Impacto da Norma de Conforto Europeia EN 15251 na certificação energética em edifícios de serviços

André Miguel Barreiras Teixeira

Relatório do Projecto Final / Dissertação do MIEM

Orientador na FEUP: Prof. José Luís Alexandre

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

Julho de 2009

RESUMO

Com vista a harmonização europeia da metodologia para o cálculo da energia consumida e desempenho dos edifícios, foram criadas uma série de normas, entre elas, a Norma de Conforto Europeia EN 15251. Esta norma foi elaborada ao abrigo de um mandato conferido ao Organismo Europeu de Normalização (CEN) pela Comissão Europeia e Associação Europeia de Comércio Livre e suporta os requisitos essenciais da União Europeia, Directiva 2002/91/CE, "Energy Performance of Buildings Directive", EPBD, que é considerada uma importante componente legislativa relativamente ao desempenho energético dos edifícios.

A norma Europeia EN15251, especifica os parâmetros ambientais em ambientes fechados para a construção de sistemas de climatização e cálculos de desempenho energético. A norma não prescreve métodos de concepção, mas dá parâmetros de entrada para o projecto de edifícios, aquecimento, arrefecimento, ventilação e sistemas de iluminação. É aplicável aos seguintes tipos de construção: habitações unifamiliares, apartamentos, escritórios, edifícios educacionais, hospitais, hotéis e restaurantes, instalações desportivas, comércio grossista e retalhista, edifícios de serviço.

A EN15251 baseia-se em normas já existentes ASHRAE 55 e ISO 7730, no entanto, visa critérios de conforto mais exigentes do que o regulamento nacional em vigor (RSECE e RCCTE) e pensa-se que poderá levar ao aumento indesejável do consumo de energia, indo contra o principal objectivo da EPBD. Assim sendo, com a tomada de consciência da crise energética com o fim anunciado das energias fósseis e com o aparecimento do termo Desenvolvimento Sustentável - *"Meio de assegurar as necessidades das gerações presentes sem comprometer as necessidades das futuras gerações"* a redução dos consumos energéticos é uma necessidade premente e está fortemente dependente das condições de Qualidade do Ar Interior (QAI), não se podendo reduzir os gastos energéticos à custa da saúde e do conforto dos ocupantes.

Surge assim o interesse e a importância desta dissertação, que tem como objectivo, analisar o impacto da Norma de Conforto Europeia EN 15251 na certificação energética (CE) em edifícios de serviços.

De forma a cumprir o objectivo do trabalho, foram efectuadas várias simulações com o software Trnsys a uma fracção autónoma de um edifício, sendo que, em todas elas se fez uma avaliação de conforto e uma análise energética.

Partiu-se de uma situação de referência, em que a fracção autónoma está de acordo com a regulamentação Portuguesa (RSECE e RCCTE), passando para a simulação da mesma fracção autónoma de acordo com as exigências da norma de conforto Europeia EN15251. O objectivo foi de verificar o efeito da aplicação da norma nos consumos energéticos. Nesta fase, deparou-se um problema, uma vez que cumprindo todos os requisitos que a norma impõe, não se conseguiu obter as respectivas categorias de conforto. A resolução do problema foi feita com a alteração dos intervalos da temperatura operativa, sugeridos pela norma. Assim, por tentativa erro, foram-se alterando os setpoints de aquecimento/arrefecimento, até se obter o conforto, sendo este processo repetido para todas as simulações. Uma vez alterados os intervalos da Top e obtidas as categorias de conforto, verificou-se um aumento dos consumos energéticos relativamente à situação de referência, o que vai contra o objectivo da EPBD a que a norma se propõe.

Com o objectivo de melhorar os consumos energéticos foram efectuadas novamente algumas modificações. Foi alterado o sistema de climatização e foram implementadas algumas estratégias bioclimáticas. Após as alterações obtiveram-se consumos energéticos inferiores aos consumos obtidos na situação de referência, respeitando as classes energéticas exigidas pelo Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Desta maneira, concluiu-se é possível obter as categorias de conforto (I, II e III) e eficiência energética, embora isso só seja possível dentro de dentro de alguns critérios.

ABSTRACT

With a view to European harmonization of the methodology for calculating the energy consumption and performance of buildings, a series of standards were created, including the Comfort European standard EN 15251. This standard was developed under a mandate to the European Standardization (CEN) by the European Commission and the European Free Trade Association and supports essential requirements of the European Union Directive 2002/91/EC, "Energy Performance of Buildings Directive", EPBD, which is an important legislative component for energy performance of buildings.

The European standard EN15251 specifies the indoor environmental parameters for the construction of systems for cooling and energy performance calculations. The standard does not prescribe methods of design, but provides input parameters for the design of buildings, heating, cooling, ventilation and lighting systems. It applies to the following types of construction: houses, apartments, offices, educational buildings, hospitals, hotels and restaurants, sports facilities, wholesale and retail trade, building service.

However, this standard have higher comfort criteria than the existing ASHRAE 55 and ISO 7730 and thinks that could lead to undesirable increase in energy consumption, going against the main objective of the EPBD. Therefore, the awareness of the energy crisis with the announced end of fossil fuels and with the emergence of the term Sustainable Development - *"Method of ensuring the needs of present generations without compromising the needs of future generations"* the reduction of energy consumption is a pressing need and is highly dependent on conditions of Interior Air Quality (QAI), may not reduce the energy expenditure at the expense of health and comfort of occupants.

This leads to the interest and importance of this dissertation, which aims to analyze the impact of Comfort European standard EN 15251 certification in energy (EC) in building services. In order to achieve the objective of the work, several simulations were made with the software Trnsys to a fraction of a separate building, while in all they did an assessment of comfort and energy analysis.

Starting from a reference situation, where the fraction is independent in accordance with the Portuguese regulations (RSECE e RCCTE), to the simulation of the same independently fraction in accordance with the requirements of the EN15251 European standard of comfort. The objective was to determine the effect of applying the standard in energy consumption. At

this stage, it encountered a problem, as fulfilling all the requirements that the standard requires, not to obtain the respective categories of comfort. The resolution of the problem was to change the ranges of operating temperature, suggested by the standard. Thus, by trial error, we are changing the setpoints of heating / cooling, to obtain the comfort, and this process repeated for all simulations. Once amended the intervals obtained from the Top and the categories of comfort, there was an increase in energy consumption compared to the situation of reference, which goes against the objective of the EPBD to which the standard is proposed.

In order to improve the energy consumption were made some changes again. It has changed the climate system and has implemented some strategies bio. After the changes were obtained energy consumption below the intakes achieved in the situation of reference, with the classes required by the energy system of energy certification and Interior Air Quality in Buildings. Thus, it is possible if the categories of comfort (I, II and III) and energy efficiency, although this is only possible within a few criteria.

AGRADECIMENTOS

Este espaço é dedicado a todos aqueles que deram a sua contribuição para que esta dissertação fosse realizada. A todos deixo aqui o meu sincero agradecimento.

Ao Prof. José Luís Alexandre, pela forma como orientou o meu trabalho, pela disponibilidade demonstrada desde o contacto inicial, pela forma crítica e exigente com que abordou as ideias apresentadas, ajudando-me a dissipar dúvidas e a fazer opções nos momentos de incerteza.

Quero também agradecer aos meus colegas de laboratório, Engº Alexandre Freire e Engº Marcos Silva, que com a partilha do saber, deram uma valiosa contribuição na realização deste projecto. Em particular, o Engº Alexandre, que foi a pessoa que mais de perto acompanhou o meu trabalho, desde a abordagem inicial ao software de simulação TRNSYS, até à fase final, uma vez que foi ele o analista e revisor de parte do relatório.

Por último, a minha palavra de agradecimento vai para a minha família e amigos por todo o apoio que me deram e por sempre terem acreditado no meu trabalho.

A todos o meu profundo agradecimento.

ÍNDICE

Índice de Figuras 1

Índice de Tabelas 3

Lista de Símbolos 7

1 - INTRODUÇÃO 9

1.1 - Eficiência Energética 9

1.2 - Objectivos 11

1.3 - Estrutura 12

2 - ESTADO DA ARTE – Avaliação de conforto 15

2.1 - Análise do Conforto em Ambientes Interiores 15

2.2 - Variáveis que intervêm no Conforto 15

2.3 - Abordagem Analítica (PMV-PPD) 17

2.4 - Abordagem Empírica (Adaptativa) 21

2.5 - Diferenças entre as abordagens Analítica e Empírica 25

3 – ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS 29

4 - ANÁLIZE DA NORMA DE CONFORTO EUROPEIA EN 15251 31

4.1 - Classificação de Conforto 31

4.2 - Ambiente Térmico 32

4.2.1 - Edifícios com Ventilação Mecânica 32

4.2.2 - Edifícios com Ventilação Natural 33

4.3 - Qualidade do Ar Interior e Taxas Ventilação 35

4.4 - Ventilação durante as Horas Não-Ocupadas 36

4.5 - Humidade 36

4.6 - Iluminação 37

5 - SELECÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO 39

5.1 - Descrição do funcionamento do TRNSYS 40

5.2 - COMIS....43

6 - DADOS CLIMÁTICOS....47

6.1 - Análise dos dados climáticos....48

7 - CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO....51

7.1 - Localização....53

7.2 – Plantas....54

7.3 - Zonas....55

7.4 - Envolvente....56

7.5 - Ganhos Internos, Iluminação e Ocupação....57

7.6 - Climatização....59

7.7 - Ventilação....59

8 – APLICAÇÃO DO RSECE....61

8.1 - Coeficiente de Redução das Perdas Térmicas para locais não aquecidos....61

8.2 - Envolvente....62

8.3 – Cálculo dos Factores de Correcção (Fcv E Fci) 63

8.4 – Metodologia de Cálculo do IEE....64

9 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS....67

9.1 – Caso 1: Edifício de acordo com o Regulamento (RSECE) 67

9.2 – Caso 2: Aplicação da EN15251 à FA em estudo....69

9.2.1 – Categoria III....70

9.2.2 – Categoria II....72

9.2.3 – Categoria I....74

9.3 – Caso 3 - Alterações para obtenção das Categorias....77

9.3.1 - Categoria III.... 77

9.3.2 - Categoria II....79

9.3.3 - Categoria I....82

9.4 – Caso 4 - Sistema de aquecimento....85

9.5 – Caso 5 - Ventilação.....85

9.5.1 – Resultados para a Categoria III.....89

9.5.2 – Resultados para a Categoria II.....89

9.5.3 – Resultados para a Categoria I.....91

9.6 – Caso 6 - Envolvente.....92

9.6.1 – Categoria III.....94

9.6.2 – Categoria II.....94

9.6.3 – Categoria I.....96

9.7 – Resumo dos resultados.....97

10 - POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DA NORMA EN15251.....99

11 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS.....101

11.1 – Conclusões.....101

11.2 - Perspectiva de Trabalhos Futuros.....102

12 – REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA.....103

ANEXO A - Perfis.....109

ANEXO B – Avaliação de conforto para edifícios com ventilação mecânica.....111

ANEXO C – Ventilação.....115

ANEXO D – Características do ventilador.....119

ANEXO E – Cálculo da classe energética.....121

ANEXO F - Intervalos da temperatura operativa recomendados.....123

ANEXO G - Cálculo da temperatura média exterior exponencialmente ponderada.....125

ANEXO H – Valores da Top e do PPD para os valores limite do PMV.....127

Índice de figuras

Figura 1 – Distribuição percentual das trocas térmicas no corpo humano 17
Figura 2 - Relação entre o PMV e a percentagem média de pessoas insatisfeitas, PPD, segundo o modelo de Fanger [9]. 20
Figura 3 - Proporção de indivíduos confortáveis em relação à temperatura média interior, em edifícios de serviços, no Paquistão [35]. 24
Figura 4 – Temperaturas de conforto previstas pelo método do PMV e medidas em campo, em edifícios naturalmente ventilados [35]. 26
Figura 5 – Valores recomendados da temperatura operativa interior para edifícios com ventilação natural, em função da temperatura média exterior exponencialmente ponderada. . 33
Figura 6 - TRNSYS – Ligação entre aplicações 41
Figura 7- TRNSYS – Interface Gráfica no IISibat 41
Figura 8 - TRNSYS – Aplicação para definição do edifício – PREBID 42
Figura 9 - COMIS – Modelo nodal 44
Figura 10 - COMIS – Ligação entre *softwares* 44
Figura 12 - Nº de horas de ocorrência da direcção do vento para o Porto 48
Figura 11 - Temperatura média diária exterior no Porto 48
Figura 13 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores 49
Figura 14 – Vista exterior do edifício (rés-do-chão) 51
Figura 17– Fachada Norte 52
Figura 18 – Fachada Este 52
Figura 15 - Alçado a Norte 52
Figura 16 - Alçado a Noroeste 52
Figura 19 - Localização do edifício 53
Figura 20 - Planta 2D do edifício 54
Figura 22 – Zoneamento do edifício 55
Figura 21 - Representação do corte (A-A`) 55
Figura 24 - Gráfico do perfil de iluminação 58
Figura 23 – Gráfico do perfil de ocupação 58
Figura 25 – Gráfico do perfil dos ganhos internos 58
Figura 26 – Gráfico de potência em função do caudal. 59
Figura 27 – Distribuição das categorias para o caso 1 67
Figura 28 – Gráfico das categorias de conforto para o caso 1 68
Figura 29 – Distribuição das categorias para os dados de entrada da categoria III 72

Figura 30 – Distribuição das categorias para os dados de entrada da categoria II 74
Figura 31 – Distribuição das categorias para os dados de entrada da categoria I 76
Figura 32 – Distribuição das categorias após alteração (categoria III) 78
Figura 33 - Categorias de conforto para o caso 3 e consumos energéticos (categoria III)..... 78
Figura 34 – Distribuição das categorias após alteração (categoria II)..... 80
Figura 35 - Gráfico das categorias de conforto para o caso 3 (categoria II) 81
Figura 36 – Distribuição das categorias após alteração (categoria I) 83
Figura 37 - Gráfico das categorias de conforto para o caso 3 (categoria I)..... 83
Figura 38 – Limites Inferiores de conforto da Top para a ventilação natural. 88
Figura 39 – Limites Inferiores de conforto da Top para a ventilação natural. 88
Figura 40 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto para a ventilação híbrida com a respectiva contribuição da ventilação mecânica e natural, para os resultados da categoria III. 89
Figura 41 – Gráfico de distribuição de categorias para a ventilação híbrida com a respectiva contribuição da ventilação mecânica e natural, para os resultados da categoria II. 90
Figura 42 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto para a ventilação híbrida com a respectiva contribuição da ventilação mecânica e natural, para os resultados da categoria I. . 91
Figura 43 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto após alteração da envolvente, para os dados de entrada da categoria III. 94
Figura 44 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto após alteração da envolvente, para os dados de entrada da categoria II. 95
Figura 45 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto após alteração da envolvente, para os dados de entrada da categoria I. 96
Figura 46 – Evolução dos consumos com as melhorias para cada categoria. 98

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Votos médios previstos e sensações térmicas correspondentes, de acordo com o modelo de Fanger. 19
Tabela 2– Escalas da ASHRAE e de Bedford para a avaliação subjectiva das condições térmicas do ambiente [16]. 21
Tabela 3- Descrição da aplicabilidade das categorias utilizadas [57]. 31
Tabela 4- Valores do PMV e do PPD recomendados para edifícios com ventilação mecânica 32
Tabela 5 – Folga admissível para a temperatura de conforto operativa 34
Tabela 6 - Exemplos de valores recomendados para a humidade relativa em espaços ocupados, quando estão instalados sistemas de humidificação ou desumidificação 36
Tabela 7– Resumo dos valores dos dados climáticos em médias mensais 49
Tabela 8 - Características da localização do edifício 53
Tabela 9 - Dimensões das diferentes zonas do edifício e respectivas áreas de envidraçados 55
Tabela 10 - Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca 56
Tabela 11- Propriedades dos envidraçados 57
Tabela 12– Valores das densidades retiradas do RSECE 58
Tabela 13– Caudais mínimos de ar novo segundo o RSECE 60
Tabela 14- Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos [W/m^2.ºC] 62
Tabela 15 – Valores dos U´s obtídos e dos máximos permitídos. 62
Tabela 16 – Valores das áreas exteriores, interiores e do coeficiente τ 63
Tabela 17 – Classe energética 65
Tabela 18– Resultados dos consumos energéticos obtidos no Trnsys 68
Tabela 19 – Dados de entrada do Trnsys para a obtenção da categoria III 71
Tabela 20 - Consumos energéticos obtidos para a categoria III 71
Tabela 21 - Resultados obtidos para os dados de entrada da categoria III através do método A 71
Tabela 22 – Dados de entrada do Trnsys para a obtenção da categoria II 73
Tabela 23 - Consumos energéticos obtidos para a categoria II 73
Tabela 24 - Resultados obtidos para os dados de entrada da categoria II 73
Tabela 25 - Dados de entrada do Trnsys para a categoria I 75
Tabela 26- Consumos energéticos obtidos para a categoria I 75

Tabela 27 - Resultados obtidos para os dados de entrada da categoria I.....76
Tabela 28 – “Setpoints” utilizados 77
Tabela 29 - Resultados obtidos para o caso de início do aquecimento / arrefecimento 1 horas antes da ocupação. 77
Tabela 30 - Comparação dos resultados obtidos antes e depois das alterações aos requisitos da norma EN15251 para obtenção da categoria III 79
Tabela 31 – “Setpoints” utilizados em três simulações. 79
Tabela 32 - Resultados obtidos para o caso de início do aquecimento / arrefecimento 1 horas antes da ocupação. 80
Tabela 33 - Comparação dos resultados obtidos antes e depois das alterações aos requisitos da norma EN15251 para a categoria II.....81
Tabela 34 - Setpoints utilizados.....82
Tabela 35 - Resultados obtidos para o caso de início do aquecimento / arrefecimento 6 horas antes da ocupação, excepto à 2f, 12h. 82
Tabela 36 - Comparação dos resultados obtidos antes e depois das alterações aos requisitos da norma EN15251 para obtenção da categoria I.....84
Tabela 37 – Comparação dos resultados do IEE e da classe energética antes e depois de alterar o sistema de aquecimento 85
Tabela 38 - Valores dos coeficientes de pressão (Cp).....86
Tabela 39 – Temperatura interiores de projecto para a FA em estudo, sem sistema mecânico de arrefecimento e ventilação natural. 87
Tabela 40 - Consumos energéticos obtidos para a categoria III, com ventilação híbrida. 89
Tabela 41 - Consumos energéticos obtidos para a categoria II, com ventilação híbrida. 90
Tabela 42 - Consumos energéticos obtidos para a categoria I, com ventilação híbrida. 92
Tabela 43- Características dos elementos da envolvente opaca 93
Tabela 44 – Propriedades dos novos envidraçados 93
Tabela 45 - Consumos energéticos obtidos para a categoria III, após a alteração da envolvente. 94
Tabela 46 - Consumos energéticos obtidos para a categoria II, após a alteração da envolvente. 95
Tabela 47- Consumos energéticos obtidos para a categoria I, após a alteração da envolvente. 96
Tabela 48 – Resumo dos consumos energéticos obtidos em cada caso 97

Tabela 49 - Valores do PPD e Top recomendados para edifícios de serviços de escritórios (ou actividade similar) com sistema mecânico de ventilação e actividade de 1,2met aproximadamente.....99

Lista de Símbolos

A_{pav} – Área útil do pavimento [m^2]

A_{env} – Área de envidraçado [m^2]

A_i – Área do elemento que separa o espaço útil interior do espaço não útil [m^2]

A_u – Área do elemento que separa o espaço não útil do ambiente exterior [m^2]

A_{int} – Área interior [m^2]

A_{ext} – Área exterior [m^2]

T_{ar} – Temperatura do ar [ºC]

T_{op} – Temperatura operativa [ºC]

T_{rm} – Temperatura média exterior exponencialmente ponderada [ºC]

T_{rm-1} - temperatura média exterior exponencialmente ponderada do dia anterior [ºC]

T_{ed-1} - média diária da temperatura exterior para o dia anterior [ºC]

α - Constante entre 0 e 1.

Cp – Coeficiente de pressão [-]

GD – Graus – Dias de aquecimento [ºC.dia]

HR – Humidade relativa [%]

P_{vent} – Potência eléctrica consumida pelo ventilador [W]

Q_{tot} – Ventilação total [l/s]

Q_B – Ventilação para os materiais de construção [l/sm^2]

Q_p – Ventilação para as pessoas [l/s.pessoa]

n – número de pessoas

FA – Fracção autónoma

Cs – Concentração final [ppm]

C_0 – Concentração exterior [ppm]

U – Coeficiente de transmissão térmica superficial [W/m^2ºC]

1 - INTRODUÇÃO

Neste Capítulo apresenta-se a motivação que dá origem às actividades deste projecto. O tema é contextualizado na realidade actual para mostrar a necessidade de investigação nesta área. São apresentados os objectivos do trabalho e a estrutura na qual o mesmo foi organizado.

1.1 Eficiência energética

Os consumos energéticos no sector de edifícios em Portugal tem vindo a crescer de forma significativa ao longo das últimas duas décadas. É reconhecido que a utilização de energia para a climatização tem desempenhado um papel importante neste processo, temendo-se que o aumento desregrado possa continuar se não forem tomadas, medidas eficazes para o controlar. Um dos mecanismos com maior potencial de controlo, em Portugal, é o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE) instituído pelo Decreto-Lei n.º 78/2006.

A finalidade deste sistema é assegurar as condições de eficiência energética, a utilização de sistemas de energias renováveis, e ainda, a qualidade do ar interior nos edifícios. Para esse efeito, é verificado o cumprimento de determinados requisitos impostos segundo o caso em estudo e è emitido um certificado que classifica o desempenho energético e a qualidade do ar interior nos edifícios.

Em Portugal, a primeira regulamentação, denominada Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) [1], entrou em vigor no início de 1991. A intenção principal desse regulamento foi a de melhorar as condições de conforto no interior dos edifícios, que eram tradicionalmente insatisfatórias, encorajando a obtenção desse conforto sem o consumo excessivo de energia. Apesar de apresentar exigências relativamente pouco severas, se comparado com os regulamentos contemporâneos de outros países europeus, foi um dos primeiros que levou em consideração o conforto térmico no Verão, impondo também limites às necessidades anuais de arrefecimento para prevenir o sobreaquecimento e reduzir a necessidade de condicionamento artificial do ar [2]. Posteriormente, em 1992 surgiu o Regulamento da Qualidade dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RQSECE) [3] e em 1998 o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (RSECE) [4], nos quais foram estabelecidas exigências para projecto e instalação de sistemas, tendo em vista a sua racionalização energética.

Por outro lado, a assinatura por parte da União Europeia, do Protocolo de Quioto, obrigou os países membros a definirem medidas de acção que incentivassem a utilização prudente e racional dos recursos energéticos de forma a reduzir a emissão dos gases de dióxido de carbono para a atmosfera. O sector residencial e terciário, composto maioritariamente pelos edifícios, é foco de grande atenção, por ser o responsável por mais de 40% do consumo final de energia da União. Dentro desse contexto surgiu a Directiva Europeia sobre o Desempenho Energético dos Edifícios (EPBD) [5], cuja função é estabelecer requisitos para promover a melhora do desempenho energético em edifícios e dessa forma atender aos compromissos assumidos no Protocolo de Quioto.

A Directiva europeia para o desempenho energético dos edifícios (EPBD) foi aprovada no início de 2003 e obriga os países membros a:

(1) desenvolver uma metodologia para cálculo do desempenho energético integrado dos edifícios e HVAC incluindo sistemas de aquecimento, arrefecimento, ventilação e iluminação;

(2) estabelecer requisitos mínimos de desempenho energético dos novos edifícios;

(3) aplicar as exigências em edifícios existentes;

(4) desenvolver um sistema de certificação energética de edifícios;

(5) ter sistemas de aquecimento e ar condicionado inspeccionados regularmente

Por outro lado, o Organismo Europeu de Normalização (CEN) elaborou diversas normas para ajudar os países a implementar a directiva. Uma delas é a norma de conforto europeia, EN 15251, *"**Parâmetros ambientais interiores para a concepção e avaliação do desempenho energético dos edifícios abordando a qualidade do ar interior, ambiente térmico, iluminação e acústica**"*. A norma EN15251, que é o objecto de estudo deste trabalho, especifica valores de projecto do ambiente interior e os valores a serem utilizados nos cálculos dos consumos energéticos, incluindo métodos de avaliação a longo prazo de ambientes interiores [6]. É aplicável aos seguintes tipos de construção: habitações unifamiliares, apartamentos, escritórios, edifícios educacionais, hospitais, hotéis e restaurantes, instalações desportivas, comércio grossista e retalhista, edifícios de serviço.

Esta norma de conforto tem como base normas já existentes, ASHRAE 55 e ISO 7730. Contudo, visa critérios de conforto mais apertados do que o RCCTE e RSECE, o que poderá induzir a um aumento indesejável do consumo de energia, indo contra o principal objectivo da EPBD.

Sendo a redução dos consumos energéticos uma necessidade dominante, é também necessário lembrar que não se pode reduzir os gastos energéticos à custa da saúde e do conforto dos ocupantes, pelo que, de nada adianta ter um edifício energéticamente muito eficiente se os seus ocupantes não se sentem confortáveis, uma vez que é provável que esses ocupantes tomem medidas de modo a obter o conforto, medidas essas, que poderão afectar sériamente a classificação energética. No inverno por exemplo, quando os ocupantes de um determinado espaço sentem frio, é muito natural a utilização de um aquecedor eléctrico para aquecer o espaço. Procedimentos tão usuais como este, podem ter graves implicações energéticas e devem ser evitados, daí a necessidade de conforto em projecto. Só deste modo, é possível garantir a aplicação da melhor solução a cada caso particular.

É neste contexto que se evidência a importância e o objectivo deste trabalho, que consiste em verificar se ao aplicar a norma EN15251 a um edifício de serviços de construção típica nacional, conseguimos obter o conforto dos ocupantes e a tão desejada eficiência energética.

1.2 - Objectivos

Os principais objectivos desta pesquisa são:

1) Verificar se os requisitos da norma realmente garantem as condições mínimas de conforto exigidas pela norma, para cada categoria;
2) No caso de não garantirem, identificar as alterações a efectuar de forma a obter as categorias, verificando o impacto energético que essas alterações implicam;
3) Avaliar o impacto da aplicação da Norma EN15251 nos consumos de energia, verificando a sua conformidade ou não relativamente ao principal objectivo da EPBD;
4) Encontrar pontos de ataque que permitam reduzir os consumos energéticos nos edifícios sem penalizar o conforto.
5) Propor possíveis melhorias da norma EN15251.

1.3 – Estrutura do relatório

A presente dissertação é dividida em 12 Capítulos:

Capítulo 1. INTRODUÇÃO

Capítulo 2. ESTADO DA ARTE - Avaliação de conforto

Neste Capítulo é feito o estado da arte na determinação do conforto térmico em edifícios, apresentando-se uma revisão da literatura sobre métodos de avaliação existentes.

Capítulo 3. ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Neste capítulo são referidas estratégias de concepção e construção dos edifícios, que têm em atenção as condições climáticas do local e da sua interacção com o clima, melhorando o comportamento e a eficiência energética.

Capítulo 4. ANÁLISE DA NORMA EN 15251

É feita a análise da norma de conforto EN15251 relativamente à sua classificação de conforto, requisitos impostos e critérios de avaliação utilizados na avaliação do conforto nos edifícios.

Capítulo 5. SELECÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

Neste capítulo faz-se uma descrição das diversas ferramentas de simulação dinâmica actualmente disponíveis, suas principais características, vantagens e desvantagens, sendo o objectivo dessa apresentação justificar a escolha de uma das ferramentas.

Capítulo 6. DADOS CLIMÁTICOS

São apresentados os dados climáticos utilizados nas simulações fazendo-se a análise dos mesmos.

Capítulo 7. CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

Neste capítulo é feita a descrição detalhada do edifício em estudo, tais como a localização, envolvente opaca e não opaca, taxas de sombreamento dos envidraçados, padrões de ocupação, equipamentos e iluminação, sistema de climatização e ventilação.

Capítulo 8. APLICAÇÃO DO RSECE e RCCTE

Neste capítulo serão verificados os dos requisitos mínimos impostos pelo RSECE. Assim sendo, será feito o cálculo do coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos e serão verificados os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis da envolvente. Posteriormente será feito o cálculo do factor de correcção de energia que será necessário para posteriormente se calcular o índice de eficiência energético, (IEE).

Capítulo 9. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos nas simulações efectuadas, fazendo-se, também, a respectiva análise, tais como a avaliação de conforto e a análise energética. Serão também indicadas possíveis melhorias no que diz respeito à eficiência energética do edifício em estudo, sem penalizar o conforto, aplicando algumas estratégias bioclimáticas referidas no capítulo 3.

Capítulo 10. POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DA NORMA EN15251

Neste capítulo são referidos alguns pontos de ataque que podem servir de partida para uma possível melhoria da norma EN15251.

Capítulo 11. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS DE TRABALHO FUTURO

É feito um sumário de todo o conteúdo do projecto, dos resultados encontrados e das principais conclusões obtidas. São apresentadas as limitações da pesquisa e sugestões para novos trabalhos.

Capítulo 12. REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

2 - ESTADO DA ARTE – Avaliação de conforto

Neste Capítulo é feito o estado da arte na determinação do conforto térmico em edifícios, apresentando-se uma revisão da literatura sobre os métodos de avaliação já existentes.

2.1 - Análise do conforto em ambientes interiores

As primeiras actividades de investigação que procuraram estabelecer critérios de conforto térmico para os ambientes interiores surgiram com a industrialização no início do século XX, e suas principais preocupações eram a saúde e a produtividade das pessoas nos seus ambientes de trabalho. No início dos anos 60, alterações nas relações de trabalho para uma visão mais humanista fizeram com que surgissem abordagens multidisciplinares, que englobavam conhecimentos nas áreas de Engenharia, Arquitectura, Medicina, Física e Psicologia. Muitas pesquisas têm sido conduzidas desde então, inclusive em ambientes térmicos moderados, como moradias e edifícios de serviços. Actualmente, a literatura sobre o assunto é bastante extensa.

Segundo a definição mais amplamente utilizada, presente na norma ASHRAE 55, conforto térmico é **"a condição da mente que expressa satisfação com o seu ambiente térmico"** [7]. Entende-se assim, que para contabilizar e classificar o conforto, é essencial verificar quais são os factores que influenciam o bem-estar dos ocupantes. A multidisciplinaridade do assunto leva à necessidade do estudo dos processos térmicos do corpo humano, isto é, das suas trocas térmicas com o ambiente, do comportamento dos ocupantes em relação ao espaço e da avaliação subjectiva de bem-estar. Assim sendo, os parâmetros comumente aceites como sendo os mais importantes do conforto térmico subdividem-se em duas classes: parâmetros individuais, como a actividade metabólica, o vestuário usado e parâmetros ambientais como, a temperatura, velocidade, humidade relativa do ar e temperatura média radiante[1].

