

Petra Alexandra de Sousa Vaquero Marado Ferreira

SISTEMAS DE VENTILAÇÃO HÍBRIDOS EM EDIFÍCIOS
Análise Energética Resultante da Implementação de Sistemas de Ventilação
Inovativos

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade
do Porto para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica

Faculdade de Engenharia – Universidade do Porto
Dezembro de 2006

*Aos meus pais por nunca me deixarem desistir
e me mostrarem sempre o caminho...*

“Um dia de cada vez...”

W.Y.

Agradecimentos

A minha primeira 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.

Ao meu orientador, Professor José Luís Alexandre que, com o seu largo saber e experiência, me orientou ajudando-me a dissipar dúvidas e a fazer opções nos momentos de incerteza.

Um agradecimento, muito especial, ao Professor Eduardo Maldonado, pela sua presença e apoio no momento certo.

Por fim, a todos aqueles que directa ou indirectamente estiveram presentes e me acompanharam ao longo deste percurso, o meu sincero reconhecimento...

Resumo

A ventilação desempenha um papel importantíssimo no consumo energético associado ao aquecimento de um edifício, na Qualidade do Ar Interior (QAI) e no conforto térmico dos seus ocupantes. Na Europa, estima-se que cerca de 40 % da energia consumida por um sistema de climatização esteja directamente associada à ventilação, incluindo-se, nesta parcela, a energia utilizada para a remoção/insuflação de ar no espaço e a energia perdida na extracção de ar viciado dos espaços.

A redução dos consumos energéticos afectos à ventilação é uma necessidade premente e está fortemente dependente das condições de Qualidade do Ar Interior, não se podendo reduzir os gastos energéticos à custa da saúde dos ocupantes.

É neste âmbito que esta dissertação se insere, pretendendo-se analisar se a utilização de sistemas de ventilação híbridos inovativos (ventilação mecânica e/ou natural) permitem, ou não, obter ganhos energéticos significativos, que justifiquem a sua implementação generalizada nos edifícios do tipo residencial. Os sistemas de ventilação aqui testados, e otimizados, foram propostos no decorrer do projecto Europeu RESHYVENT (Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings with Specific Emphasis on the Integration of Renewables).

Analisaram-se diferentes estratégias de controlo, associadas a estes novos sistemas de ventilação, e compararam-se os seus desempenhos em termos das necessidades de aquecimento, da QAI e do conforto térmico dos ocupantes. Efectuou-se, também, uma comparação entre o desempenho dos referidos sistemas e os sistemas tradicionalmente utilizados em Portugal.

Os novos sistemas propostos assentam na conjugação de diferentes estratégias de controlo que incluem sensores de presença, humidade e detecção de CO₂. Associando estas estratégias ao potencial latente nos sistemas de ventilação híbridos, foi possível atingir, para alguns casos específicos, reduções energéticas significativas que podem atingir valores próximos de 34 %. A conjugação destes sistemas e estratégias de controlo permitiram associar às reduções energéticas referidas melhorias relevantes da QAI.

No decurso deste trabalho foi ainda possível verificar que, para este tipo de sistemas de ventilação, a optimização é possível, sem comprometer o conforto térmico dos ocupantes.

Para realizar este estudo recorreu-se a métodos de simulação que permitiram avaliar diversas combinações entre edifícios, sistemas de ventilação, estratégias de controlo e zonas climáticas.

Abstract

Ventilation plays an important role in the heating energy demands of a building, indoor air quality (IAQ) and thermal comfort of their occupants. It is estimated that, in Europe, 40 % of the energy consumption associated with the HVAC systems belongs to ventilation, including the energy used in the air extraction/insuflation in the buildings and also the energy losses due to the air changes between the building's indoor and outdoor.

The reduction of the energy consumption related to ventilation is essential and it is highly dependent on the IAQ conditions, because the energy cannot be saved harming the occupants health.

This is the scope of this thesis, being the objective to verify if the use of innovative hybrid ventilation systems (mechanical and/or natural ventilation) allows, or not, energy savings that justifies there implementation in residential buildings. The ventilation systems proposed were based on those of the European project RESHYVENT (Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings with Specific Emphasis on the Integration of Renewables).

There were analyzed several control strategies, associated with these new ventilation systems, and there performances were evaluated in function of their heating energy consumption, IAQ and thermal comfort of the occupants. It was also done a performance evaluation of the ventilation systems usually found in the Portuguese buildings.

The proposed systems join together several control strategies that include presence, humidity and CO₂ detectors. Associating those strategies with the latent potential of the hybrid ventilation systems it was possible to achieve, in some specific cases, significant energy consumption reductions with values of 34 %. The conjugation of these systems and control strategies also allowed a better QAI.

During this work it was possible to verify that, for these type of ventilation systems, the optimization is possible without compromise the thermal comfort of the building occupants.

The study was based in dynamic simulation methods that allowed the evaluation of several combinations of buildings, ventilation systems, control strategies and climatic zones.

Índice Geral

Índice de Figuras	17
Índice de Tabelas	23
Lista de Símbolos	27
1. INTRODUÇÃO	29
1.1. OBJECTIVOS DO TRABALHO.....	30
1.2. ESTRUTURA DO TRABALHO.....	32
2. VENTILAÇÃO	33
2.1. VENTILAÇÃO NATURAL	34
2.1.1. Mecanismos da ventilação natural.....	35
2.1.2. Métodos de determinação das taxas de ventilação	42
2.1.2.1. Modelos empíricos	43
2.1.2.2. Modelos nodais multizona.....	45
2.1.2.3. Modelos CFD	47
2.1.2.4. Métodos experimentais.....	48
2.1.3. Tipo de sistemas de ventilação natural	48
2.1.3.1. Ventilação natural não controlada (infiltrações)	49
2.1.3.2. Infiltrações através de aberturas na fachada	49
2.1.3.3. Ventilação assistida por condutas verticais	53
2.2. VENTILAÇÃO MECÂNICA.....	53
2.2.1. Insuflação Mecânica	54
2.2.1.1. Extracção Mecânica.....	54
2.2.1.2. Sistemas Balanceados.....	55
2.3. VENTILAÇÃO HÍBRIDA.....	55
2.3.1. Princípios da Ventilação Híbrida.....	56
2.3.2. Estratégias de controlo.....	57
2.4. VENTILAÇÃO E QUALIDADE DO AR INTERIOR.....	60
2.5. VENTILAÇÃO E CONFORTO TÉRMICO.....	61
3. A VENTILAÇÃO EM PORTUGAL	63
3.1. NORMAS DE VENTILAÇÃO	63
3.1.1. A norma NP 1037:2002.....	63
3.1.1.1. Generalidades	64
3.1.1.2. Requisitos de ventilação	66
3.1.1.3. Permeabilidade ao ar de portas e janelas	67

3.1.1.4.	Aberturas de admissão de ar em paredes de fachada	69
3.1.1.5.	Passagens de ar interiores	70
3.1.1.6.	Aberturas de evacuação de ar	70
3.1.1.7.	Conduitas de evacuação de ar	70
3.2.	REGULAMENTOS TÉRMICOS E DE SISTEMAS EM EDIFÍCIOS.....	71
4.	MÉTODOS DE PREVISÃO E DADOS CLIMÁTICOS	77
4.1.	MÉTODOS DE PREVISÃO.....	77
4.1.1.	ESP-r	80
4.1.2.	Visual DOE	84
4.1.3.	EnergyPlus	86
4.1.4.	TRNSYS	88
4.1.5.	Comparação entre os diferentes <i>softwares</i> de simulação térmica de edifícios	93
4.2.	DADOS CLIMÁTICOS.....	97
4.2.1.	Caracterização geral do clima em Portugal.....	97
4.2.2.	Divisão climática da Europa	98
4.2.3.	Análise dos dados climáticos	104
5.	CARACTERIZAÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....	111
5.1.	HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	111
5.1.1.	Caracterização da envolvente.....	113
5.1.2.	Ganhos Internos	117
5.1.2.1.	Ocupação.....	118
5.1.2.2.	Equipamentos e iluminação	118
5.1.3.	Climatização.....	119
5.1.4.	Infiltrações	119
5.1.5.	Coeficientes de Pressão.....	120
5.2.	HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR.....	121
5.2.1.	Caracterização da envolvente.....	123
5.2.2.	Ganhos Internos	124
5.2.2.1.	Ocupação.....	124
5.2.2.2.	Equipamentos e iluminação	125
5.2.3.	Climatização.....	125
5.2.4.	Infiltrações	125
5.2.5.	Coeficientes de Pressão.....	126
6.	SISTEMAS DE VENTILAÇÃO.....	127
6.1.	PRINCÍPIOS GERAIS DOS DIFERENTES SISTEMAS DE VENTILAÇÃO.....	127

