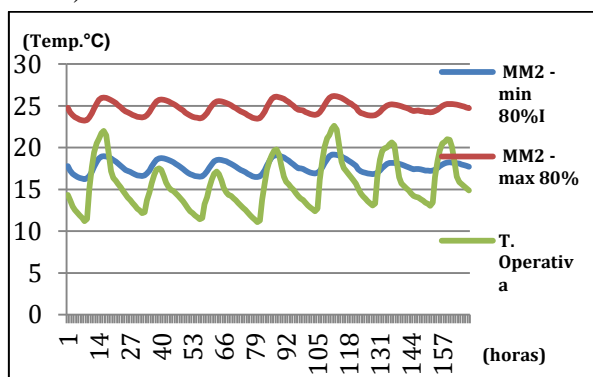
j)



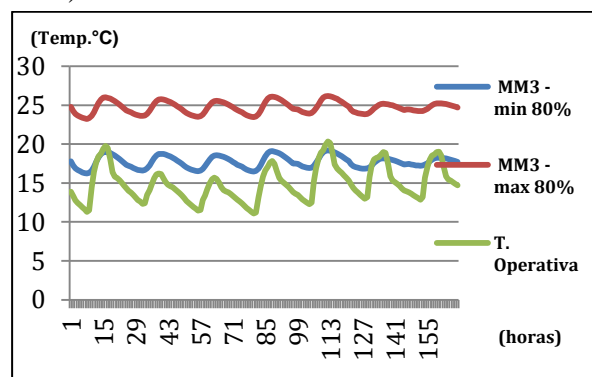
h)



k)

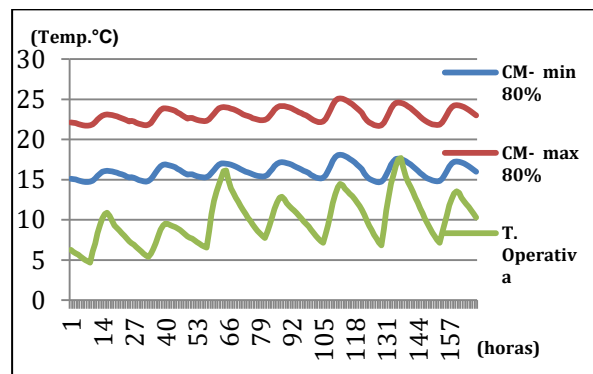
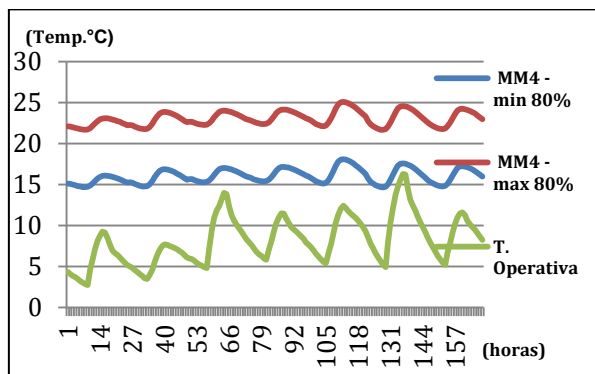


i)



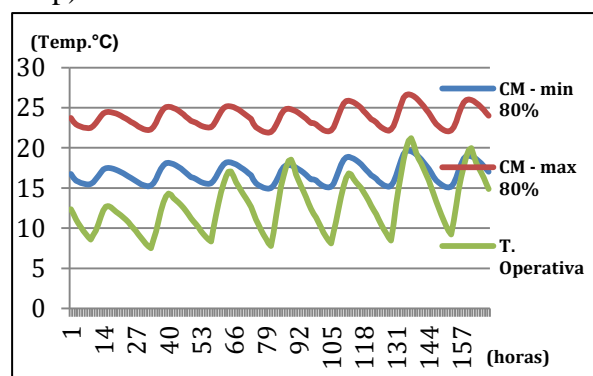
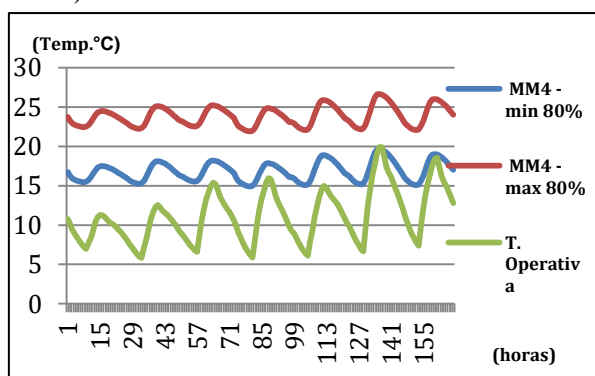
l)

Figura 5.2 (Cont.) - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de inverno; g) MM2 Norte; h) MM2 Centro; i) MM2 Sul; j) MM3 Norte; k) MM3 Centro; l) MM3 Sul.