2.2 – Variáveis que intervêm no conforto

Considerando o equilíbrio térmico, como o balanço entre o calor gerado internamente (função do metabolismo e do tipo de actividade física desenvolvida) e o calor transmitido por condução, convecção e radiação, vem que:

$$M = Q_{cond} + Q_{conv} + Q_{rad} + Q_{Evap} + S \qquad (2.1)$$

[1] Temperatura média radiante: valor teórico de temperatura uniforme das superfícies interiores, consideradas negras sob o aspecto de radiação, que corresponde às mesmas trocas de calor por radiação que a situação real.

Onde S, é o termo de acumulação de energia no corpo e correspondente à diferença entre o metabolismo desenvolvido no corpo e a transferência de calor para o ambiente. A condução não assume geralmente grande relevância pelo que, normalmente, o calor transferido por condução é desprezável, pelo que $Q_{cond} \cong 0$. A convecção depende da temperatura e velocidade do ar exterior. A radiação depende da temperatura média radiante e a evaporação depende da humidade do ar e da sua velocidade.

O calor transferido por convecção, Q_{Conv}, é dado por:

$$Q_{conv}=15.\sqrt{v_{ar}}\ (T_{ves}-T_a) \tag{2.2}$$

O Calor transferido por convecção representa cerca de 26 % do total de trocas térmicas do corpo humano.

As trocas por radiação dão-se entre a superfície do vestuário, a pessoa (pele) e as paredes envolventes. Dependem da diferença de temperatura do vestuário e da temperatura média radiante das paredes envolventes (média ponderada das temperaturas das paredes envolventes). Podem ser determinadas por:

$$Q_{Rad} = 7.(T_{ves}-T_{mr}) \tag{2.3}$$

Por outro lado, pode-se determinar a perda de calor por radiação pela lei de Stefan Boltzmann:

$$R = \varepsilon.\sigma.\frac{A_{eff}}{A_{DU}}.f_{vest}.[(T_{vest} + 273)^4 - (T_r + 273)^4] \tag{2.4}$$

onde; $\frac{A_{eff}}{A_{DU}} \approx 0{,}71$; é um valor médio para várias posturas.

$$K_1 = \varepsilon.\sigma.\frac{A_{eff}}{A_{DU}} \approx 3{,}96.10^{-8}\ [\mathrm{W/m^2.K^4}] \tag{2.5}$$

O calor transmitido por radiação representa cerca de 42 % do total de trocas térmicas do corpo humano.

O calor transmitido por evaporação resulta da respiração e sudação do organismo. O seu cálculo é feito pelo balanço térmico resultante da equação 2.1, desde que já tenha sido estimado o valor do metabolismo:

$$Q_{Evap} = M - (Q_{Conv} + Q_{Rad}) \tag{2.6}$$

O calor transmitido por evaporação representa cerca de 32 % do total das trocas térmicas do corpo humano.

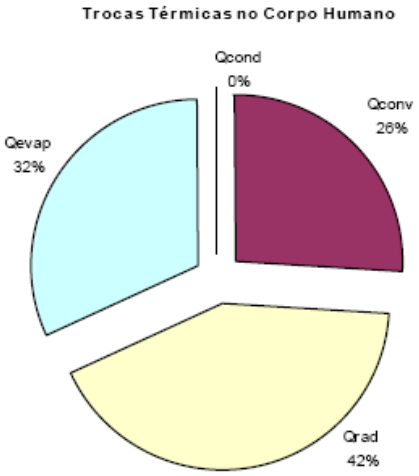


Figura 1 – Distribuição percentual das trocas térmicas no corpo humano

Os estudos que propõem critérios de conforto diferenciam-se de acordo com a abordagem experimental adoptada [8]. Existem basicamente duas abordagens, denominadas:

1. *PMV-PPD*, que utiliza as *câmaras climáticas.*
2. *Adaptativa*, que se baseia em *estudos de campo*

2.3 Abordagem PMV-PPD

As câmaras climáticas, que servem de base experimental para esse tipo de abordagem, são salas especialmente construídas nas quais é possível o ajuste das variáveis ambientais, como a temperatura, velocidade e humidade do ar e temperatura das superfícies. Permitem um procedimento controlado, e as condições de conforto são obtidas através da avaliação subjectiva de indivíduos expostos ao ambiente por elas proporcionado.

O modelo mais conhecido para análise do conforto, dentre os que representam esse tipo de estudo, é o proposto por Fanger [9]. A base teórica do modelo de Fanger é a interacção térmica entre o indivíduo e seu ambiente. Considera que o conforto é obtido quando há equilíbrio entre os ganhos e as perdas de calor do corpo humano, e quando a temperatura da pele e a secreção pelo suor se encontram dentro de certos limites, os quais foram obtidos através de campanhas experimentais em câmaras climáticas.

Baseando-se nessas duas condições, e utilizando conceitos de fisiologia e física, Fanger deduziu a equação de conforto. Essa equação permite o cálculo, para uma certa actividade e vestuário dos utentes, das condições ambientais necessárias para o conforto, expressas na combinação das seguintes variáveis: temperatura do ar (bolbo seco), humidade e velocidade

do ar e temperatura radiante média, nível de actividade física dos ocupantes e grau de isolamento térmico do vestuário.

A forma final da equação é razoavelmente complexa e para facilitar a sua utilização na época, Fanger resolveu-a para todas as combinações relevantes de variáveis e apresentou os resultados sob a forma de ábacos. A equação de conforto térmico permite calcular o termo de acumulação de energia no corpo (S), correspondente à diferença entre o metabolismo desenvolvido no corpo e a transferência de calor para o ambiente, sendo apresentada na equação 2.7.

Equação de conforto [13]:

$M - W$	(Metabolismo e Trabalho)	
$- 3{,}05 \times 10^{-3}.(5733 - 6{,}99.(M - W) - p_{vap})$	(Difusão de vapor)	
$- 0{,}42.((M - V) - 58{,}15)$	(Transpiração)	
$- 1{,}7 \times 10^{-5} M.(5867 - p_{vap})$	(Respiração latente)	(2.7)
$- 0{,}0014 \times M.(34 - T_{ar})$	(Respiração sensível)	
$- 3{,}96 \times 10^{-8} f_{vest}.((T_{vest} + 273)^4 - (T_{rad} - 273)^4)$	(Radiação)	
$- f_{vest} \times h \times (T_{vest} - T_{ar}) =$	(Convecção)	
$+S$	(Acumulação de calor)	

Nesta equação:

- M é o metabolismo, em [W/m^2]
- W é o trabalho realizado para o exterior, em [W/m^2]
- p_{vap} é a pressão parcial do valor de água do ar ambiente, em [Pa]
- T_{ar} é a temperatura seca do ar ambiente, em [ºC]
- f_{vest} é um factor de vestuário, adimensional
- T_{vest} é a temperatura exterior do vestuário, em [ºC]
- T_{rad} é a temperatura média radiante dos elementos opacos do espaço, em [ºC]
- h é o coeficiente de convecção entre a superfície exterior do vestuário e o ar exterior, em [W/m^{2}K]
- S é o termo de acumulação de energia no corpo, em [W/m^2]

Além da obtenção das condições necessárias para o conforto, Fanger procurou propor um método que fosse capaz de prever as sensações térmicas produzidas pelos ambientes e dessa forma auxiliasse na análise dos mesmos. Foi desenvolvido então um índice de conforto, no

qual a sensação térmica média de um grupo grande de pessoas num determinado ambiente é expressa através de um parâmetro denominado *voto médio previsto* (tradução de "predicted mean vote", PMV). O PMV obedece à escala apresentada na tabela 1.

Tabela 1 - Votos médios previstos e sensações térmicas correspondentes, de acordo com o modelo de Fanger.

Voto médio previsto	Sensação térmica
-3	Muito frio
-2	Frio
-1	Levemente frio
0	Neutro
+1	Levemente quente
+2	Quente
+3	Muito quente

Foi desenvolvida uma equação que possibilita o cálculo do PMV a partir da entrada das variáveis ambientais (temperatura, velocidade e humidade do ar e temperatura radiante média), da roupa e da actividade dos ocupantes. Essa equação foi obtida utilizando-se respostas subjectivas, de acordo com a escala acima apresentada, de indivíduos expostos a variadas condições em câmaras climáticas. Partindo do princípio de que a sensação térmica de cada um desses indivíduos era função da solicitação térmica a que estavam expostos, Fanger calculou essa solicitação para todas as situações e correlacionou-a com o voto de conforto.

Como a solicitação térmica é função das variáveis ambientais, da roupa e da actividade, foi possível encontrar a relação entre todos esses parâmetros e o voto de conforto médio dado pelas pessoas, nas mais variadas situações. Assim como para a equação de conforto, Fanger calculou o PMV para aproximadamente 3500 combinações de variáveis e disponibilizou os resultados em tabelas. A determinação do PMV, é feita pela aplicação da equação 2.8, que envolve o termo de acumulação de energia no corpo (S) e o metabolismo (M) [13]:

$$PMV = (0{,}303\ x\ e^{-0{,}036.M} + 0{,}028) x\ S \qquad (2.8)$$

A fim de tornar o índice mais significativo, Fanger procurou relacionar o PMV com o grau de insatisfação dos utentes.

Utilizando os dados experimentais e considerando como insatisfeitas as pessoas que votassem acima de -2 (frio) ou +2 (quente), obteve-se o gráfico da figura 1, a partir do qual foi

desenvolvida a equação 2.9. Nesse gráfico, apresenta-se o PPD como função do PMV. Assim, conhecido o valor de PMV, o PPD, calcula-se de acordo com a equação seguinte [13]:

$$PPD = 100 - 95\, x\, e^{(-0{,}03353 \cdot PMV^4 - 0{,}2179 \cdot PMV^2)} \quad (2.9)$$

Os dados experimentais deste modelo foram obtidos com mais de mil indivíduos dinamarqueses e norte-americanos. Fanger investigou se o método poderia ser aplicado a outros grupos de pessoas, e se haveria a influência de outros factores, como sexo, idade, peso, ciclo menstrual, diferenças étnicas, alimentação, entre outros, e concluiu que nenhum deles parecia influenciar o conforto de forma significativa. Em estudos posteriores, conduzidos também por Fanger [10], foi analisada a influência da habituação climática. Grupos de indivíduos com distintas experiências climáticas foram colocados nas câmaras e não demonstraram diferenças significativas nas suas temperaturas de preferência. Outras medições experimentais, semelhantes às usadas para obter os valores do PMV, foram conduzidas com cidadãos asiáticos, e resultados muito similares foram encontrados [11] [12].

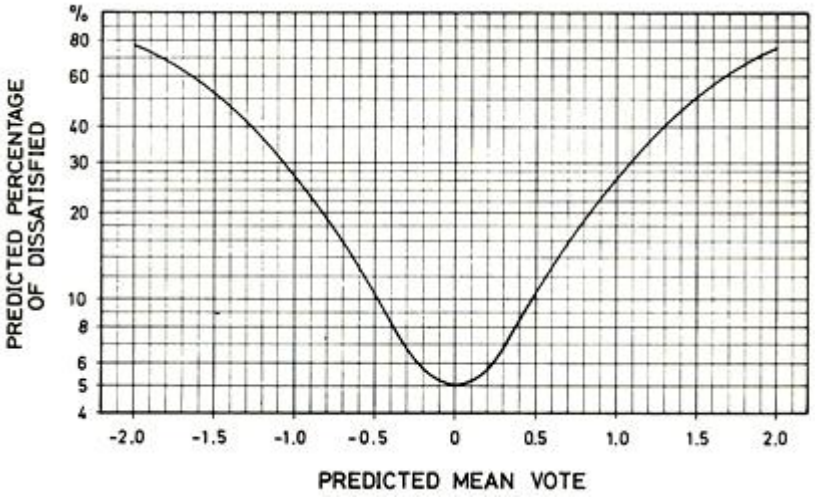


Figura 2 - Relação entre o PMV e a percentagem média de pessoas insatisfeitas, PPD, segundo o modelo de Fanger [9].

Vê-se que a curva é simétrica, o que indica que tanto a insatisfação com o frio quanto com o calor seguem o mesmo padrão. Também se observa que mesmo quando o voto médio é igual a zero, há em média 5 % de pessoas insatisfeitas, o que indica que é impossível garantir o conforto para a totalidade da população ocupante.

O PMV é o índice de conforto mais utilizado e conhecido em todo o mundo. Esse modelo serve de base para a norma internacional ISO 7730 [13], que estabelece as condições para ambientes termicamente moderados, nos quais as pessoas desenvolvem actividades leves.

Baseado nesta caracterização de conforto térmico, a ISO 7730 admite serem aceitáveis ambientes térmicos em que -0.5 < PMV < 0.5, ou seja, em que não mais de 10% dos ocupantes se mostrem descontentes.

Esta norma e o próprio índice foram inicialmente desenvolvidos considerando-se ambientes artificialmente climatizados, mas tem sido frequentemente sugerido que podem aplicar-se a todos os tipos de edifícios [14].

2.4 - Abordagem adaptativa

Neste tipo de estudo, os critérios de conforto são estabelecidos através de pesquisas de campo. As variáveis ambientais, como temperatura, humidade, velocidade do ar e temperatura de globo são medidas nos ambientes onde as pessoas estão a executar suas actividades normais, sem interferência do pesquisador. Ao mesmo tempo, os indivíduos votam as suas sensações de acordo com escalas previamente desenvolvidas para esta finalidade, sendo as da ASHRAE e a de Bedford as mais conhecidas (tabela 2). Em seguida, é feita uma análise estatística para encontrar a relação entre esses votos e as medidas experimentais. Dessa forma, obtêm-se os valores de temperatura (ou de outras variáveis ambientais), na(s) qual(is) as pessoas se sentem *confortáveis* ou *neutras*, dependendo da escala utilizada.

Tabela 2 – Escalas da ASHRAE e de Bedford para a avaliação subjectiva das condições térmicas do ambiente [16].

ASHRAE	Voto de conforto	Bedford
Muito quente	+3	Demasiado quente
Quente	+2	Muito quente
Levemente quente	+1	Confortavelmente quente
Neutro	0	Confortável, nem frio, nem quente
Levemente frio	-1	Confortavelmente quente
Frio	-2	Muito frio
Muito frio	-3	Demasiado frio

Um estudo de campo clássico, que criou o conceito de temperatura equivalente, foi conduzido nos anos 30, por Bedford [17], com trabalhadores de fábricas na Inglaterra.

Outro estudo importante foi o conduzido em 1959, por Webb [18], em Singapura, sobre o índice de Conforto Equatorial. Posteriormente, em 1970, Humphreys e Nicol [19] completaram um trabalho iniciado por Webb, que visava propor um índice de conforto

térmico para trabalhadores em edifícios de serviços, na Inglaterra. Os dados que obtiveram conduziram-nos a uma série de questões e em seguida a alguns estudos [20-23] nos quais procuraram explorar o que havia sido observado, o que acabou por resultar na formulação, em 1978, de um modelo de conforto alternativo ao proposto por Fanger [23]. Estes foram os primeiros estudos representativos do que posteriormente se convencionou chamar ***abordagem adaptativa*** ("adaptive approach").

A abordagem adaptativa é um tipo de abordagem empírica que utiliza os dados recolhidos em campo para determinar a *temperatura interior de conforto,* a qual é expressa em função da *temperatura exterior*. A temperatura interior pode ser representada pelas temperaturas de globo[2], operativa[3], ou simplesmente pela temperatura do ar.

Os resultados de pesquisas de campo comprovam que a temperatura interior na qual as pessoas se sentem confortáveis é fortemente relacionada com a temperatura exterior. Essa relação é expressa por meio de equações com o seguinte formato [24]:

$$Tc = a.Text + b \tag{2.10}$$

As constantes *a* e *b* são obtidas através de análise estatística dos dados obtidos nas pesquisas de campo. O parâmetro representativo da temperatura exterior, T_{ext}, varia conforme o modelo proposto, podendo ser, por exemplo, a temperatura média exponencial exterior (T_{rm}). A temperatura interior de conforto (T_C), corresponde ao voto zero de conforto (tabela 2), e geralmente representa a sensação de neutralidade térmica, pois na maior parte dos estudos adaptativos é utilizada a escala da ASHRAE. Estudos mais recentes procuram investigar não só a sensação térmica do utente, como também a sua preferência em relação às condições internas [25] [16].

A forte dependência da temperatura de conforto em relação à exterior foi primeiramente observada por Humphreys [23], ao investigar 36 estudos de campo conduzidos em vários países. A relação encontrada para edifícios ventilados naturalmente, sem condicionamento artificial de ar, é expressa na equação 2.10, que tem o formato da equação 2.11. De acordo com essa equação, quando o clima está mais frio, as pessoas tendem a sentir-se confortáveis a temperaturas mais baixas, e quando o clima está mais quente, ocorre o oposto.

[2] Temperatura de globo: temperatura no interior de uma esfera pintada de preto, com aproximadamente 40 mm de diâmetro, que corresponde a um valor situado entre as temperaturas do ar e radiante média [8].

[3] Temperatura operativa: valor teórico de temperatura uniforme de uma envolvente negra na qual o ocupante troca a mesma taxa de calor por radiação e convecção que com o ambiente real. Corresponde à média ponderada entre as temperaturas do ar e radiante média, sendo os factores de ponderação os coeficientes de transferência de calor por radiação e convecção [13].

$$Tc = 0{,}534.T_{rm} + 11{,}9 \qquad (2.11)$$

Uma relação muito similar à expressa na equação 2.11 foi encontrada posteriormente, através da análise dos dados obtidos em estudos de campo conduzidos em quatro continentes, coordenados pela ASHRAE [26] [27], o que veio reafirmar a validade da relação proposta [28].

Neste critério, é utilizada somente a temperatura interior como parâmetro de "controlo", não sendo consideradas outras variáveis, como a humidade e velocidade do ar, roupa e actividade. Mas, apesar do seu formato simples, nesse tipo de equação estão implicitamente reflectidas todas as características ambientais e de ocupação dos locais específicos avaliados nas pesquisas de campo. O facto da temperatura interior estar vinculada à exterior, e a estreita relação entre ambas, obtida através dos dados empíricos, fazem com que este seja um parâmetro capaz de expressar de forma suficientemente precisa as condições de conforto.

Esta abordagem passou a ser denominada *adaptativa* porque se observou que a temperatura de conforto acompanha a variação da temperatura exterior devido aos mecanismos de adaptação das pessoas. Principalmente nos edifícios ventilados naturalmente, as variações do clima exterior são de certa forma reflectidas na temperatura interior, e as pessoas tendem a adoptar atitudes para se adaptarem a essas alterações e sentirem-se confortáveis, como por exemplo, o abrir as janelas. Assim, o princípio é de que, se ocorre uma mudança que proporcione desconforto no ambiente, as pessoas reagem com atitudes de forma a recuperar o conforto [29-30]. Com isso, a temperatura de conforto acompanha a variação da temperatura interior e consequentemente, da exterior. Quando o clima aquece, as pessoas tendem a suportar temperaturas mais altas, quando o clima arrefece, o oposto ocorre, dentro de certos limites, obviamente. Nicol [8] lista os tipos de atitudes de adaptação que podem ser tomadas e cita alguns exemplos:

1. *Modificação da produção de calor do corpo*. Por exemplo, inconscientemente, no Inverno, através do aumento da tensão muscular.

2. *Modificação da taxa de perda de calor do corpo*. Inconscientemente, através da vaso regulação e do suor, ou conscientemente, através da alteração da roupa e da ingestão de bebidas quentes ou frescas.

3. *Modificação do ambiente térmico*. Através da abertura de janelas e do uso de ventilador ou lareira, etc.

4. *Selecção de outro ambiente térmico*. Alteração de posição dentro de uma mesma sala, por exemplo, para um local mais próximo ou afastado da janela, ou ida para outro ambiente dentro do mesmo edifício, entre outros.

A tendência natural das pessoas a adaptarem-se às alterações nos seus ambientes pode ser verificada na figura 3, que mostra a percentagem de trabalhadores de edifícios de serviços, no Paquistão, que se declararam confortáveis nas mais variadas temperaturas [31]. Cada ponto corresponde aos dados médios obtidos para uma determinada cidade, num determinado mês. Havia sido observada grande variação da temperatura interior ao longo do ano, o que é uma característica dos edifícios paquistaneses.

Consequentemente, devido à capacidade de adaptação das pessoas, a percentagem de pessoas satisfeitas é elevada e superior a 90%, numa faixa larga de temperatura, nomeadamente entre 20 e 30 °C. Os meios mais utilizados pelos utentes para se adaptarem aos seus ambientes foram alterações significativas no vestuário e a utilização de ventiladores.

Mais evidências de adaptação podem ser encontradas numa série de estudos que procuram relacionar o comportamento dos ocupantes, suas sensações de conforto e as variações ambientais [30-33].

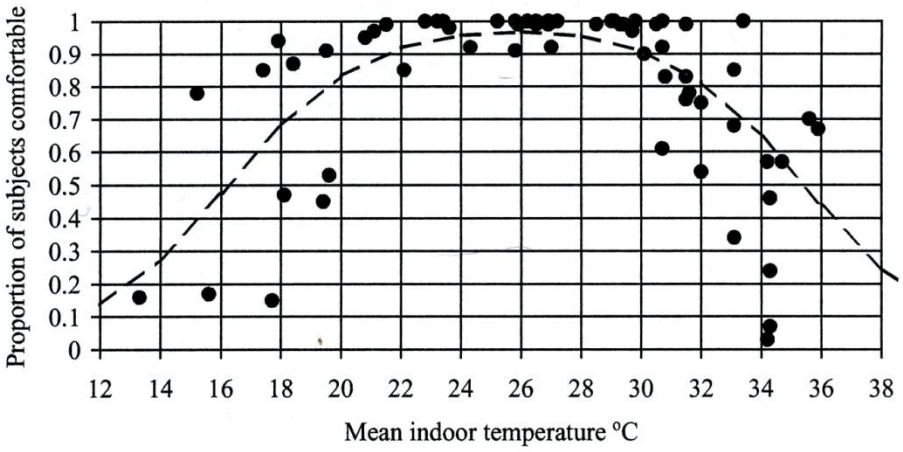


Figura 3 - Proporção de indivíduos confortáveis em relação à temperatura média interior, em edifícios de serviços, no Paquistão [35].

O índice de Fanger também considera, de certa forma, atitudes adaptativas, nomeadamente alterações no vestuário e na velocidade do ar. De acordo com esse índice, quando a temperatura interior aumenta, para que haja conforto (PMV igual a zero), o vestuário deve diminuir e/ou a velocidade do ar, aumentar (e vice-versa). Com isso, é possível ter-se uma

faixa de temperaturas de conforto, mas esta geralmente não corresponde à encontrada através do método adaptativo (ver secção 2.5).

Com o uso de equações como a 2.8 e os dados climáticos de determinada localidade, é possível calcular directamente a temperatura de conforto, variável ao longo do ano. Encontra-se implícita nessas equações a relação entre os utentes e o ambiente, e todas as acções de adaptação tomadas pelos mesmos, nos locais avaliados nas pesquisas de campo, que não podem ser climatizados. O maior cuidado a ser tomado é com a sua generalização. Quando possível, devem ser conduzidos estudos localizados, que possam reflectir de forma mais adequada os climas específicos, tendo sempre cuidado com a origem dos ficheiros climáticos utilizados.

2.5 - Diferenças entre a abordagem PMV-PPD e adaptativa

Em princípio, não se pode dizer que haja alguma contradição entre as duas abordagens [45]. Cada uma possui a sua especificidade, sendo que a PMV-PPD verifica o que ocorre em câmaras climáticas, enquanto a adaptativa se centra no que ocorre nos estudos de campo, em edifícios não climatizados.

A divergência aparece a partir do momento que se comparam os resultados obtidos pelos dois métodos. Em vários estudos de campo, as pessoas mostraram sentir-se confortáveis numa faixa de temperatura muito mais larga do que a prevista pelo PMV [27,21,14,46-50], mesmo tendo em conta os valores reais de vestuário e actividade associados a cada situação. Recentes estudos de campo indicam grande conformidade entre a real sensação térmica dos utentes e a prevista por modelos de conforto adaptativo, nos edifícios naturalmente ventilados [51-52].

Para exemplificar essa diferença tem-se a figura 3, que mostra um dos resultados encontrados na análise dos dados de estudos de campo da ASHRAE [27]. No gráfico está representada a temperatura interior de conforto de edifícios naturalmente ventilados, em função da temperatura exterior. Cada ponto (indicado na legenda da figura como “OBS- temperatura de conforto”) corresponde aos valores médios obtidos para cada edifício estudado. As duas regressões lineares correspondem aos valores médios de temperatura interior observados em campo (indicada na figura como “ajustada ao OBS- modelo adaptativo”), e ao valor de temperatura interior de conforto calculado para as mesmas situações, utilizando o modelo do PMV (linha indicada como “PREVISTO- método PMV”)

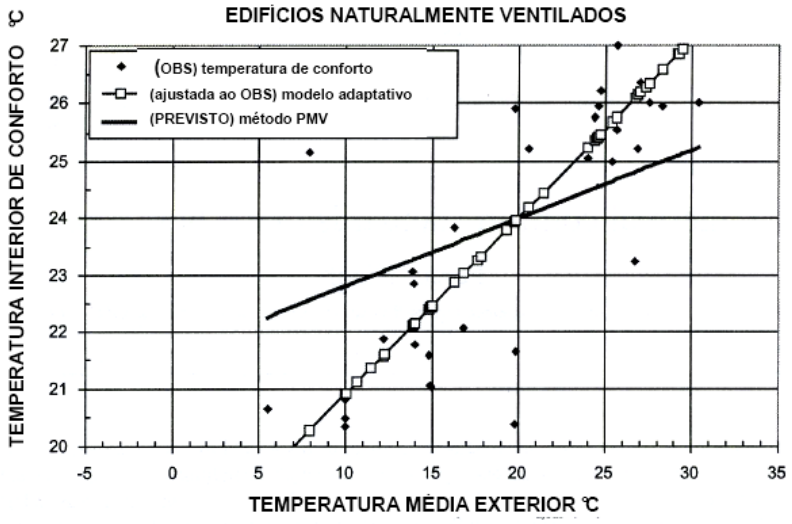


Figura 4 – Temperaturas de conforto previstas pelo método do PMV e medidas em campo, em edifícios naturalmente ventilados [35].

Para esse cálculo, considerou-se a velocidade e humidade do ar médias de cada edifício em questão, e a roupa e o metabolismo utilizados pelos utentes. Na figura 4 comparam-se as temperaturas de conforto correspondentes aos dados de campo e às calculadas pelo modelo analítico, e nota-se que, acima de uma temperatura exterior de aproximadamente 20ºC, os utentes tendem a sentir-se confortáveis em temperaturas mais altas que as propostas pelo PMV. De forma contrária, abaixo dessa temperatura exterior as pessoas tendem a aceitar temperaturas mais baixas que as previstas pelo PMV. A temperatura de conforto calculada pelo PMV varia em função da temperatura exterior, devido às alterações da roupa dos utentes. Apesar disso, ainda se nota diferenças significativas entre os dois métodos, indicando que somente as alterações da roupa não são suficientes para explicar essa questão.

São levantadas várias hipóteses para explicar as discrepâncias existentes entre os dois métodos, bem como feitas considerações que visam clarificar o entendimento de ambos os modelos. Na sequência são listadas as observações mais relevantes.

1. As câmaras climáticas não permitem que as pessoas ajam com naturalidade, como se estivessem nos seus ambientes rotineiros, o que faz com que as suas expectativas se alterem [53]. Baker e Standeven [54] mostraram a importância das *oportunidades adaptativas*, ou seja, oportunidades dadas aos utentes nos edifícios para que possam adoptar as acções descritas anteriormente, como abrir ou fechar as janelas, mudar de local dentro da sala ou do edifício, entre outras. Além disso, a insatisfação tende a ser maior quando há menor possibilidade de controlo do ambiente. Ou seja, as câmaras praticamente não oferecem *oportunidades adaptativas*, os utentes encontram-se numa

situação passiva, a possibilidade de controlo é mínima, e portanto, a faixa das condições ambientais aceitáveis acaba por ser muito mais limitada.

2. O modelo de Fanger foi desenvolvido para condições de regime permanente, muito distintas das condições reais, encontradas principalmente em edifícios não condicionados, onde os utentes estão em constante interacção com o meio. Os estudos que procuram analisar a influência da variação da temperatura no PMV também foram conduzidos em câmaras climáticas [55], as quais também não conseguem simular as reais condições transitórias, e as reacções naturais dos utentes.

De um modo geral, não foram encontradas tantas discrepâncias entre o modelo do PMV e os dados de campo para edifícios condicionados artificialmente [26-27]. As principais hipóteses levantadas para o facto são a carência de meios para controlar o ambiente e as diferentes expectativas dos utentes.

Humphreys e Nicol [48], no entanto, ao analisarem a base de dados da ASHRAE [26-27], atentam para o facto de que há também diferenças para os edifícios condicionados artificialmente, mas estas são mascaradas pela estreita faixa de temperatura desses ambientes.

A questão energética no desempenho energético surge porque o modelo do PMV foi originalmente proposto para ambientes com ventilação mecânica. A sua aplicação leva à adopção de temperaturas interiores constantes, ou dentro de uma faixa muito estreita, incentivando o gasto de energia desnecessário, pois em ambientes não condicionados seriam toleradas gamas de temperatura mais amplas. Algoritmos de controlo baseados em modelos adaptativos provaram proporcionar economia de energia, sem detrimento do conforto [24,39].

3 – ESTRATÉGIAS BIOCLIMÁTICAS

Existem estratégias de concepção e construção dos edifícios através das quais podemos melhorar o comportamento e a eficiência energética dos mesmos.

As estratégias que têm em atenção as condições climáticas do local e da sua interacção com o clima, proporcionando a adequação do edifício ao clima, designam-se geralmente por Estratégias Bioclimáticas [73]. As Estratégias Bioclimáticas são um conjunto de regras ou medidas de carácter geral destinadas a influenciarem a forma do edifício bem como os seus processos, sistemas e componentes construtivos. As estratégias a adoptar num determinado edifício ou projecto deverão ser seleccionadas; tendo em atenção a especificidade climática do local, função do edifício e consequentemente, modo de ocupação e operação do mesmo, com o objectivo de promoverem um bom desempenho em termos de adaptação ao clima.

Existem também dispositivos construtivos integrados nos edifícios, cujo objectivo é o de contribuir para o seu aquecimento ou arrefecimento natural, estes sistemas são referidos como Sistema Passivos.

De seguida realçam-se algumas boas práticas a ter em conta:

Incidência Solar

No Inverno interessa promover os ganhos de radiação, pelo que se apresenta benéfica a abertura de vãos envidraçados no quadrante Sul.

No Verão interessa restringir esses mesmos ganhos, pelo que se apresenta importante que os vãos sejam dotados de dispositivos sombreadores eficazes. Principalmente nos vãos a Poente e Nascente.

Nos quadrantes Norte, Nascente e Poente, seria desejável que a abertura de vãos se restrinja a menores dimensões, desde que isso seja aceitável em termos das outras exigências também presentes no edifício.