6.1.1.	Sistemas de ventilação híbridos inovativos	127
6.1.2.	Sistemas de ventilação actuais	128
6.2.	SISTEMAS INOVATIVOS	129
6.2.1.	Estratégias de ventilação	129
6.2.2.	Dispositivos de ventilação	130
6.2.2.1.	Ventilador	131
6.2.2.2.	Condutas de extracção	132
6.2.2.3.	Válvulas de extracção	134
6.2.2.4.	Grelhas de insuflação	135
6.2.3.	Transferência de ar entre zonas	137
6.2.4.	Estratégia de controlo dos sistemas de ventilação inovativos	137
6.2.4.1.	Sistema I	137
6.2.4.2.	Sistema II	140
6.2.4.3.	Sistema III	143
6.2.5.	Implementação das estratégias de controlo	146
6.3.	SISTEMAS ACTUAIS	147
6.3.1.	Sistema IV	147
6.3.1.1.	Exposição do edifício o vento	147
6.3.1.2.	Dimensionamento da ventilação da Fracção Autónoma	149
6.3.2.	Sistema V	151
6.3.2.1.	Ventilador	152
6.3.2.2.	Condutas de extracção	153
6.3.2.3.	Válvulas de extracção	154
6.3.2.4.	Grelhas de insuflação	154
6.3.3.	Transferência de ar entre zonas	155
7.	APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS	157
7.1.	PARÂMETROS DE ANÁLISE	158
7.1.1.	Consumo energético	158
7.1.2.	Concentração de CO ₂	159
7.1.3.	Ventilação efectiva	159
7.1.4.	Humidade Relativa e Humidade Absoluta	160
7.1.5.	Conforto térmico	160
7.1.6.	Taxas de Ventilação	161
7.2.	HABITAÇÃO UNIFAMILIAR	162
7.2.1.	Sistemas Inovativos versus Sistemas Actuais	162

7.2.1.1.	Consumo energético.....	162
7.2.1.2.	Qualidade do Ar Interior e Renovação de Ar	165
7.2.1.3.	Conforto Térmico.....	173
7.2.2.	Avaliação do impacto dos sistemas inovativos a nível Europeu	176
7.2.2.1.	Consumos Energéticos.....	176
7.2.2.2.	Qualidade do Ar Interior e Renovação do Ar	178
7.2.2.3.	Conforto Térmico.....	184
7.2.3.	Análise global da habitação unifamiliar.....	187
7.3.	HABITAÇÃO MULTIFAMILIAR.....	194
7.3.1.	Sistemas Inovativos versus Sistemas Actuais.....	194
7.3.1.1.	Consumo energético.....	194
7.3.1.2.	Qualidade do Ar Interior e Renovação de Ar	197
7.3.1.3.	Conforto Térmico.....	203
7.3.2.	Avaliação do impacto dos sistemas inovativos a nível europeu	205
7.3.2.1.	Consumos Energéticos.....	205
7.3.2.2.	Qualidade do Ar Interior e Renovação de Ar	208
7.3.2.3.	Conforto Térmico.....	211
7.3.3.	Análise global do edifício multifamiliar	213
8.	CONCLUSÕES.....	219
8.1.	CONCLUSÕES GERAIS.....	219
8.1.1.	Necessidades térmicas de aquecimento	219
8.1.2.	Consumo dos ventiladores associados aos sistemas de ventilação	221
8.1.3.	Qualidade do Ar Interior.....	222
8.1.4.	Conforto térmico	225
8.2.	CONCLUSÕES GERAIS RELATIVAS AOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO	226
8.2.1.	Sistema com melhor relação Consumo Energético/ QAI	230
8.3.	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	230
Anexo I – Dados Climáticos		233
Anexo II – Distribuição dos ocupantes.....		251
Anexo III – Sistema I.....		253
Anexo IV – Sistema II.....		259
Anexo V – Sistema III.....		269
Anexo VI – Ventilação na simulação.....		283
Bibliografia		287

Índice de Figuras

Figura 2-1 - Acção do vento na ventilação de um edifício.....	36
Figura 2-2 - Posicionamento de um elemento na fachada do edifício.....	37
Figura 2-3 - Cálculo do PAD.....	37
Figura 2-4 - Efeito do gradiente de temperaturas na ventilação natural de um edifício.....	40
Figura 2-5 - Modelo nodal de um edifício multizona.....	46
Figura 2-6 - Grelhas reguláveis	50
Figura 2-7 - Grelhas reguláveis: Variação do caudal com a área útil de passagem	50
Figura 2-8 - Grelha Auto Regulável.....	51
Figura 2-9 - Grelha auto-regulável, débito constante.....	51
Figura 2-10 - Comparação entre o caudal debitado por uma grelha regulável e uma grelha auto-regulável.....	51
Figura 2-11 - Ventilação Cruzada	52
Figura 2-12 - Ventilação Unilateral.....	52
Figura 2-13 - Ventilação por deslocamento	53
Figura 2-14 - Ventilação assistida por condutas verticais – Efeito de Chaminé	53
Figura 2-15 - Extracção mecânica.....	54
Figura 2-16 - Sistema Balanceado com recuperação de calor.....	55
Figura 2-17 - Desenvolvimento dos Sistemas de Ventilação	56
Figura 2-18 - Ventilação Natural e Mecânica	56
Figura 2-19 - Ventilação Natural assistida	57
Figura 2-20 - Ventilação Mecânica assistida.....	57
Figura 2-21 - Ventilação natural para garantir QAI	61
Figura 2-22 - Evolução da concentração de poluentes e necessidades energéticas.....	61
Figura 3-1 - Permeabilidade ao ar por comprimento de junta móvel.....	68
Figura 4-1 - ESP-r - A estrutura	81
Figura 4-2 - ESP – Visualização do modelo.....	83
Figura 4-3 - VisualDOE – Interface Gráfica	85
Figura 4-4 - VisualDOE – Introdução do sistema de AVAC	85
Figura 4-5 - VisualDOE – A estrutura.....	85
Figura 4-6 - EnergyPlus – Esquema de Princípio.....	87
Figura 4-7 - TRNSYS – Ligação entre aplicações	89
Figura 4-8 - TRNSYS – Extracto de um ficheiro de entrada em código ASCII	90
Figura 4-9 - TRNSYS – Interface Gráfica – IISibat.....	90

Figura 4-10 - TRNSYS – Aplicação para definição do edifício – PREBID	91
Figura 4-11 - TRNSYS - Ligação entre os diferentes types	91
Figura 4-12 - COMIS – Modelo nodal.....	93
Figura 4-13 - COMIS – Ligação entre <i>softwares</i>	93
Figura 4-14 - Zonas climáticas de Inverno	98
Figura 4-15 - Zonas climáticas de Verão	98
Figura 4-16 - Mapa representativo da classificação de Koppen	101
Figura 4-17 - Temperatura media diária [°C].....	102
Figura 4-18 - Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários.....	102
Figura 4-19 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior - Bragança (esquerda) e Bergen (direita)	102
Figura 4-20 - Mapa da Europa com os países seleccionados para as simulações.....	104
Figura 4-21 - Valores baseados nos ficheiros de dados climáticos E+ e METEONORM e informação proveniente do RCCTE.....	107
Figura 4-22 – N° de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior no Porto...	109
Figura 4-23 - Temperatura média diária no Porto.....	109
Figura 4-24 - Probabilidade e n° de horas de ocorrência da velocidade do vento no Porto.....	109
Figura 4-25 - N° de horas de ocorrência da direcção do vento para o Porto.....	109
Figura 4-26 - Temperatura do solo, para o Porto, a uma profundidade de 0,5 m.....	110
Figura 5-1 - Habitação Unifamiliar, fachada Norte	111
Figura 5-2 - Habitação Unifamiliar, fachada Sul.....	111
Figura 5-3 - Habitação Unifamiliar: Planta do edifício	112
Figura 5-4 - Habitação Unifamiliar: Perspectiva 3D da habitação	113
Figura 5-5 - Edifício de habitação multifamiliar, fachada Sul.....	121
Figura 5-6 - Edifício de habitação multifamiliar, fachada Norte.....	121
Figura 5-7 - Habitação Multifamiliar: Planta de um piso do edifício (2 apartamentos).....	122
Figura 5-8 - Habitação Multifamiliar: Vista 3D de um piso.....	122
Figura 6-1 - Habitação Unifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica nos sistemas híbridos	130
Figura 6-2 - Habitação Multifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica nos sistemas híbridos do piso 1	130
Figura 6-3 - Sistema III: Curva característica do ventilador para diferentes potências.....	131
Figura 6-4 - Habitação Unifamiliar: Rede de condutas do sistema de extracção	133
Figura 6-5 - Habitação Multifamiliar: Rede de condutas do sistema de extracção da habitação multifamiliar	134
Figura 6-6 - Válvula de extracção das casas de banho	134
Figura 6-7 - Sistema III: Grelhas de insuflação auto-reguláveis	137