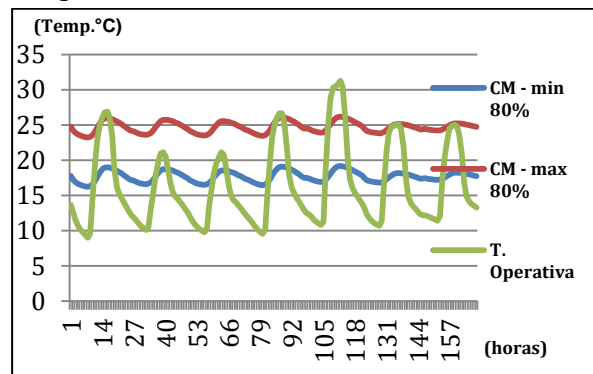
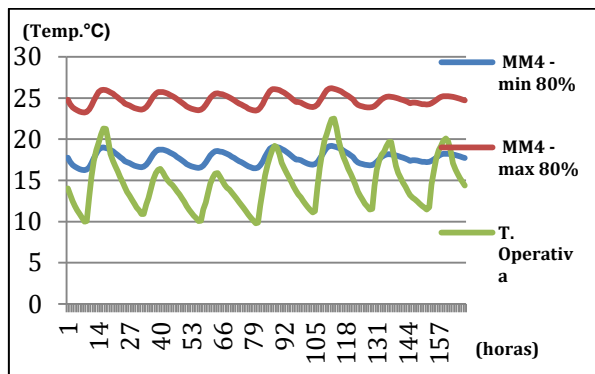
m)

p)



n)

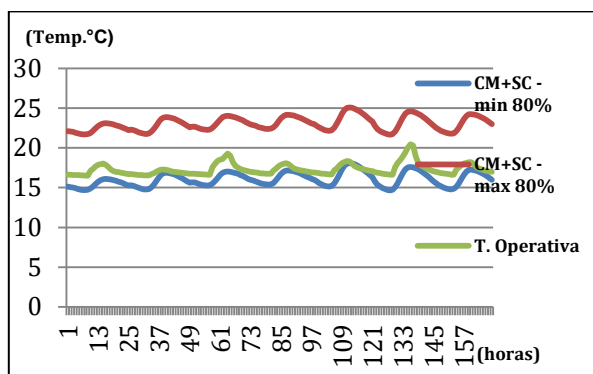
q)



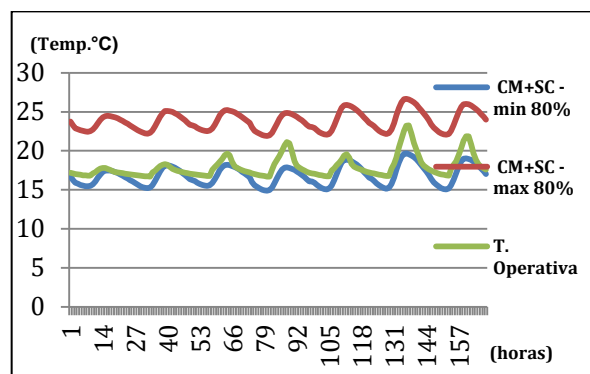
o)

r)

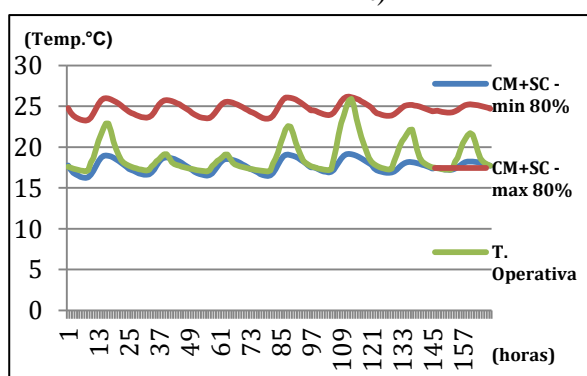
Figura 5.2 (Cont.) - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de inverno; m) MM4 Norte; n) MM4 Centro; o) MM4 Sul; p) CM Norte; q) CM Centro; r) CM Sul.



s)



t)



u)

Figura 5.2 (Cont.) - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de inverno; CM+SC Norte; CM+SC Centro; CM+SC Sul.

5.4 Análise do conforto térmico para a estação de arrefecimento

Os resultados obtidos, pelos cálculos efetuados e para a semana representativa de verão, são apresentados na Figura 5.3.

Relativamente à estação de arrefecimento, os dados gráficos obtidos a partir da combinação de cálculos retirados da simulação dinâmica e da Norma, pode também concluir-se que as medidas de melhoria têm impacto na melhoria da temperatura operativa e consequentemente, no conforto interior dos ocupantes do edifício.

A solução construtiva inicial, representadas pelos gráficos a, b e c, (Figura 5.3) apresenta uma particular fragilidade no controlo dos picos térmicos máximos. Pela evolução, no tempo, da curva representativa da temperatura de conforto, é perceptível que, em praticamente todo o período diurno, num horário compreendido entre sensivelmente as 7 e 21 horas, a temperatura

operativa excede o limite máximo de aceitabilidade de 80%, sendo que o pico máximo ocorre por volta das 15 horas, na zona Norte e por volta das 16 horas, nas zonas Centro e Sul.

Durante o período nocturno, embora com muitas variações, a temperatura operativa mantém-se dentro dos limites mínimos e máximos de aceitabilidade. Da análise dos gráficos, a temperatura operativa varia dos 20 aos 40°C.

Com a introdução das medidas de melhoria, o que sobressai é que a diferença entre os picos térmicos mínimo e máximo reduz, particularmente pelo impacto na redução da temperatura dos picos máximo.

Relativamente à medida MM1, o que foi referenciado anteriormente é muito evidente, já que, só por si, consegue fazer com que a temperatura de conforto se mantenha, na maior parte do tempo, coincidente com o limite de aceitabilidade máximo de 80% de satisfeitos. Da análise dos gráficos, a amplitude térmica entre picos tem uma variação de aproximadamente 9°C, o que representa uma melhoria substancial relativamente à solução inicial. Que é de sensivelmente 20°C, o que traduz numa evolução muito positiva das condições de conforto do edifício.