Perdas de Calor

A transmissão de calor por condução através da envolvente dos edifícios, quer sejam as perdas de calor através dos elementos construtivos da envolvente no Inverno, quer os ganhos indesejáveis de calor através dos mesmos elementos no Verão, são fenómenos que muito influenciam o comportamento térmico dos edifícios. Para minimizar estes efeitos em ambas as estações, deve aumentar-se a resistência térmica dos elementos construtivos, o que se consegue do seguinte modo:

• No caso da envolvente opaca (paredes, coberturas e pavimentos), através da incorporação de materiais isolantes, de que são exemplo a cortiça, o poliestireno expandido, o poliuretano e as lãs minerais.

• No caso da envolvente envidraçada, através da selecção de janelas cujo conjunto "vidro/caixilho/persiana" apresente valores de resistência térmica mais elevados, por exemplo, vidros duplos.

Assim, restringir a Condução é uma Estratégia Bioclimática que, num clima temperado como o de Portugal, se deve promover nos edifícios para conseguir obter conforto no seu interior, tanto de Inverno como de Verão. Enquanto no Inverno interessa restringir perdas de calor para o exterior através da envolvente, no Verão torna-se mais favorável restringir os ganhos excessivos de calor exterior de forma a manter uma temperatura mais constante no interior dos edifícios.

Ventilação Natural

No Inverno, quando a temperatura exterior apresenta praticamente sempre valores abaixo das condições de conforto, interessa limitar as infiltrações. No entanto, a renovação do ar interior é uma medida necessária à manutenção das condições de salubridade interior dos edifícios pelo que deve ser sempre assegurado um mínimo recomendável através de um sistema de ventilação, natural, mecânico ou híbrido, adequado.

No Verão, a ventilação natural assume um papel de relevo no arrefecimento nocturno dos edifícios. A circulação de ar contribui para a diminuição da temperatura interior e ainda para a remoção do calor sensível armazenado na massa térmica. A ventilação tem também implicações em termos de conforto térmico, ao incentivar perdas de calor por convecção e evaporação nos ocupantes.

4 - ANÁLIZE DA NORMA EUROPEIA EN 15251

Neste capítulo é feita uma análise da norma de conforto EN15251 relativamente à sua classificação de conforto, requisitos de aplicação e critérios de avaliação.

O Organismo Europeu de Normalização (CEN) elaborou diversas normas para ajudar os países a implementar a Directiva europeia para o desempenho energético dos edifícios (EPBD). Uma delas é a norma de conforto europeia, EN 15251, "**Parâmetros ambientais interiores para a concepção e avaliação do desempenho energético dos edifícios abordando a qualidade do ar interior, ambiente térmico, iluminação e acústica**". A norma especifica valores padrão das variáveis de conforto térmico como, temperaturas, caudais de ar novo, concentrações de CO_2, humidade, etc., a serem utilizadas em situações de projecto do ambiente interior e cálculos de consumos de energia, incluindo métodos de avaliação a longo prazo do conforto térmico [6].

4.1 - Classificação de conforto

A EN15251 qualifica o conforto agrupando os edifícios em 4 categorias. Estas baseiam-se na sensação de conforto dos ocupantes e no grau de exigência dos mesmos. A tabela 4 mostra as categorias definidas pela norma.

Tabela 3- Descrição da aplicabilidade das categorias utilizadas [57].

Categoria	Explicação
I	Alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis e frágeis com necessidades especiais como deficientes, doentes, crianças muito pequenas e idosos
II	Nível normal de expectativa e deve ser utilizado para novas construções e renovações
III	Um aceitável, moderado nível de expectativa e pode ser utilizado para os edifícios existentes
IV	Valores fora dos critérios para as categorias anteriores. Esta categoria só deverá ser aceite para uma parte limitada do ano

Em consonância com a sua ligação com o EPBD, a EN15251 relaciona cada categoria de conforto, com o tipo de construção e expectativa dos ocupantes. À medida que a categoria diminui (IV para a I), mais apertado é o controlo, o que implica uma utilização de energia mais elevada. Assim sendo, a categoria I é a mais exigente, e é utilizada apenas em situações

especiais, tais como, hospitais, salas de operações, locais ocupados por pessoas frágeis como doentes, crianças e idosos. A categoria II, é definida como a norma a ser aplicada, devendo ser utilizada em todas as novas construções, será portanto uma categoria muito utilizada. Para edifícios já existentes, o ideal também seria aplicar a categoria II, contudo, isso poderia levar a grandes alterações dos edifícios, de maneira que é mais racional optar por uma categoria menos exigente, ou seja, a categoria III, que também deverá ser bastante utilizada. A categoria IV, como é sugerido na tabela 4, apenas deverá ser aceite uma parte do ano. Para esta categoria não são impostos requisitos, apenas é dito que se atinge a categoria quando os valores estão fora dos critérios das categorias anteriores, devendo portanto a utilização desta categoria deve ser evitada.

4.2 – Ambiente térmico

A temperatura é sem dúvida a variável mais explorada pela norma. Esta separa os critérios recomendados para o ambiente térmico e avaliação do conforto nos edifícios, com ventilação mecânica e com ventilação natural [6].

4.2.1 Edifícios com ventilação mecânica

Os critérios para o ambiente térmico são baseados nos índices de conforto térmico PMV-PPD, as letras I, II e III da EN15251 correspondem as letras A, B e C da ISO 7730.

Tabela 4- Valores do PMV e do PPD recomendados para edifícios com ventilação mecânica

Categoria	PPD (%)	PMV
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2
II	< 10	-0,5 < PMV < +0,5
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7
IV	> 15	PMV < -0,7 ou +0,7 < PMV

Esta classificação considera que a actividade metabólica é de 1,2 met e o vestuário é de 1.0 clo no verão e 0,5 clo no inverno. Contudo, não é dada nenhuma prova de que estes sejam os valores por defeito ou como lidar com uma situação em que eles não o são.

Baseada nos critérios seleccionados (categoria de conforto) é estabelecido o correspondente intervalo de temperatura. Os valores para dimensionamento de sistemas de refrigeração são os valores máximos do intervalo conforto e os valores para o dimensionamento do sistema de aquecimento são os valores mais baixos do intervalo de conforto. Alguns exemplos de recomendação de temperaturas interior operativas, derivados de acordo com este princípio, para o aquecimento e arrefecimento são apresentados na tabela F.1 (ANEXO F).

A norma recomenda também intervalos de temperaturas para o cálculo horário de energia de arrefecimento e arrefecimento em três categorias de ambiente interior, tabela A.2 do mesmo anexo.

4.2.2 - Edifícios com ventilação natural

Perante edifícios providos de ventilação natural, o critério aplicado pela EN15251 para definir as categorias de conforto é o conforto adaptativo descrito anteriormente no capítulo 2.4.

Neste critério, as categorias são função directa da temperatura operativa interior, calculadas pela equação 3.1, não sendo consideradas outras variáveis como parâmetro de "controlo", como a humidade e velocidade do ar, roupa e actividade.

$$Ti = 0{,}33.T_{rm} + 18{,}8 \qquad (3.1)$$

Onde, T_{rm} é calculado segundo o anexo G.

As categorias de conforto representam uma banda de tolerância em torno de uma linha central definida pela equação 3.1, conforme se mostra no gráfico da figura 5.

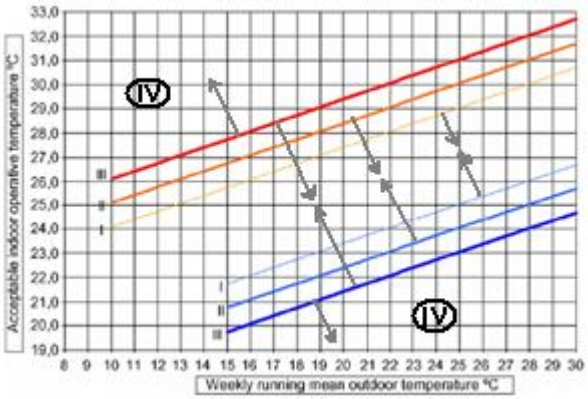


Figura 5 – Valores recomendados da temperatura operativa interior para edifícios com ventilação natural, em função da temperatura média exterior exponencialmente ponderada.

Sendo que:

T_{rm} = média exponencial da temperatura do ar exterior (ºC)

T_0 = temperatura média operativa (ºC)

Este diagrama apenas foi validado para edifícios com janelas accionáveis sob o controle dos ocupantes que podem ser facilmente abertas e ajustadas pelos ocupantes do espaço [6].

Novamente as categorias apresentam características comutativas, na medida em que as bandas de cada categoria comutam em relação à anterior. Apenas a categoria IV é que corresponde aos casos em que não se respeita nenhuma das categorias I a III.

Acima destas bandas de temperatura assume-se que o edifício está sobreaquecido e dentro estão em conformidade. Assim sendo, a tabela 5 resume a largura de banda a acrescentar à equação 3.1 para cada categoria. O sinal (+) é o limite superior e (-) o limite inferior.

Tabela 5 – Folga admissível para a temperatura de conforto operativa

Categoria	T_{op} (folga) [ºC]
I	± 2
II	± 3
III	± 4

Estes limites aplicam-se quando $10 < T_{rm} < 30$ (ºC) para o limite superior e $15 < T_{rm} < 30$ (ºC) para o limite inferior. Quando $T_{rm} < 10$ºC, utilizam-se os limites superiores para edifícios com sistema mecânico de arrefecimento da tabela F.2 (anexo F), enquanto que no cálculo dos limites inferiores, quando $T_{rm} < 15$ºC, utilizam-se os limites inferiores da mesma tabela.

Como este método segue o princípio adaptativo, não deve ser utilizado se houver arrefecimento mecânico em funcionamento no espaço. A ventilação mecânica com ar **não-condicionado** pode ser utilizada no verão, desde que os caudais e os consumos sejam baixos, tais com ventoinhas, persianas, ventilação nocturna e outro meios passivos de climatização, isto é, o principal meio de remoção de carga térmica do espaço deve ser a abertura e o fecho de janelas.

Os espaços podem ter um sistema de aquecimento, desde que este não inclua meios de ventilação mecânica de ar tratado. Os ocupantes terão de estar em actividades físicas sedentárias com taxas metabólicas que variam entre 1.0 a 1.3 met. É igualmente importante que não existam politicas de vestuário no edifício, a fim de permitir que os ocupantes ajustem o vestuário ao seu metabolismo e se adaptem livremente ao ambiente interior.

Para os edifícios e os espaços onde a ventilação natural não é suficiente para satisfazer as categorias exigidas o edifício deverá ter meios mecânicos para garantir o conforto e deverá ser avaliado conforme o anexo B.

4.3 - Qualidade do ar interior e taxas ventilação

As taxas de ventilação para a qualidade do ar dependem da ocupação, actividades em ambientes fechados (fumar, cozinhar, limpar, lavar ...), processos (como copiadoras em escritórios, produtos químicos em edifícios escolares, etc ...) e das emissões de materiais de construção, bem como do mobiliário. Numa situação de projecto, as principais fontes de poluentes devem ser reduzidos ao mínimo e as concentrações dos poluentes mantidas dentro dos limites especificados pela norma. Para tal recorre-se à ventilação de caudais de ar novo correspondentes.

A ventilação é exigida por motivos de saúde e conforto. Os efeitos para a saúde podem ser atribuídos a componentes específicos das emissões, se reduzir-mos a concentração de uma fonte vamos também reduzir a concentração dos outros poluentes em simultâneo. Por outro lado, o conforto é mais relacionado com a percepção da qualidade do ar, odores, irritação, etc. Normalmente os caudais atribuídos por questões de saúde são também suficientes para satisfazer os requisitos de conforto.

A norma apresenta 3 métodos para o cálculo das taxas de ventilação em edifícios não-residenciais. Esses métodos são apresentados de seguida, encontrando-se descritos detalhadamente no anexo C, onde também se define como caracterízar um edifício de pouco poluente, muito pouco poluente ou não pouco poluente.

1º) Cálculo da ventilação necessária para os ocupantes (fumadores e não-fumadores) mais a ventilação necessária para os poluentes do edifício. Neste método é especificada a densidade de ocupação segundo o tipo de utilização. Os valores são todos apresentados por área.

2º) Método baseado na taxa de ventilação por pessoa ou por m^2 de área útil

Nos valores por pessoa assume-se que ocupantes são a única fonte de poluição. Os valores por área de piso assume-se que apenas as fontes de poluição são as emissões dos materiais. A ventilação do edifício deve ser concebida considerando todas as fontes de poluição presentes.

3º) Valores de CO_2 recomendados para o cálculo da energia

As taxas de ventilação necessárias também podem ser calculadas com base num balanço de equação de massas para a concentração de CO_2 [58], tendo em conta a concentração de CO_2 ao ar livre. Critérios recomendados para o cálculo de CO_2 estão incluídos na tabela

C.4 do anexo C. Os valores de CO_2 indicados também podem ser utilizados para o controle da demanda da ventilação.

4.4 - Ventilação durante as horas não-ocupadas em edifícios não-residenciais

É necessário um fluxo de ar novo equivalente a 2 volumes de ar do espaço ventilado, que deverá ser entregue ao espaço antes da ocupação (por exemplo, se a taxa de ventilação é de 2 rph a ventilação é iniciada uma hora antes do ocupação). As infiltrações podem ser calculadas como uma parte da ventilação (devem ser descritas as hipóteses de fugas).

A taxa mínima de ventilação deve ser definida com base no tipo de construção e carga de poluente nos espaços, podendo o edifício ser considerado muito pouco poluído, pouco poluído ou não pouco poluído, conforme o típo de materiais utilizados. No caso de não estarem disponíveis exigências nacionais é recomendado um valor mínimo de 0,1 a 0,2 $l/s.m^2$.

4.5 - Humidade

A humidificação do ar interior geralmente não é necessária. A humidade tem um efeito relativamente pequeno sobre a sensação térmica e percepção da qualidade do ar nas salas de ocupação sedentária, porém, a longo prazo alta humidade em ambientes fechados vai provocar crescimento microbiano, e a humidade muito baixa, (<15-20%) provoca secura e irritação dos olhos e vias respiratórias. Por estes motivos a norma também define os valores recomendados para a humidade relativa que estão na tabela 6.

Tabela 6 - Exemplos de valores recomendados para a humidade relativa em espaços ocupados, quando estão instalados sistemas de humidificação ou desumidificação

Tipo de edifício	Categoria	Humidade relativa mínima recomendada [%]	Humidade relativa máxima recomendada [%]
Espaços onde os critérios de húmidade são estabelecidos pela ocupação humana.	I	50	30
	II	60	25
	III	70	20
	IV	> 70	< 20

Normalmente a humidificação ou a desumidificação apenas é necessária em edifícios especiais (como museus, hospitais, centros de saúde, lares de idosos acamados, etc) em parte do ano e em algumas zonas climáticas.

Além disso, recomenda-se limitar a humidade absoluta, a 12 g/kg.

4.6 - Iluminação

Em **edifícios não residenciais**, a concepção dos níveis iluminação podem ser garantidos por meio de luz natural, luz artificial ou uma combinação de ambas. A escolha da fonte de luz terá forte um impacto sobre a demanda energética do edifício. Por razões de saúde, conforto e energia, na maioria dos casos, é preferível o uso da luz natural (talvez com alguma iluminação suplementar) do que apenas a utilização de luz artificial. Claro que esta depende de muitos factores como, horas de ocupação, autonomia (porção de tempo de ocupação durante o qual há luz suficiente), a localização do edifício (latitude), a quantidade de luz natural durante o verão e o inverno.

De forma a permitir que as pessoas executem tarefas visuais de forma eficaz e rigorosa, (sem efeitos laterais, como brilho e cegueira), deve ser fornecida a luz adequada. Como tal, a norma EN15251 sugere a consulta da norma EN 12464-1 [57], onde é definida e detalhada a iluminação exigida a um determinado espaço, apresentando contudo, exemplos de projecto dos níveis de iluminação para alguns edifícios e espaços. Esses valores não são apresentados neste trabalho, uma vez que a iluminação não será objecto de estudo neste projecto.

5 - SELECÇÃO DA FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO

O primeiro passo para compreender a utilização da energia num edifício é conhecer a quantidade de energia que é utilizada e qual a sua distribuição pelos diversos consumidores energéticos. Infelizmente, esta tarefa não é tão simples quanto parece. Mesmo que esta informação esteja disponível, como por exemplo o gás natural e a electricidade consumida por uma caldeira e um ar condicionado, respectivamente, a avaliação continuaria a ser complexa em termos de eficiência energética. Com o aumento do interesse em melhorar a eficiência energética dos edifícios, engenheiros, peritos em energia e analistas desenvolveram ferramentas baseadas em métodos computacionais que simulam, com detalhe, os fluxos de energia num edifício ao longo de períodos de tempo alargados, tipicamente, um ano.

Do ponto de vista térmico, um edifício não é mais do que um sistema, complexo, com um conjunto mais ou menos alargado de subsistemas, como por exemplo, a ocupação, as condições climáticas exteriores, os equipamentos, os sistemas AVAC, e muitos outros. A cada instante, dentro do edifício, há inúmeros processos de transferência de calor nos subsistemas, como por exemplo a velocidade do ar e a radiação solar que variam constantemente alterando o comportamento do edifício a cada instante. Assim sendo, o comportamento do sistema – edifício vai depender de todas as variáveis que o constituem e o seu consumo energético não é estático e é dificilmente previsível. Trata-se de um processo dinâmico.

Os métodos numéricos desenvolvidos para análise destes sistemas resultaram em programas de simulação térmica de edifícios que tentam modelar, e integrar, de forma cada vez mais realista, e detalhada, os fenómenos de transferência de calor que ocorrem num edifício. Todos os programas de simulação térmica de edifícios, matematicamente, são apenas um conjunto de sistemas de equações de conservação da massa e energia aplicada a cada zona térmica. Estes sistemas podem atingir, facilmente, o milhar de equações.

Efectuar a simulação de edifícios envolve entender a natureza do problema a ser resolvido, escolher o programa adequado, saber como utilizá-lo correctamente e finalmente, interpretar os resultados [60]. Actualmente, dentre os “softwares” mais difundidos para a simulação horária do desempenho térmico de edifícios, podem-se citar o ESP-r [64], o DOE [65], o TRNSYS [59] e o EnergyPlus [64]. O tipo de resultado que se desejava obter, ou seja, as cargas térmicas e a variação horária da temperatura, é fornecido por todos estes programas, sem distinção. As diferenças entre eles consistem no método de cálculo em que se baseiam, na forma de entrada de dados e no formato de apresentação final dos resultados.

Atendendo ao carácter flexível e modular do TRNSYS, às suas capacidades na simulação térmica de edifícios, especificamente no que respeita à análise da envolvente e solar, e também às potencialidades que apresenta na simulação de sistemas de ventilação e controlo dos mesmos, esta é uma das ferramentas apropriadas ao estudo que se pretende efectuar neste trabalho.

Para a avaliação do nível de confiabilidade de um programa de simulação do desempenho térmico de edifícios, há três formas específicas de validação [68]:

1. *Validação empírica*: comparação dos resultados do programa com dados experimentais, medidos num edifício real ou numa célula de teste.

2. *Verificação analítica*: comparação dos resultados do programa com os de um determinado método numérico ou solução analítica, com condições de fronteira bem definidas.

3. *Testes comparativos*: o programa em questão é comparado com ele mesmo ou com outros melhor validados ou mais detalhados.

Nesta dissertação, foi usado o teste comparativo em que foram comparados os resultados com uma simulação de referência que utiliza valores aconselhados pela regulamentação nacional (RCCTE e RSECE).

5.1- Descrição do funcionamento do TRNSYS

O TRNSYS [59], comercializado desde 1975, é um programa bastante conhecido para a simulação de sistemas transientes. Devido à sua estrutura modular, é bastante versátil e pode ser utilizado nas mais diversas aplicações. O programa é composto por uma série de rotinas escritas na linguagem Fortran, denominadas “types”, que contêm modelos que descrevem componentes do sistema.

A sua biblioteca engloba muitos dos componentes comummente encontrados em sistemas térmicos, bem como rotinas de apoio (para leitura de dados climáticos, conversão de unidades, cálculo da radiação nas superfícies, entre outras).

Cada rotina possui os seus específicos dados de saída (“outputs”) e de entrada (“parameters” e “inputs”). Os “parameters” permanecem fixos durante a simulação, enquanto que os “inputs” variam em função do tempo. Em algumas rotinas, os “inputs” devem ser fornecidos em ficheiros externos. Para se efectuar a simulação de um sistema, são especificadas as rotinas a

serem utilizadas no mesmo e definidas as interligações entre elas no ficheiro de entrada do TRNSYS (*.dck). Os “outputs” de uma são os “inputs” de outra, e assim por diante.

Na figura 6 mostra-se um diagrama de interligação entre o TRNSYS e um conjunto de ferramentas e aplicações disponíveis, das quais se destacam:

- IISibat ou PRESIM – Interfaces gráficas para a construção de sistemas;
- PREBID – Interface gráfica para introduzir a informação de edifícios;
- TRNSED – Ferramenta para partilhar simulações com não utilizadores;
- SIMCAD – Envolve CAD compatível com AUTOCAD para edifícios.

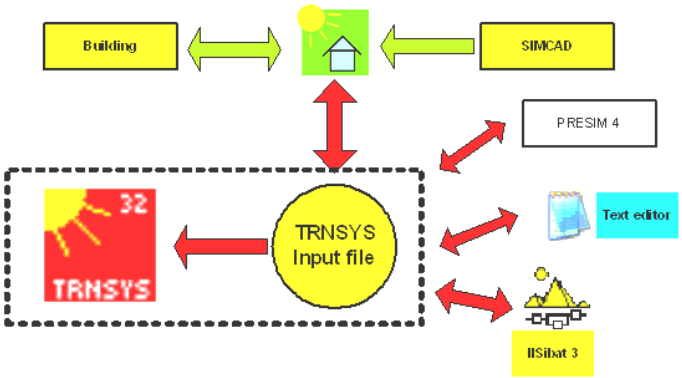


Figura 6 - TRNSYS – Ligação entre aplicações

As interfaces gráficas, nomeadamente o IISibat [62], são uma das vantagens evidentes do TRNSYS, uma vez que evita a necessidade de escrever um ficheiro com a descrição de cada componente do sistema.

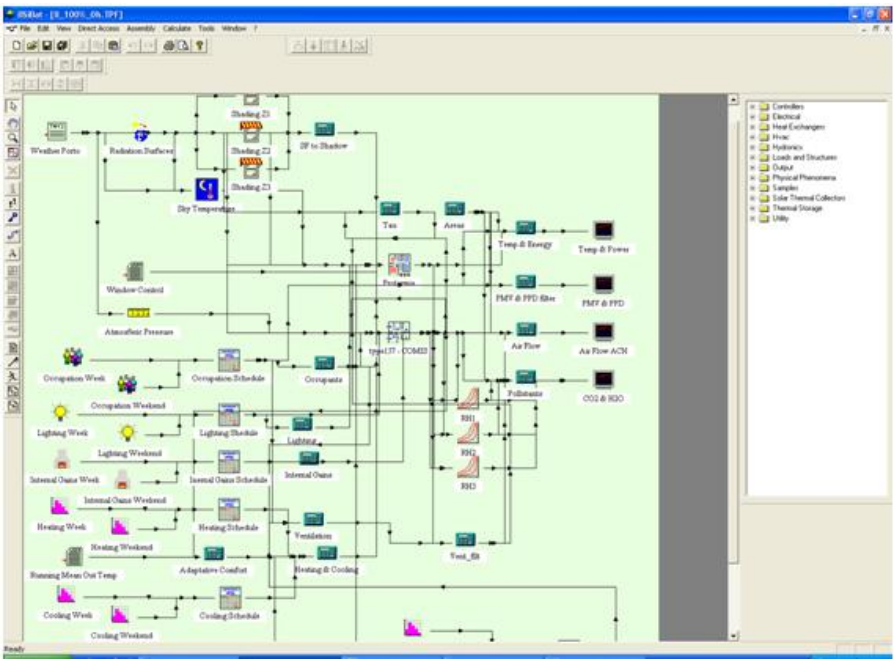


Figura 7- TRNSYS – Interface Gráfica no IISibat

No TRNSYS, os edifícios são tratados como se de outro componente de um sistema se tratasse. Para a sua definição é necessário a utilização de uma ferramenta específica, o PREBID[4] [63]. O modelo mais complexo para a definição de um edifício é o *Type 56*, um modelo multizona, que lê um ficheiro com as características do edifício pré processadas no PREBID (figura 8). Nesta aplicação, o utilizador caracteriza o edifício, especificando as zonas térmicas e introduz os dados relativos a cada uma: perfis de ocupação, ganhos internos e sistemas aí existentes. Através do PREBID, o utilizador tem acesso às bases de dados dos elementos da envolvente, respectivos materiais, janelas, etc.

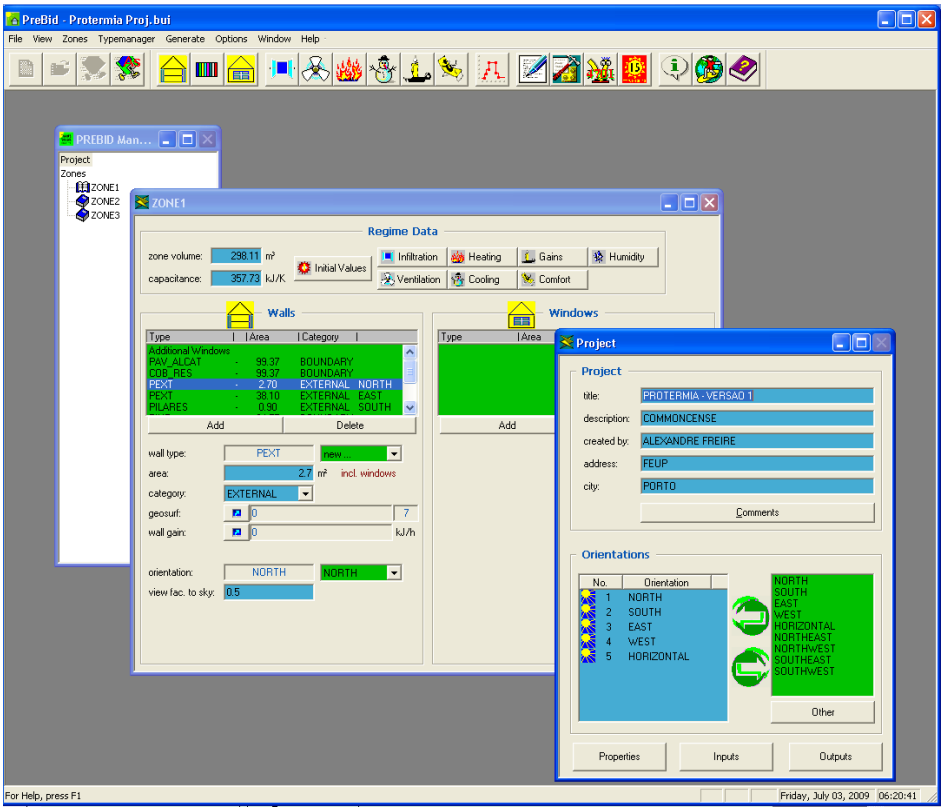


Figura 8 - TRNSYS – Aplicação para definição do edifício – PREBID

Depois de definido o edifício ele será "ligado" a outros *types* através do *Type 56*. Os *inputs* do *Type 56*, como por exemplo, os dados climáticos, a potência de aquecimento, as taxas de renovação de ar e a temperatura, etc., provém de outros componentes, cujos *inputs*, por sua vez, são *outputs* do *Type 56* e de outros componentes, sendo, portanto um processo cíclico de troca de informação entre diferentes componentes.

A base do TRNSYS é simples de compreender e tem grandes vantagens: flexibilidade, modularidade, código aberto e uma base de dados com uma gama alargada de componentes. Tem, no entanto algumas desvantagens, como por exemplo, a complexidade para os novos

[4] PREBID – Interface gráfica para introduzir as características do edifício e respectiva descrição.

utilizadores, a identificação dos erros do modelo que é pouco clara e o facto de se tratar de um *software* comercial e portanto com encargos elevados.

Como se sabe, os fluxos de ar (ventilação) em sistemas de ventilação natural e/ou híbrido são função de um conjunto de factores climáticos. Assim sendo, é necessário utilizar ferramentas de previsão que consigam tratar este fenómeno de forma correcta. O TRNSYS é um *software* fortemente direccionado para o cálculo térmico e trata a ventilação de uma forma pouco exaustiva, sendo pouco apropriado para um estudo detalhado dos efeitos de um sistema de ventilação na eficiência energética de um edifício. No entanto, devido à sua estrutura modular e flexível, tem a possibilidade de lhe incluir outras subrotinas que podem tratar todas as questões associadas à ventilação, fluxos de ar e transporte de poluentes.

5.2 COMIS

O programa COMIS - *Multizone Air Flow Model* [63] é um *software* de simulação que foi desenvolvido entre 1987-1988 durante um workshop da *Lawerence Berkley Laboratory* (LBNL) e que pode ser utilizado como um modelo de simulação independente ou associado a programas de simulação térmica, como por exemplo o TRNSYS ou o EnergyPlus, como já referido.

Toda a análise física da ventilação assenta num modelo nodal que estuda a distribuição dos caudais de ar em estruturas multizona tendo em consideração os efeitos do vento, sistemas de ventilação e ainda a distribuição e transporte de diferentes poluentes.

Tratando-se de um modelo nodal (figura 9) encara o edifício como uma rede de nós e ligações entre eles. Os nós representam um volume com um conjunto de especificações e as ligações representam frinchas, aberturas, janelas, dispositivos de ventilação, etc., ou seja resistências à passagem do ar.

O COMIS, sendo um modelo nodal (figura 9) permite que o utilizador especifique três tipos de nós:

- Zona do edifício, representando um compartimento, um conjunto de compartimentos ou uma ligação entre elementos de um sistema de ventilação;
- Nó exterior, que representa as condições do ambiente exterior ao edifício, caracterizados pela temperatura, humidade absoluta, pressão atmosférica e velocidade/direcção do vento.
- Nó de pressão constante, um modo artificial de introduzir uma pressão constante na rede.

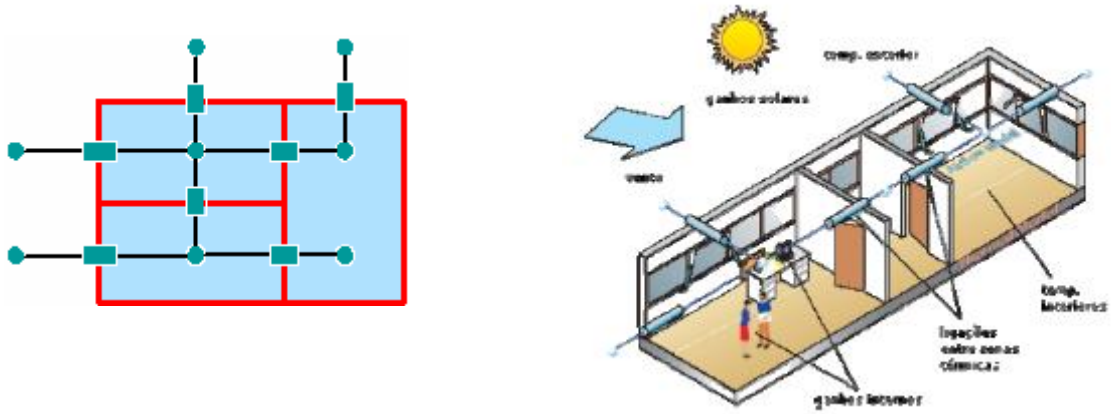


Figura 9 - COMIS – Modelo nodal

O modelo de cálculo utilizado pelo COMIS assume que os fluxos de ar atingem o estado estacionário em cada intervalo de tempo. O transporte dos contaminantes é baseado num modelo dinâmico e tem o seu próprio incremento de tempo, baseado na constante de tempo da zona mais crítica. Os dois modelos estão interligados.