Figura 6-8 - Sistema II: Horário de intervenção manual dos ocupantes (Dias da Semana).....	141
Figura 6-9 - Sistema II: Horário de intervenção manual dos ocupantes (Fim de Semana).....	141
Figura 6-10 - Sistema III: Necessidades de extracção em função da Humidade Relativa	144
Figura 6-11 - Sistema III: Necessidades de ar novo em função do número de movimentos detectados na sala	145
Figura 6-12 - Sistema III: Diagrama de sequência do algoritmo de controlo	146
Figura 6-13 - Integração das rotinas no TRNSYS.....	147
Figura 6-14 - Sistema IV: Aberturas de admissão de ar.....	150
Figura 6-15 - Habitação Unifamiliar: Válvulas de extracção de ar.....	151
Figura 6-16 - Habitação Multifamiliar: Válvulas de extracção de ar.....	151
Figura 6-17 - Habitação Unifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica no Sistema V	152
Figura 6-18 - Habitação Multifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica no Sistema V.....	152
Figura 6-19 - Habitação Unifamiliar: Rede de condutas de extracção do Sistema V	154
Figura 6-20 - Habitação Multifamiliar: Rede de condutas de extracção do Sistema V	154
Figura 6-21 - Sistema V: Curva característica da grelha regulável	155
Figura 7-1 - Edifício Multifamiliar: Necessidades energéticas associadas ao aquecimento	163
Figura 7-2 - Relação entre os Graus-Dias e as necessidades energéticas de aquecimento para as diferentes localidades portuguesas	164
Figura 7-3 – Bragança: Valor da energia térmica associada à ventilação do edifício.....	165
Figura 7-4 - Consumos anuais de energia eléctrica dos ventiladores [kWh/ano]	165
Figura 7-5 - Portugal: Valores de C _{Textc} no período ocupado da habitação unifamiliar	166
Figura 7-6 - Localização do Quarto 3.....	167
Figura 7-7 - Portugal: Taxa de renovação média do ar no edifício de habitação unifamiliar ..	168
Figura 7-8 - Penhas Douradas: Caudais médios de infiltrações no período ocupado	169
Figura 7-9 - Lisboa: Caudais médios de infiltrações no período ocupado	169
Figura 7-10 - Cozinha: % do período ocupado com HR>75%	169
Figura 7-11 - Casa de Banho: % do período ocupado com HR>75%.....	170
Figura 7-12 - Chuveiro: % do período ocupado com HR>75%.....	170
Figura 7-13 - Cozinha: Caudais médios de extracção no período ocupado	171
Figura 7-14 - Casa de Banho: Caudais médios de extracção no período ocupado.....	171
Figura 7-15 - Chuveiro: Caudais médios de extracção no período ocupado.....	171
Figura 7-16 - Cozinha: % do período ocupado em que Habs<5g/kg	172
Figura 7-17 - Casa de Banho: % do período ocupado em que Habs<5g/kg.....	172
Figura 7-18 - Chuveiro: % do período ocupado em que Habs<5g/kg.....	173

Figura 7-19 - Sala: Frequência de ocorrência das temperaturas interiores nos períodos com ocupação	174
Figura 7-20 - Sala: % do período ocupado em que PPD>6, 10 e 15%	175
Figura 7-21 - Necessidades energéticas de aquecimento do edifício unifamiliar nas diferentes localizações europeias.....	176
Figura 7-22 - Valores de CT_{exc} no período ocupado da estação de aquecimento	179
Figura 7-23 - % do período ocupado em que a ventilação nos compartimentos principais é insuficiente	180
Figura 7-24 - Europa: RPH média do ar no edifício na estação de aquecimento	181
Figura 7-25 - Europa: % do período ocupado com HR>75%.....	181
Figura 7-26 - Europa: Caudal médio de extracção de ar dos compartimentos húmidos	182
Figura 7-27 - Europa: % do período ocupado com Habs<5 g/kg	183
Figura 7-28 - Sala: Frequência de ocorrência das temperaturas interiores nos períodos com ocupação	185
Figura 7-29 - Sala: % do período ocupado em que PPD>10%.....	186
Figura 7-30 - Sistema III: Valores de energia térmica de aquecimento e perdas associadas à ventilação	187
Figura 7-31 - % do período de aquecimento com ventilação natural	188
Figura 7-32 - Quarto 1: Relação entre CT_{exc} média e o caudal médio de infiltrações.....	190
Figura 7-33 - Sistema IIa: Evolução da HR e dos caudais de extracção na Cozinha (Penhas Douradas).....	191
Figura 7-34 - Sistema IV: Evolução da HR e dos caudais de extracção na Cozinha (Penhas Douradas).....	191
Figura 7-35 - Sistema I: Evolução da HR e dos caudais de extracção na Cozinha (Penhas Douradas).....	192
Figura 7-36 - Humidade Absoluta Exterior: N.º de horas em que este parâmetro é inferior a 5g/kg	192
Figura 7-37 - Edifício Multifamiliar: Necessidades energéticas para o aquecimento dos apartamentos	194
Figura 7-38 - Portugal: UA dos apartamentos da habitação multifamiliar	195
Figura 7-39 - Sala: Valores de CT_{exc} para os diferentes pisos do Porto, Penhas Douradas e Lisboa.....	198
Figura 7-40 - Quarto 2: Valores de CT_{exc} para os diferentes pisos do Porto, Penhas Douradas e Lisboa.....	198
Figura 7-41 - Sala: Caudais médios de infiltrações para os diferentes pisos do Porto, Penhas Douradas e Lisboa.....	198
Figura 7-42 - Portugal: Valores médios de CT_{exc} no período ocupado da habitação multifamiliar	199
Figura 7-43 - Quarto 2: Relação entre a concentração média de CO ₂ e os caudais de infiltrações.....	200

Figura 7-44 - Sala: Relação entre a concentração média de CO ₂ e os caudais de infiltrações.	201
Figura 7-45 - Quarto 2: % do período ocupado em que a ventilação é insuficiente	201
Figura 7-46 - Porto: N.º de horas com concentração de CO ₂ > 2000 ppm no Quarto 2.....	201
Figura 7-47 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com HR>75%	202
Figura 7-48 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com Habs<5g/kg...	203
Figura 7-49 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado em que PPD > 10%	204
Figura 7-50 - Habitação Multifamiliar: Necessidades de aquecimento das diferentes localizações europeias	205
Figura 7-51 - Habitação Multifamiliar: Valor de UA em cada piso.....	206
Figura 7-52 - Europa: Valores médios de CT _{exc} no período ocupado da habitação multifamiliar	208
Figura 7-53 - Amsterdão: Relação entre o caudal de infiltrações médio e a concentração média de CO ₂ no Quarto 2.....	209
Figura 7-54 - Aberdeen: Relação entre o caudal de infiltrações médio e a concentração média de CO ₂ no Quarto 2	209
Figura 7-55 - Amsterdão: N.º de horas com CO ₂ > 2000 ppm no Quarto 2.....	209
Figura 7-56 - Europa: Taxa de renovação média do ar no Piso 1 do edifício	209
Figura 7-57 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com HR>75%	210
Figura 7-58 - Habitação Multifamiliar: Média dos caudais médios de extracção no período ocupado.....	210
Figura 7-59 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com Habs<5 g/kg..	211
Figura 7-60 - Sala: % do período ocupado em que PPD>10%	212
Figura 7-61 - % do período de aquecimento com ventilação natural (valores médios do edifício).....	214
Figura 7-62 - Taxa de renovação média de ar no apartamento do Piso 1.....	216
Figura 7-63 - Portugal: Relação entre o PPD e a temperatura máxima registada	216
Figura 7-64 - Europa: Relação entre o PPD e a temperatura máxima registada na Sala do Piso 1	217

Índice de Tabelas

Tabela 2-1 - Valores do coeficiente b do método ASHRAE.....	44
Tabela 2-2 - Expressões propostas pelo método <i>British Standards</i> para ventilação unilateral..	45
Tabela 2-3 - Expressões propostas pelo método <i>British Standards</i> para ventilação cruzada.....	45
Tabela 3-1 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço	67
Tabela 3-2 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais.....	67
Tabela 3-3 - Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da FA.....	67
Tabela 3-4 - Classes de permeabilidade ao ar das janelas e portas exteriores em função da sua exposição	69
Tabela 3-5 - Aberturas de admissão de ar instaladas nas fachadas dos edifícios.....	69
Tabela 3-6 - Áreas úteis das aberturas interiores.....	70
Tabela 3-7 - Áreas úteis das aberturas de evacuação de ar	70
Tabela 3-8 - Áreas de secção mínima das condutas individuais de evacuação.....	71
Tabela 3-9 - Aplicação dos regulamentos em função do tipo de edifício e dimensão do sistemas de AVAC	72
Tabela 3-10 - Valores convencionais de R_{ph} para edifícios de habitação [RPH]	74
Tabela 3-11 - Concentrações máximas admissíveis no interior de edifícios existentes.....	75
Tabela 4-1 - Comparação entre características das ferramentas de simulação.....	94
Tabela 4-2 - Classificação de Koppen - Categorias	99
Tabela 4-3 - Países e localizações seleccionados para as simulações	103
Tabela 4-4 - Comparação entre valores obtidos dos ficheiros de dados climáticos E+ e METEONORM e informação proveniente do RCCTE.....	106
Tabela 4-5 - Estação convecional de aquecimento calculada com base nos dados climáticos do METEONORM	108
Tabela 5-1 - Habitação Unifamiliar: Dimensões das diferentes zonas da habitação e respectivas áreas de envidraçados	112
Tabela 5-2 - Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos [W/m ² .°C]	113
Tabela 5-3 - Portugal: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca.....	114
Tabela 5-4 - Bélgica e França: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca.....	114
Tabela 5-5 - Noruega e Suécia: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca.....	115
Tabela 5-6 - Holanda: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca.....	115
Tabela 5-7 - Reino Unido: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca	116
Tabela 5-8 - Propriedades dos envidraçados	117