As medidas de melhoria MM2, MM3 e MM4, têm um impacto semelhante ao da medida MM1, embora de forma não tão acentuada. A medida MM2 apresenta um gradiente térmico entre picos de sensivelmente 14°C, na zona Norte, de 8°C na zona Centro e de sensivelmente 7°C na zona Sul. A medida MM3 varia entre os 10 e 11 °C, a medida MM4 de 15°C, na zona Norte, de 12°C na zona CENTRO e de 14°C na zona SUL.

Nestas últimas 3 medidas de melhoria, os picos térmicos máximos, voltam a estar acima do limite máximo de aceitabilidade, mas com melhorias relativamente à solução inicial, tanto nos picos térmicos máximos, como no número de horas nocturno, em que se encontram acima do limite máximo dos 80% de satisfeitos.

Destas 3 medidas, a que volta a ter o maior impacto positivo é a intervenção nas paredes exteriores (MM1). A medida de melhoria MM3, que diz respeito à intervenção nos envidraçados exteriores e dispositivos de oclusão nocturna, apresenta aqui um bom resultado também. A combinação das medidas de melhorias (CM), tem um comportamento semelhante ao descrito na situação de inverno. Ao contrário do que seria espectável, o seu impacto no conforto térmico é muito irregular e com uma diferença entre picos elevada, com os valores aproximados de 14°C na zona Norte, 9°C na zona CENTRO e de 22°C na zona SUL. Os picos térmicos mínimos situam-se junto ao limite mínimo de aceitabilidade, enquanto que os picos máximos ultrapassam de forma acentuada o limite máximo de aceitabilidade. Este comportamento estará relacionado com hermeticidade provocada pela aplicação de isolamento térmico,

em toda a envolvente exterior do edifício de referência, que aliada a inexistência de sistemas de climatização e ventilação adequada, prejudica muito o conforto térmico interior. Volta a estar patente, que a combinação das 4 melhorias, com a introdução de sistemas técnicos de climatização, volta a ser a melhor solução, entre os estudos efectuados neste trabalho. Apresenta uma melhoria considerável da eficiência energética e conforto interior.

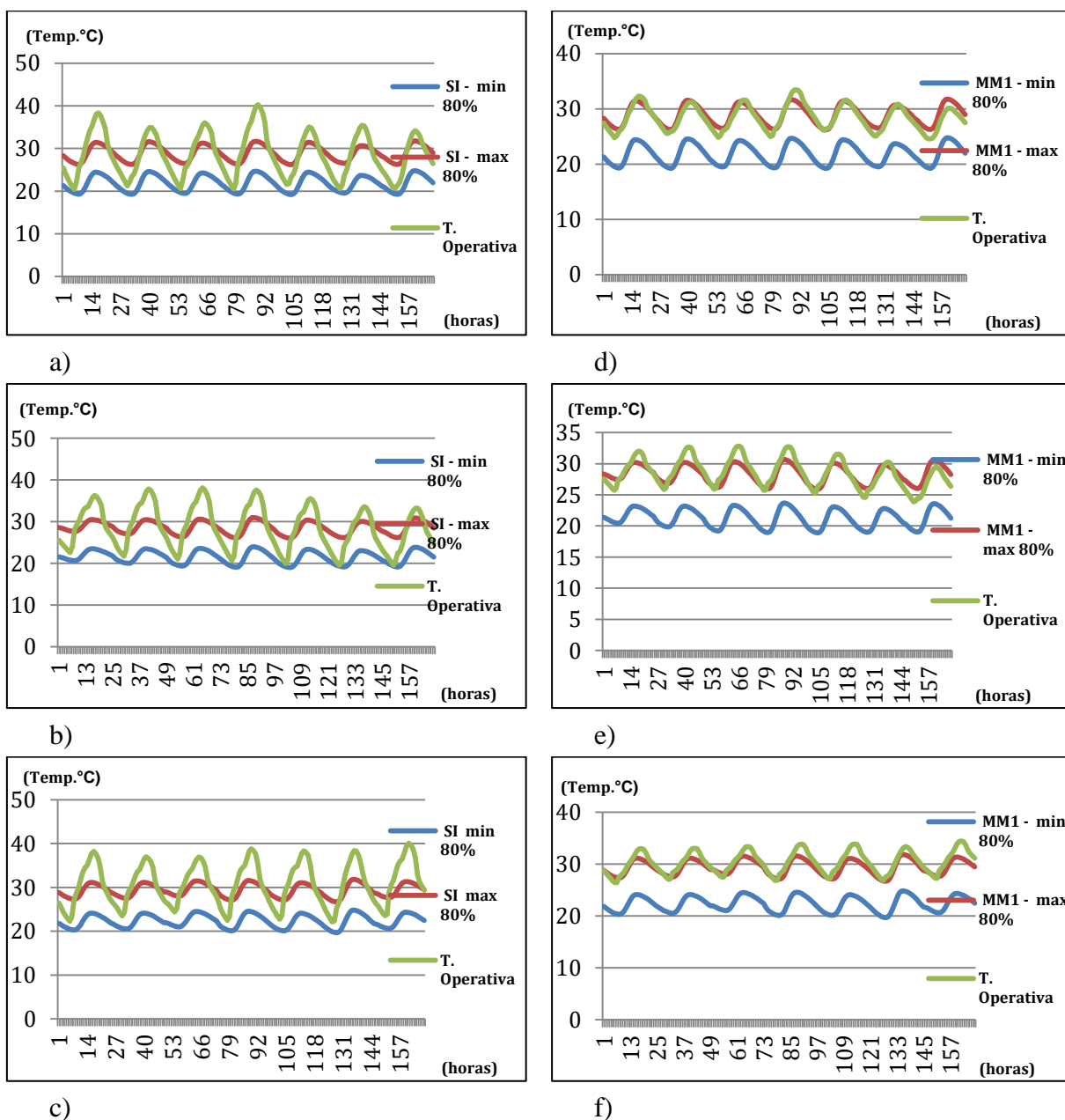
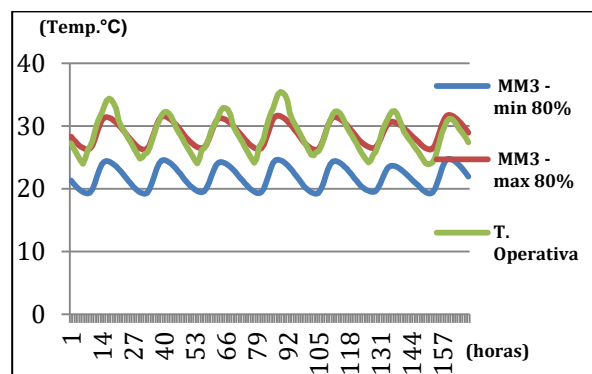
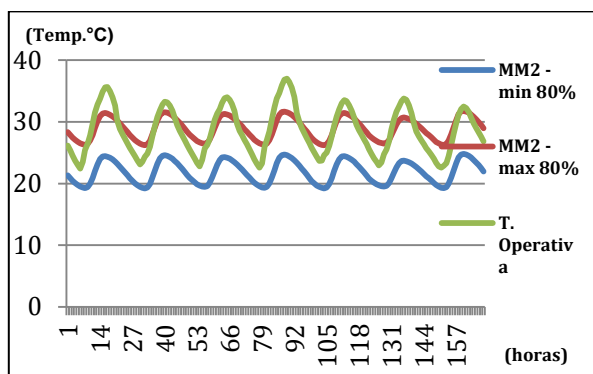
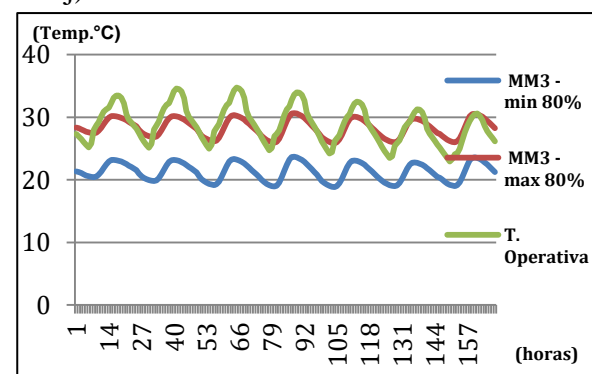
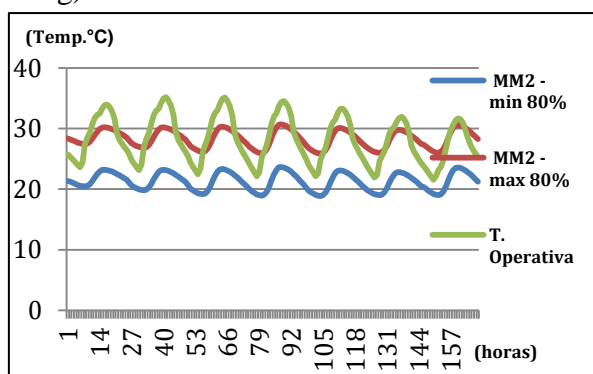