A integração do COMIS no TRNSYS resulta de uma simples inclusão de mais um *type* no código base do segundo programa. O *type 157*, designação desse novo módulo, é ligado ao *type 56*, fornecendo-lhe os valores dos caudais de ar em circulação e concentrações de poluentes e recebendo as temperaturas de cada zona. Na figura 10 apresenta-se, esquematicamente o processo de ligação dos dois programas.

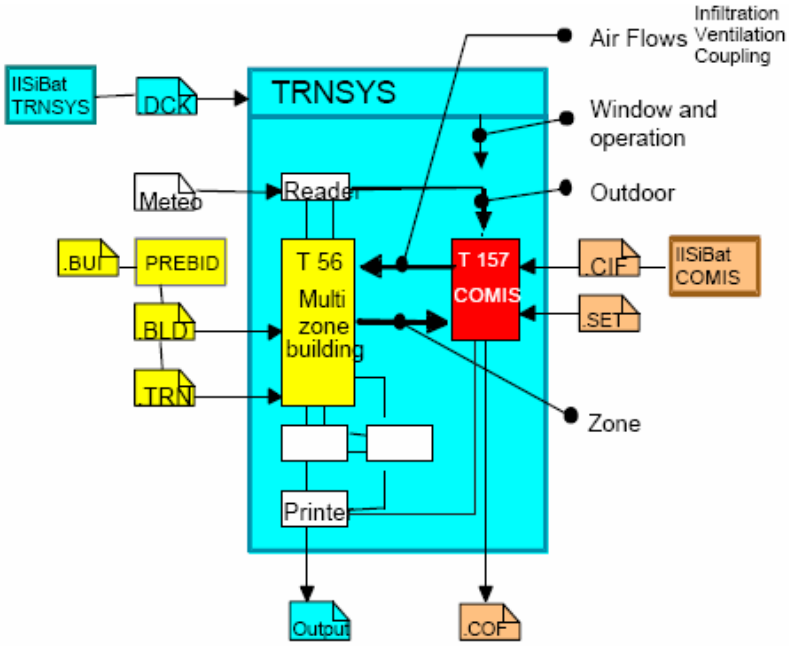


Figura 10 - COMIS – Ligação entre *softwares*

Estes nós podem ser interligados (links) através de diversos componentes que permitam a passagem de fluxos de ar, como por exemplo: fendas (cracks), janelas e portas, grelhas, condutas, ventiladores entre outros. A definição destes componentes e dos links entre eles é escrita, pelo utilizador, no ficheiro de input do COMIS **(*.cif)** e os resultados da simulação da rede são gerados pelo COMIS e escritos no ficheiro de output **(*.cof)**.

Algumas regras na ligação TRNSYS + COMIS :

- ✓ Os caudais de infiltração, ventilação e coupling são um output do Type 157 e um input do Type 56
- ✓ As temperaturas interiores dos espaços são um output do Type 56 e um input do Type 157
- ✓ Os horários de ocupação são definidos no TRNSYS
- ✓ O ficheiro com os dados climáticos é único e definido no TRNSYS
- ✓ Não existem outputs do COMIS, todos os resultados são obtidos a partir do TRNSYS

6. DADOS CLIMÁTICOS

Para uma utilização correcta dos programas de simulação detalhada é fundamental o conhecimento dos dados climáticos da zona de implantação do edifício. Os dados climáticos podem assumir formatos distintos e fontes diversas, desde medições efectuadas no local ou zona próxima até dados gerados utilizando *softwares* apropriados e com base em cálculos estatísticos. A situação ideal será sempre a primeira, na qual as informações climáticas são medidas mas, trata-se de uma opção muito complicada, uma vez que seria necessário que no local de implantação do edifício existisse uma estação climática, que medisse todas as variáveis necessárias à simulação durante um período representativo do clima do local, ou seja, vários anos. A única situação em que existem medições durante períodos de tempo alargados corresponde às medições efectuadas pelos institutos de meteorologia, mas esta informação não é facilmente disponibilizada e as estações meteorológicas encontram-se distanciadas dos centros urbanos, pelo que nem sempre correspondem à realidade do local onde se encontra o edifício.

Uma vez que não estão disponíveis os dados climáticos do Porto será utilizada uma base de dados que disponibiliza os ficheiros de dados climáticos em formato TMY2[5]. O METEONORM v5.013 [69] é um *software* que incorpora uma base de dados climáticos, provenientes de cerca de 7400 estações climáticas em todo o mundo, e um gerador de dados climáticos sintéticos. A partir da lista de estações climatológicas disponíveis nesse programa, foram gerados os dados horários de temperatura do ar, humidade e radiação global horizontal para um ano típico.

[5] *TMY2: Typical Meteorological Year*

6.1. Análise dos dados climáticos

De acordo com o RCCTE, a estação convencional de aquecimento corresponde ao *período do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que, para cada localidade, a temperatura média diária é inferior a 15 ºC e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15 ºC* [70].

Na figura 11 apresenta-se, a evolução da temperatura média exterior diária durante o ano.

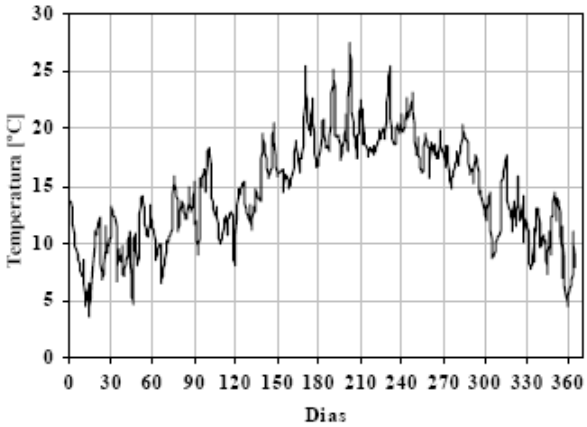


Figura 11 - Temperatura média diária exterior no Porto

Um dos factores mais importantes, em termos de dados climáticos, quando se está a tratar de ventilação natural ou híbrida, é o vento e a sua aleatoriedade. Nestes casos, é da máxima importância conhecer a sua velocidade. Na figura que se segue, é feita uma análise da direcção do vento.

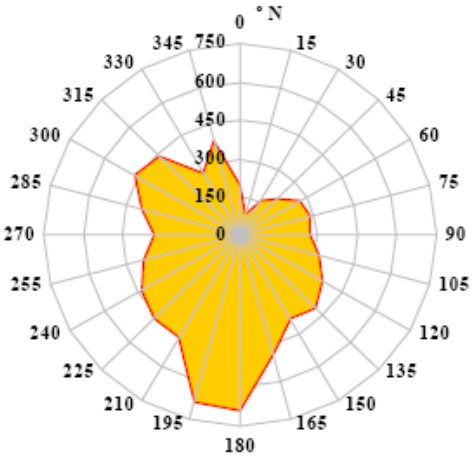


Figura 12 - Nº de horas de ocorrência da direcção do vento para o Porto (0º vento de Norte, 90 de Este, 180 de Sul e 270 de Oeste)

Por último, apresenta-se um gráfico da radiação solar total horizontal ao longo do ano.

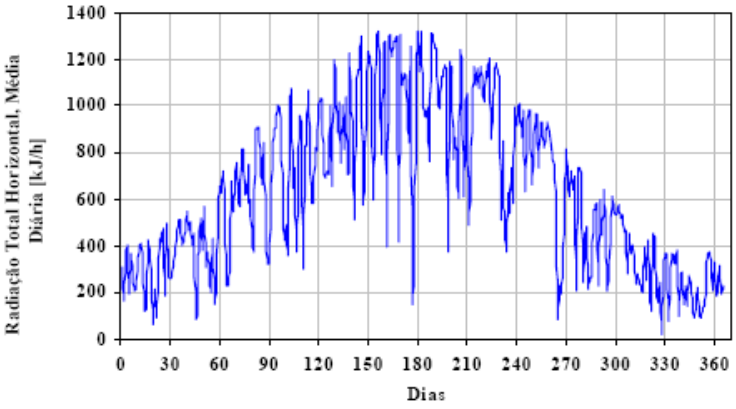


Figura 13 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para o Porto

Na tabela 7, apresenta-se um resumo dos valores dos dados climáticos em médias mensais que foram utilizados nas simulações:

Tabela 7– Resumo dos valores dos dados climáticos em médias mensais

	Porto											
Mês	**1**	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**	**10**	**11**	**12**
Temperatura (°C)	9,3	10,1	11,5	12,9	15,1	18,1	19,9	19,8	19	16,2	12,3	9,9
Humidade (%)	81	80	75	74	74	74	73	73	76	80	81	81
Radiação global horizontal (kWh/m^2)	60	71	126	151	193	208	206	192	145	101	60	48

7 - CARACTERIZAÇÃO DO EDIFÍCIO

O presente caso de estudo refere-se a uma fracção autónoma de serviços, pertencente à empresa, *Projectos Térmicos, Industrias e de Ambiente, Lda.* e que faz parte de um edifício residencial.

O edifício tem um total de 6 pisos, no entanto a fracção em estudo é apenas o Rés-do-chão. O edifício possui ainda uma garagem subterrânea que abrange toda a área de pavimento da fracção autónoma em estudo.

Figura 14 – Vista exterior do edifício (rés-do-chão)

Para permitir uma melhor visualização do edifício foram incluídas neste trabalho as figuras 15 e 16 dos alçados a Norte e a Noroeste e as figuras 17 e 18 das fachadas Norte e Este respectivamente.

Vista do edifício em relação aos edifícios vizinhos:

Figura 15 - Alçado a Norte

Figura 16 - Alçado a Noroeste

Fachadas visíveis:

Figura 17– Fachada Norte

Figura 18 – Fachada Este

Salienta-se que a fracção autónoma tem a fachada Noroeste em contacto com um edifício vizinho. As restantes fachadas estão em contacto com o exterior.

7.1 - Localização

O edifício localiza-se no Porto, a uma altitude de 85,34m, em zona urbanizada e foi construído em 1994. Desde então, o edifício nunca foi remodelado.

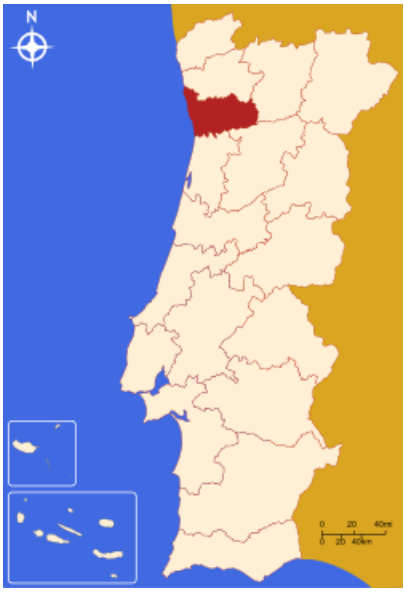


Figura 19 - Localização do edifício

Segundo o RCCTE a localização do edifício apresenta as características da tabela 8.

Tabela 8 - Características da localização do edifício

Localização do Edifício	Porto
Zona Climática	I2 – V1
Latitude	41,1º
Longitude	-8,6º
Altitude	85,34 m
$T_{proj_Inverno}$	20ºC
$T_{proj_Verão}$	25ºC
$T_{ext_Inverno}$	1,3ºC
$T_{ext_Verão}$	29,7
Número de graus-dias de aquecimento	1610 ºC.dias
Amplitude térmica	10,1 ºC

7.2 - Plantas:

As figuras 20 e 21 pretendem apresentar a distribuição do espaço da fracção autónoma, bem como a posição dos ocupantes.

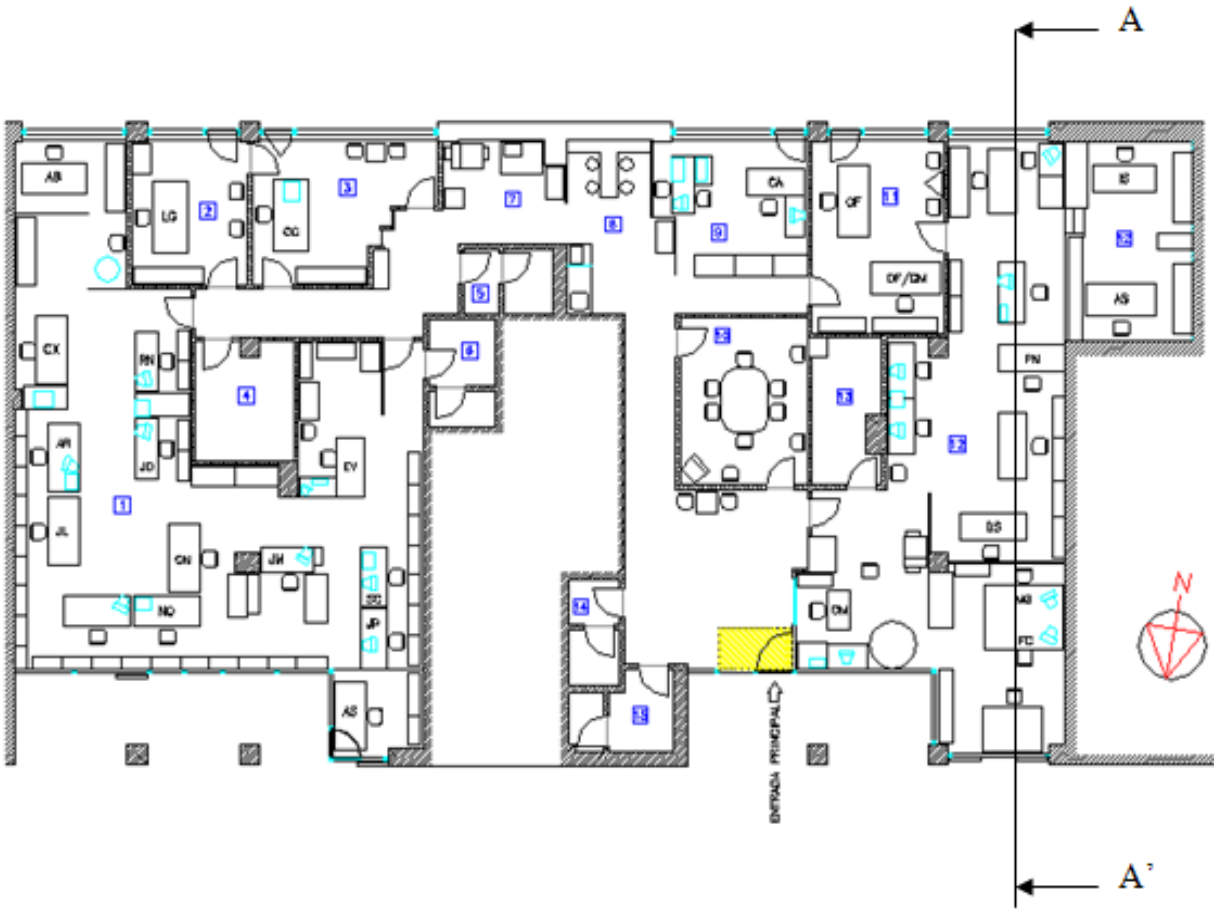


Figura 20 - Planta 2D do edifício

Legenda:

1- Sector indústria/auditorias
2 - Gabinete – Eng. Luís Gozada
3 - Gabinete – Eng. Carlos Cunha
4 - Arquivo morto/arrumos
5 - Sanitários – Gerência
6 - Sanitários – Homens
7 - Cofre/Fotocopiadora/Fax
8 - Copa/Bar
9 - Sector contabilidade
10 - Sala de reuniões
11 - Gabinete – Eng.º O.Fernandes/D.Ferreira/G.Moura
12 - Sector edifícios / ambiente
13 - Arquivo morto/arrumos

Vista em corte (A-A`) :

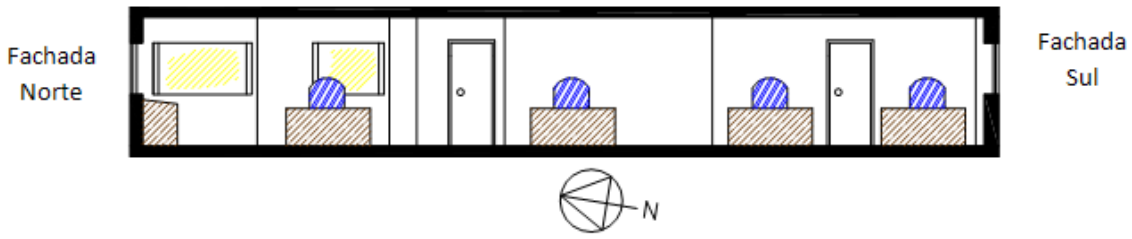


Figura 21 - Representação do corte (A-A`)

7.3 - Zonas

O Trnsys é um programa multizona, como tal, para ver a distribuição de consumos, dividi a fracção autónoma em três zonas, de acordo com a diferente natureza de cada espaço e tipo de uso.

Figura 22 – Zoneamento do edifício

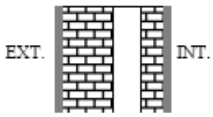
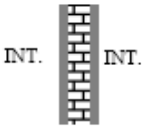
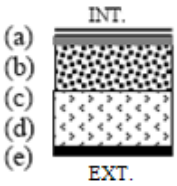
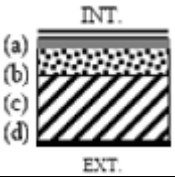
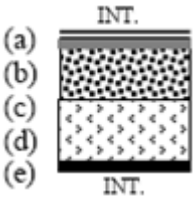
Tabela 9 - Dimensões das diferentes zonas do edifício e respectivas áreas de envidraçados

	Área útil do pav. [m^2]	Volume [m3]	Área de envidraçados [m^2]
Zona 1	99,4	298,1	48,3
Zona 2	167,5	502,5	47,4
Zona 3	85,7	257,2	32,1

7.4 - Envolvente

Na tabela seguinte, descrevem-se as características de cada um dos elementos da envolvente para edifício em estudo. Os materiais constituintes de cada elemento e as respectivas propriedades térmicas são apresentados do interior para o exterior das zonas.

Tabela 10 - Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.ºC]	ρ [kg/m^3]	cp [KJ/kg.ºC]	U [W/m^2.ºC]
Parede exterior  (a)(b)(c)(d)(e)	(a) Reboco	0,015	1,15	1950	0,837	1,275
	(b) Tijolo furado	0,110	0,52	1100	0,936	
	(c) Espaço de ar	0,040	0,24			
	(d) Tijolo furado	0,110	0,52	1100	0,936	
	(e) Reboco	0,015	1,15	1950	0,837	
Parede interior  (a)(b)(c)	(a) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	1,941
	(b) Tijolo furado	0,150	0,48	1270	0,936	
	(c) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	
Pavimento Cerâmico 	(a) Rev. Cerâmico	0,015	1,3	2300	0,84	1,207
	(b) Tijolo furado	0,110	0,52	1100	0,936	
	(c) Laje betão	0,150	1,36	2150	1,08	
	(d) Tijolo furado	0,150	0,48	1270	0,936	
	(e) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	
Pavimento Alcatifa 	(a) Alcatifa	0,015	0,05	200	1	1,239
	(b) Laje betão	0,150	1,36	2150	1,08	
	(c) Tijolo furado	0,110	0,52	1100	0,936	
	(d) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	
Cobertura Intermédia 	(a) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	1,207
	(b) Tijolo furado	0,110	0,52	1100	0,936	
	(c) Laje betão	0,150	1,36	2150	1,08	
	(d) Tijolo furado	0,150	0,48	1270	0,936	
	(e) Rev. Cerâmico	0,015	1,3	2300	0,84	
Pilares (a)(b)(c)	(a) Reboco	0,02	1,15	1950	0,837	1,511
	(b) Betão	0,80	1,75	2150	1.08	
	(c) Reboco	0,02	1,15	1950	0,837	

● Portas exteriores e interiores

As portas do edifício são de madeira e foram consideradas iguais para todas as localizações. A porta exterior tem 6 cm de espessura e as portas interiores 3 cm, sendo o coeficiente de transmissão térmica de 1,754 W/m^2.ºC e 2,703 W/m^2.ºC, respectivamente.

● Envidraçados

Nas simulações TRNSYS é necessário fornecer informações sobre os vidros e caixilhos. Os dados do vidro escolhido são fornecidos num ficheiro padrão, que foi gerado pelo programa WINDOW 6 [75]. Os envidraçados são de vidro duplo e com caixilharia de alumínio, representando, esta última, 15 % da área total do envidraçado. As principais características deste componente estão indicadas na tabela 11. Escolheu-se um vidro da *Saint-Gobain Glass*, o nome do modelo é *SGG PARSOL H-GREEN 4mm.*

Tabela 11- Propriedades dos envidraçados

Tipo de janela	Duplo	
Número de painéis	2	e = 4 mm
Tipo de gás	ar	e = 2 mm
Material da caixilharia	Alumínio	
Tipo de vidro	Transparente	
Factor solar do vão envidraçado	0,484	
U [W/m2.ºC]	4,41	

● Sombreamento

No programa TRNSYS, ao se definir o sombreamento exterior das janelas, deve-se indicar o seu *factor de sombreamento*. De acordo com a definição do programa, este corresponde à relação entre a área sombreada e a área total da janela. Ou seja, quando uma janela possui 10% de sua área com sombreamento exterior, seu factor é igual a 0,10. Uma janela sem sombreamento possuiria um factor igual a zero, enquanto uma janela completamente sombreada possuiria um factor igual a 1 (um).

De acordo com informações obtidas através dos fabricantes do TRNSYS, quando se define o sombreamento exterior de uma janela no programa, não há transmissão de energia solar para o interior através da parte que encontra-se sombreada. Por exemplo, quando o factor de sombreamento é igual a 1, a energia solar transmitida é igual a zero.

Assim, que diz respeito ao sombreamento, o factor de sombreamento interno é de 0,59, enquanto que o factor de sombreamento externo foi definido no Trnsys através do TIPE 34, tendo em conta as dimensões dos toldes existentes a sul e dos “overhangs” a norte.

7.5 - Ganhos Internos, Iluminação e Ocupação

As cargas térmicas geradas no interior do edifício provêm de três fontes distintas: ocupação, equipamentos eléctricos e iluminação. De referir que estes ganhos são considerados úteis durante o Inverno, uma vez que reduzem o valor das necessidades de aquecimento, enquanto que no Verão são indesejáveis, contribuindo para situações de sobreaquecimento.

Os perfis de ocupação, iluminação e de equipamentos encontram-se disponíveis no detalhadamente no Anexo A e estão de acordo com o RSECE sendo que a tipologia adoptada que mais se enquadra ao edifício em questão a de um edifício de escritórios. Quanto às densidades, apenas são fornecidas pelo RSECE as densidades de ocupação e de equipamentos pelo que a densidade de iluminação que se considerou foi de 13 [W/m^2].

Tabela 12– Valores das densidades retiradas do RSECE

Perfis variáveis de acordo com os valores das tabelas	
	Densidades
Ocupação	15 m^2/Ocupante
Iluminação	--------
Equipamento	15 W/m^2

Gráficos dos perfis retirados do RSECE:

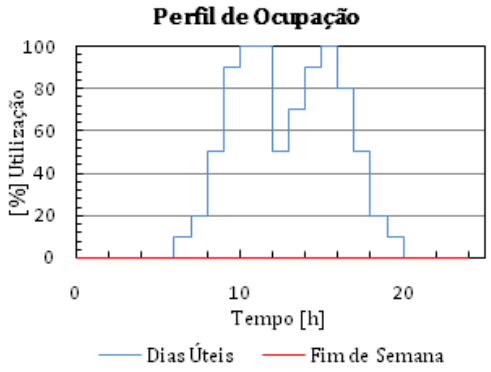


Figura 24 – Gráfico do perfil de ocupação

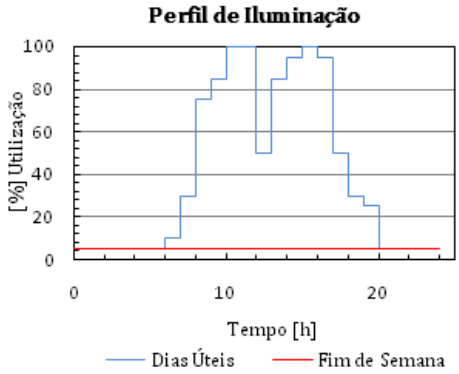


Figura 23 - Gráfico do perfil de iluminação

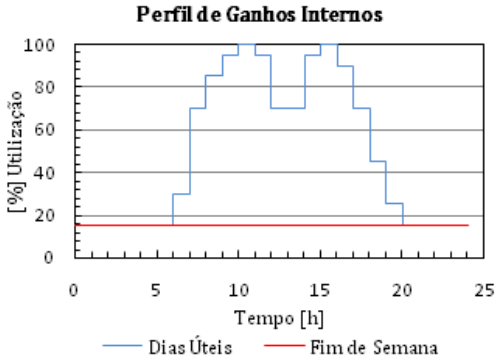


Figura 25 – Gráfico do perfil dos ganhos

7.6 - Climatização

O edifício tem um sistema de climatização que garante uma temperatura do ar interior no intervalo de 20ºC a 25ºC em pelo menos 95% do ano e em toda a fracção autónoma .

De acordo com o RCCTE o sistema de aquecimento considerado foi uma resistência eléctrica com um rendimento de 100% e para o sistema de arrefecimento um chiler ou bomba de calor (arrefecimento) de COP igual a 3.

Inicialmente o sistema de aquecimento funcionaria apenas durante os períodos de ocupação, contudo, ao longo do trabalho será necessário em alguns casos, ligar o sistema de climatização antes da ocupação de modo a garantir a temperatura operativa interior desejada.

Nenhum sistema de humidificação ou desumidificação foi considerado.

Assim, quando a temperatura ultrapassa os limites de controlo definidos, o ambiente arrefece ou aquece, conforme necessário. A quantidade de energia que o edifício necessita para que isso ocorra, corresponde respectivamente às *necessidades de aquecimento e arrefecimento*, que são dados de saída das simulações.

O sistema de climatização mantém o seu estado durante todo o passo de tempo (*time step*) definido no Trnsys, por exemplo se o *time step* for de 1 hora e as temperaturas forem atingidas antes de 1 hora desde a última leitura, o sistema permanecerá ligado. Assim, quanto menor o passo de tempo mais precisa é a simulação. O passo de tempo definido no Trnsys foi de 30 minutos.

7.7 - Ventilação

A ventilação é assegurada por um sistema mecânico que utiliza um ventilador "KE 60-30-4 Rectangular Fan", escolhido do catálogo online da *sistemair* [74]. A curva de potência do ventilador é está representada na figura seguinte. As restantes características do ventilador encontram-se no Anexo D.

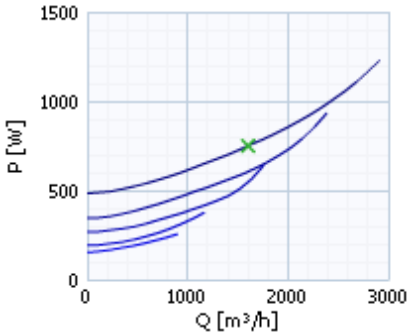


Figura 26 – Gráfico de potência em função do caudal.

O caudal mínimo de ar novo está de acordo com o RSECE, considerando um edifício de serviços em que o tipo de actividade escolhida foi gabinetes. O ar é insuflado a temperatura ambiente. Os valores dos caudais mínimos de ar novo encontram-se na tabela 13 seguinte.

Tabela 13 – Caudais mínimos de ar novo segundo o RSECE

Tipo de edifício/actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m^3/(h.ocupante)]	[m^3/(h.m^2)]
Serviços	Gabinetes	35	5

Por outro lado, à que ter em conta que as concentrações de CO_2 não ultrapassam os limites para uma respiração normal (Cs = 1000ppm = 0,1%). Considerando uma concentração de CO_2 no ar exterior (Co) de 400ppm e que a taxa de geração (G) é de 19 [l/h.pessoa], o caudal mínimo de ar novo necessário para garantir as concentrações de CO_2 será segundo a equação 6.1:

$$Cs = Co + \frac{0{,}019}{\dot{V}} x100 \Leftrightarrow \dot{V} = 31{,}7\left[m^3 / h.pessoa\right] \qquad (6.1)$$

Verifica-se que os caudais definidos no RSECE já garantem as concentrações de CO_2 exigidas. Deste modo, O caudal de ventilação será dado pelo maior dos valores da tabela 13.

8 - APLICAÇÃO DO RCCTE E RSECE

Neste capítulo serão verificados os dos requisitos mínimos impostos pelo RCCTE e RSECE. Assim sendo, será feito o cálculo do coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos e serão verificados os coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis da envolvente. Posteriormente será feito o cálculo do factor de correcção de energia que será necessário para calcular o índice de eficiência energético, (IEE).

8.1 - Coeficientes de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos

As perdas térmicas das paredes que separam o espaço útil do espaço não útil são calculadas em função do coeficiente τ (coeficiente de redução das perdas térmicas para locais não aquecidos).

A determinação do valor de τ é feita a partir da Tabela IV.1 do RCCTE [73], em função do tipo de espaço não útil e da relação entre as áreas dos elementos que separam os dois espaços e a dos elementos que separam o espaço não útil do exterior. Apresenta-se de seguida o cálculo dos τ(s) dos espaços não úteis da fracção autónoma em estudo.

1) Garagem

A garagem é colectiva e situa-se no piso -1, por baixo de toda a área do pavimento da fracção autónoma em estudo. Desta forma, o valor de τ para a zona "garagem" em que a área dos elementos que separam o espaço útil do não útil (Ai) é de 185,11 m^2, e a área dos elementos que separa o não útil do ambiente exterior é de 0 m^2. Assim, como $\frac{Ai}{Au} = \frac{185{,}11}{0} = \infty$, → τ = 0,4.

Os restantes τ(s) serão calculados da mesma forma.

2) Entrada do Prédio

Espaço de circulação comum sem abertura directa para o exterior.

$$\frac{Ai}{Au} = \frac{87{,}93}{19} = 4{,}63 \rightarrow \tau = 0{,}3.$$

3) Loja

Espaço comercial

$$\frac{Ai}{Au} = \frac{56{,}49}{> 5{,}35} < 1 \rightarrow \tau = 0{,}8$$

4) Fracção Autónoma Residencial (1ºpiso)

Considera-se que a residência do 1ºpiso é climatizada estando portanto sensivelmente igual à temperatura da nossa fracção autónoma pelo que a transferência de calor è desprezável, logo τ=0.

8.2 - Envolvente

As características da envolvente do edifício foram escolhidas de forma a que os requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios, imposto pelo RCCTE, fossem cumpridos. No referido regulamento, são impostos os valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica (*U*), tal como se apresenta na tabela 14.