Tabela 5-9 - Habitação Unifamiliar: Valores de UA para cada localização	117
Tabela 5-10 - Habitação Unifamiliar: Período de ocupação do edifício.....	118
Tabela 5-11 - Habitação Unifamiliar: Horário de banhos.....	118
Tabela 5-12 - Habitação Unifamiliar: Horário de confecção de refeições	118
Tabela 5-13 - Taxa de produção de CO ₂ , H ₂ O e calor libertado por ocupante.....	118
Tabela 5-14 - Habitação Unifamiliar: Caudais de infiltração de ar em cada zona da habitação unifamiliar.....	119
Tabela 5-15 - Habitação Unifamiliar: Valores dos coeficientes de pressão (Cp).....	120
Tabela 5-16 - Habitação Multifamiliar: Dimensões das zonas de cada apartamento	122
Tabela 5-17 - Coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente.....	123
Tabela 5-18 - Características dos materiais constituintes da cobertura	123
Tabela 5-19 - Habitação Multifamiliar: Valor do UA do edifício para cada piso [W/°C].....	124
Tabela 5-20 - Habitação Multifamiliar: Período de ocupação do edifício.....	125
Tabela 5-21 - Habitação Multifamiliar: Horário de banhos.....	125
Tabela 5-22 - Habitação Multifamiliar: Horário de confecção de refeições.....	125
Tabela 5-23 - Habitação Multifamiliar: Caudais de infiltração de ar em cada zona do apartamento.....	126
Tabela 5-24 - Habitação Multifamiliar: Valores dos coeficientes de pressão (Cp).....	126
Tabela 6-1 - Habitação Unifamiliar: Dimensões das condutas de extracção.....	133
Tabela 6-2 - Habitação Multifamiliar: Dimensões das condutas de extracção.....	134
Tabela 6-3 - Sistema II: Caudal nominal de insuflação	136
Tabela 6-4 - Sistema I: Caudais de extracção, insuflação e posições dos dispositivos de ventilação	139
Tabela 6-5 - Sistema IIb: Patamares de concentrações de CO ₂	142
Tabela 6-6 - Sistema III: Necessidades de ar novo em função da presença de ocupantes.....	144
Tabela 6-7 - Habitação Unifamiliar: Exposição do Edifício ao Vento	148
Tabela 6-8 - Habitação Multifamiliar: Exposição do Edifício ao Vento	148
Tabela 6-9 - Permeabilidade ao ar das janelas e portas exteriores.....	148
Tabela 6-10 - Habitação Unifamiliar: Dimensionamento das aberturas de admissão de ar	149
Tabela 6-11 - Habitação Multifamiliar: Dimensionamento das aberturas de admissão de ar .	149
Tabela 6-12 - Habitação Unifamiliar: Dimensionamento das aberturas de evacuação de ar ..	149
Tabela 6-13 - Habitação Unifamiliar: Dimensionamento das aberturas de evacuação de ar ..	150
Tabela 6-14 - Habitação Unifamiliar: Grelhas de insuflação instaladas em cada compartimento	150
Tabela 6-15 - Habitação Multifamiliar: Grelhas de insuflação instaladas em cada compartimento	150
Tabela 6-16 - Sistema V: Dimensões das condutas de extracção	153

Tabela 7-1 – Conjunto de simulações efectuadas.....	157
Tabela 7-2 - Perdas energéticas associadas à ventilação [MWh/ano]	164
Tabela 7-3 - % do período ocupado em que a ventilação é insuficiente nos compartimentos principais	167
Tabela 7-4 - Perdas energéticas associadas à ventilação [MWh/ano]	177
Tabela 7-5 - Duração da estação de aquecimento e Graus-Dias de aquecimento para as diferentes localizações.....	177
Tabela 7-6 - Consumos anuais de energia eléctrica dos ventiladores [kWh/ano]	178
Tabela 7-7 - Habitação Multifamiliar: Perdas energéticas associadas à ventilação do edifício [MWh/ano]	196
Tabela 7-8 - Habitação Multifamiliar: Consumos anuais de energia eléctrica para ventilação mecânica [kWh/ano].....	197
Tabela 7-9 - Edifício Multifamiliar: Média dos caudais médios de infiltrações no período ocupado.....	199
Tabela 7-10 – Habitação Multifamiliar: Média dos caudais médios de extracção no período ocupado.....	202
Tabela 7-11– Sala: Frequência de ocorrência de temperatura interior superior a 22 °C nos períodos com ocupação	204
Tabela 7-12 - Habitação Multifamiliar: Perdas energéticas associadas à ventilação do edifício [MWh/ano]	206
Tabela 7-13 - Habitação Multifamiliar: Consumos anuais médios de energia eléctrica para accionamento dos ventiladores [kWh/ano]	207
Tabela 7-14 – Sala: Frequência de ocorrência de temperatura interior superior a 22 °C nos períodos com ocupação	211

Lista de Símbolos

A	– Área [m^2]
a	– Coeficiente associado ao gradiente de temperatura [$\text{m}^6\text{h}^{-2}\text{cm}^{-4}\text{K}^{-1}$]
anw	– Ângulo de incidência do vento [$^\circ$]
b	– Coeficiente associado ao efeito do vento [$\text{m}^4\text{s}^2\text{h}^{-2}\text{cm}^{-4}$]
C_d	– Coeficiente de descarga [-]
CF	– coeficiente global de correcção de C_p [-]
c_p	– Calor específico a pressão constante [$\text{J/kg.}^\circ\text{C}$]
C_p	– Coeficiente de pressão [-]
C_s	– Caudal de infiltrações a 1 Pa [kg/s]
e	– Espessura [m]
E_{CO_2}	– Emissão de CO_2 [kgCO_2]
far	– Razão de aspecto frontal do edifício [-]
f_{CO_2}	– Factor de conversão combustível – CO_2 [kgCO_2/kWh]
g	– Aceleração gravítica [m/s^2]
GD	– Graus – Dias de aquecimento [$^\circ\text{C.dia}$]
h	– Altura [m]
HR	– Humidade relativa [%]
K	– Coeficiente característico do escoamento [$\text{m}^3/(\text{Pa.s})$]
L	– Comprimento [m]
$\dot{m}$	– Caudal mássico de ar [kg/s]
n	– Expoente característico do escoamento [-]
p_0	– pressão estática ao nível do pavimento de uma zona [Pa]
PAD	– Densidade da área da envolvente ao edifício [%]
P_{vent}	– Potência eléctrica consumida pelo ventilador [W]
p_z	– pressão a uma altura z [Pa]
Q	– Caudal volúmico [m^3/h]
$Q_{\text{g,in}}$	– Energia consumida [kWh]
rbh	– Altura relativa do edifício [m]
sar	– Razão de aspecto lateral do edifício [-]
T	– Temperatura absoluta [$^\circ\text{K}$]
T_0	– Temperatura de referência do ar [$^\circ\text{K}$]

T_b – Temperatura de base [°C]

T_e – Temperatura no exterior do espaço [°C]

$T_{\text{efeito de chaminé}}$ – Temperatura mínima necessária para que não ocorra extracção natural por efeito de chaminé [°C]

T_i – Temperatura no interior do espaço [°C]

T_j – Temperatura de bolbo seco do ar exterior [°C]

$T_{\text{med,ext,24h}}$ – Temperatura média exterior registada nas últimas 24 horas [°C]

$\bar{T}$ - Temperatura média [°C]

U – Coeficiente de Transmissão Térmica [$\text{W/m}^2\cdot^\circ\text{C}$]

U_v – Velocidade do vento [m/s]

U_e – Velocidade de referência do vento medido à altura dos beirais [m/s]

U_{loc} – Velocidade do vento medida na estação meteorológica no local de implantação do edifício [m/s]

U_{met} – Velocidade do vento medida na estação meteorológica a uma altura de referência de 10 m acima do nível do solo [m/s]

V – Velocidade do escoamento [m/s]

x_l – Posição horizontal relativa de um ponto da fachada [m]

z_{10} – Altura de medição da velocidade do vento na estação meteorológica [m]

z_h – Posição vertical relativa de um ponto da fachada [m]

z_{loc} – Altura de referência do edifício [m]

Caracteres Gregos

Δp_{vent} – Diferença de pressão no ventilador [Pa]

Δp_{vento} – Diferencial de pressões provocado pela acção do vento [Pa]

Δp_z – Diferencial de pressões numa abertura à altura z [Pa]

α – Coeficiente de intensidade de turbulência [-]

ε – Razão de áreas [-]

ϕ - Diâmetro da conduta [m]

λ – Condutibilidade térmica [$\text{W/m}\cdot^\circ\text{C}$]

θ - Direcção do vento [°]

ρ – Massa volúmica [kg/m^3]

ρ_0 – Massa volúmica de referência do ar [kg/m^3]

1. Introdução

A Associação Americana de Engenheiros de Aquecimento, Refrigeração e Ar Condicionado (ASHRAE¹), na sua norma 62 – 2004 [1], define *Ventilação* como *o processo através do qual se fornece ou remove ar de um espaço com o objectivo de controlar o nível de poluentes, a humidade ou a temperatura do referido espaço*. Ou seja, a ventilação é a troca de ar viciado e poluído por ar fresco, relativamente limpo, normalmente proveniente do exterior. Esta troca ocorre por meios muito distintos, podendo acontecer acidentalmente através de frinchas existentes na envolvente do edifício ou através de sistemas concebidos para esse efeito e ditos de ventilação. A renovação de ar é necessário por diversas razões: remover ou diluir os poluentes gerados no interior do edifício, garantir o teor de oxigénio necessário para o metabolismo humano, e para os dispositivos de combustão, e sendo um meio de transporte de massa e, consequentemente de energia, pode até ser utilizada para remoção da mesma.