Figura 5.3 - Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de verão; a) SI Norte; b) SI Centro; c) SI Sul; d) MM1 Norte; e) MM1 Centro; f) MM1 Sul.



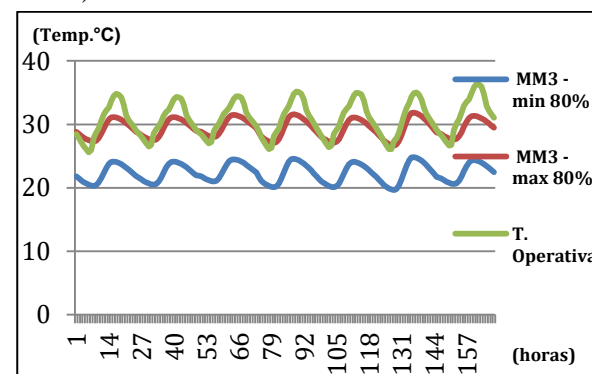
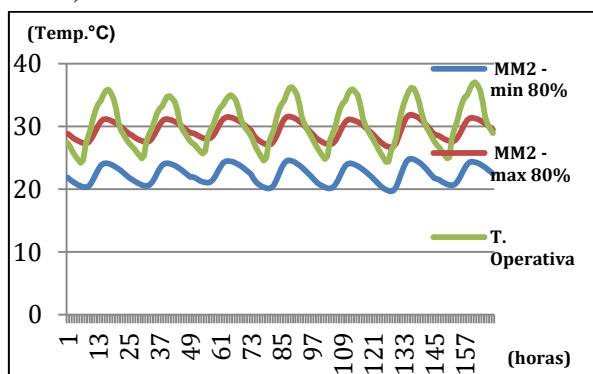
g)

j)



h)

k)



i)

l)

Figura 5.3 (Cont.)- Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de verão; g) MM2 Norte; h) MM2 Centro; i) MM2 Sul; j) MM3 Norte; k) MM3 Centro; l) MM3 Sul.