Tabela 14- Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos [W/m^2.ºC]

	I1	I2	I3
Elementos Exteriores			
Opacos Verticais	1,8	1,6	1,45
Opacos Horizontais	1,25	1,0	0,9
Elementos Interiores			
Opacos Verticais	2,0	2,0	1,9
Opacos Horizontais	1,65	1,3	1,2

Como se pode verificar na tabela 15, os valores dos coeficientes de transmissão térmica encontram-se dentro dos limites impostos pelo RCCTE.

Tabela 15 – Valores dos U´s obtídos e dos máximos permitídos.

Tipo de elemento	U [W/m^2.ºC]	$U_{máx}$ [W/m^2.ºC]
Paredes exteriores verticais	1,275	1,6
Paredes interiores verticais	1,941	2,0
Pavimento Cerâmico	1,207	1,3
Pavimento Alcatifa	1,239	1,3
Cobertura Intermédia	1,207	1,3
Pilares	1,511	1,6

No que diz respeito aos envidraçados, segundo o RCCTE, os vãos envidraçados com mais de 5 % da área útil de pavimento do espaço que servem, desde que não orientado a norte, pode apresentar um factor solar correspondente ao vão envidraçado com o(s) respectivo(s) dispositivo(s) de protecção 100% activo(s) que exceda os valores indicados no quadro IX.2 do regulamento.

Assim, para uma inércia média, na zona climática V_1, o factor solar máximo admissível dos vãos envidraçados é de 0,56, ou seja, superior factor solar dos vãos envidraçados utilizados que é de 0,484.

8.3 – Cálculo dos factores de correcção (Fcv e Fci)

Como o edifício em estudo se encontra na zona I2 – V1, foi necessário calcular o factor de correcção da energia de aquecimento (Fci). Para a estação de arrefecimento, não é necessário calcular o factor de correcção (Fcv), que será igual a 1.

O factor de correcção da energia de aquecimento (F_{ci}) é dado por:

$$Fci = \frac{N_{I1}}{N_{Ii}} \tag{7.1}$$

em que:

N_{I1} – necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, como se estivesse localizado na zona de referência I1 (kwh/m_2.ano);

N_{Ii} – necessidades máximas de aquecimento permitidas pelo RCCTE, calculadas para o edifício em estudo, na zona onde está localizado o edifício (kwh/m_2.ano);

Para calcular as necessidades máximas de aquecimento, a primeira etapa é calcular o factor de forma que é dado por:

$$FF = \left[Aext + \sum(\tau A\text{int})i\right]/V \tag{7.2}$$

Na tabela 16, apresenta-se um resumo dos valores utilizados no cálculo do FF.

Tabela 16 – Valores das áreas exteriores, interiores e do coeficiente τ

	A_{ext} [m^2]	τ	A_{int} [m^2]
Zona 1	91,5	0,4	99,4
			24,8
Zona 2	83,7	0,3	6,2
		0,4	167,5
			59,3
Zona 3	45,5	0,3	2,2
		0,4	85,7
		0,8	56,5

Assim sendo:

A_{ext} = 91,5 + 83,7 + 45,45 = 220 m^2

$\sum(\tau A_{int})i$ = 0,4 x (99,4 + 24,8) + 0,4 x (167,5 + 59,3) + 0,3 x (6,2) + 0,4 x 85,7 + 0,3 x 2,2 + 0,8 x 56,5 = 49,7 + 93,2 + 80,1 = 222,9 m^2

Substituindo em (7.2):

FF = [220 + 222,9] / 1057,8 = 0,419

Para o cálculo dos factores de correcção Fci e Fcv, adopta-se, como região climática de referência, a região I1 – V1 norte, 1000 graus-dia de aquecimento e 160 dias de duração da estação de arrefecimento.

De acordo com o RCCTE, para $FF \leq 0,5$; Ni=4,5+0,0395 GD, então:

N_{I1} = 4,5 + 0,0395 x 1000 = 177,75

N_{I2} = 4,5 + 0,0395 x 1610 = 286,177

Substituindo em (7.1):

$$Fci = \frac{177,75}{286,177} = 0,621$$

É importante referir que o factor de correcção (Fci) é constante e será usado ao longo do trabalho no cálculo do IEE para as várias simulações efectuadas.

8.4 – Metodologia de cálculo do IEE

Segundo o Sistema de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios (SCE), *os pequenos edifícios de serviços ou fracções de edifícios destinadas a serviços, com área útil igual ou menor a 1000 m^2 e que disponham de sistema de climatização cuja potência térmica, correspondente à maior das potências de aquecimento ou arrefecimento ambiente, seja superior a 25 KW*, o método utilizado no cálculo do IEE é o recomendado pelo RSECE [71].

Assim, segundo o RCESE o IEE é calculado pela seguinte fórmula:

$$IEE = IEEi + IEEv + \frac{Qout}{Ap} \qquad (7.3)$$

em que:

IEE – indicador de eficiência energética [kgep/m^2.ano]

IEE_i – indicador de eficiência energética de aquecimento [kgep/m^2.ano]

IEE_v – indicador de eficiência energética de arrefecimento [kgep/m^2.ano]

Q_{out} – consumo de energia não ligado aos processos de aquecimento e arrefecimento [kgep/ano]

A_p - área útil de pavimento [m^2]

Por sua vez:

$$IEEi = \frac{Qaq}{Ap} \times Fci \tag{7.4}$$

e

$$IEEv = \frac{Qarr}{Ap} \times Fcv \tag{7.5}$$

em que:

Q_{aq} – consumo de energia de aquecimento [kgep/ano];

F_{ci} – factor de correcção do consumo de energia de aquecimento;

Q_{arr} – consumo de energia de arrefecimento [kgep/ano];

F_{ci} – factor de correcção do consumo de energia de arrefecimento;

Calculado o IEE pode-se atribuir uma Classe Energética à fracção autónoma. Para tal, recorreu-se à tabela E.1 em anexo (Anexo E) retirada do SCE e para o tipo de actividade - serviços e tipologia do edifício – escritórios, obtem-se:

$IEE_{ref,novos}$ = 35 [kgep/m^2.ano]

S = 15 [kgep/m^2.ano]

De acordo com a tabela 17, construída a partir da tabela E.2 do anexo E, retirada do artigo 3º do SCE [75], determina-se a classe energética da fracção autónoma.

Tabela 17 – Classe energética

Classe Energética	Condição a verificar
A+	$IEE_{nom} \leq 23{,}75$
A	$23{,}75 < IEE_{nom} \leq 27{,}5$
B	$27{,}5 < IEE_{nom} \leq 31{,}25$
B-	$31{,}25 < IEE_{nom} \leq 35$
C	$35 < IEE_{nom} \leq 42{,}5$
D	$42{,}5 < IEE_{nom} \leq 50$
E	$50 < IEE_{nom} \leq 57{,}5$
F	$57{,} < IEE_{nom} \leq 65$
G	$65 < IEE_{nom}$

9 - APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos nas simulações efectuadas, fazendo-se a avaliação de conforto segundo a norma EN15251 e a respectiva análise energética. No caso1, parte-se de uma situação de referência, em que a fracção autónoma está de acordo com a regulamentação Portuguesa (RSECE e RCCTE), passando para a simulação da mesma fracção autónoma de acordo com as exigências da norma EN15251, caso2. No caso3, pretende-se atingir as diferentes categorias (I, II, III) independentemente das condições impostas pela norma. Finalmente, os casos 4,5 e 6, são alternativas ao caso3 no sentido de reduzir os consumos. As tecnologias utilizadas por cada um dos casos foi a alteração do sistema de aquecimento, ventilação e envolvente, tendo sempre como objectivo atingir as categorias (I, II e III) já apresentadas no caso III.

9.1 – Caso 1: Edifício de acordo com o regulamento (RSECE)

Numa primeira fase, efectuou-se a simulação do edifício descrito anteriormente no capítulo 6, em que, as características do edifício e utilização estão de acordo com o regulamento nacional, tratando-se portanto, de um edifício de construção típica Portuguesa e que servirá de referência para os resultados obtidos nas restantes simulações ao longo do trabalho.

A norma indica três métodos de avaliação a longo prazo das condições gerais de conforto térmico para edifícios com sistema de ventilação mecânica. Esses métodos estão descritos detalhadamente no Anexo B, sendo que na análise dos resultados apenas foi utilizado método A que consiste em calcular o número, ou a %, das horas ocupadas (aquelas em que o edifício está ocupado), quando o PMV ou a temperatura operativa está fora do intervalo pré-definido.

Resultados:

A aplicação da norma permite obter um gráfico característico como o da figura 27. É um gráfico cumulativo que evidencia a contribuição individual de cada categoria.

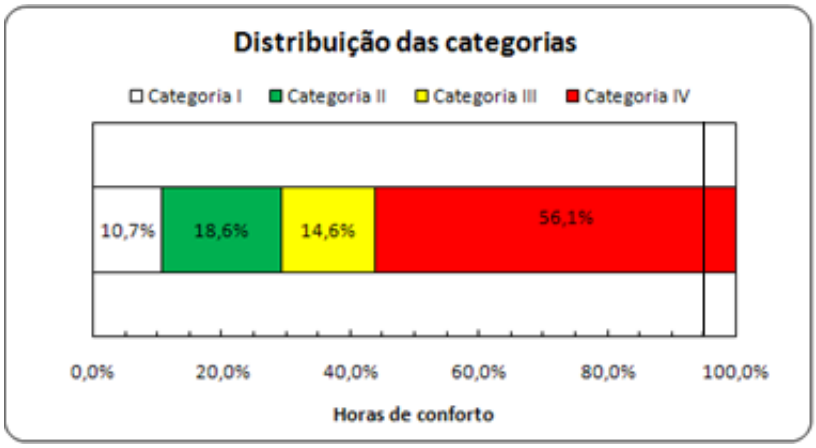


Figura 27 – Distribuição das categorias para o caso 1

A categoria a atribuir ao caso corresponde àquela que tiver dentro do intervalo dos 95% a 100% de horas de conforto. No gráfico da figura 27, o exemplo consegue obter a categoria IV da norma EN15251.

A figura 28, apresenta a % de horas fora do intervalo para as categorias I, II e III (a categoria IV está sempre garantida, seria sempre 0%) e os consumos energéticos para o inverno, para o verão e ao longo do ano.

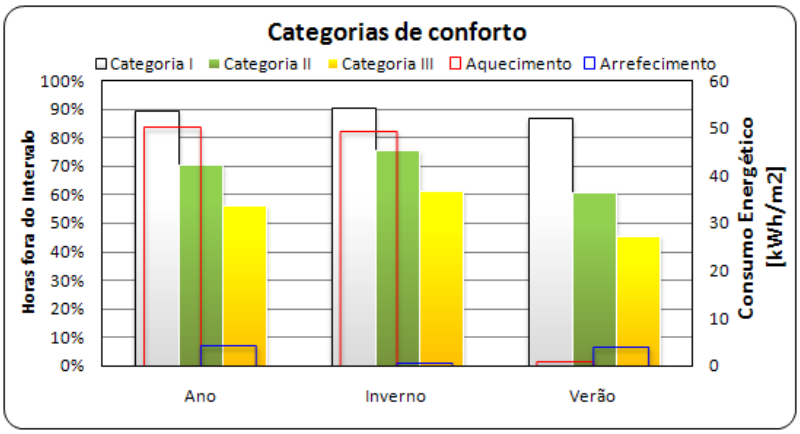


Figura 28 – Gráfico das categorias de conforto para o caso 1

Ao aplicar o regulamento nacional à fracção autónoma e analisando o conforto segundo a norma EN15251, verificou-se que a % de horas fora das categorias de conforto (I, II e III) é muito elevada, até mesmo para a categoria III que é a menos exigente. Quanto aos consumos, a % maior de energia consumida ocorre para a estação de aquecimento. Procede-se de seguida a uma análise energética detalhada dos resultados obtidos para o caso 1.

A tabela 18, apresenta os resultados dos consumos energéticos obtidos por simulção para o caso 1.

Tabela 18– Resultados dos consumos energéticos obtidos no Trnsys

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	27,90
Necessidades	Aquecimento	50,05	-
	Arrefecimento	3,97	-
Energia primária[6]	Aquecimento	-	14,51
	Arrefecimento	-	0,38

[6] *Energia primária é o recurso energético que se encontra disponível na natureza (petróleo, gás natural, energia hídrica, energia eólica, biomassa, solar). Exprime-se, normalmente, em termos da massa equivalente de petróleo (kgep ou tep). Há formas de energia primária (gás natural, lenha, Sol) que também podem ser disponibilizadas directamente aos utilizadores, coincidindo nesses casos com a energia final.*

De acordo com o processo de cálculo do IEE, [equação (7.3)], obtem-se o seguinte indicador nominal:

$$IEE_{nom} = 14{,}514 \times 0{,}621 + 0{,}384 + 27{,}9 = 37{,}303 \text{ [kgep/m}^2\text{.ano]}$$

Tendo presente as classificações energéticas para edifícios ou fracções autónomas do tipo do caso 1 (tabela 17), obteve-se a classe C.

9.2 – Caso 2: Aplicação dos requisitos da EN15251 à FA em estudo

A norma EN15251 define 4 categorias de conforto, I, II, III e IV. Para as categorias I, II e III a norma impõe requisitos diferentes que variam desde, taxas de ventilação, intervalos de temperatura operativa, humidade e iluminação. Deste modo, foi necessário fazer simulações com as diferentes condições para atingir cada uma das categorias. Os resultados são apresentados da categoria menos exigente (III), para a mais exigente (I). Neste trabalho, apenas se avaliaram os requisitos que dizem respeito à ventilação e à temperatura operativa, porque são os que a norma dá mais importância e por outro lado, levaria a um conjunto de simulações que resultariam em tempos incompatíveis face ao teor deste trabalho.

Limitação do controlo pela temperatura do ar:

Uma das limitações do programa de simulação Trnsys, **deve-se ao facto de este controlar os espaços com a temperatura do ar e não com a temperatura operativa como é exigido na EN15251.** Esta limitação dificulta bastante o controlo da temperatura operativa, que deste modo, teve que ser feito de forma iterativa, ajustando os setpoints e o tempo de entrada em funcionamento do sistema de climatização. Foram feitas cerca de 380 iterações no conjunto total de 530 simulações (valor aproximado) efectuadas neste trabalho unicamente com o intuito de garantir que a temperatura operativa estivesse dentro dos valores exigidos durante 95% das horas ocupadas para o periodo de um ano. Assim, a soluções adoptadas irão ter sempre um erro devido às divergências entre a temperatura operativa (T_{op}) e a temperatura do ar (T_{ar}), pois o sistema de climatização reage segundo a temperatura do ar, o que pode levar o sistema de climatização a arrefecer ou a aquecer, o edifício desnecessariamente. Um exemplo ocorre, se a T_{ar} estiver acima do limite considerado, o arrefecimento entrará em funcionamento mesmo que a T_{op} que é o que queremos controlar, esteja dentro do intervalo de temperaturas desejado, levando portanto a um consumo de energia desnecessário. O inverso também poderá acontecer. Deste modo, este erro embora não seja calculado, não passa inadvertido e a sua contabilização será proposta para trabalhos futuros.

9.2.1 – Categoria III

A categoria III é aplicada a edifícios existentes e é a categoria menos exigente. De acordo com a EN15251, a taxa de ventilação exigida para diluir as emissões provenientes de pessoas para a categoria III (q_p) é de **4 [l/s/pessoa]** enquanto que a taxa de ventilação para as emissões do edifício (q_b) é de **0,4 [l/s/m^2]** considerando o "*edifício pouco poluente"* (tabela C.3, anexo C).

Assim, a ventilação total para o edifício será (equação c.1, anexo C):

q_{tot} = n x 4 + 352,6 x 0,4 [l/s] = (n x 4 + 352,6 x 0,4) x 3,6 [m^3/h]

A forma de reduzir os consumos é incluir um sistema de ventilação variável com a ocupação.

Quanto ao CO_2, para a categoria III, a norma impõe uma concentração máxima (Cs) de 800ppm, acima da concentração exterior, dando origem a um caudal mínimo de ar novo que será:

$$Cs = \frac{0{,}019}{\dot{V}} x100 \Leftrightarrow \dot{V} = 23{,}75\left[m^3 / h.pessoa\right]$$

O caudal de ar novo a insulflar será o maior dos dois valores calculados anteriormente (q_{tot} e V).

O ventilador continuará a ser o *KE 60 – 30 – 4 Rectangular Fan*, em que ss características deste ventilador estão disponíveis no anexo D. Do catalogo do fabricante é possível retirar um factor de potência (SFP) em [KW/m^3/s], será através deste factor que será calculada a potência consumida na ventilação. Face à dificuldade e complexidade da simulção optou-se por utilizar um valor constante para o factor de potência SFP, que corresponde ao valor máximo de caudal em cada categoria, ou seja:

$Q_{máx}$ = 1057 [m^3/h] → SPF = 1,17 [kW/m^3/s]

De acordo com a norma, a ventilação durante as **horas não-ocupadas** em edifícios não-residenciais deve ser equivalente a um *fluxo de ar livre exterior equivalente a 2 volumes de ar do espaço ventilado, que deverá ser entregue ao espaço antes da ocupação* [57].

Optou-se por colocar 1RPH, duas horas antes do início da ocupação.

Resumo dos dados de entrada:

Apenas se vão referir os dados de entrada que serão necessários alterar da simulação anterior de referência, ou seja, os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, assim como a própria envolvente da FA, etc. já foram definidos anteriormente.

Tabela 19 – Dados de entrada do Trnsys para a obtenção da categoria III

		Inverno	Verão
	Intervalo de Top	19 – 25ºC	22 – 27ºC
	"Setpoints" no Transys[7]	22 – 25ºC	23,5 - 27ºC
	Nº de iterações[8]	12	
	SPF	1,17 KW/m^3/s	
Caudal de ventilação	**Horas ocupadas**	n x 4 + 352,6 x 0,4 [l/s]	
	Horas não ocupadas	1 RPH duas horas antes da ocupação	

Resultados obtidos:

Tabela 20 - Consumos energéticos obtidos para a categoria III

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	**[kgep/m^2.ano]**
Q_{out}		-	26,85
Necessidades	**Aquecimento**	55,39	-
	Arrefecimento	2,37	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	16,06
	Arrefecimento	-	0,23
IEE		-	**37,05**
Classificação energética		**C**	

Contabilizando o nº de horas ou a % das horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo foi possível construir a tabela 21.

Tabela 21 - Resultados obtidos para os dados de entrada da categoria III através do método A

	Categoria I	Categoria II	**Categoria III**	Categoria IV	Nº de horas ocupadas
Nº de horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo	2993,0	1165,0	**521,0**	3131,0	3654
% de horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo	81,9%	31,9%	**14,3%**	85,7%	

[7] *Intervalo de temperaturas definido no Trnsys para controlar o aquecimento/arrefecimento.*

[8] *Nº de iterações: é o número de simulações que foram necessárias efectuar devido ao facto de o Trnsys trabalhar com a Tar e não com a Top, para se conseguir obter os intervalos de Top e categorias de conforto,.*

Tratando os dados em Excel é possível construir um gráfico com a distribuição das categorias que evidencia a contribuição individual de cada categoria.

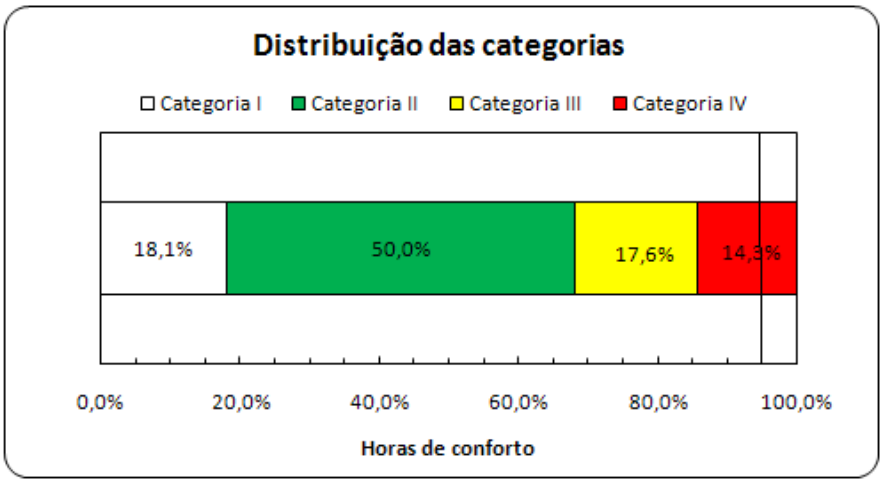


Figura 29 – Distribuição das categorias para os dados de entrada da categoria III

Como se pode verificar a categoria obtida é a categoria IV. A categoria III só é conseguida 85,7% do tempo, sendo necessário 95% para atingir a categoria. Segundo a norma deveria ter-se obtido a categoria III, dado que os valores da temperatura operativa estão dentro do intervalo em pelo menos 95% das horas ocupadas. Torna-se então necessário, fazer algumas modificações de forma a atingir a categoria III e verificar as implicações que essas mudanças terão nos consumos.

9.2.2 – Categoria II

A categoria II é aplicada a novos edifícios. De acordo com a EN15251, a taxa de ventilação exigida para diluir as emissões provenientes de pessoas para a categoria II (q_p) é de **7 [l/s/pessoa]** enquanto que a taxa de ventilação para as emissões do edifício (q_b) é de **0,7 [l/s/m^2]** considerando o "*edifício pouco poluente*" (tabela C.3, anexo C).

De acordo com a equação c.1, a ventilação total será:

$$q_{tot} = n \times 7 + 352{,}6 \times 0{,}7 \text{ [l/s]} = (n \times 7 + 352{,}6 \times 0{,}7) \times 3{,}6 \text{ [m}^3\text{/h]}$$

Quanto ao CO2, para a categoria II a norma impõe uma concentração máxima (Cs) de 500ppm, acima da concentração exterior, dando origem a um caudal mínimo de ar novo que será:

$$Cs = \frac{0{,}019}{\dot{V}} x100 \Leftrightarrow \dot{V} = 38\left[m^3 / h.pessoa\right]$$

O caudal a insuflar será o maior dos dois valores calculados anteriormente (q_{tot} e V).

Resumo dos dados de entrada:

Apenas se vão referir os dados de entrada que serão necessários alterar da simulação anterior de referência, ou seja, os perfis de ocupação, iluminação e equipamentos, assim como a própria envolvente da FA, etc. já foram definidos anteriormente.

Tabela 22 – Dados de entrada do Trnsys para a obtenção da categoria II

		Inverno	Verão
	Intervalo de Top	20 – 24ºC	23 – 26ºC
	"Setpoints" no Trnsys	23,4 – 23,5ºC	24,7 – 25,5ºC
	SPF	1,29 [KW/m^3/s]	
Caudal de ventilação	**Horas ocupadas**	n x 7 + 352,6 x 0,7 [l/s]	
	Horas não ocupadas	1 RPH duas horas antes da ocupação	

Resultados obtidos:

Tabela 23 - Consumos energéticos obtidos para a categoria II

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	**[kgep/m^2.ano]**
Q_{out}		-	27,20
Nº de iterações		16	
Necessidades	**Aquecimento**	89,078	-
	Arrefecimento	6,24	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	25,83
	Arrefecimento	-	0,60
IEE		-	**43,87**
Classificação energética		**C**	

Contabilizando o nº de horas ou a % das horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo foi possível construir a tabela 27.

Tabela 24 - Resultados obtidos para os dados de entrada da categoria II

	Categoria I	**Categoria II**	Categoria III	Categoria IV	Nº de horas ocupadas
Nº de horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo	1955,0	**546,0**	191,0	3462	3654
% de horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo	53,5%	**14,9%**	5,2%	94,7	

Tratando os dados em Excel é possível construir um gráfico com a distribuição das categorias.

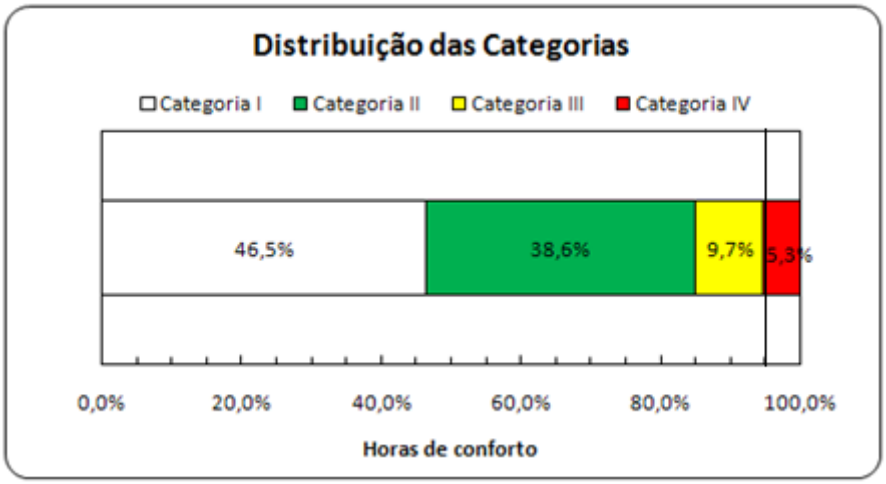


Figura 30 – Distribuição das categorias para os dados de entrada da categoria II

Como se pode verificar a categoria obtida é a categoria IV. A categoria II só é conseguida 85,1% do tempo, sendo necessário 95% para atingir a categoria desejada. Segundo a norma deveria ter-se obtido a categoria II, dado que os valores da temperatura operativa estão dentro do intervalo em pelo menos 95% das horas ocupadas.

9.2.3 – Categoria I

A categoria I corresponde um alto nível de expectativa e é recomendada para espaços ocupados por pessoas muito sensíveis, que precisem de cuidados especiais, tais como pessoas doentes, crianças recém-nascidas ou idosos.

De acordo com a EN15251, a taxa de ventilação exigida para diluir as emissões provenientes de pessoas para a categoria I (q_p) é de **10 [l/s/pessoa]** enquanto que a taxa de ventilação para as emissões do edifício (q_b) é de 1 **[l/s/m^2]** considerando o "*edifício pouco poluente*" (tabela C.3, anexo C).

Assim, a ventilação total para o edifício será (equação c.1, anexo C):

$$q_{tot} = n \times 10 + 352{,}6 \times 1 \text{ [l/s]}$$

Quanto ao CO_2, para a categoria III, a norma impõe uma concentração máxima (Cs) de 350ppm, acima da concentração exterior, dando origem a um caudal mínimo de ar novo que será:

$$Cs = \frac{0{,}019}{\dot{V}} x100 \Leftrightarrow \dot{V} = 54{,}286\left[m^3 / h.pessoa\right]$$

Mais uma vez, o caudal de ar novo a insulflar será o maior dos dois valores calculados anteriormente (q_{tot} e V).

$Q_{máx}$ = 2309 [m^3/h] → SPF = 1,48 [kW/m^3/s]

Resumo dos dados de entrada:

Para a categotia I, a forma mais económica de obter a Top dentro do intervalo 95% do tempo, foi começar o aquecimento / arrefecimento 8 horas antes da ocupação à semana e começar 16 horas antes à 2ªf, isto porque durante o fim-de-semana não à ocupação o sistema de climatização está desligado muitas horas seguidas, o que dificulta a obtenção das temperaturas desejadas à 2ªf nas primeiras horas de ocupação.

Tabela 25 - Dados de entrada do Trnsys para a categoria I

		Inverno	Verão
	Intervalo de Top	21 – 23ºC	23,5 – 25,5ºC
	"Setpoints" no Trnsys	22,65 – 22,66ºC	24,9 – 24,91ºC
	Nº de iterações	28	
	SPF	1,48 [KW/m^3/s]	
Caudal de ventilação	**Horas ocupadas**	n x 10 + 352,6 x 1 [l/s]	
	Horas não ocupadas	1 RPH duas horas antes da ocupação	

<u>Resultados obtidos:</u>

Tabela 26- Consumos energéticos obtidos para a categoria I

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	**[kgep/m^2.ano]**
Q_{out}		-	26,846
Necessidades	**Aquecimento**	126,318	-
	Arrefecimento	11,956	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	36,632
	Arrefecimento	-	1,156
IEE		-	**51,962**
Classificação energética		**E**	

Contabilizando o nº de horas ou a % das horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo foi possível construir a tabela 27.

Tabela 27 - Resultados obtidos para os dados de entrada da categoria I

	Categoria I	Categoria II	Categoria III	Categoria IV	Nº de horas ocupadas
Nº de horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo	2235,0	114,0	0,0	3654,0	3654
% de horas ocupadas em que o PMV está fora do intervalo	61,2%	3,1%	0,0%	100,0%	

Tratando os dados em Excel é possível construir um gráfico com a distribuição das categorias.

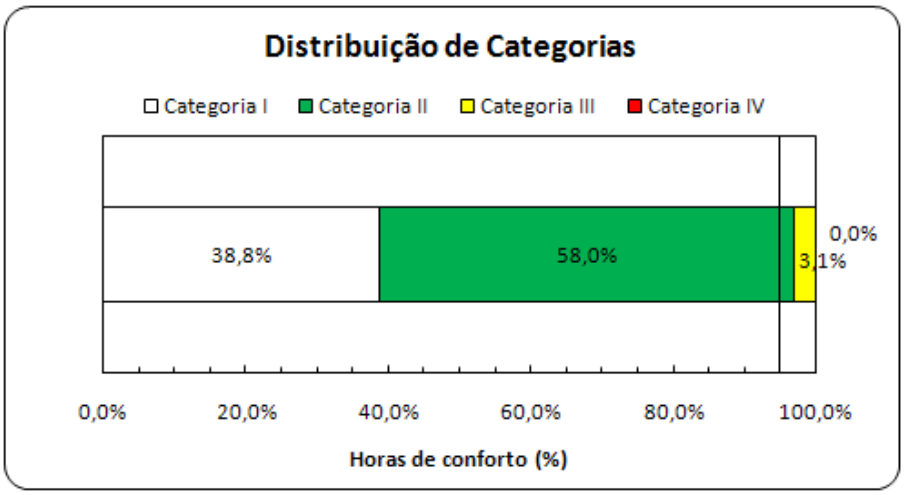


Figura 31 – Distribuição das categorias para os dados de entrada da categoria I

Como se pode verificar a categoria obtida é a categoria II. A categoria I só é conseguida 38,8% do tempo, sendo necessário 95% para atingir a categoria. Segundo a norma deveria ter-se obtido a categoria I, dado que os valores da temperatura operativa estão dentro do intervalo em pelo menos 95% das horas ocupadas.

9.3 - Caso 3: Alterações para obtenção das Categorias de conforto

No caso 3 pretende-se atingir as diferentes categorias (I, II e III) independentemente das condições impostas pela norma.

9.3.1 – Categoria III

Consultado os valores de PMV obtidos na simulação anterior (capítulo 9.2.1), verifica-se que, tal como para a categoria II, os valores são na sua maioria negativos, ou seja, os ocupantes sentem frio. Então, torna-se necessário aumentar a temperatura de modo a garantir o conforto dos ocupantes. Deste modo, fizeram-se várias simulações, apresentando-se de seguida a situação em que se obteve a categoria com menores consumos.

Para a obtenção do resultado efectuou-se um conjunto de exercícios com vista a determinar o tempo de início do aquecimento/arrefecimento e observar quais as temperaturas a que corresponde o PMV recomendado. Verificou-se que a solução passa antecipar cerca de uma hora o aquecimento/arrefecimento antes da ocupação.