Estima-se que durante cerca de 90 % do tempo as pessoas se encontrem em espaços fechados: escolas, escritórios, veículos, residências... Torna-se, assim, imperativo que nesses espaços o ar se encontre livre de poluentes e, ainda, que as temperaturas interiores garantam o conforto térmico dos ocupantes.

Associadas às vantagens, evidentes, da ventilação num edifício existe um conjunto de desvantagens, nomeadamente, as perdas energéticas que lhe estão associadas. Com efeito, ao promover a entrada de ar exterior num dado espaço e consequente saída de ar, tratado e climatizado, tem como consequência um aumento do consumo energético. Calcula-se que cerca de 33 % das perdas energéticas associadas aos edifícios residenciais e de serviços sejam resultado directo da ventilação dos mesmos. Contudo, existem casos onde este valor pode situar-se entre os 50 e os 70 % das necessidades energéticas totais.

Os caudais mínimos de ventilação que garantem Qualidade do Ar Interior (QAI) e o consumo energético associado a esses caudais foram, ao longo dos anos, motivo de discussão entre os especialistas na área, tendo-se assistido a uma grande variação dos valores estipulados e utilizados nos edifícios. Essas alterações foram e são reflexos de crises petrolíferas, aumento da utilização de sistemas de ar condicionado, *know-how* adquirido, entre outros parâmetros.

Uma prova concreta desta demanda, em busca de uma normalização dos caudais mínimos de ventilação, é a referida norma 62 da ASHRAE [1]. A primeira versão deste documento surge

¹ American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineer's

em 1973 [2] e, ao longo dos anos, sofreu diversas alterações e actualizações, aumentando e diminuindo os valores dos caudais mínimos, em função da situação política, económica e social, mantendo, no entanto, o seu principal objectivo: *especificar os caudais mínimos de ventilação e a Qualidade do Ar Interior aceitável para o ser humano* [1].

1.1. Objectivos do trabalho

Em Portugal, nos edifícios residenciais, utilizam-se maioritariamente sistemas de ventilação do tipo extracção mecânica, sendo a entrada do ar garantida pelas frinchas e fendas da envolvente do edifício, originando infiltrações. Se não forem devidamente controlados, estes sistemas provocam fluxos de ar indesejáveis, podendo estar associados a um consumo energético excessivo, maioritariamente no Inverno, para manter as condições de conforto térmico no interior do edifício. Com a evolução do tipo de construção assiste-se, actualmente, a uma redução significativa da taxa de infiltrações, o que origina, à partida, reduzidas taxas de ventilação natural e, por consequência, a situações de desenvolvimento de bolores e condensações nas superfícies e fraca qualidade do ar interior. Ou seja, um edifício onde apenas existe um sistema de ventilação deste tipo não garante as condições mínimas de conforto para os seus ocupantes, apresentando ainda a desvantagem de ter um consumo de energia adicional associado ao funcionamento dos ventiladores.

É possível projectar sistemas de ventilação natural em Portugal, através da aplicação da norma NP 1037-1, que garante que a ventilação e evacuação natural dos produtos da combustão dos locais com aparelhos que consomem gás. Como esta norma não é específica para projectos de ventilação natural, não é de carácter obrigatório, razão pela qual se assiste, por vezes, a sistemas de ventilação natural, cujo projecto não se encontra correctamente elaborado, conduzindo a situações de ventilação deficiente. No entanto, é uma norma frequentemente referida em regulamentos ligados à área da distribuição de gás canalizado e assim sendo, existe uma obrigatoriedade indirecta de aplicação.

A ventilação natural é fortemente dependente das condições exteriores e de difícil controlo, sendo praticamente impossível assegurar, durante todo o ano, os caudais de projecto. Durante o Verão, por exemplo, como o gradiente de temperaturas entre o interior e o exterior é pequeno e a velocidade do vento é reduzida, os caudais de ar circulados no edifício são reduzidos. Existem ainda situações, em que ocorrem inversões do fluxo de ar e até mesmo períodos em que os caudais são exageradamente elevados. A ventilação natural é de difícil controlo e incapaz de garantir as taxas de ventilação mínimas recomendadas com a vantagem de ser gratuita.

Pelas razões expostas, torna-se premente desenvolver sistemas de ventilação que conjuguem as melhores características da ventilação natural e da ventilação mecânica, para proporcionar aos ocupantes de um edifício ambientes saudáveis e confortáveis e a baixo custo.

É neste contexto que este trabalho se enquadra. Pretende-se propor sistemas de ventilação híbrida inovativos que conduzam a condições de Qualidade do Ar Interior (QAI) aceitáveis, com um consumo energético mínimo, reduzindo também as perdas energéticas devidas à ventilação. Os sistemas propostos tirarão proveito das principais características de cada um dos tipos de ventilação e, utilizando diversas estratégias de controlo, proporcionarão caudais controlados e, consequentemente, um ambiente interior confortável.

Serão objecto de estudo três sistemas de ventilação híbrida e cinco estratégias de controlo. Os sistemas utilizam extracção mecânica do ar, insuflação natural e extracção gratuita sempre que as condições exteriores o permitirem. O controlo do sistema, com diferentes configurações, permite que os caudais de ar em circulação estejam de acordo com as necessidades em cada instante, necessidades essas que poderão ser traduzidas pela humidade relativa das zonas húmidas, presença de ocupantes, concentrações de poluentes, entre outros.

Ao propor estes novos sistemas pretende-se fazer uma análise energética resultante da sua implementação, comparando o seu desempenho com o dos sistemas de ventilação típicos em Portugal, ou seja, ventilação natural e extracção mecânica. Esta análise será efectuada utilizando uma ferramenta de simulação térmica de edifícios, escolhida de entre um leque alargado de programas, que tenta modelar e integrar de forma realista e detalhada os fenómenos de transferência de calor e massa que ocorrem num edifício.

A simulação eficaz de cada um destes sistemas depende de diversos factores, nomeadamente, do conhecimento detalhado do próprio sistema e dos edifícios residenciais, unifamiliar e multifamiliar, onde será instalado, (características da envolvente, perfil de utilização, taxa de infiltrações, entre outros) e uma definição dos dados climáticos para as localizações onde as simulações serão efectuadas.

Com o objectivo de caracterizar os consumos energéticos destes sistemas de uma forma global, comparando-os com as soluções convencionais, e, para avaliar a influência das condições climáticas no desempenho de cada sistema de ventilação/estratégia de controlo, o estudo foi feito para as zonas climáticas existentes em Portugal, classificadas de acordo com a regulamentação em vigor. Numa fase posterior, e depois de definidas as vantagens/desvantagens de cada um dos sistemas, alargou-se o estudo a diversos países europeus, sendo deste modo possível avaliar os consumos energéticos de cada sistema de ventilação híbrida nas diferentes zonas climáticas da Europa.

1.2. Estrutura do trabalho

A dissertação desenvolve-se ao longo de oito capítulos, cada um deles, com objectivos distintos e versando temas diferentes.

No Capítulo 2 faz-se uma descrição dos sistemas de ventilação mais frequentemente utilizados nos edifícios. Analisam-se as diferentes soluções de ventilação natural, mecânica e híbrida, dando-se ênfase às características de cada uma delas, e às diversas estratégias de controlo existentes.

No Capítulo 3 enquadra-se a problemática da ventilação à luz da legislação nacional (NP 1037) e dos recentes regulamentos energéticos dos edifícios: o Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios (RCCTE) e o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização (RSECE).

O Capítulo 4 é dedicado à caracterização das ferramentas de simulação dinâmica existentes e mais adequadas ao trabalho que se pretende realizar nesta dissertação, fazendo-se referência às principais características e especificidades de cada uma. Neste capítulo apresenta-se a problemática dos dados climáticos, utilizando-se diferentes fontes de dados, e de acordo com diferentes critérios, e referências bibliográficas, divide-se Portugal e a Europa em zonas climáticas, e, posteriormente seleccionam-se as localizações a serem utilizadas nas simulações.

A descrição dos dois tipos de edifícios residenciais a simular é feita no Capítulo 5. Neste capítulo descrevem-se as principais características da envolvente, o tipo de ocupação, ganhos internos, tipo de climatização, exposição ao vento, assim como todas as informações necessárias à simulação dinâmica de um edifício e respectivo sistema de ventilação.

No Capítulo 6 são descritos, de forma mais detalhada, os sistemas de ventilação híbrida em análise, os dispositivos (grelhas, válvulas de extracção,...) utilizados e as diferentes estratégias de controlo. Estes sistemas de ventilação baseiam-se em sistemas em estudo no projecto europeu RESHYVENT². A caracterização dos sistemas de ventilação actualmente utilizados em Portugal será aqui apresentada. Estes sistemas serão o elemento de comparação para avaliar o desempenho dos novos sistemas propostos.

No Capítulo 7 apresentam-se os principais resultados e análises que resultam das diferentes simulações efectuadas, e no Capítulo 8 apresentam-se as conclusões retiradas do trabalho efectuado. Este capítulo será encerrado com uma lista de trabalhos que poderão ser efectuados na continuação desta dissertação.