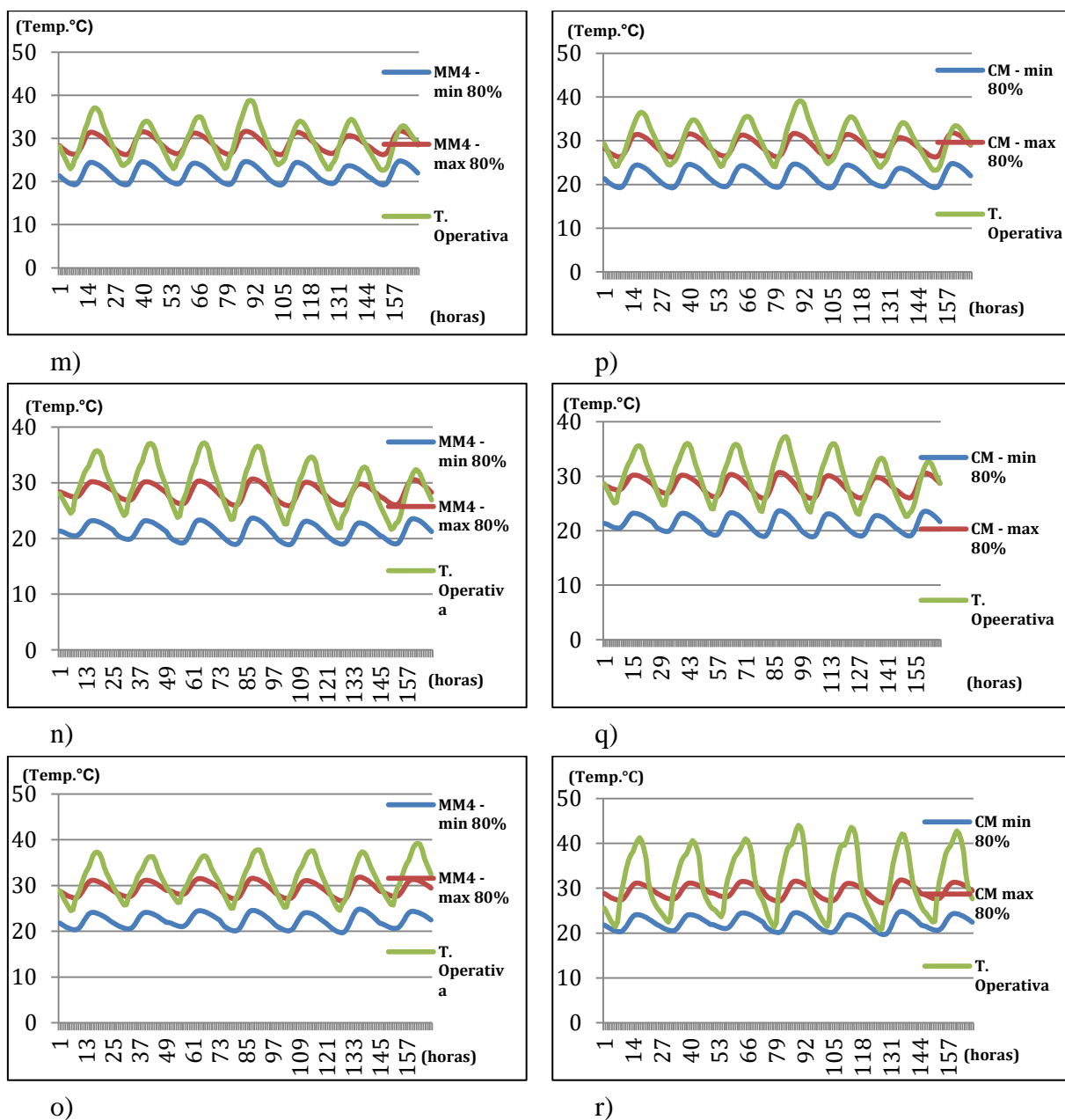


Figura 5.3 (Cont.)- Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de verão; m) MM4 Norte; n) MM4 Centro; o) MM4 Sul; p) CM Norte; q) CM Centro; r) CM Sul.