Tabela 28 – "Setpoints" utilizados

Inicio do aquecimento / arrefecimento antes da ocupação	Sistema de	Setpoints (ºC)	
		Verão	Inverno
1 hora	Aquecimento	24,6	21,6
	Arrefecimento	27	25

<u>Resultados obtidos:</u>

Tabela 29 - Resultados obtidos para o caso de início do aquecimento / arrefecimento 1 horas antes da ocupação.

		Inicio do aquecimento / arrefecimento antes da ocupação	
		1 horas	
		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Nº de iterações		23	
Q_{out}		-	26,846
Necessidades	Aquecimento	59,572	-
	Arrefecimento	2,669	-
Energia primária	Aquecimento	-	17,276
	Arrefecimento	-	0,258
IEE		-	**37,833**
Categoria obtida		III	
Classe energética		C	

A figura 32 representa a distribuição das diferentes categorias que apresenta o resultado pretendido (categoria III).

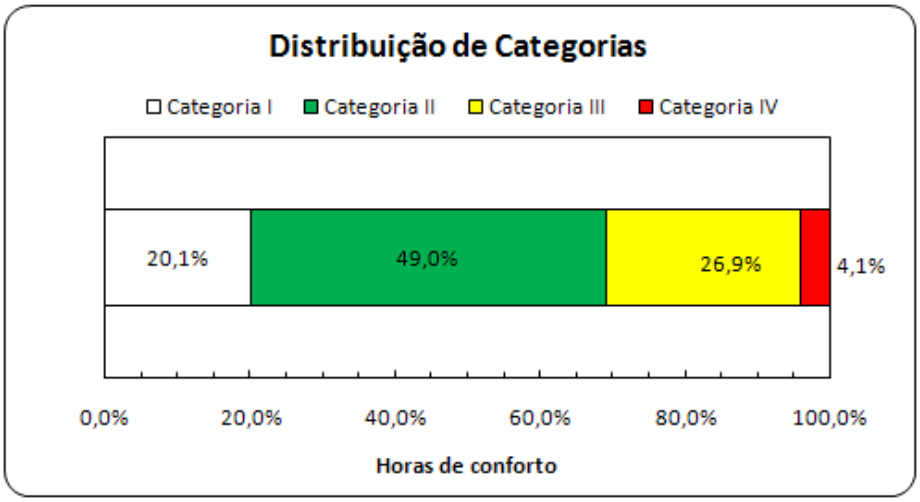


Figura 32 – Distribuição das categorias após alteração (categoria III)

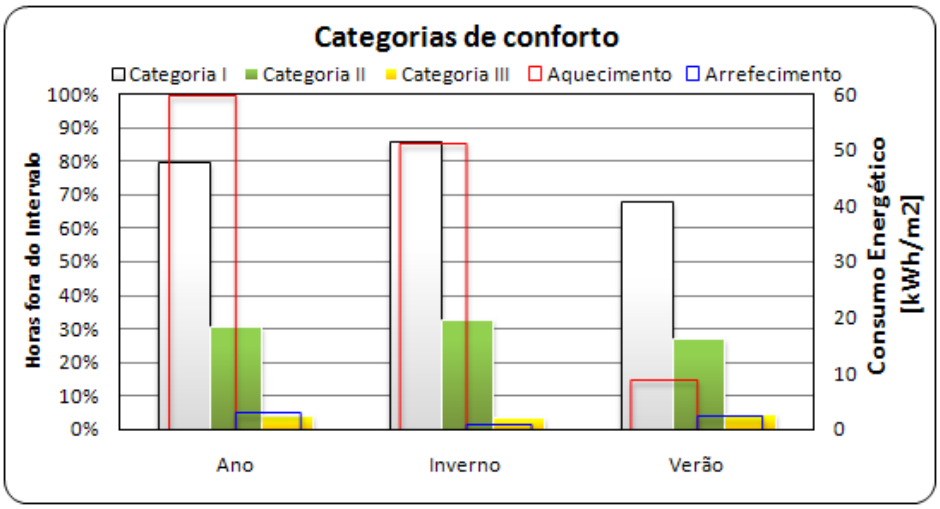


Figura 33 - Categorias de conforto para o caso 3 e consumos energéticos (categoria III)

De uma forma geral, a % de horas fora das categorias de conforto para a categoria I é cerca de 80% enquanto que para a categoria II é de 30% (figura 33). Quanto aos consumos, os resultados são os expectáveis, ou seja, a maior parte da energia é de aquecimento, pois só assim se consegue atingir o conforto com o nível III.

Implicações das alterações no consumo de energia

Tabela 30 - Comparação dos resultados obtidos antes e depois das alterações aos requisitos da norma EN15251 para obtenção da categoria III

		Top dentro dos intervalos sugeridos na norma		Inicio do aquecimento / arrefecimento 1 horas antes da ocupação	
		Unidades			
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]	[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Necessidades	**Aquecimento**	55,385	-	59,572	-
	Arrefecimento	2,368	-	2,669	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	16,062	-	17,276
	Arrefecimento	-	0,229	-	0,258
IEE		-	**37,050**	-	**37,833**
Categoria obtida		**IV**		**III**	
Classe energética		**C**		**C**	

Para se obter a classificação III, a energia útil total necessária, sofre um aumento de 7,1% , o que significa que o IEE teve um aumento de 2,1%, ou seja, o melhoramento da classificação é conseguido à custa de um maior consumo energético.

9.3.2 - Categoria II

Consultado os valores de PMV obtidos na simulação, verifica-se que são na sua maioria negativos, ou seja, os ocupantes sentem frio. Então, torna-se necessário aumentar a temperatura de modo a garantir o conforto dos ocupantes. Deste modo, fizeram-se várias simulações, apresentando-se de seguida a melhor solução encontrada para a categoria II.

Tabela 31 – "Setpoints" utilizados em três simulações.

Inicio do aquecimento / arrefecimento antes da ocupação	Sistema de	Setpoints (ºC)	
		Verão	Inverno
1 hora	Aquecimento	25,5	22,9
	Arrefecimento	26,5	24,5

Resultados obtidos:

Tabela 32 - Resultados obtidos para o caso de início do aquecimento / arrefecimento 1 horas antes da ocupação.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	27,2
Nº de iterações		18	
Necessidades	Aquecimento	91,71	-
	Arrefecimento	3,738	-
Energia primária	Aquecimento	-	26,596
	Arrefecimento	-	0,361
IEE		-	44,102
Classificação energética		D	

Também aqui é possível construir um gráfico representativo da distribuição das categorias (figura 34) em que se verifica que a categoria II já é obtida.

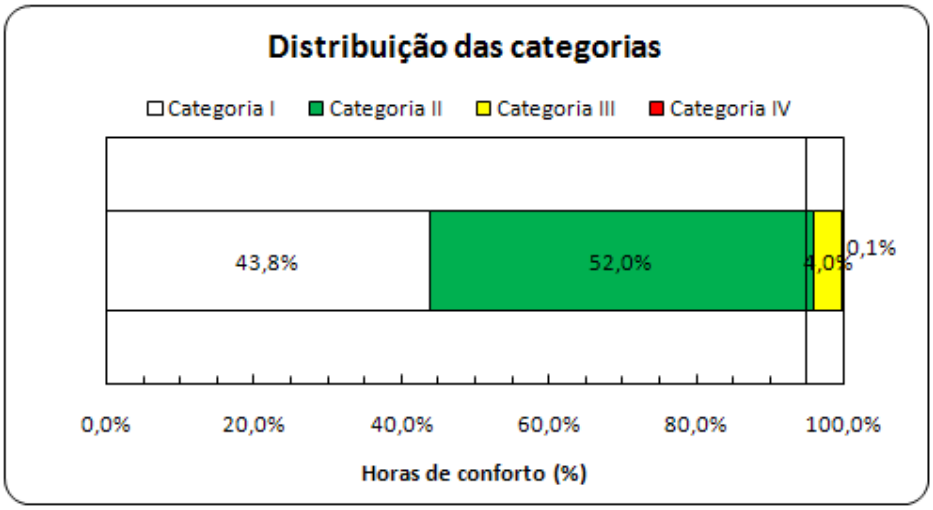


Figura 34 – Distribuição das categorias após alteração (categoria II)

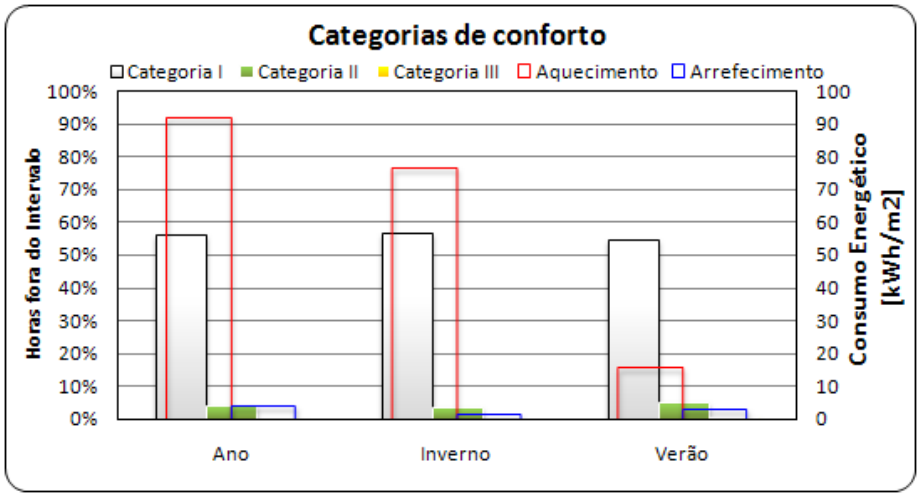


Figura 35 - Gráfico das categorias de conforto para o caso 3 (categoria II)

Analisando a figura 35, verifica-se que a % de horas fora das categorias de conforto para a categoria I é cerca de 57% enquanto que para a categoria II é menor do que 5%. Quanto aos consumos, verifica-se que a maior parte da energia consumida é d aquecimento da fracção autónoma na estação de aquecimento. Procede-se de seguida a uma análise energética detalhada dos resultados obtidos antes e depois das alterações.

Implicações no consumo de energia

Tabela 33 - Comparação dos resultados obtidos antes e depois das alterações aos requisitos da norma EN15251 para a categoria II

		Top dentro dos intervalos sugeridos na norma		Inicio do aquecimento / arrefecimento 1 horas antes da ocupação	
		Unidades			
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m2.ano]	[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Necessidades	**Aquecimento**	89,077	-	91,71	-
	Arrefecimento	6,241	-	3,738	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	25,832	-	26,596
	Arrefecimento	-	0,603	-	0,361
IEE		-	**43,87**	-	**44,102**
Categoria obtida		**IV**		**II**	
Classe energética		**D**		**D**	

Como se pode observar na tabela 33, as necessidades totais (aquecimento e arrefecimento) tiveram um aumento de 0,14% , ou seja, para se conseguir obter a categoria II, o edifício precisou de mais 0,14% de energia. Por sua vez, o IEE teve um aumento de 0,53%.

9.3.3 – Categoria I

Consultado os valores de PMV obtidos na simulação, verifica-se que, tal como para as categorias anteriores, os valores continuam a ser na sua maioria negativos, o que significa que os ocupantes sentem frio. Então, mais uma vez, torna-se necessário aumentar a temperatura de modo a garantir o conforto dos ocupantes.

Esta categoria tem realmente uma exigência muito elevada, devido aos reduzidos intervalos da Top impostos, pelo que se tornou muito difícil de obter. Isto também se deve ao facto de o Trnsys não trabalhar com a temperatura operativa, o que dificulta muito o controlo de intervalos tão reduzidos.

Apresenta-se de seguida a simulação em que se obteve a categoria com menores consumos.

Analisando as várias opções, chegou-se à conclusão que a maneira mais económica de obter a categoria I, era aumentar os setpoints, mais uma vez inevitável e começar o aquecimento/arrefecimento 6h antes da ocupação durante a semana e 12h antes á 2ªf.

Tabela 34 - Setpoints utilizados

Sistema de	Setpoints (ºC)	
	Verão	Inverno
Aquecimento	26,34	23,99
Arrefecimento	26,35	24

Tabela 35 - Resultados obtidos para o caso de início do aquecimento / arrefecimento 6 horas antes da ocupação, excepto à 2f, 12h.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	27,2
Nº de iterações		36	
Necessidades	Aquecimento	151,818	-
	Arrefecimento	16,148	-
Energia primária	Aquecimento	-	44,03
	Arrefecimento	-	1,56
IEE		-	**56,96**
Classificação energética		E	

Construindo um gráfico representativo da distribuição das categorias, vem que:

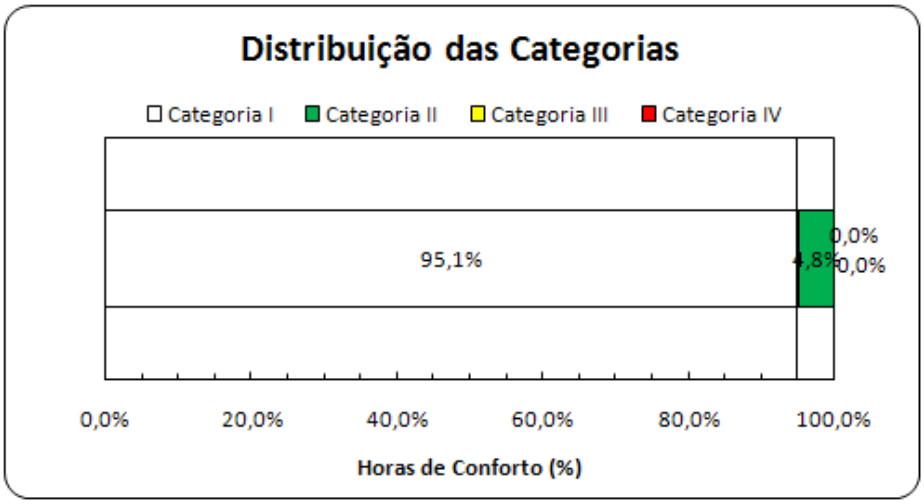


Figura 36 – Distribuição das categorias após alteração (categoria I)

No gráfico da figura 36, é possível ver a % de horas fora do intervalo para as categorias I, II e III e os consumos energéticos para o inverno, para o verão e ao longo do ano.

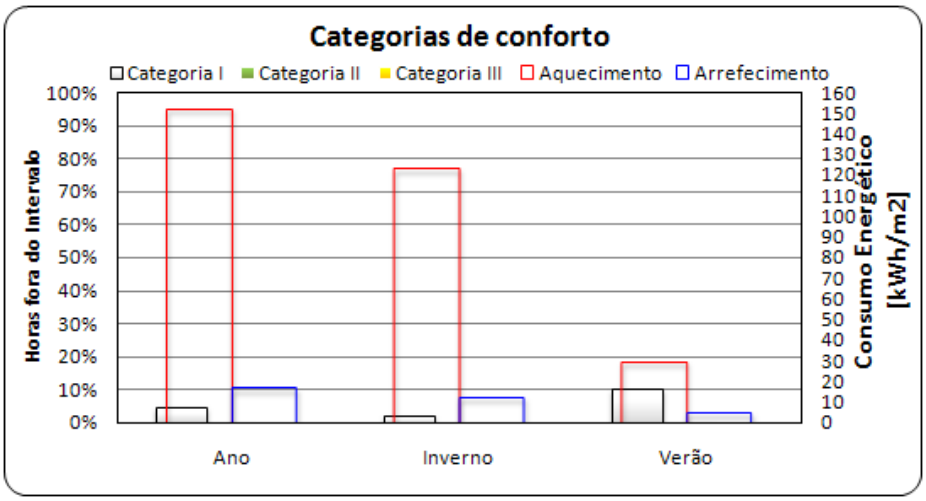


Figura 37 - Gráfico das categorias de conforto para o caso 3 (categoria I)

Analisando a figura 36 e 37, verifica-se que a categoria I já é obtida. Quanto aos consumos, aumentaram consideravelmente em comparação com as outras categorias. A maior parte da energia consumida continua a ser gasta a aquecer a fracção autónoma na estação de aquecimento.

Implicações no consumo de energia

Tabela 36 - Comparação dos resultados obtidos antes e depois das alterações aos requisitos da norma EN15251 para obtenção da categoria I

		Top dentro dos intervalos sugeridos na norma		Top corrigida	
		Unidades			
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]	[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Necessidades	**Aquecimento**	126,32	-	151,82	-
	Arrefecimento	11,96	-	16,15	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	36,63	-	44,03
	Arrefecimento	-	1,16	-	1,56
IEE		-	**51,96**	-	**56,96**
Categoria obtida		**II**		**I**	
Classe energética		**E**		**E**	

Através da análise da tabela anterior, a energia útil total teve um aumento de 17,7% , ou seja, para se conseguir obter a categoria I, o edifício precisou de mais 17,7% de energia. Por sua vez, o IEE teve um aumento de 8,8%.

Com as alterações efectuadas aos intervalos de temperaturas, conseguiu-se obter as categorias de conforto pretendidas. Contudo segundo o SCE, os edifícios com licença ou autorização de construção posterior a 4 de Julho de 2006, apenas poderão ter classe energética superior ou igual a B-. Em todas as simulações até agora realizadas, obtiveram-se classificações energéticas inferiores, serão por isso indicadas algumas alterações de forma a melhorar os consumos energéticos. Assim, a fracção autónoma será melhorada sucessivamente na tentativa de obter a classificação energética mínima exigida pelo SCE, em todas as categorias.

.

9.4 – Caso 4 - Sistema de aquecimento

A primeira alteração efectuada, foi o sistema de aquecimento, substituindo-se o que inicialmente era uma resistência eléctrica, por uma caldeira a combustível gasoso com rendimento de 87%. O factor de conversão Fpu entre energia útil de aquecimento e energia primária passa a ser de 0,086 kgep/kWh.

Tabela 37 – Comparação dos resultados do IEE e da classe energética antes e depois de alterar o sistema de aquecimento

		Resistência eléctrica	Caldeira a gás
Categoria I	IEE [kgep/m2.ano]	56,96	38,94
	Classe energética	E	C
Categoria II	IEE [kgep/m2.ano]	44,10	33,22
	Classe energética	D	B-
Categoria III	IEE [kgep/m2.ano]	37,83	30,76
	Classe energética	C	B

Como se pode ver na tabela anterior, houve um melhoramento muito significativo do índice de eficiência energético. Essa alteração é tão evidente, que se verifica que apenas alterando o sistema de aquecimento já se obtêm a classe energética mínima (B-) para as categorias II e III. Existem no entanto outras alterações já referidas anteriormente que se podem efectuar com o objectivo de melhorar os consumos energéticos do edifício. Assim, no decorrer do trabalho vai-se proceder a sucessivas alterações, melhorando continuamente a eficiência energética da fracção autónoma em estudo.

9.5 – Caso 5 - Ventilação

No caso 5 implementou-se um sistema de ventilação híbrida, que é definida como uma estratégia de ventilação que conjuga a ventilação natural com a mecânica de modo a que o consumo energético seja minimizado e a QAI e o conforto térmico dos ocupantes se mantenha. Existem, três princípios, a partir dos quais se pode desenvolver esta nova estratégia de ventilação [61]:

1) *Ventilação Natural e Ventilação Mecânica*

2) *Ventilação Natural assistida por um ventilador*

3) *Ventilação Mecânica assistida pelos gradientes de pressão e de temperaturas (tiragem térmica)*

Neste trabalho optou-se pelo primeiro, deste modo, existem dois sistemas de ventilação, autónomos, um natural e outro mecânico. As duas estratégias funcionam alternadamente de acordo com os requisitos específicos de cada momento, deste modo, temos ventilação natural no verão e ventilação mecânica no inverno.

Para a ventilação natural foi utilizado o programa COMIS - *Multizone Air Flow Model* associado ao TRNSYS, descrito no capítulo 5.2.

A estratégia de controlo do sistema de ventilação híbrida implementada, inclui dois tipos de controlo em função das necessidades específicas do espaço, que são:

■ C*ontrolo pela Qualidade do Ar Interior (QAI)*

Neste caso, pretende-se atingir um equilíbrio entre a Qualidade do Ar Interior, o conforto térmico, o consumo energético e o impacto ambiental durante os períodos de aquecimento e arrefecimento.

■ C*ontrolo pela temperatura no interior do edifício*

Esta estratégia é utilizada como modo de arrefecimento do edifício. Pretende-se, portanto, atingir o equilíbrio entre a capacidade de arrefecimento, as necessidades de arrefecimento, a massa térmica e o conforto térmico.

Coeficientes de Pressão

Os coeficientes de pressão (C_p) em torno do edifício embora tendo sido retirados do *CpCalc*, foram-me fornecidos, de maneira que não tive necessidade de os calcular. Na tabela 38 apresentam-se os valores utilizados para os C_p's, para as diferentes direcções do vento.

Tabela 38 - Valores dos coeficientes de pressão (Cp)

	0º	**45º**	**90º**	**135º**	**180º**	**225º**	**270º**	**315º**
Norte	0.70	0.53	-0.08	-0.45	-0.30	-0.30	-0.45	-0.08
Sul	-0.20	-0.30	-0.45	-0.45	-0.08	0.53	-0.08	-0.45
Este	-0.50	-0.08	0.53	0.53	0.53	-0.08	-0.30	-0.30
Oeste	-0.50	-0.45	-0.30	-0.30	-0.30	-0.45	0.53	0.53

Os valores de **Cs** utilizados para as janelas foi de 0.001 [l/m] e para as portas 0.03 [l/m] enquanto que o expoente **n** foi de 0.57 para as janelas e 0.60 para as portas.

Assim, o sistema de ventilação híbrida implementado a assenta na seguinte estratégia de ventilação:

- num *sistema de ventilação mecânica no inverno*, que garante apenas a ventilação mínima necessária exigida pela norma EN15251 e ao mesmo tempo, pressuriza o espaço limitando as infiltrações;

- e num *sistema de ventilação natural no verão* que também garante a ventilação mínima pretendida e ao mesmo tempo retira carga ao espaço devido ao aumento ponderado da ventilação durante o dia quando a temperatura exterior é menor do que a interior.

Convém salientar que este sistema de ventilação natural, é uma estratégia ideal de controlo, pois o aumento da ventilação somente quanto a temperatura exterior é menor que a interior, é de difícil implementação prática, na medida em que exige um controlo automático da ventilação com sistema de gestão adequada. O controlo manual para esta situação é impossível. Portanto, os resultados iriam traduzir a máxima contribuição potencial para os efeitos benéficos da ventilação natural, não se podendo traduzir em ganhos reais nos casos correspondentes a edifícios normais.

Uma vez que se vai implementar a ventilação natural no verão, o critério aplicado pela EN15251 para definir as categorias de conforto é o descrito anteriormente no capítulo 4.2.2.

Este método avalia o conforto por limites da T_{op} e que têm em conta a temperatura média radiante exterior. Para melhor compreensão, os limites de conforto da temperatura operativa foram resumidos na tabela seguinte.

Tabela 39 – Temperatura interiores de projecto para a FA em estudo, sem sistema mecânico de arrefecimento e ventilação natural.

			Categoria I	**Categoria II**	**Categoria III**
Top	**Limite superior**	**T_{rm}>10**	$0.33T_{rm}+18.8+2$	$0.33T_{rm}+18.8+3$	$0.33T_{rm}+18.8+4$
		T_{rm}<10	25,5	26	27
	Limite inferior	**T_{rm}>15**	$0.33T_{rm}+18.8-2$	$0.33T_{rm}+18.8-3$	$0.33T_{rm}+18.8-4$
		T_{rm}<15	21	20	19

Tratando os dados em Excel e seguindo a metodologia de cálculo do capítulo 4.2.2, foi calculada a temperatura média radiante exterior (T_{rm}) e por conseguinte os limites de conforto da temperatura operativa (T_{op}). Esses resultados, tal como todos os outros, encontram-se disponíveis em ficheiros Excel no cd anexo ao trabalho. Os limites obtidos estão ilustrados nos gráficos seguintes:

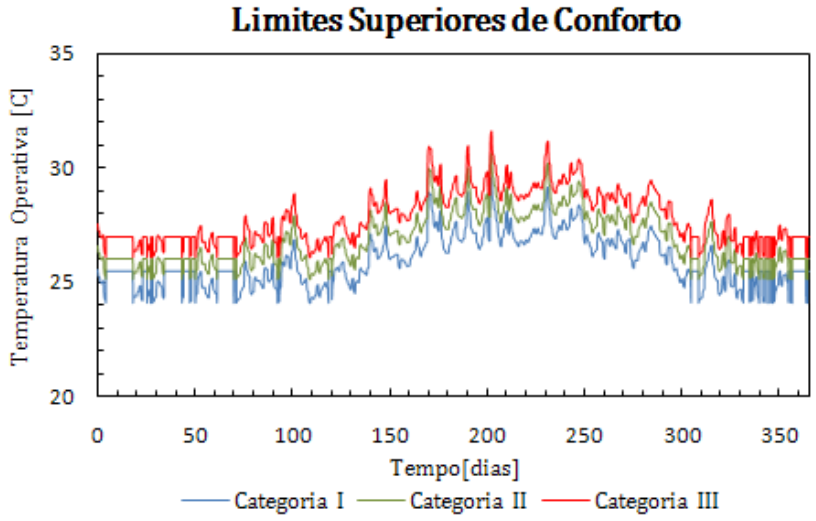


Figura 38 – Limites Inferiores de conforto da Top para a ventilação natural.

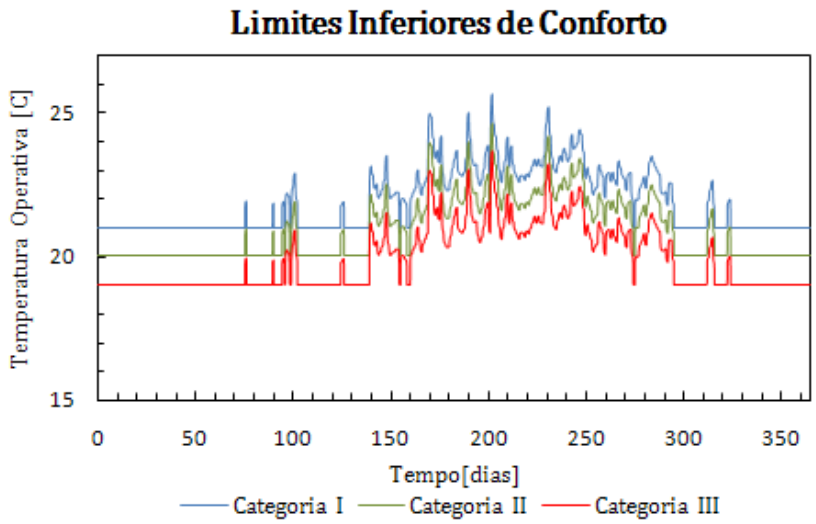


Figura 39 – Limites Inferiores de conforto da Top para a ventilação natural.

9.5.1 – Resultados para a categoria III

Os setpoints de aquecimento são de 20,4ºC no verão e 21,3ºC no inverno e ligam 1hora antes da ocupação.

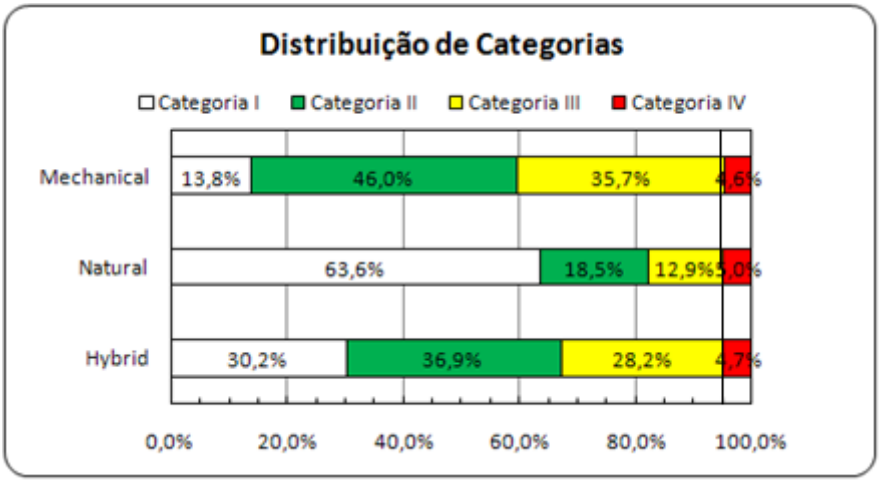


Figura 40 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto para a ventilação híbrida com a respectiva contribuição da ventilação mecânica e natural, para os resultados da categoria III.

Tabela 40 - Consumos energéticos obtidos para a categoria III, com ventilação híbrida.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	26,5
Nº de iterações		17	
Energia útil	Aquecimento	43,85	-
	Arrefecimento	0	-
Energia primária	Aquecimento	-	4,34
	Arrefecimento	-	0
IEE		-	**29,19**
Classificação energética		B	
Categoria obtída		III	

Houve um melhoramento do IEE de 30,76 [kgep/m^2.ano] para 29,19 [kgep/m^2.ano]. Contudo, a classificação energética mantém-se.

9.5.2 – Resultados para a categoria II

Ao implementar o sistema de ventilação híbrida descrito anteriormente, houve a necessidade de alterar os setpoints definidos no Trnsys, de forma a não perder a categoria de conforto. Assim, os "setpoints" de aquecimento da temperatura do ar definidos foram de 22,5ºC no verão e 22,6ºC no inverno. O aquecimento liga 1h antes da ocupação, porque se verificou que é assim que há menores consumos de energia.

Com os resultados obtidos foi possível construir um gráfico que ilustra a distribuição das categorias no inverno (ventilação mecânica), no verão (natural) e ao longo do ano (híbrida).

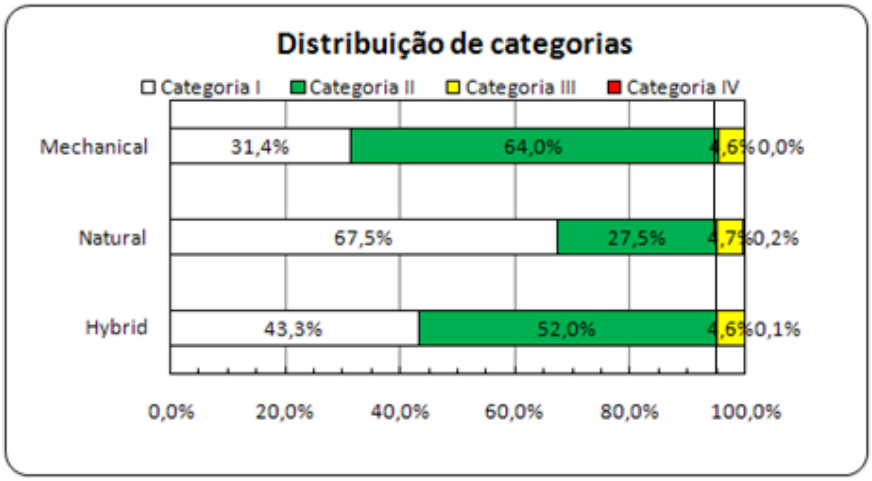


Figura 41 – Gráfico de distribuição de categorias para a ventilação híbrida com a respectiva contribuição da ventilação mecânica e natural, para os resultados da categoria II.