² RESHYVENT - Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings with Specific Emphasis on the Integration of Renewable.

2. Ventilação

Neste capítulo descrevem-se, detalhadamente, os tipos de ventilação existentes, nomeadamente, a ventilação mecânica e a ventilação natural. Cada uma destas estratégias de ventilação pode assumir diferentes configurações, sendo o objectivo deste capítulo, apresentá-las, referindo as vantagens e desvantagens de cada uma. Na parte final, e, conjugando a ventilação mecânica com a ventilação natural, é ainda apresentada a ventilação híbrida e estratégias de controlo mais utilizadas.

A ventilação de um edifício permite garantir a qualidade do ar interior (QAI) e em alguns casos reduzir os consumos energéticos do mesmo. A necessidade de garantir a QAI aceitável obriga a recorrer a determinada processo/sistema, para introduzir ou remover ar de um espaço. Esse processo promove a existência de ar respirável no interior do edifício. Um adulto, saudável, sentado inspira/expira cerca de 12 vezes/minuto sendo, o volume médio de ar inspirado de 10 litros/minuto, em determinadas circunstâncias pode atingir as 200 inspirações por minuto.

Outra das razões, não menos importante, é a necessidade de controlar o nível de poluentes do ar interior. O corpo humano é uma fonte de poluentes e ao respirar não só consome o oxigénio como ainda liberta CO₂, vapor de água e odores, que necessitam de ser retirados do espaço de modo a garantir a qualidade do ar interior, ou seja, um ar aceitável. Para além do corpo humano existe outro grande promotor do aumento dos poluentes: o próprio edifício. Com efeito, os materiais existentes dentro dos espaços libertam para o ar uma diversidade de poluentes, nocivos ao ser humano quando em concentrações acima dos limites legais. É, portanto, necessária a remoção destas substâncias do interior dos espaços através da ventilação.

Por fim, e porque existem, dentro dos edifícios, dispositivos onde se efectuam combustões é necessário garantir que os produtos da combustão são totalmente evacuados dos espaços.

Na Europa são utilizados diversos sistemas e estratégias de ventilação. Em alguns países, a única ventilação existente consiste em infiltrações descontroladas através de frinchas existentes na envolvente (edifícios pouco estanques), enquanto que noutros locais, os sistemas de ventilação com dispositivos passivos são mais frequentes. Em climas muito frios, como por exemplo a Noruega, os sistemas de ventilação mecânica são os mais comuns e com recuperação de calor associada. Verifica-se, no entanto, que à excepção dos países nórdicos, os sistemas de ventilação natural são os mais frequentes na Europa.

Existe, portanto, uma gama alargada de sistemas de ventilação, cada um com as suas vantagens e desvantagens, e isto porque a aplicabilidade de cada sistema se encontra fortemente

dependente do tipo de edifício, condições climáticas, níveis de poluição exteriores e interiores, entre muitos outros factores não menos relevantes.

2.1. Ventilação Natural

A ventilação natural é, essencialmente, baseada no fornecimento de ar fresco a um espaço de forma natural, ou seja, sem recurso a qualquer dispositivo mecânico, sempre com o objectivo de garantir a QAI. Um ar com qualidade pode ser definido como ar livre de poluentes que possam causar irritação, desconforto ou sensação de doença nos ocupantes. Existem normas associadas à qualidade do ar e, tipicamente, são baseadas em análises de risco, sendo especificadas as concentrações máximas permitidas para permanências de curta e longa duração.

Para assegurar a ventilação adequada à QAI é necessário ter em atenção uma série de parâmetros, tais como:

- a localização do edifício, isto é: qualidade do ar exterior, temperatura, humidade, nível de ruído, direcção e velocidade do vento, e ainda o tipo de configuração urbana;
- o edifício, ou seja: fontes de poluentes interiores, fontes de calor, posicionamento e dimensões de aberturas, orientação do edifício, temperatura interior, entre outros.

Uma vez que os detalhes relativos ao edifício só serão conhecidos numa fase avançada do projecto é necessário conhecer o potencial de ventilação natural do local, ou seja, a possibilidade de garantir QAI nos espaços utilizando, apenas, ventilação natural, independentemente do edifício. Deste modo, será possível conhecer o tipo de ventilação mais adequada para cada local, bem como o tipo de edifício que deve ser construído ou regras para a sua remodelação.

A estratégia de ventilação natural é, especialmente, adequada para edifícios de pequenas dimensões, normalmente habitações unifamiliares localizados em climas moderados. A ventilação natural surge, também, como um investimento de baixo custo, em termos de capital inicial, manutenção e operação, quando comparado com sistemas mecânicos, tendo ainda a vantagem de não necessitar de grandes espaços técnicos. Neste tipo de edifícios, os curtos períodos de desconforto que surgirão no Verão, serão facilmente tolerados pelos ocupantes.

No entanto, “natural” significa que o desempenho do sistema de ventilação será aleatório, e um controlo eficiente do edifício apresenta-se complexo. Os sistemas de ventilação natural, normalmente, tornam indispensáveis a utilização de condutas com dimensões superiores às utilizadas em sistemas de ventilação mecânica, o que implica a necessidade de mais espaço, e nem sempre estas medidas são do agrado dos arquitectos. Por outro lado, é necessário garantir

a entrada de ar no edifício, o que obriga a elevada permeabilidade, o que pode causar conflitos com os regulamentos de incêndio e segurança, quando esta permeabilidade é entre zonas do mesmo edifício.

Nota-se, portanto, que apesar da ventilação natural ser muito atractiva, o projecto deste tipo de sistema exige que se tenha em consideração uma série de fenómenos e critérios nem sempre fáceis de tratar pelo que, actualmente, é difícil projectar um sistema de ventilação natural que verifique a norma NP 1037-1.

2.1.1. Mecanismos da ventilação natural

A ventilação natural resulta do efeito da diferença de pressões entre as diferentes fachadas do edifício que, por sua vez, são resultantes da acção do vento³ e ainda o gradiente de temperaturas existente entre o interior e o exterior⁴.

Efeito do vento na ventilação natural

De uma forma geral, um edifício sujeito à acção do vento desenvolve um campo de pressão como resultado do escoamento exterior sobre o edifício. O gradiente de pressões é traduzido pela expressão (1), na qual C_p é o coeficiente de pressão, dependente da direcção do vento e da fachada do edifício que se está a analisar, ρ é a massa volúmica do ar expressa em kg/m³ e U_v é a velocidade do vento em m/s e medida a uma altura de referência, que normalmente corresponde à altura do edifício.

$$\Delta p_{\text{vento}} = \frac{1}{2} \cdot C_p \cdot \rho \cdot U_v^2 \text{ [Pa]} \quad (1)$$

Na fachada do edifício que está orientada a barlavento geram-se pressões positivas (sobrepressão), enquanto que na fachada oposta e nas laterais se criam zonas de depressão (figura 2-1) [3]. Esta distribuição de pressões provoca a entrada de caudais de ar no edifício, através de aberturas existentes na fachada. Estes caudais de ar (infiltrações) ocorrem na fachada a barlavento, enquanto que na fachada oposta ocorre a saída do ar (exfiltrações).

³ Wind Driving Forces

⁴ Stack Driving Forces

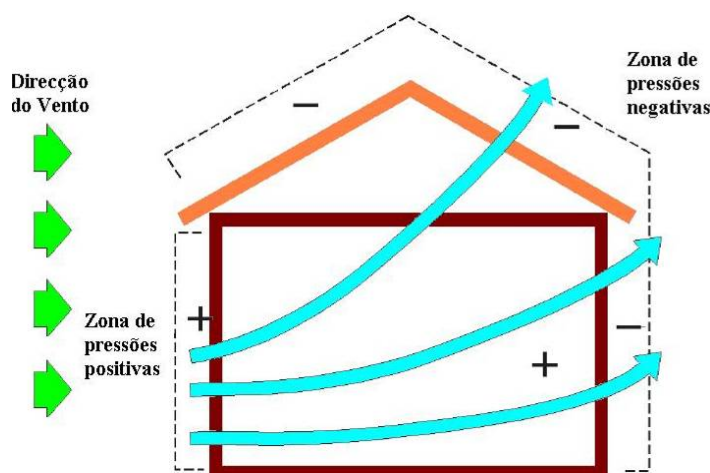


Figura 2-1 - Acção do vento na ventilação de um edifício

Para a correcta determinação do campo de pressões, a velocidade do vento é calculada em função dos dados meteorológicos disponíveis. O facto das estações meteorológicas se encontrarem distantes do local onde o edifício está implantado, obriga a uma correcção do parâmetro da velocidade do vento (U_{met}) que é medida, na estação meteorológica a uma altura de referência de 10 m acima do nível do solo, tendo-se em conta diversos parâmetros, entre eles: orientação do edifício, topografia, localização e rugosidade do terreno.