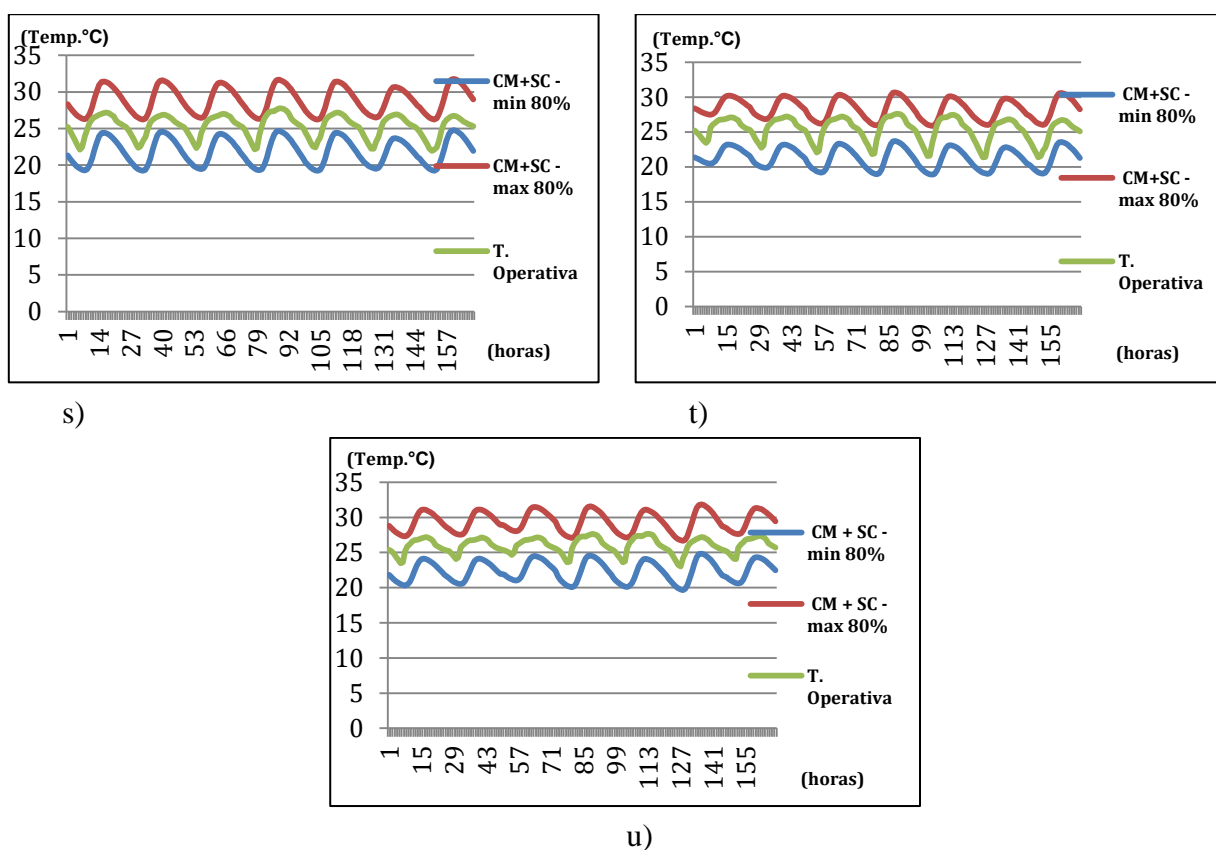


Figura 5.3 (Cont.)- Representação gráfica da evolução da temperatura operativa, para a semana representativa de verão; s) CM+SC Norte; t) CM+SC Centro; u) CM+SC Sul.

5.5 Contabilização da evolução das horas de conforto e desconforto

Pela contabilização das horas de conforto/desconforto, apuradas pela combinação dos dados obtidos pelo cálculo dinâmico e os procedimentos determinados pela norma ASHRAE 55, consegue-se confirmar todas as conclusões retiradas anteriormente.

Da análise dos dados fornecidos pela tabela 5.2., todas as medidas de melhoria têm impacto positivo no ambiente térmico interior, já que analisando os dados disponíveis, é fácil perceber que, em todas as zonas de implantação do edifício de referência, as horas de conforto sobem.

Relativamente às medidas de melhoria, e pela análise da Figura 5.4. As medidas que mais favorecem, de forma isolada, são a intervenção nas paredes exteriores, seguida da intervenção

na cobertura. Na linha de cálculos anteriores, é a intervenção no pavimento interior, que menos favorece a habitação, também na questão do conforto interior.

Volta a ser evidente que, a intervenção na totalidade da envolvente, embora com a dificuldade de controlo da temperatura interior, mencionada anteriormente, e a implementação de sistemas técnicos de climatização, são os que mais favorecem o ambiente interior das habitações.

Tabela 5.2 - Contabilização das horas de conforto e desconforto, totais anuais e por estação.

NORTE						
S. CONST.	Conforto (h)	desconforto (h)	Conforto (h)	desconforto (h)	Conforto (h)	desconforto (h)
	ANO INTEIRO		VERÃO		INVERNO	
SI	2824	5936	1722	1206	1102	4730
MM1	3928	4832	2581	347	1347	4485
MM2	3586	5174	2109	819	1477	4355
MM3	3598	5162	2351	577	1247	4585
MM4	3167	5593	1940	988	1227	4605
CM	3552	4264	1574	1354	2922	2910
CM + SC	7333	1427	2928	0	4403	1429
CENTRO						
SI	3425	5335	1589	1339	1836	3996
MM1	4826	3934	2475	453	2351	3481
MM2	4288	4472	1966	962	2322	3510
MM3	4365	4395	2125	803	2240	3592
MM4	3855	4905	1739	1189	2116	3716
CM	4302	4458	1476	1452	2826	3006
CM + SC	7916	844	2928	0	4986	846
SUL						
SI	3865	4895	1591	1337	2274	3558
MM1	5229	3531	2018	910	3211	2621
MM2	4801	3959	1772	1156	3029	2803
MM3	4883	3877	1764	1164	3119	2713
MM4	4348	4412	1485	1443	2863	2969
CM	2860	5900	1310	1618	1550	4282
CM + SC	7697	1063	2928	0	4767	1065