Através da análise da figura anterior, verifica-se que a categoria II é conseguida 95,3% do tempo, de maneira que se pode afirmar que a categoria II foi atingida.

Tabela 41 - Consumos energéticos obtidos para a categoria II, com ventilação híbrida.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	26,8
Nº de iterações		19	
Necessidades	Aquecimento	72,21	-
	Arrefecimento	0	-
Energia primária	Aquecimento	-	7,14
	Arrefecimento	-	0
IEE		-	**31,18**
Classificação energética		B	
Categoria obtida		II	

Verifica-se que houve um melhoramento do IEE de 33,22 [kgep/m^2.ano] para 31,18 [kgep/m^2.ano]. Concluí-se que, com os melhoramentos efectuados até ao momento (caldeira a gás e ventilação híbrida) já se consegue obter a categoria II com uma classe energética satisfatória, B.

Posteriormente, procedeu-se a realização do mesmo procedimento para as restantes categorias da norma EN15251.

9.5.3 – Resultados para a categoria I

O "setpoint" de aquecimento é de 24,6ºC no verão e 23,83ºC no inverno. Neste caso, devido ao grau de exigência da categoria I, já é necessário ter o sistema de arrefecimento no inverno, para conseguir obter a categoria. Assim, o setpoint de arrefecimento de inverno é 23,84ºC. O intervalo de temperaturas que foi necessário definir, revela a exigência da categoria I, mas também a dificuldade em controlar a Top com programa Trnsys que, como já foi referido, trabalha com a T_{ar} e não com a T_{op}. Para além dos intervalos de temperatura, foi necessário ligar o aquecimento e o arrefecimento 12h antes da ocupação à segunda-feira e 6h aos restantes dias da semana. Este aumento à segunda-feira deve-se ao facto de se ter verificado na análise dos resultados do Trnsys, que nas primeiras horas de ocupação à segunda-feira a T_{ar} atingia-se facilmente mas T_{op} raramente era atingida, facto que impossibilitava a obtenção da categoria I a 95% do tempo, ou seja, não se conseguia obter a categoria. Este fenómeno é facilmente explicável uma vez que durante o fim-de-semana não há ocupação, pelo que os equipamentos, a iluminação e principalmente o sistema de climatização, encontram-se desligados, o que leva a uma perda de carga térmica mais elevada do que nos restantes dias da semana.

Resultados obtidos:

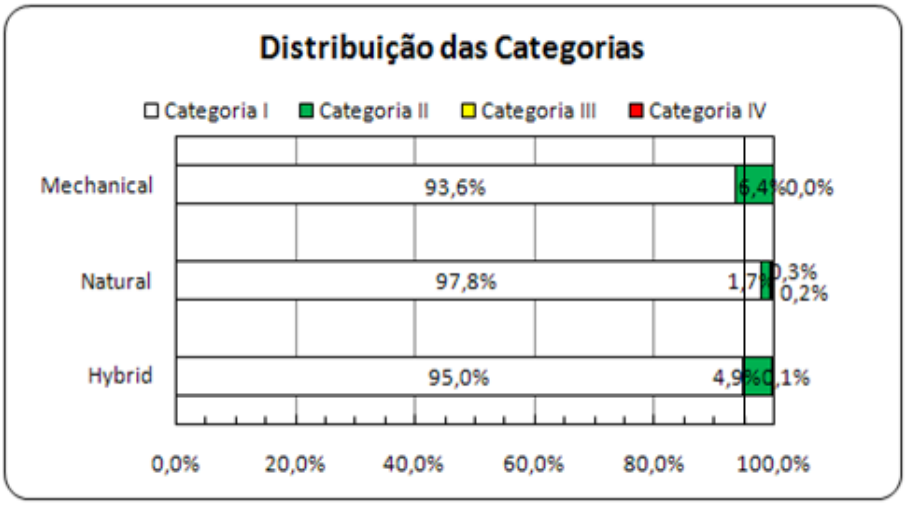


Figura 42 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto para a ventilação híbrida com a respectiva contribuição da ventilação mecânica e natural, para os resultados da categoria I.

Tabela 42 - Consumos energéticos obtidos para a categoria I, com ventilação híbrida.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	27,3
Nº de iterações		32	
Necessidades	**Aquecimento**	133,88	-
	Arrefecimento	2,41	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	13,23
	Arrefecimento	-	0,23
IEE		-	**35,76**
Classificação energética		**C**	
Categoria obtida		**I**	

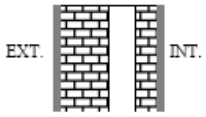
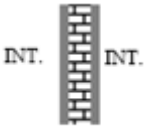
Apesar de ter havido um melhoramento no índice de eficiência energético de 38,94 [kgep/m^2.ano] para 35,76 [kgep/m^2.ano], este melhoramento não foi suficiente para melhorar a classificação energética que continua a ser classe C.

9.6 – Caso 6 - Envolvente

Nesta fase, será feito um melhoramento à envolvente do edifício. Assim, alterou-se os envidraçados e as paredes da fracção autónoma, com o objectivo de restringir a condução, aumentando a inércia. A inércia térmica é o fenómeno pelo qual o edifício amortece as acções térmicas exteriores e interiores do edifício, proporcionando uma menor variação da temperatura interior. Tendo em conta que as acções térmicas exteriores (temperatura exterior, radiação solar) variam periodicamente, o efeito da inércia térmica é essencial para o conforto térmico. Contudo, importa referir que o aumento do isolamento tem de ser ponderado, de modo a evitar sobreaquecimento no verão, pois em certas condições, quando os ganhos de calor no edifício são elevados, envolventes muito isoladas podem dificultar a dissipação desse calor e fazer com que a temperatura interior aumente acima do limite de conforto.

Na tabela 43, descrevem-se as características apenas dos elementos da envolvente que sofreram alterações. Os materiais constituintes de cada elemento e as respectivas propriedades térmicas são apresentados do interior para o exterior das zonas.

Tabela 43- Características dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.ºC]	ρ [kg/m3]	cp [KJ/kg.ºC]	U [W/m2.ºC]
Parede exterior  (a)(b)(c)(d)(e)	(a) Reboco	0,02	1,15	1950	0,837	0,748
	(b) Tijolo furado	0,110	0,52	1100	0,936	
	(c) PEEP[9]	0,004	0,035	32,5	1210	
	(d) Tijolo furado	0,150	0,48	1270	0,936	
	(e) Reboco	0,015	1,15	1950	0,837	
Parede interior  (a)(b)(c)(d)	(a) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	1,307
	(b) Tijolo furado	0,11	0,52	1100	0,936	
	(c) Tijolo furado	0,150	0,48	1270	0,936	
	(d) Reboco	0,020	1,15	1950	0,837	

Os envidraçados passam a ter a seguintes características:

Tabela 44 – Propriedades dos novos envidraçados

Tipo de janela	**Duplo**	
Número de painéis	2	e = 4 mm
Tipo de gás	ar	e = 12 mm
Material da caixilharia	Alumínio	
Tipo de vidro	Transparente	
Factor solar do envidraçado	0,82	
Área de caixilho/ área total da janela	0,15	
U [W/m^2.ºC]	**2,589**	

[9] *PEEP – Poliestireno Expandido Extrudido em Placas*

9.6.1 – Categoria III

Alterando a envolvente apenas é preciso aquecimento no inverno para obter a categoria III. O "setpoint" definido foi de 20,4ºC e o sistema entra em funcionamento 1h antes do início da ocupação.

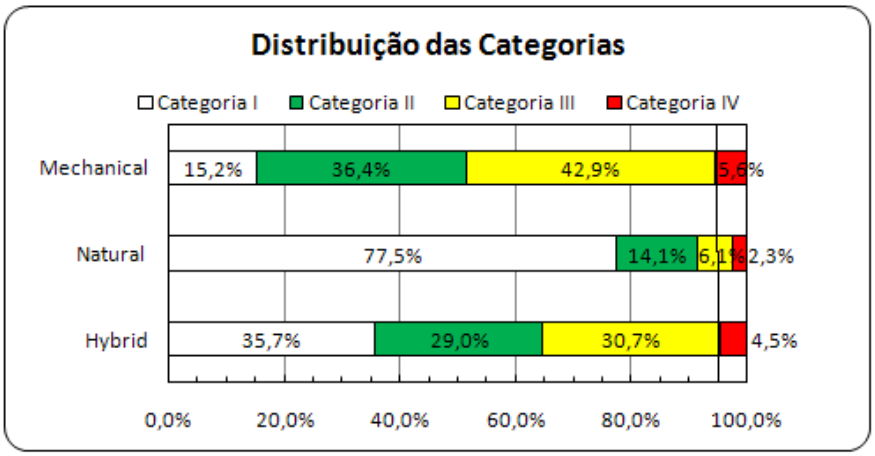


Figura 43 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto após alteração da envolvente, para os dados de entrada da categoria III.

Quanto aos consumos energéticos os resultados foram os seguintes:

Tabela 45 - Consumos energéticos obtidos para a categoria III, após a alteração da envolvente.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	26,50
Nº de iterações		41	
Necessidades	Aquecimento	22.20	-
	Arrefecimento	0	-
Energia primária	Aquecimento	-	2,19
	Arrefecimento	-	0
IEE		-	**27,96**
Classificação energética		B	
Categoria obtida		III	

9.6.2 – Categoria II

Efectuadas as alterações à envolvente, foi também necessário alterar mais uma vez os setpoints no Trnsys, que estavam definidos anteriormente, de modo, a continuar a obter a categoria de conforto. Os setpoints de aquecimento foram de 20,8ºC para o verão e 21,6ºC para o inverno.

É de realçar a necessidade de ligar novamente o sistema de arrefecimento no inverno para se conseguir obter a categoria II, pois antes de se fazer esta alteração conseguia-se obter a categoria mesmo sem arrefecimento, quando se implantou a ventilação híbrida no edifício (capítulo 9.4.2). Contudo, o que mais importa são os consumos finais que como se poderá verificar reduziram substancialmente. O setpoint de arrefecimento para o inverno foi de 24,8ºC. O sistema entra em funcionamento 1h antes do início da ocupação.

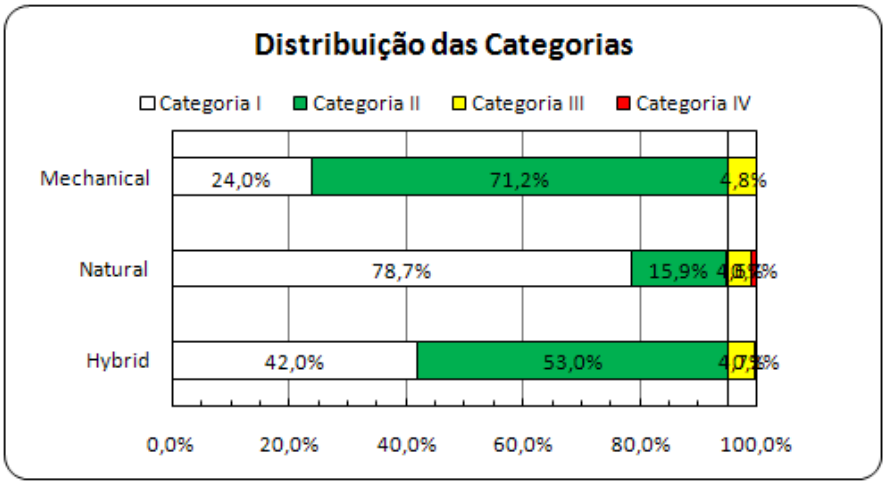


Figura 44 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto após alteração da envolvente, para os dados de entrada da categoria II.

Quanto aos consumos energéticos os resultados foram os seguintes:

Tabela 46 - Consumos energéticos obtidos para a categoria II, após a alteração da envolvente.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	[kgep/m^2.ano]
Q_{out}		-	26,8
Nº de iterações		43	
Energia útil	**Aquecimento**	31,74	-
	Arrefecimento	1,62	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	3,14
	Arrefecimento	-	0,16
IEE		-	**28,86**
Classificação energética		B	
Categoria obtida		**II**	

Verifica-se que houve um melhoramento do IEE de 31,18 [kgep/m^2.ano] para 28,86 [kgep/m^2.ano], com a alteração da envolvente da fracção autónoma. No entanto não foi suficiente para alterar a classificação energética que continua B.

Seguindo o mesmo procedimento efectuaram-se as simulações para as restantes categorias.

9.6.3 – Categoria I

O aquecimento/arrefecimento inicia-se 5 horas antes da ocupação. O setpoint de aquecimento é de 23,6ºC no verão e 23,2ºC no inverno. O setpoint de arrefecimento é de 23,3ºC apenas no inverno.

No que diz respeito ao conforto, a distribuição das categorias obtida foi a seguinte:

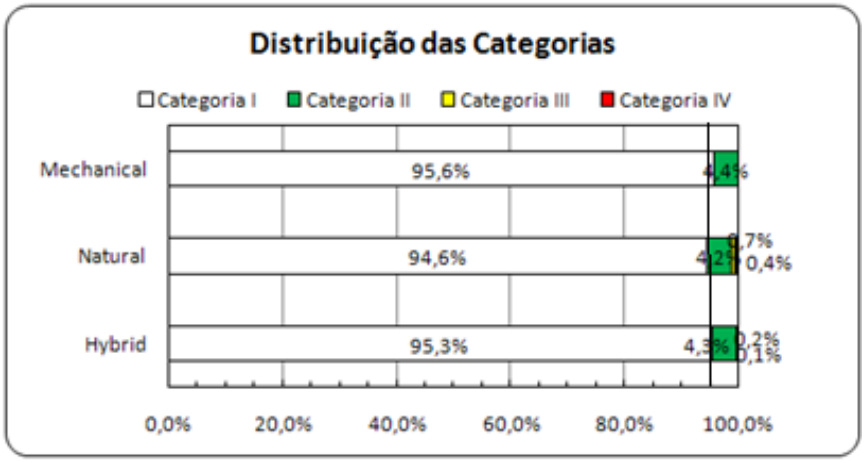


Figura 45 – Gráfico de distribuição de categorias de conforto após alteração da envolvente, para os dados de entrada da categoria I.

Quanto aos consumos os resultados foram:

Tabela 47- Consumos energéticos obtidos para a categoria I, após a alteração da envolvente.

		Unidades	
		[kWh/m^2.ano]	**[kgep/m^2.ano]**
Q_{out}		-	27,3
Nº de iterações		67	
Energia útil	**Aquecimento**	73,10	-
	Arrefecimento	5,97	-
Energia primária	**Aquecimento**	-	7,23
	Arrefecimento	-	0,58
IEE		-	**32,37**
Classificação energética		**B$^-$**	
Categoria obtída		**I**	

Verifica-se que houve um melhoramento do IEE de **35,76** [kgep/m^2.ano] para **32,37** [kgep/m^2.ano], com a alteração da envolvente da fracção autónoma, conseguindo-se finalmente a classificação energética mínima B$^-$.

9.7 – Resumo dos resultados

Apresenta-se de seguida uma tabela com uma evolução dos resultados da categoria de conforto, do IEE e respectiva classificação energética, para melhor se perceber o impacto da aplicação da norma EN15251 e das alterações efectuadas ao edifício ao longo de todo o trabalho.

Tabela 48 – Resumo dos consumos energéticos obtidos em cada caso

	Categoria pretendida	Categoria obtida	IEE [kgep/m^2.ano]	Classificação energética
Caso 1	-	IV	37,30	C
Caso 2	**I**	II	51,96	E
	II	IV	43,87	D
	III	IV	37,05	C
Caso 3	**I**	I	56,96	E
	II	II	44,10	D
	III	III	37,83	C
Caso 4	**I**	I	38,94	C
	II	II	33,22	B-
	III	III	30,76	B
Caso 5	**I**	I	35,76	C
	II	II	31,18	B
	III	III	29,19	B
Caso 6	**I**	I	32,37	B-
	II	II	28,86	B
	III	III	27,96	B

Analisando a tabela anterior verifica-se que, do caso 1 para o caso 2, houve um aumento do IEE, à excepção da categoria III em que se obteve uma ligeira melhoria. Contudo, para o caso 2, não se obteve o conforto pretendido, para isso acontecer foram alteradas as gamas de temperaturas operativas o que implicou um aumento dos consumos energéticos. Atingiu-se assim o conforto desejado, mas não houve uma redução dos consumos energéticos com a sua aplicação, pelo que se pode concluir, que a norma EN15251 vai contra os requisitos da EPBD. Posteriormente, foram feitas melhorias sucessivas à fracção autónoma, desde a alteração do sistema de climatização, sistema de ventilação e envolvente, verificando-se melhorias contínuas do IEE, embora umas mais eficazes do que outras, mas todas com resultados positivos nos consumos. Chega-se assim à situação final (caso 6) em que se obteve um Índice

de Eficiência Energético (IEE) inferior à situação de referência, cumprindo a classificação energética mínima exigida pelo Sistema Nacional de Certificação Energética e Qualidade do Ar (SCE), que obriga a que, todos os edifícios com licença ou autorização de construção posterior a 4 de Julho de 2006, apenas poderão ter classe energética superior ou igual a B-.

A figura 46, permite compreender melhor a evolução dos consumos energéticos para as melhorias efectuadas, tendo como referência o caso 3.

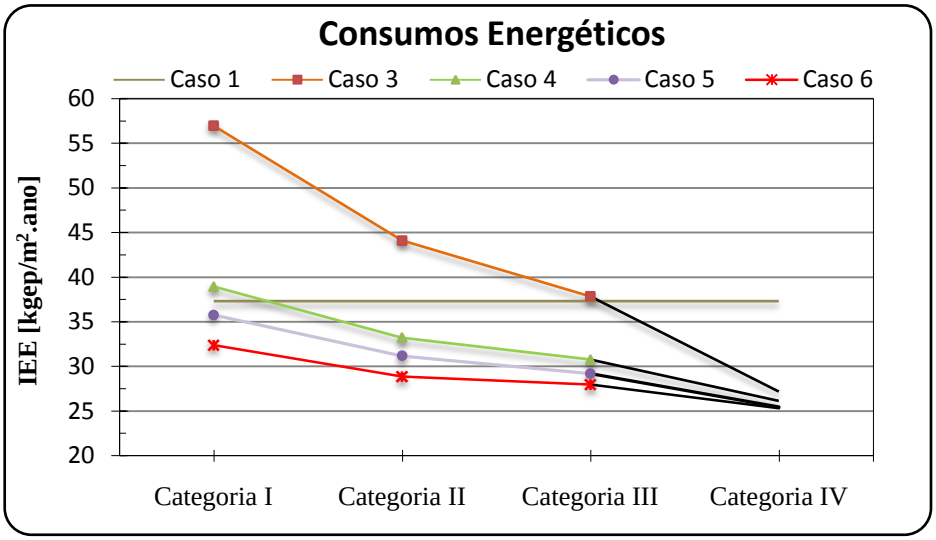


Figura 46 – Evolução dos consumos com as melhorias para cada categoria.

Na figura 46, que permite perceber melhor a evolução dos consumos para cada caso, de acordo com a respectiva categoria. Adicionou-se uma linha de tendência, que é aproximação ao que seria de esperar para a categoria IV. Verifica-se que, as melhorias são mais acentudas quanto mais exigente é a categoria. Do caso 3 para o caso 4, foi onde houve a melhoria mais significativa dos consumos.

10 - POSSÍVEIS ALTERAÇÕES DA NORMA EN15251

Como se verificou anteriormente nos resultados obtidos, cumprindo todas as exigências da norma, para a fracção autónoma em estudo, não foi possível em nenhum dos casos, obter as categorias de conforto pretendidas, utilizando o método de avaliação de conforto em que se utiliza um sistema de ventilação mecânica. Estas categorias (I, II e III) apenas foram obtidas com a alteração dos intervalos da temperatura operativa, pelo que se pode concluir que provavelmente estarão mal formulados.

O que se pretende neste capítulo é propor uma correcção aos intervalos da temperatura operativa para as diversas categorias. Assim, parte-se dos intervalos que a norma define para o PMV listados na tabela 4, e através dos resultados obtidos no Trnsys verificou-se quais são os valores da temperatura operativa e do PPD para os valores limite do PMV de cada categoria. Outra forma de resolver o problema, era aumentar os intervalos do PMV e PPD, mas desta forma estaria-se a diminuir o grau de exigência da norma.

Esta análise foi possível, uma vez que para um determinado valor de PMV, verificou-se que o PPD e a T_{op} são praticamente constantes, existindo apenas algumas excepções pontuais no PPD. Assim sendo, os intervalos sugeridos das temperaturas operativas e do PPD, para a tipologia do edifício em questão, são os seguintes:

Tabela 49 - Valores do PPD e Top recomendados para edifícios de serviços de escritórios (ou actividade similar) com sistema mecânico de ventilação e actividade de 1,2met aproximadamente.

Categoria	Intervalos			
	Predicted mean vote	PPD %	Temperatura Operativa (ºC)	
			Estação de aquecimento 1,0 clo	Estação de arrefecimento 0,5 clo
I	-0,2 < PMV < +0,2	< 6,1	21,99 – 23,99	25,28 – 26,67
II	-0,5 < PMV < +0,5	< 10,8	20,47 – 25,48	24,19 – 27,77
III	-0,7 < PMV < +0,7	< 15,5	19,46 – 26,48	23,45 – 23,49
IV	PMV ≥ -0,7 ou +0,7 ≤ PMV	> 15,5	-	-

Estes intervalos basearam-se nos valores obtidos nas simulações efectuadas e encontram-se tabelados no ANEXO H. Na realidade, não faz sentido controlar a T_{op} à centésima, uma vez que diferenças de temperatura tão pequenas não são sentidas pelos ocupantes. No caso 3 e no caso 5, para conseguir obter a categoria de conforto I, teve-se que variar a temperatura em 0,01 (ºC). Assim, os valores da tabela 49, fazem sentido apenas do ponto de vista matemático, mas em termos físicos, a sensação dos ocupantes é a mesma. Existem inclusive projectos

Europeus, como por exemplo, o *Smart Controls and Thermal Confort Project* [76], onde se fazem inqueritos com gradientes de temperaturas superiores a 1ºC e os inquiridos sentem-se confortáveis. O conforto, é um parâmetro muito difícil de avaliar, uma vez que as sensações variam de ocupante para ocupante. Deste modo, fica em aberto a questão dos intervalos de temperatura impostos pela norma, sendo uma boa proposta para trabalhos futuros.

11 – CONCLUSÕES E PERSPECTIVA DE TRABALHOS FUTUROS

É feito um sumário de todo o conteúdo do projecto, dos resultados encontrados e das principais conclusões obtidas. São também apresentadas as limitações da pesquisa e sugestões para trabalhos futuros.

11.1 - Conclusões

Cumprido o objectivo de analisar o impacto da Norma de Conforto Europeia EN 15251 na certificação energética (CE) em edifícios de serviços, as principais conclusões a retirar deste trabalho são:

- O regulamento português, por si só, não consegue manter os diferentes níveis de classificação de conforto impostos pela norma, uma vez que a sua preocupação é mais de aspectos energéticos e de QAI. O conforto é apenas tratado ao nível da temperatura e humidade (apenas no caso do Verão).

- Uma vez que, cumprindo os requisitos mínimos da EN15251, não foi possível atingir as categorias de conforto pretendidas, conclui-se que as gamas de temperatura impostas pela norma do ponto de vista matemático não estão correctas, pelo menos, no que diz respeito à tipologia do edifício em estudo.

- Diminuindo os intervalos de temperaturas impostas pela norma consegue-se obter as categorias de conforto. No entanto, não se consegue obter a redução dos consumos energéticos a que a norma se propõem, logo, concluí-se que a norma não está de acordo com a EPBD.

- É possível efectuar algumas alterações, no sentido de melhorar os consumos energéticos, de modo a que todas as categorias tenham pelo menos a classificação energética mínima exigida pelo SCE. Deste modo, concluí-se que, dentro de alguns critérios, é possível obter conforto e eficiência.

- Finalmente concluí-se que, se um edifício tem uma dada categoria de conforto e objectivo é melhorar essa categoria, essa melhora é conseguida à custa de um aumento do consumo de energia.

11.2 - Perspectiva de trabalhos futuros

Como só foi feita simulação para um edifício tipo de construção portuguesa, seria interessante ter uma amostragem maior, de modo a obter resultados mais precisos sobre o impacto da norma europeia de conforto EN15251 na certificação.

Simular edifícios de outras tipologias, como por exemplo, ciclos de ocupação diferentes, de forma a avaliar o efeito da radiação nas categorias de conforto, proveniente das assimetrias térmicas, resultantes da fase intermitente em que não há ocupação,

Fazer ensaios com uma gama de climas mais ampla, de forma a analisar o impacto da norma em climas mais frios ou mais quentes e verificar o efeito das melhorias efectuadas nos casos 4, 5 e 6 nesses climas.

Ver até que ponto o investimento envolvido na tecnologia necessária para as soluções inovativas utilizadas apresentas, por exemplo na ventilação natural, são viáveis do ponto de vista económico.

Refinir os intervalos de temperatura para as várias categorias da EN15251, que permitam obter o conforto com a melhor eficiência possível.

Finalmente, outro aspecto importante era conseguir controlar directamente a temperatura operativa no Trnsys, de forma a obter resultados dos consumos energéticos mais precisos.

12 – REFERÊNCIAS E BIBLIOGRAFIA

[1] *Decreto Lei 40/90 de 6 de Fevereiro. Regulamento das características de comportamento térmico dos edifícios (RCCTE)*. Lisboa, Portugal, 1990.

[2] Maldonado, E. B. e Fernandes, E. O. *Building thermal regulations: why has summer been forgotten ?* 3rd European Conference on Architecture. Florence, Italy, 1993.

[3] *Decreto Lei 156/92 de 29 de Julho. Regulamento da qualidade dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RQSECE)*. Lisboa, Portugal, 1992.

[4] *Decreto Lei 118/98 de 7 de Maio. Regulamento dos sistemas energéticos de climatização em edifícios (RSECE)*. Lisboa, Portugal, 1998.

[5] *EU Official Journal. Directive on the energy performance of buildings. 2002/91/CE*. 4/January, 2003

[6] B.W. Olesen, *The philosophy behind EN15251: indoor environmental criteria for design and calculation of energy performance of buildings, Energy and Buildings* 39 (7) (2007) 740 – 749

[7] *ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE), 2004

[8] Nicol, F. S. *A handbook for field studies toward an adaptive model*. London, UK: University of East London, 1993.

[9] Fanger, P. O. *Thermal comfort: analysis and applications in environmental engineering*: Mc Graw-Hill, 1970.

[10] Fanger, P. O., *et al.* Can winter swimming cause people to prefer lower room temperatures. *International Journal of Biometeorology*, v.21, n.1, p.44-50. 1977.

[11] Tanabe, S., *et al.* Thermal comfort requirements during the summer season in Japan. *ASHRAE Transactions*, v.93, n.1, p.564-577. 1987.

[12] De Dear, R., *et al.* Thermal comfort in the humid tropics. Part I. Climate chamber experiments on temperature preferences in Singapore. *ASHRAE Transactions*, v.97, n.1, p.874-879. 1991.

[13] *ISO 7730. Ergonomics of the thermal environment. Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria*. Geneva: International Organization for Standardization, 2005.

[14] Brager, G. S. e De Dear, R. Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and buildings*, v.27, n.1, p.83-96. 1998.

[15] Olesen, B. W. e Parsons, K. C. Introduction to thermal comfort standards and to the proposed new version of EN ISO 7730. *Energy and buildings*, v.34, n.6, p.537-548. 2002.

[16] Humphreys, M. A. e Nicol, J. F. *Do people like to feel "neutral"? Response to the ASHRAE scale of subjective warmth in relation to thermal preference, indoor and outdoor temperature*. ASHRAE Annual Meeting. Nashville, USA: ASHRAE, 2004. p. 543-551.

[17] Bedford, T. *The warmth factor in comfort at work. A physiological study of heating and ventilation*. Medical Research Council Industrial Health Board. London, UK. 1936. (76)

[18] Webb, C. G. S. An analysis of some observations of thermal comfort in an equatorial environment. *British journal of industrial medicine*, v.16, n.3, p.297-310. 1959.

[19] Humphreys, M. A. e Nicol, F. An investigation into thermal comfort in office workers. *Journal of institution of heating and ventilation engineer*, v.38, p.181-189. 1970.

[20] Nicol, F. e Humphreys, M. A. *Thermal comfort as part of a self-regulating system*. CIB Comission W45 Symposium: thermal comfort and moderate heat stress. Garston, UK, 1972. p. 263-280.

[21] Humphreys, M. A. Field studies of thermal comfort compared and applied. *Building services engineer*, v.44, n.1, p.5-27. 1976.

[22] Humphreys, M. A. Classroom temperature, clothing and thermal comfort: a study of secondary school children in summertime. *Building services engineer*, v.41, p.191-202. 1973.

[23] Humphreys, M. A. Outdoor temperatures and comfort indoors. *Building research and practice*, v.6, n.2, p.92-105. 1978.

[24] Mccartney, K. J. e Nicol, J. F. Developing an adaptive control algorithm for Europe. *Energy and Buildings*, v.34, n.6, p.623-635. 2002.

[25] Corgnati, S. P., *et al.* Perception of the thermal environment in high school and university classrooms: subjective preferences and thermal comfort. *Building and environment*, v.42, n.2, p.951-959. 2007.

[26] De Dear, R. e Brager, G. S. The adaptive model of thermal comfort and energy conservation in the built environment. *International Journal of Biometeorology*, v.45, n.2, p.100-108. 2001.

[27] De Dear, R. J. e Brager, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. *Energy and Buildings*, v.34, n.6, p.549-561. 2002.

[28] Humphreys, M. A. Outdoor temperature and indoor thermal comfort: raising the precision of the relationship for the 1988 ASHRAE database of field studies. *ASHRAE Transactions*, v.106, n.485-492. 2000.

[29] Humphreys, M. A. Thermal comfort temperatures world-wide - The current position. *Renewable Energy*, v.8, n.1-4, p.139-144. 1996.

[30] Nicol, J. F. e Humphreys, M. A. Adaptive thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings. *Energy and Buildings*, v.34, n.6, p.563-572. 2002.

[31] Nicol, J. F., *et al.* Climatic variations in comfortable temperatures: the Pakistan projects. *Energy and Buildings*, v.30, n.3, p.261-279. 1999.

[32] Raja, L. A., *et al.* Thermal comfort: use of controls in naturally ventilated buildings. *Energy and Buildings*, v.33, n.3, p.235-244. 2001.

[33] Nicol, J. F. e Humphreys, M. A. A stochastic approach to thermal comfortoccupant behavior and energy use in buildings. *ASHRAE Transactions*, v.110, n.2, p.554. 2004.

[34] Brager, G. S., *et al.* Operable windows, personal control, and occupant comfort. *ASHRAE Transactions*, v.110, n.2, p.17. 2004.

[35] Nicol, F. Adaptive thermal comfort standards in the hot-humid tropics. *Energy and Buildings*, v.36, n.7, p.628-637. 2004.

[36] Fountain, M., *et al.* Expectations of indoor climate control. *Energy and Buildings*, v.24, n.3, p.179-182. 1996.