Ou seja, U_{met} , não pode ser utilizada directamente na expressão (1) e o ajuste da velocidade efectua-se recorrendo à lei de potência dada pela expressão (2), onde U_{loc} e U_{10} são as velocidades do vento medidas a uma altura z_{loc} e z_{10} , respectivamente, e α é um expoente relacionado com a intensidade de turbulência.

$$\frac{U_{loc}}{U_{10}} = \left(\frac{z_{loc}}{z_{10}} \right)^\alpha \quad (2)$$

Os coeficientes de pressão (C_p) são parâmetros empíricos, que traduzem as alterações do escoamento exterior ao edifício provocadas pelas obstruções, que o envolvem nas pressões induzidas pelo vento. São fortemente influenciados pela: direcção do vento, orientação do edifício, topografia e rugosidade do terreno. O sucesso da avaliação do potencial associado à ventilação natural está fortemente dependente deste factor.

Cálculo dos coeficientes de pressão

É importante referir, nesta fase, que o termo dominante no diferencial de pressões traduzido pela já apresentada expressão (1), não é o coeficiente de pressão, C_p , mas a velocidade do vento medida à altura do edifício. Isto porque, o gradiente de pressões varia com o quadrado da velocidade do vento. No entanto, nenhum factor deve ser desprezado, razão pela qual se

apresentam dois modelos de cálculo dos coeficientes de pressão. Existem várias formas de determinar os coeficientes de pressão, C_p , principalmente para edifícios de forma geométrica simples [4].

O primeiro modelo, que será exposto, foi desenvolvido por Mário Grosso [5] e tem por base uma análise paramétrica dos resultados obtidos em testes efectuados em dois túneis de vento. Baseia-se na relação entre o coeficiente de pressão num modelo, à escala, de um edifício rectangular e vários parâmetros que influenciam o valor do C_p , agrupados em três categorias:

- Parâmetros climáticos: o expoente da lei de potência do perfil do vento (α) e o ângulo de incidência do vento (α_{nw}).
- Geometria do edifício: razão de aspecto frontal (f_{ar}) e lateral do edifício (s_{ar}), posição relativa vertical (z_h) e horizontal (x_l) do ponto da fachada para o qual se quer calcular o valor de C_p .

A razão de aspecto frontal (f_{ar}) e lateral (s_{ar}) do edifício representa o quociente entre a largura da fachada frontal e lateral, respectivamente, e a altura das mesmas. A posição relativa do ponto da fachada está ilustrada na figura 2-2.

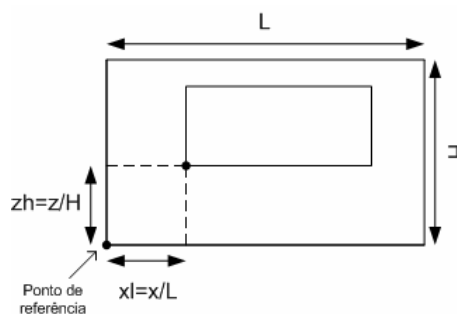


Figura 2-2 - Posicionamento de um elemento na fachada do edifício

- Zona de implantação do edifício: Densidade da área envolvente (PAD) e a altura relativa do edifício (r_{bh}).

O primeiro destes parâmetros, o PAD, corresponde ao quociente entre a área do edifício e a área total de construção (figura 2-3). A altura relativa do edifício é a razão entre a altura do edifício e a altura dos edifícios circundantes, assumindo que estes últimos são todos rectangulares e com alturas iguais.

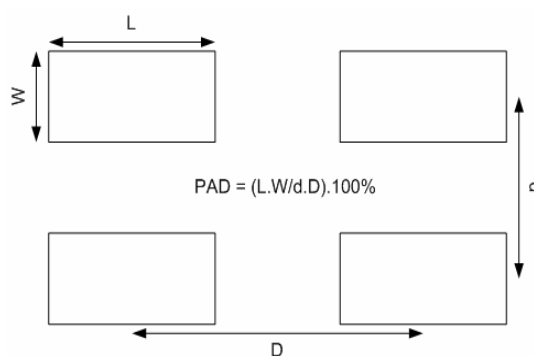


Figura 2-3 - Cálculo do PAD

As gamas de valores comuns aos testes efectuados nos túneis de vento foram utilizadas como referência. Estes valores correspondem ao perfil do C_p na vertical que passa no centro das fachadas a barlavento e a sotavento, assumindo-se que o vento é normal às superfícies, numa envolvente tipicamente suburbana. Este modelo assume que a distribuição horizontal do coe-

ficiente de pressão não é influenciada por nenhum dos parâmetros referidos anteriormente. O perfil de referência do coeficiente de pressão (C_p), em função da posição relativa vertical de um elemento, zh (figura 2-2), é dado pela expressão (3), onde $n = 3$ para a fachada a barlavento e $n = 5$ para a fachada a sotavento.

$$C_{p_{ref}}(zh) = a_0 + a_1(zh) + a_2(zh)^2 + \dots + a_n(zh)^n \quad (3)$$

Para a determinação do valor do C_p de referência foram admitidos os seguintes valores:

$a = 0,22$; $PAD = 0,0$; $rbh = 1,0$; $far = 1,0$; $sar = 1,0$; $anw_{barlavento} = 0^\circ$; $anw_{sotavento} = 180^\circ$

ou seja, é necessário proceder à normalização do valor de $C_{p_{ref}}$ em função do valor efectivo de cada um dos parâmetros.

Os valores dos coeficientes de pressão para cada fachada do edifício são determinados por funções polinomiais de 1º a 5º grau, no caso da fachada a sotavento e de 1º a 3º grau para fachadas a barlavento. Os coeficientes dos polinómios encontram-se tabelados em bibliografia apropriada [6]. O coeficiente de pressão de um elemento k , com coordenadas xl e zh , na fachada de um edifício com uma geometria definida pelos parâmetros far e sar e com condições climáticas e de implantação com valores de α , PAD , rbh e anw é calculado através da expressão (4).

$$C_{p_k} = C_{p_{ref}} \times CF \quad (4)$$

sendo, CF o coeficiente global de correcção:

$$CF = \left[C_{p_{zh}}(\alpha) \cdot C_{p_{zh}}(PAD) \cdot C_{p_{zh,PAD}}(rbh) \cdot C_{p_{zh,PAD}}(far) \right. \\ \left. \times C_{p_{zh,PAD}}(far) \cdot C_{p_{zh,PAD}}(sar) \cdot C_{p_{zh,PAD}}(xl) \right]_{normalizado} \quad (5)$$

A aplicação deste modelo apresenta algumas limitações e não deve ser aplicada sempre que exista:

- elevada rugosidade do terreno ($\alpha > 0,33$) e/ou elevada densidade do terreno envolvente ($PAD > 50$);
- edifícios vizinhos com configurações irregulares;
- $PAD > 12,5$, se o edifício em estudo tiver uma altura diferente dos vizinhos ou um formato diferente de um cubo;
- edifícios com alturas superiores a quatro vezes ou inferiores a metade da altura dos vizinhos;
- edifícios com configurações irregulares ou sombreadores;

- edifícios com configuração regular, mas razões de aspecto $< 0,5$ ou > 4 .

A Technical Note 44 (TN44) da AIVC⁵ [4] fornece também um conjunto de coeficientes de pressão, a ser aplicados a dois tipos de edifícios:

- edifícios elevados, ou seja, edifícios com mais de três pisos;
- edifícios baixos, ou seja, os restantes.

Os valores dos coeficientes de pressão (C_p) são aproximados e deverão ser utilizados em situações para as quais se desconhece as características específicas da envolvente. A intenção do referido documento é fornecer a gama de valores de coeficientes de pressão, que poderá ser encontrada para diferentes orientações dos edifícios e de espaços envolventes.

Para além de se considerar a altura do edifício, nestes coeficientes de pressão são também contemplados outros factores como: o grau de exposição ao vento, o formato do edifício e a velocidade do vento no local de implantação do edifício.

A conversão da velocidade do vento medida na estação meteorológica, para o local de implantação, baseia-se nos coeficientes recomendados pelo BSI⁶ e pela ASHRAE, enquanto que os coeficientes que descrevem o tipo de terreno e de exposição ao vento são os propostos pelo LBL⁷.

No caso dos edifícios elevados, os coeficientes de pressão baseiam-se em testes efectuados em túneis de vento, em modelos à escala de um edifício rodeado por outros com $1/6$ da altura. Cada fachada do edifício foi subdividida, em rectângulos, tendo sido avaliado para cada uma deles um coeficiente de pressão contabilizando-se, deste modo, o efeito da altura do edifício. No caso dos edifícios com menos de três pisos, é fornecido apenas um valor de C_p por fachada, e para oito direcções do vento.

Gradiente térmico

O movimento do ar devido ao gradiente térmico, também conhecido por efeito de chaminé, ocorre quando existe um gradiente de temperaturas entre a zona e o espaço envolvente, seja ele o exterior ou outra zona. A alteração das propriedades físicas do ar provocada pela uma alteração da temperatura, origina o movimento do ar quente, que sairá da zona pela parte superior, e a entrada de ar mais frio pela parte inferior, como ilustrado na figura 2-4 [3].