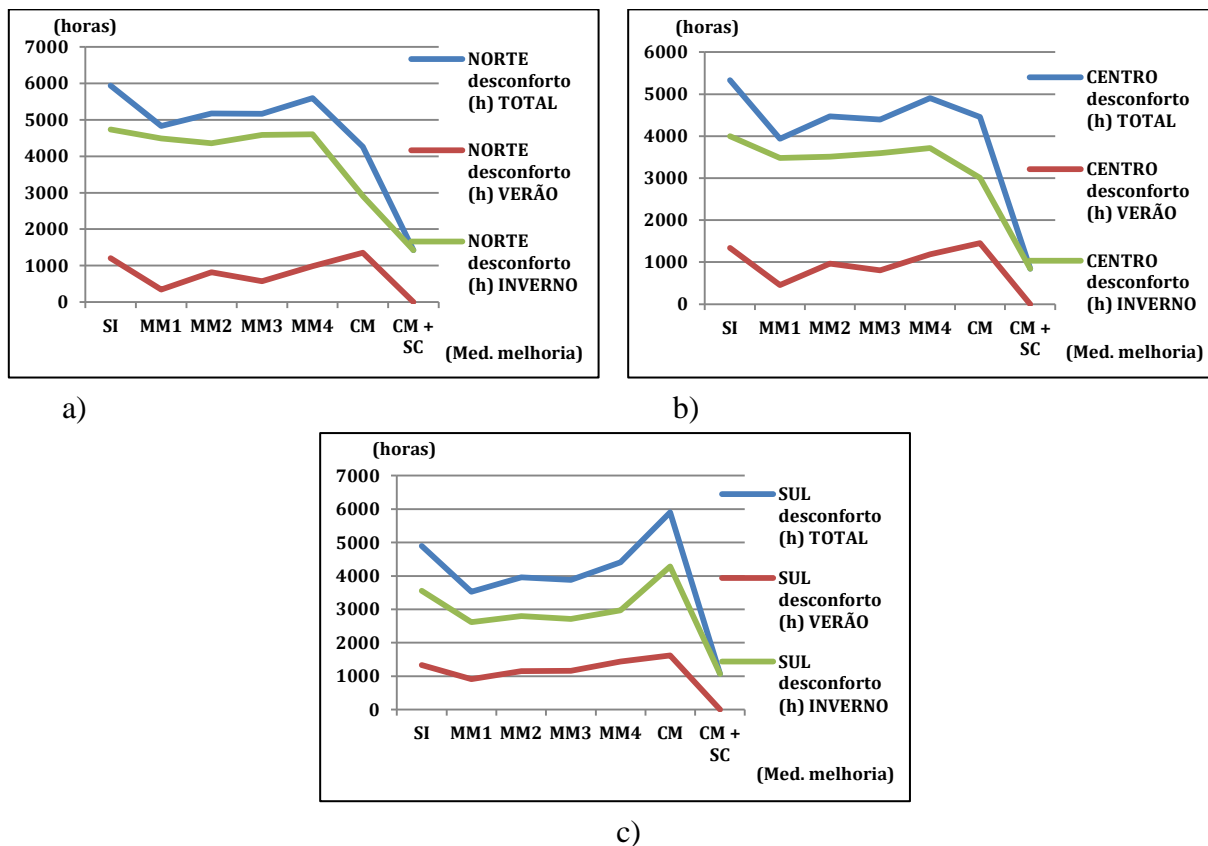


Figura 5.3 – Horas de desconforto por medida de melhoria: a) Região Norte; b) Região Centro; c) Região Sul.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

6.1 Conclusões

O estudo realizado no presente trabalho, pretendeu apurar o impacto das medidas de melhoria mais comuns no comportamento térmico e no nível de conforto de uma habitação. Usou-se um edifício de referência representativo da habitação construída entre os anos de 1961 a 1990, que na maior parte não apresentam um bom desempenho térmico, motivado pela inexistência de legislação específica nessa época.

Conclui-se que, mesmo de forma isolada, cada uma das medidas de melhoria, em percentagens diferentes, reduz o consumo de energia, sendo que algumas delas conseguem só por si, a elevação da classe energética do edifício.

Conclui-se ainda que, para uma redução efetiva do consumo de energia, a intervenção na totalidade da envolvente exterior do edifício, é a opção ideal, conseguindo aproximar o consumo total para valores próximos dos de referência. Consequentemente, serve de prova que a intervenção no edificado construído, é imprescindível para as metas que são propostas a nível global, para a redução dos consumo de combustíveis fósseis e redução das emissões de gases com efeito de estufa, contribuindo largamente para a sustentabilidade do planeta.

Ao nível do conforto térmico interior, ficou demonstrado, que mesmo isoladamente, as melhorias em estudo, aumentam o número de horas de conforto, tanto na estação de aquecimento, como na de arrefecimento.

Relativamente a esta análise do conforto térmico interior, ao contrário do que era espectável, a combinação das 4 melhorias, só por si, não provoca um forte impacto na estabilização da temperatura operativo. Provavelmente, este facto está relacionado com a hermeticidade conferida ao edifício, pela aplicação de isolamento térmico em toda a envolvente exterior, provocando grandes dificuldades no controlo da temperatura interior, motivada pela ausência dos sistemas de climatização e ventilação adequada. Esta conclusão parece fazer sentido, já que quando se introduziram sistemas técnicos de climatização, a temperatura mantém-se constantemente, dentro dos limites de aceitabilidade máximo e mínimos, propostos pela Norma ANSI/ASHRAE 55.

Conclui-se ainda, da importância da simulação dinâmica. Foi a partir deste método que foi possível a análise do impacto da reabilitação térmica no conforto interior do edifício de referência.

6.2 Trabalhos futuros

Para trabalhos futuros, fica a proposta de aprofundamento deste estudo. Deverão ser apurados os impactos de outras combinações destas medidas de melhoria, assim como de outro tipo e com diferentes materiais.

Deverão ser analisados também, os impactos conferidos pela introdução de outro tipo de sistemas técnicos, com ou sem recurso a energias alternativas, com especial enfoque nas energias renováveis.