[37] Mahdavi, A. e Kumar, S. Implications of indoor climate control for comfort, energy and environment. *Energy and Buildings*, v.24, n.3, p.167-177. 1996.

[38] Fato, I., *et al.* Thermal Comfort in the Climatic Conditions of Southern Italy. *ASHRAE Transactions*, v.110, n.2, p.578. 2004.

[39] Mui, K. Adaptive comfort temperature model of air-conditioned building in Hong Kong. *Building and environment*, v.38, n.6, p.837-852. 2003.

[40] Van Der Linden, K., *et al.* Thermal indoor climate building performance characterized by human comfort response. *Energy and Buildings*, v.34, n.7, p.737- 744. 2002.

[41] Van Der Linden, A. C., *et al.* Adaptive temperature limits: a new guideline in The Netherlands. A new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. *Energy and buildings*, v.38, n.1, p.8-17. 2006.

[41] Raue, A. K., *et al. Dutch thermal comfort guidelines: from weighted temperature exceeding hours towards adaptive temperature limits*. Conference Comfort and Energy Use in Buildings. Getting them Right. Windsor, UK, 2006.

[42] Seppanen, O., *et al. Indoor environment for energy performance of buildings: a new european draft standard*. Internacional conference on passive and low energy cooling for the built environment (PALENC). Santorini, Greece, 2005. p. 797-802.

[43] Olesen, B. W., *et al. Criteria for the indoor environment for energy performance of buildings - a new european standard.* . Conference Comfort and Energy Use in Buildings. Getting them Right. Windsor, UK, 2006.

[44] Boerstra, A. C. *The adaptive thermal comfort criterion in the new EPBD IEQ standard*. Conference Comfort and Energy Use in Buildings. Getting them Right. Windsor, UK, 2006.

[45] Humphreys, M. A. Cap. 1: Thermal comfort in the context of energy conservation. In: S. Roaf e M. Hancock (Ed.). *Energy efficient building: a design guide*. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1992. Chap. 1: Thermal comfort in the context of energy conservation.

[46] Busch, J. F. A tale of two populations: thermal comfort in air-conditioned and naturally ventlated offices in Thailand. *Energy and buildings*, v.18, n.3-4, p.235- 249. 1992.

[47] Oseland, N. A. Predicted and reported thermal sensation in climate chambers, offices and homes. *Energy and Buildings*, v.23, n.2, p.105-115. 1995.

[48] Humphreys, M. A. e Nicol, F. The validitiy of ISO-PMV for predicting comfort votes in every-day thermal environments. *Energy and buildings*, v.34, n.6, p.667. 2002.

[49] Wong, N. H. e Khoo, S. S. Thermal comfort in classrooms in the tropics. *Energy and buildings*, v.35, n.4, p.337-351. 2003.

[50] Moujalled, B., *et al. Adaptive thermal comfort evaluation in a field study*. Internacional conference on passive and low energy cooling for the built environment (PALENC). Santorini, Greece, 2005. p. 225-230.

[51] Hellwig, R. T., *et al. Thermal comfort in offices : natural ventilation vs. air conditioning.* Conference Comfort and Energy Use in Buildings. Getting them Right. Windsor, UK, 2006.

[52] Wagner, A., *et al. Thermal comfort under summer climate conditions - results from a survey in an office building in Karlsruhe, Germany*. Conference Comfort and Energy Use in Buildings. Getting them Right. Windsor, UK, 2006.

[53] De Dear, R. Thermal comfort in practice. *Indoor Air*, v.14, p.32-39. 2004.

[54] Baker, N. e Standeven, M. Thermal comfort for free-running buildings. *Energy and Buildings*, v.23, n.3, p.175-182. 1996.

[55] De Dear, R., *et al.* Thermal sensations resulting from sudden ambient temperature changes. *Indoor Air*, v.3, p.181-192. 1993.

[56] Fanger, P. O. e Toftum, J. Extension of the PMV model to non-air-conditioned buildings in warm climates. *Energy and Buildings*, v.34, n.6, p.533-536. 2002.

[57] EN15251, *Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings – Addressing Indoor aur Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics*, English version, 2007

[58] EN 1379, *Ventilation for non-residential buildings – Performance requirements for ventilation and room-conditioning systems*

[59] *Solar Energy Laboratory. TRNSYS, version 15*. Wisconsin, USA: Solar Energy Laboratory, 2002.

[60] Hong, T., *et al.* Building simulation: an overview of developments and information sources. *Building and environment*, v.35, n.4, p.347-361. 2000.

[61] Heiselberg, P., *HYBVENT: Principles of Hybrid Ventilation*, Hybrid Ventilation Center - Aalborg University, Aalborg, Denmark, 2002

[62] Pelletret, R., 1996. *IISiBat - A User Interface for Multizone Modelling (Annex 23)*, News, International Energy Agency, Energy Conservation in Buildings and Community Systems Programme

[63] Alexandre J.L., P.Vaquero , *COMIS 3.1 - Um guia para principiantes*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), Versão 1.1, Porto, Portugal, 2005

[64] *User Guide: Getting Started with EnergyPlus*, Department of Energy (DOE), United State of America (USA), 2005

[65] *VisuaDOE 3.0 Program Documentation*, ELEY Associates, United States of America (USA), 2001

[66] Feustel, H., A. Raynor-Hoosen, *Technical Note 29 - Fundamentals of the Multizone Airflow Model*, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC), Bruxelas, Bélgica, 1990

[67] *TRNSYS - A Transient System Simulation Program*, Solar Energy Laboratory, Wisconsin - Madison, United States of America (USA), 2000

[68] Neymark, J. e Judkoff, R. *Hvac Bestest: a procedure for testing the ability of whole-building energy simulation programs to model space conditioning equipment*. Building simulation conference. Rio de Janeiro, Brasil, 2001.

[69] *MeteoNorm*, METEOTEST, Bern, Switzerland, www.meteotest.ch, 2005

[70] *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) - Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril*, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC), Portugal, 2006

[71] *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) - Decreto-Lei nº 79/2006 de 4 de Abril*, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC), Portugal, 2006

[72] Santos, C.P.d., J.V.d. Paiva, *ITE 28: Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios*, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), Lisboa, Portugal, 2001

[73] Gonçalves, H. e Graça, J. M., *Conceitos bioclimáticos para os edifícios em Portugal*, DGGE / IP-3E

[74] http://catalogue.systemair.com

[75] *Sistema nacional de certificação energética e da qualidade do ar interior nos edifícios, (SCE) Decreto Lei 78/2006 de 4 de Abril*. Lisboa, Portugal, 2006.

[76] Nicol, J. F. e McCartney, K., *Smart Controls and Thermal Confort Project*, Oxford Drookes Universiy, 2000

ANEXO A - Perfis

Tipologia adoptatada no RSECE: Escritórios

Tabela A.1 – Perfil de Ocupação

	% Ocupação	
Horas	**Segunda a Sexta**	**Fins de semana**
0h – 1h	0	0
1h – 2h	0	0
2h – 3h	0	0
3h – 4h	0	0
4h – 5h	0	0
5h – 6h	0	0
6h – 7h	10	0
7h – 8h	20	0
8h – 9h	50	0
9h – 10h	90	0
10h -11h	100	0
11h – 12h	100	0
12h – 13h	50	0
13h – 14h	70	0
14h – 15h	90	0
15h – 16h	100	0
16h – 17h	80	0
17h – 18h	50	0
18h – 19h	20	0
19h – 20h	10	0
20h – 21h	0	0
21h – 22h	0	0
22h – 23h	0	0
23h – 24h	0	0

Tabela A.2 – Perfil de Iluminação

	% Iluminação	
Horas	**Segunda a Sexta**	**Fins de semana**
0h – 1h	5	5
1h – 2h	5	5
2h – 3h	5	5
3h – 4h	5	5
4h – 5h	5	5
5h – 6h	5	5
6h – 7h	10	5
7h – 8h	30	5
8h – 9h	75	5
9h – 10h	85	5
10h -11h	100	5
11h – 12h	100	5
12h – 13h	50	5
13h – 14h	85	5
14h – 15h	95	5
15h – 16h	100	5
16h – 17h	95	5
17h – 18h	50	5
18h – 19h	30	5
19h – 20h	25	5
20h – 21h	5	5
21h – 22h	5	5
22h – 23h	5	5
23h – 24h	5	5

Tabela A.3 – Perfil dos equipamentos

	% Equipamento				
Horas	**Segunda a Sexta**	**Fins de semana**	**Horas**	**Segund a a Sexta**	**Fins de semana**
0h – 1h	15	15	**12h – 13h**	70	15
1h – 2h	15	15	**13h – 14h**	70	15
2h – 3h	15	15	**14h – 15h**	95	15
3h – 4h	15	15	**15h – 16h**	100	15
4h – 5h	15	15	**16h – 17h**	90	15
5h – 6h	15	15	**17h – 18h**	70	15
6h – 7h	30	15	**18h – 19h**	45	15
7h – 8h	70	15	**19h – 20h**	25	15
8h – 9h	85	15	**20h – 21h**	15	15
9h – 10h	95	15	**21h – 22h**	15	15
10h -11h	100	15	**22h – 23h**	15	15
11h – 12h	95	15	**23h – 24h**	15	15

ANEXO B – Avaliação de conforto para edifícios com ventilação mecânica

Avaliação a Longo prazo das condições gerais de conforto térmico

Para avaliar as condições de conforto ao longo do tempo deve ser feito um somatório dos parâmetros com base nos dados reais medidos em edifícios ou nas simulações. A EN15251 enumera três métodos que podem ser utilizados para esse fim.

Método A Percentagem fora do intervalo:

Cálculo do número ou a % das horas ocupadas (aquelas em que o edifício está ocupado), quando o PMV ou a temperatura operativa está fora do intervalo.

Método B critério Grau hora:

O tempo durante a qual a temperatura operativa ultrapassa o intervalo especificado durante as horas ocupadas é ponderado por um factor que é uma função que depende de quantos graus, o intervalo foi ultrapassado.

1. O factor de ponderação (wf_B), é igual a 0 para:

   $T_{o,\ limite,\ inferior} \leq T_o \leq T_{o,limite,superior}$

   Caso $T_{o\ limite}$, é o limite superior ou inferior do intervalo especificado conforto.

2. O factor de ponderação, wf_B, é calculado como

   $wf_B = |T_o - T_{o,\ limite}|$

   quando $T_o < T_{o,limite,inferior}$ ou $T_{o,limitar\ superior} < T_o$

3. Para um período característico durante o ano, o produto do coeficiente de ponderação (wf_B) e o tempo (Δt) são somados.

   Período quente:

   $\Sigma\ (wf_B.\ \Delta t)$ para $T_o > T_{o,\ limite,\ superior}$

   Período frio:

   $\Sigma\ (wf_B.\ \Delta t)$ para $T_o < T_{o,\ limite,\ inferior}$

Método C PPD critérios ponderada:

O tempo durante o qual o PMV real ultrapassa os limites conforto é ponderado por um factor que é uma função do PPD. A partir de um PMV- distribuição, numa base anual e da relação entre PMV e PPD, é calculado o seguinte:

1 - O factor de ponderação, wf_C, igual a 0 para

$PMV_{limite,inferior} < PMV < PMV_{limite,\ superior}$

onde PMV_{limite} é determinado pelos limites conforto especificados de acordo com a tabela 4.

2 - O factor de ponderação, wf_C, é calculado como

$wf_C = PPD_{actualPMV} / PPD_{PMVlimite}$

Quando

$PMV < PMV_{limite,inferior}$ ou $PMV_{limit,\ superior} < PMV$

em que

$PPD_{actualPMV}$ = ao PPD correspondente ao actual PMV

$PPD_{PMVlimite}$ = ao PPD correspondente ao PMV_{limite}

3 – É somado o produto do factor de ponderação e do tempo para um período característico durante um ano. O somatório do produto tem a unidade de horas

Período quente:

$\Sigma(wf_C . \Delta t)$ para $PMV > PMV_{limit,\ superior}$

Período frio:

$\Sigma(wf_C . \Delta t)$ para $PMV < PMV_{limit,\ inferior}$

A tabela B.1 ilustra o conceito de método B e C. Os factores de ponderação são baseadas na diferença de temperaturas wf_B (° C) e PPD; wf_C (PPD) é indicado para uma gama de conforto 23-26 ° C, correspondendo a trabalho sedentário (1,2 met) e vestuário de verão (0,5 clo). Para temperaturas acima ou abaixo deste intervalo, o número de horas será multiplicado por estes factores. Os valores podem ser utilizados para a avaliação da longo prazo das condições de conforto.

Tabela B.1 - Exemplos de factores de ponderação com base em diferenças de temperaturas ou PPD ventilação mecânica dos edifícios seguindo as hipóteses indicadas.

Temperatura (ºC)		PPD (%)	Factor de ponderação	
			wf_B (ºC)	wf_C (PPD)
Frio	20	47	3	4,7
	21	31	2	3,1
	22	19	1	1,9
Neutro	23	10	0	0
	24	< 10	0	0
	25	< 10	0	0
	26	10	0	0
Frio	27	19	1	1,9
	28	31	2	3,1
	29	47	3	4,7

ANEXO C – Ventilação

Como definir edifícios pouco e muito pouco poluídos

O edifício é pouco poluído, ou seja, é de baixo nível poluente, se a maioria dos materiais são pouco poluentes. Os materiais pouco poluentes são, materiais usados tradicionalmente, como a pedra e vidro, que são conhecidos por serem seguros no que diz respeito ao emissões e materiais que preencham os seguintes requisitos:

• Emissão do total de compostos orgânicos voláteis (TVOC) é inferior a 0,2 mg/m² h.

• Emissão de formaldeído é inferior a 0,05 mg/m² h.

• Emissão de amoníaco é inferior a 0,03 mg/m² h.

• Emissão de compostos cancerígenos (IARC) é inferior a 0.005 mg/m² h.

• Material não é odoríferos (insatisfação com o odor é inferior a 15%).

Um edifício é muito pouco poluído, se todos os materiais são muito pouco poluentes dos e nunca ocorreu o tabagismo e não é permitido. Os materiais muito pouco poluentes são, materiais usados tradicionalmente, como pedra, vidro e metais, que são conhecidos por serem seguros no que respeita a emissões, e os materiais que preenchem os seguintes requisitos:

• Emissão do total de compostos orgânicos voláteis (TVOC) é inferior a 0,1 mg/m² h.
• Emissão de formaldeído é inferior a 0,02 mg/m² h.
• Emissão de amoníaco é inferior a 0,01 mg/m² h.
• Emissão de compostos cancerígenos (IARC) é inferior a 0.002 mg/m² h.
• Material não é odoríferos (insatisfação com o odor é inferior a 10%).

Taxas de Ventilação

Apresentam-se de seguida, os métodos recomendados na EN15251 para a **determinação das taxas de ventilação em edifícios não-residenciais**.

1º) Cálculo da ventilação necessária para os ocupantes (fumadores e não-fumadores) mais a ventilação necessária para a componente de construção.

$$q_{tot} = n.q_p + A.q_B \qquad (c.1)$$

Onde:

q_{tot} = é a taxa de ventilação total da sala (l/s)

n = o valor de projecto para o número de pessoas na sala

q_p = a taxa de ventilação para ocupação por pessoa (l/s.pessoa)

A = a área do pavimento (m^2),

q_b = é a taxa de ventilação para as emissões do edifício (l/s m^2).

A taxa de ventilação para os ocupantes (q_p) são apresentadas na tabela C.1.

Tabela C.1 - Taxas de ventilação exigidas para diluir as emissões provenientes de pessoas para diferentes categorias

Categoria	Percentagem de pessoas descontentes (PPD)	Ventilação por pessoa [l/s/pessoa]
I	15	10
II	20	7
III	30	
IV	> 30	< 4

As taxas de ventilação para as emissões do edifício (q_b) estão indicadas na tabela C.2.

Tabela C.2 - Taxas de ventilação exigidas para diluir as emissões provenientes do edifício para diferentes categorias

	Edifício muito pouco poluído	Edifício pouco poluído	Edifício nao pouco poluído
	[l/s.m^2]		
Categoria I	0,5	1,0	2,0
Categoria II	0,35	0,7	1,4
Categoria III	0,3	0,4	0,8

2º) Método baseado na taxa de ventilação por pessoa ou por m^2 de área útil

Nos valores por pessoa assume-se que ocupantes são a única fonte de poluição. Os valores por área de piso assume-se que apenas as fontes de poluição são as emissões dos materiais. A ventilação do edifício deve ser concebida considerando todas as fontes de poluição presentes.

Tabela C.3 - Exemplos de taxas de ventilação recomendados para edifícios As taxas são indicadas por pessoa ou por m^2 de área útil.

		Taxas de ventilação para as emissões poluentes dos edifícios [l/s/m^2]		
	Ventilação por pessoa [l/s/pessoa]	**Edifício muito pouco poluído**	**Edifício pouco poluído**	**Edifício nao pouco poluído**
Categoria I	10	0,5	1,0	2,0
Categoria II	7	0,35	0,7	1,4
Categoria III	4	0,3	0,4	0,8

3º) Valores de CO_2 recomendados para o cálculo da energia

As taxas de ventilação necessárias também podem ser calculadas com base num balanço de equação de massas para a concentração de CO2, tendo em conta a concentração de CO2 ao ar livre. Critérios recomendados para o cálculo de CO2 estão incluídos na tabela C.4.

Tabela C.4 - Exemplos de recomendação das concentrações de CO_2 acima da concentração ao ar livre para cálculos da energia e do controlo da procura

Categoria	Quantidade de CO2 acima do existente no ar exterior para o cálculo da energia [ppm]
I	350
II	500
III	800
IV	< 800

Ventilação durante as horas não-ocupadas em edifícios não-residenciais

É necessário um fluxo de ar novo exterior equivalente a 2 volumes de ar do espaço ventilado, que deverá ser entregue ao espaço antes da ocupação (por exemplo, se a taxa de ventilação é de 2 rph a ventilação é iniciada uma hora antes do ocupação). As infiltrações podem ser calculadas como uma parte da ventilação (devem ser descritas as hipóteses de fugas).

A taxa mínima de ventilação deve ser definida com base no tipo de construção e carga de poluente nos espaços. No caso de não estarem disponíveis exigências nacionais é recomendado um valor mínimo de 0,1 a 0,2 l/s.m^2.

ANEXO D – Caraterísticas do ventilador

KE 60-30-4 RECTANGULAR FAN

Descrição:

• Velocidade controlável

• Contactos térmicos integrados

• Pode ser instalado em qualquer posição

• Sem manutenção e fiável.

Figura D1 – Imagem do ventilador

Possui turbinas de pás curvadas para a frente com motores de rotor externo. A estrutura é produzida em chapa de aço galvanizado. A protecção do motor é realizada por um contacto térmico com ligações ao dispositivo de protecção. Possui uma caixa de terminais com pré-ligação.

Tabela D.1 – Parâmetros técnicos

Parâmetros	Valor	Unidade
Tensão	230	V
Frequência	50	Hz
Fase	1	~
Potência	1 231	W
Intensidade	5,4	A
Caudal máximo	2 916	m³/h
Rotações por minuto	1 342	r.p.m.
Temperatura máxima do ar transportado	54,8	°C
Temperatura máxima admissível do ar quando com variação	53,7	°C
Nível de pressão sonora a 3 m	62,1	dB(A)
Peso	37	kg
Classe de isolamento do motor	F	
Classe de protecção do motor	54	IP
Condensador	30	µF

Curvas características:

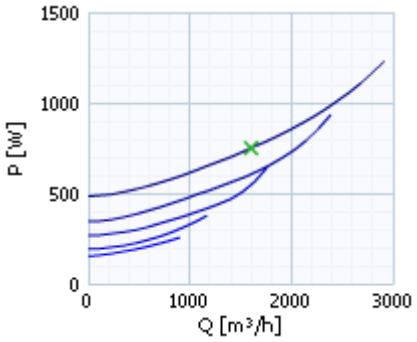


Figura D.2 – Curva de Potência VS Caudal

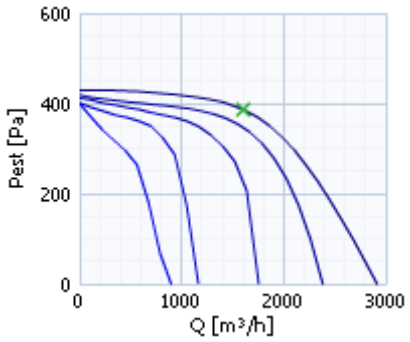


Figura D.3 – Curva de Pressão estática VS Caudal

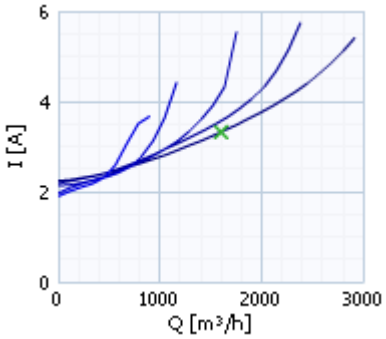


Figura D.4 – Curva de intensidade VS Caudal

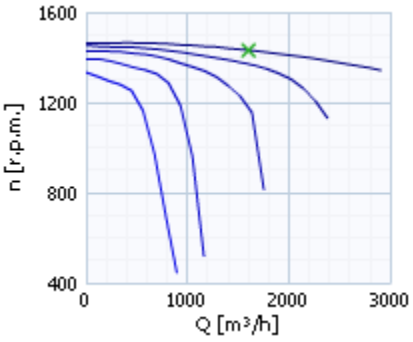


Figura D.5 – Curva de velocidade VS Caudal

ANEXO E – Cálculo da classe energética

Tabela E.1 - Valores de referência para o cálculo do IEE

	Aquecimento + Arrefecimento		Só aquecimento	
	$IEE_{ref, novos}$	**S**	**$IEE_{ref, novos}$**	**S**
Hipermercados.....	110	58	93	49
Vendas por Grosso.....	35	18	27	13
Supermercados.....	70	30	55	23
Centros Comerciais.....	95	60	58	36
Pequenas lojas.....	35	26	31	21
Restaurantes.....	120	33	120	31
Pastelarias.....	140	58	122	31
Pronto a comer.....	170	52	159	31
Hotéis de 4 ou mais estrelas.....	45	24	30	14
Hotéis de 3 ou menos estrelas.....	25	18	19	12
Cinemas e teatros.....	10	6	7	3
Discotecas.....	40	17	17	7
Bingos e Clubes Sociais.....	15	11	14	10
Clubes desportivos c/ piscina.....	25	17	17	14
Clubes desportivos s/ piscina	20	16	17	14
Escritórios	**35**	**15**	**30**	**12**
Sedes de bancos e Seguradoras	45	19	38	16
Filiais de Bancos e Seguradoras	35	19	26	14
Comunicações	30	16	28	14
Bibliotecas	15	12	11	8
Museus e Galerias	15	11	10	6
Tribunais, Ministérios e Câmaras Municipais.....	15	11	14	10
Estabelecimentos Prisionais.....	20	13	17	10
Estabelecimentos de Ensino.....	15	10	13	8
Estabelecimentos de Saúde c/ Internamento	40	18	31	14
Estabelecimentos de Saúde s/ Internamento	30	14	21	9

Tabela E.2 – Condições a verificar para a atribuição da Classe Energética

Classe Energética	Condição a verificar
A+	$IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,75 \text{ X } S$
A	$IEE_{ref,novos} - 0,75 \text{ X } S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,50 \text{ X } S$
B	$IEE_{ref,novos} - 0,50 \text{ X } S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} - 0,25 \text{ X } S$
B-	$IEE_{ref,novos} - 0,25 \text{ X } S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos}$
C	$IEE_{ref,novos} < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 0,50 \text{ X } S$
D	$IEE_{ref,novos} + 0,50 \text{ X } S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,00 \text{ X } S$
E	$IEE_{ref,novos} + 1,00 \text{ X } S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 1,50 \text{ X } S$
F	$IEE_{ref,novos} + 1,50 \text{ X } S < IEE_{nom} \leq IEE_{ref,novos} + 2,00 \text{ X } S$
G	$IEE_{ref,novos} + 2,00 \text{ X } S < IEE_{nom}$

ANEXO F - Intervalos da temperatura operativa recomendados

Tabela F.1 - Exemplos de valores de projecto recomendados da temperatura operativa interior dos edifícios e sistemas de HVAC

Tipo de edifício / espaço	Categoria	Temperatura operativa (ºC)	
		Mínima ~1,0 clo	Máxima ~0,5 clo
Edifícios residenciais: quartos, sala de estar, cozinha,etc. Actividade ~ 1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	18,0	27,0
Edifícios residenciais: outros espaços: armazéns, salões, etc Actividade ~ 1,6	I	18,0	
	II	16,0	
	III	14,0	
Escritórios Actividade ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Escritório "landscaped" Actividade ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Salas de conferência Actividade ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Auditórios Actividade ~1,2 met	I	21,0	25,5
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Cafés / Restaurantes Activadade ~1,2 met	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0
Salas de aula Activadade ~1,2 met	I	21,0	25,0
	II	20,0	26,0
	III	19,0	27,0

Infantários Activadade ~1,4 met	I	19,0	24,5
	II	17,5	25,5
	III	16,6	26,0
Armazens Activadade ~1,6 met	I	17,5	24,0
	II	16,0	25,0
	III	15,0	26,0

Tabela F.2 – Intervalo de temperaturas para os cálculos de energia

		Intervalo da temperatura operativa (ºC)	
Tipo de edifício / espaço	**Categoria**	**Estação de aquecimento** **~1,0 clo**	**Estação de arrefecimento** **~0,5 clo**
Edifícios residenciais: quartos, sala de estar, etc. Actividade ~ 1,2 met	I	21,0 – 25,0	23,5 – 25,5
	II	20,0 – 25,0	23,0 – 26,0
	III	18,0 – 25,0	22,0 – 27,0
Edifícios residenciais: outros espaços: armazéns, salões, cozinha etc Actividade ~ 1,5	I	18,0 – 25,0	
	II	16,0 – 25,0	
	III	14,0 – 25,0	
Escritórios e espaços com actividade similar (salas de conferência, auditórios restaurantes, salas de aula, etc.) Actividade ~1,2 met	I	21,0 – 23,0	23,5 – 25,5
	II	20,0 – 24,0	23,0 – 26,0
	III	19,0 – 25,0	22,0 – 27,0
Infantários Activadade ~1,4 met	I	19,0 – 21,0	22,5 – 24,5
	II	17,5 – 22,5	21,5 – 25,5
	III	16,5 – 23,5	21,0 – 26,0
Armazens Activadade ~1,6 met	I	17,5 – 20,5	22,0 – 24,0
	II	16,0 – 22,0	21,0 – 25,0
	III	15,0 – 23,0	20,0 – 26,0

ANEXO G - Cálculo da temperatura média exterior exponencialmente ponderada

$T_{rm} = (1- \alpha).\{ T_{ed} -1 + \alpha. T_{ed} -2 + \alpha 2\ T_{ed} -3 \ldots..\}$ (g.1)

Esta equação pode ser simplificada para:

$T_{rm} = (1- \alpha)T_{ed} -1 + \alpha. \Theta_{rm}-1$ (g.2)

Onde

T_{rm} - temperatura média exterior exponencialmente ponderada do dia de hoje

T_{rm-1} - temperatura média exterior exponencialmente ponderada do dia anterior

T_{ed-1} - média diária da temperatura exterior para o dia anterior

$T_{ed\ -2}$ - média diária da temperatura exterior para o dia anterior ao anterior e assim por diante.

α - é uma constante entre 0 e 1. Valor recomendado para uso 0,8.

A equação seguinte resulta num valor aproximado e pode ser usada, quando os valores da média diária da temperatura exterior, não estão disponíveis:

$T_{rm} = (T_{ed} -1 + 0{,}8T_{ed} -2 + 0{,}6T_{ed} -3 + 0{,}5T_{ed} -4 + 0{,}4T_{ed} -5 + 0{,}3T_{ed} -6 + 0{,}2T_{ed} -7)/3{,}8$ (g.3)

ANEXO H – Valores da Top e do PPD para os valores limite do PMV de cada categoria.

Tabela H.1 – Valores da Top e PPD obtidos para os limites de PMV da categoria III.

Categoria III	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
Limites de PMV	Ventilação [RPH]	PPD	Top [ºC]	Ventilação [RPH]	PPD	Top [ºC]
- 0,7	0,512	15,397	19,46	0,512	15,295	23,45
	0,544	15,38	19,45	0,768	15,404	23,45
	0,768	15,339	19,45	0,768	15,306	23,45
	0,512	15,397	19,46	0,64	15,308	23,45
	0,544	15,38	19,45	-	-	-
	0,768	15,339	19,45	-	-	-
	0,64	15,427	19,46	-	-	-
0,7	0,768	15,542	26,48	0,8	15,382	28,53
	0,768	15,463	26,48	0,512	15,388	28,53
	0,8	15,328	26,48	0,64	15,335	28,49
	0,512	15,305	26,48	0,704	15,297	28,51
	0,8	15,319	26,48	0,64	15,299	28,51
	0,64	15,355	26,48	-	-	-
	-	-	-	-	-	-

Tabela H.2 – Valores da Top e PPD obtidos para os limites de PMV da categoria II.

Categoria II	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
Limites de PMV	Ventilação [RPH]	PPD	Top [ºC]	Ventilação [RPH]	PPD	Top [ºC]
- 0,5	1,344	10,258	20,47	0,896	10,628	24,19
	1,12	10,23	20,47	1,4	10,224	24,18
	1,12	10,308	20,46	1,4	10,252	24,18
	1,344	10,278	20,46	1,344	10,262	24,19
	0,952	10,301	20,46	1,4	10,24	24,18
	-	-	-	1,4	10,403	24,17
	-	-	-	1,4	10,238	24,19
0,5	1,334	10,444	25,48	1,76	10,757	27,78
	1,334	10,297	25,49	1,6	10,488	27,77
	1,12	10,292	25,49	1,344	10,577	27,78
	1,12	10,347	25,48	1,12	10,22	27,8
	1,232	10,286	25,49	-	-	-
	1,4	10,267	25,49	-	-	-
	1,334	10,216	25,49	-	-	-

Tabela H.3 – Valores da Top e PPD obtidos para os limites de PMV da categoria I.

Categoria I	Estação de aquecimento			Estação de arrefecimento		
Limites de PMV	**Ventilação [RPH]**	**PPD**	**Top [ºC]**	**Ventilação [RPH]**	**PPD**	**Top [ºC]**
- 0,2	1,92	5,952	21,98	1,28	5,875	25,28
	1,6	5,925	21,99	1,28	5,877	25,27
	1,28	5,913	21,99	1,28	7,177	25,24
	1,,6	5,925	21,99	1,28	6,016	25,25
	1,28	5,913	21,99	1,6	5,893	25,27
	1,28	5,936	22,01	1,6	5,862	25,26
	-	-	-	-	-	-
0,2	2	5,84	23,99	1,92	6,057	26,68
	1,6	5,924	23,99	1,6	6,079	26,67
	2	5,831	23,99	1,92	6,057	26,68
	1,76	5,3833	23,99	1,6	6,079	26,67
	2	5,858	23,99	1,92	6,055	26,68
	2	5,836	23,99	1,84	5,998	26,68
	-	-	-	1,28	10,208	26,61