Outra proposta, passa pela análise, neste conjunto de melhorias, de sistemas de ventilação natural e mecânica.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]NOAA @, NOAA (National Centers for Environmental Information), <https://www.ncdc.noaa.gov/sotc/global/201313>. (Acedido a Janeiro de 2018).
- [2]Stijn Van Craenendonck, Leen Lauriks, Cedric Vuye, Energy Efficient Renovation of Belgian Houses: Sensitivity Analysis for Thermal Bridges, In Energy Procedia, Volume 96, 2016, Pages 158-169, ISSN 1876-6102.
- [3]Sahar N. Kharrufa, Yahyah Adil, Upgrading the building envelope to reduce cooling loads, In Energy and Buildings, Volume 55, 2012, Pages 389-396, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.09.006>.
- [4]Jung-Min Oh, Jin-Hee Song, Jae-Han Lim, Seung-Yeong Song, Analysis of Building Energy Savings Potential for Metal Panel Curtain Wall Building by Reducing Thermal Bridges at Joints Between Panels, In Energy Procedia, Volume 96, 2016, Pages 696-709, ISSN 1876-6102.
- [5]Mohamad Kharseh, Mohammed Al-Khawaja, Retrofitting measures for reducing buildings cooling requirements in cooling-dominated environment: Residential house, In Applied Thermal Engineering, Volume 98, 2016, Pages 352-356, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.12.063>.
- [6]Ingy El-Darwish, Mohamed Gomaa, Retrofitting strategy for building envelopes to achieve energy efficiency, In Alexandria Engineering Journal, 2017, ISSN 1110-0168, <https://doi.org/10.1016/j.aej.2017.05.011>.
- [7]Ana Brás, Fábio Gonçalves, Pedro Faustino, Cork-based mortars for thermal bridges correction in a dwelling: Thermal performance and cost evaluation, In Energy and Buildings, Volume 72, 2014, Pages 296-308, ISSN 0378-7788.
- [8] Wikipedia @. ANSI/ASHRAE Standard 55-2013 - Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. https://en.wikipedia.org/wiki/ASHRAE_55. (Acedido a Fevereiro de 2018).

[9] Vanessa C. P. Duarte, Desempenho Térmico de Edificações, Sebenta LABEE, Universidade Federal de Santa Catarina 7ª edição, 2016.

http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/disciplinas/ApostilaECV5161_v2016.pdf

[10] Curado. A. (2014). “Conforto Térmico e Eficiência Energética nos Edifícios de Habitação Social Reabilitados”. Tese de Doutoramento. FEUP. U. Porto.

[11] Pimenta, A. et al (2015) “Conceito de Conforto Térmico Humano”. Projeto FEUP 2014/2015 - Engenharia Química FEUP. U. Porto.

[12] Lucas Nicolau @. <https://lucasnicolau.com/?v=publicacoes&id=2>. (Acedido a Fevereiro de 2018).

[13] Sensagent @, Dicionário.Termorregulação.

<http://dicionario.sensagent.com/Termorregula%C3%A7%C3%A3o/pt-pt/>. (Acedido a Fevereiro de 2018).

[14] Humberto Lamberts “Stress e Conforto Térmico”. Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil.

[15] Beatriz Rodríguez-Soria, Javier Domínguez-Hernández, José M. Pérez-Bella, Juan J. del Coz-Díaz, Review of international regulations governing the thermal insulation requirements of residential buildings and the harmonization of envelope energy loss, In Renewable and Sustainable Energy Reviews, Volume 34, 2014, Pages 78-90, ISSN 1364-0321,.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S136403211400166X>

[16] Homegrid @, Gavião. J. (2016) “Como deve “parecer” um edifício eficiente?”.

http://www.homegrid.pt/noticias/anexos/Artigo_Maio2016.0001.pdf

[17] Pereira. A. () “Variáveis do conforto térmico” ISEP – CIDEM. Simulação dinâmica do comportamento termo-higrométrico de superfícies radiantes hidráulicas para aquecimento e arrefecimento ambiental

http://www.get.pt/site_files/publicaes/manual_de_tectos_refrigerados_1301115931.pdf

[18] IPMA @, Instituto Português do Mar e da Atmosfera – IPMA. (Acedido a Fevereiro de 2018) <https://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/>

[19] Almeida. Hugo. (2016). Análise comparativa dos métodos da ISO 13790 e sua adequabilidade na estimativa das necessidades de energia para aquecimento e arrefecimento e da

temperatura do ar interior. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Ciência da Universidade de Lisboa.

[20] Decreto-Lei n.º28/2016, Diário da República n.º 53/2017, Série I de 2017-03-15. <https://dre.pt/application/conteudo/74774858>,

[21] Adene @, Certificação de Edifícios – ADENE, (Acedido a Fevereiro de 2018). <http://www.adene.pt/sce/textofaqs/certificacao-de-edificios>.

[22] Gomes. E. (2014) “Projeto de Térmica: Aplicação do Novo Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação Novos”. Mestrado em Engenharia Civil – Ramos das construções. ISEP.

[23] Despacho (extrato) n.º 15793-I/2013, Diário da República - 2.ª série, Nº 234-3ºSupl, de 03.12.2013, Pág. 35088 (41).

[24] Helena A. da C. Pereira, IC. Ana Paula Melo, Dr. Eng. Rogério Versage, M. Eng. Márcio Sorgato, M. Eng. Roberto Lamberts, PhD. Manual de simulação computacional de edifícios naturalmente ventilados no programa Energyplus – Versão 8.0 . Universidade Federal de Santa Catarina – Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Civil. http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/Manual_Ventilacao_v8_0.pdf

[25] Gouveia. Pedro. (2008). “Caracterização Dos Impactes Da Envolvente No Desempenho Térmico De Edifícios”. Dissertação de Mestrado. IST – Universidade Técnica de Lisboa.

[26] Pina dos Santos, Luís Matias, Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios (ITE 50). LNEC.

[27] Despacho (extrato) n.º 15793-J/2013, Diário da República n.º 95/2016, Série II de 2016-05-17.