⁵ Air Infiltration and Ventilation Centre

⁶ British Standards Institution

⁷ Lawrence Berkley Laboratory

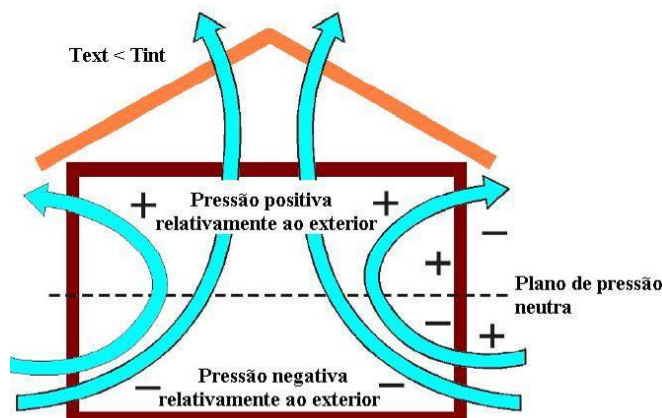


Figura 2-4 - Efeito do gradiente de temperaturas na ventilação natural de um edifício

O efeito de chaminé é mais intenso, em edifícios altos, particularmente, em locais de passagem e, com elevados pés direitos, como por exemplo: caixas de escadas e elevadores. O caudal de ar aumenta, com o aumento do gradiente de térmico.

Se p_0 , representar a pressão estática na parte inferior da zona, a pressão que se verifica a uma altura z , p_z , devida ao gradiente de temperaturas, será dada pela equação de *Bernoulli* [7] (6).

$$p_z = p_0 - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2 - \rho \cdot g \cdot z \text{ [Pa]} \quad (6)$$

em que:

p_s – pressão a uma altura z [Pa]

p_0 – pressão ao nível do pavimento da zona [Pa]

ρ – massa volúmica do ar à temperatura interior [kg/m^3]

V – velocidade do escoamento [m/s]

g – aceleração gravítica [m/s^2]

Considerando apenas a acção do gradiente de temperaturas, o segundo termo do lado direito da expressão (6) será desprezado, uma vez que o valor da velocidade é muito reduzido.

Assumindo que o ar se comporta como um gás perfeito, a massa volúmica à temperatura T pode ser calculada através da expressão (7), sendo ρ_0 e T_0 representam a massa volúmica e a temperatura de referência do ar, ou seja, $1,29 \text{ kg/m}^3$ e $273,15 \text{ °K}$, respectivamente.

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \text{ [kg/m}^3] \quad (7)$$

No caso em que existem duas zonas adjacentes, e isotérmicas, ligadas por uma abertura, caso de uma porta ou uma janela, a diferença de pressão verificada, entre ambas, à altura z será:

$$\Delta p_z = p_{1,0} - p_{2,0} + (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot z \quad (8)$$

onde $p_{1,0}$ e $p_{2,0}$ representam a pressão ao nível do pavimento para cada uma das zonas e ρ_1 e ρ_2 , a massa volúmica à temperatura das mesmas.

Este modelo assume que a temperatura no interior dos espaços se mantém constante com a altura. Modelos mais complexos representam, em detalhe, a influência da estratificação e os efeitos da turbulência, assumindo, para o efeito, que:

- escoamento permanente de um fluido invíscido e incompressível;
- estratificação linear da massa volúmica em ambos os lados da abertura;
- efeitos da turbulência representados por um perfil de diferença de pressão equivalente.

No caso de uma abertura de grandes dimensões, ou seja, um paralelepípedo com dimensões superiores a 10 mm, em cada um dos lados, a massa específica varia com a altura de acordo com a expressão (9) [6].

$$\rho_i(z) = \rho_{0,i} + b_i \cdot z \left[\text{kg} / \text{m}^3 \right] \quad (9)$$

o mesmo acontecendo com o campo de pressões que passa a ser traduzido pela expressão (10) [6].

$$\Delta p_t = p_{t0} + b_t(z) [Pa] \quad (10)$$

Introduzindo estes dois termos na expressão (8) obtém-se uma expressão que traduz a acção do gradiente de temperaturas numa abertura, considerada de grandes dimensões [6].

$$\Delta p_z = p_{1,0} - p_{2,0} + g \left[\left(\rho_{01} \cdot z + \frac{b_1 \cdot z^2}{2} \right) - \left(\rho_{02} \cdot z + \frac{b_2 \cdot z^2}{2} \right) \right] + (p_{t0} + b_t \cdot z) \quad (11)$$

A equação de *Bernoulli* simplificada (6), combinada com a equação dos gases perfeitos, dá origem à expressão (12), que representa a diferença de pressão entre duas aberturas separadas por uma distância vertical h , com T_i e T_e sendo, respectivamente as temperaturas interior e exterior, respectivamente.

$$\Delta p_z = \rho_i \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_e}{T_i + T_e} \quad (12)$$

Na ausência de vento, e sempre que $T_i > T_e$, o ar entra no edifício pelas aberturas inferiores saindo pelas superiores, o fluxo será o oposto se $T_i < T_e$. No caso em que as aberturas têm a mesma área, A , o caudal mássico do ar, $\dot{m}$ é dado pela seguinte expressão:

$$\dot{m} = \rho_i \cdot A \cdot C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_e}{T_i + T_e}} \quad (13)$$

sendo, C_d o coeficiente de descarga associado a cada abertura.

Acção combinada do vento e do gradiente de temperaturas

Até este momento, os mecanismos da ventilação natural foram analisados separadamente. No entanto, na maioria dos casos, os dois efeitos, vento e temperatura, ocorrem em simultâneo. A expressão (1) e a expressão (8) dão origem à expressão (14) [6].

$$\Delta p_z = p_{1,0} - p_{2,0} + (\rho_1 - \rho_2) \cdot g \cdot z + \frac{\rho_1 \cdot C_p \cdot U_1^2}{2} - \frac{\rho_2 \cdot C_p \cdot U_2^2}{2} \quad (14)$$

onde, $U_{v,1}$ e $U_{v,2}$ representam a velocidade do vento em cada um dos lados da abertura.

2.1.2. Métodos de determinação das taxas de ventilação

Os processos físicos, que estão envolvidos na ventilação natural, são complexos sendo a interpretação da sua influência no processo uma tarefa complexa. A mecânica dos fluidos clássica descreve os escoamentos de ar de acordo com equações de conservação de massa, energia e continuidade de onde resultam as equações de *Navier-Stokes* [7]. A resolução analítica do conjunto de equações resultantes, condições fronteira, modelos de turbulência, quando aplicadas ao caso concreto da ventilação natural apresenta-se complexo. No entanto é fundamental conhecer correctamente a taxa de ventilação de um espaço, assim como de todo o edifício. A correcta determinação dos caudais de ar permitem conhecer a eficiência e eficácia da ventilação e determinar o efeito da propagação de poluentes no interior do edifício, balanços energéticos e valores de energia associados a sistemas de ventilação não só natural mas também mecânica.

O conhecimento das características do escoamento em cada espaço, bem como das taxas de renovação de ar do edifício é importante, não só em termos de conforto térmico mas também por razões energéticas. Assim é importante conhecer:

- os caudais de ar e a distribuição da velocidade no interior do espaço, para se dimensionar grelhas e válvulas;
- a velocidade do ar, para calcular a transferência de calor por convecção entre o corpo humano e o ambiente;
- os caudais de ventilação e a dispersão de poluentes, para analisar a qualidade do ar.

De acordo com o tipo de informação disponível e pretendida, existem vários modelos de cálculo. Desde modelos que, recorrendo a técnicas de dinâmica dos fluidos computadorizada (CFD), resolvem as equações de *Navier-Stokes* até modelos, baseados em simples algoritmos empíricos, que permitem calcular a taxa de ventilação global.

Existe ainda a via experimental que permite determinar os caudais de ar num edifício, mas com o inconveniente de se aplicar a um caso específico, sendo necessário extrapolar os resultados obtidos para situações futuras.

De uma forma geral, com base no nível de complexidade dos modelos, existem quatro abordagens distintas que permitem descrever o escoamento do ar, em sistemas de ventilação natural em edifícios:

- modelos empíricos;
- modelos nodais multizona;
- modelos CFD⁸;
- métodos experimentais.

Apresentar-se-ão, em seguida, alguns desses modelos para cada uma das abordagens referidas.

2.1.2.1. Modelos empíricos

Os modelos empíricos calculam, de forma simples, os caudais de ar ou a velocidade média do ar numa zona através de expressões de cálculo que combinam os caudais com a diferença de temperatura, velocidade do vento e ainda, termos relativos às flutuações dos diferentes parâmetros. São ferramentas úteis que fornecem uma primeira estimativa de caudais e velocidades envolvidas em escoamentos de ar, mas devem ser utilizadas sempre dentro dos limites da sua aplicação.

Há um conjunto de modelos empíricos para avaliar as taxas de ventilação e/ou caudais de um espaço que, seguidamente, se apresentam.

Método simplificado de previsão de caudais de ar num processo de ventilação natural

Os modelos desenvolvidos neste âmbito são, fundamentalmente, aplicados a edifícios com uma única zona (mono zona). Existem vários modelos, apresentando-se, neste texto alguns dos mais representativos.

⁸ Computational Fluid Dynamics (CFD)

Método ASHRAE [6]

Este método exige o conhecimento da área efectiva de frinchas do edifício, que pode ser determinado usando técnicas de pressurização/despressurização ou utilizando valores tabelados. De acordo com o método o caudal de ventilação é dado por:

$$Q = A \cdot \sqrt{a\Delta T + b \cdot U_{met}^2} \left[m^3 / h \right] \quad (15)$$

sendo,

A – área efectiva de frinchas do edifício [cm^2]

a – coeficiente associado ao gradiente de temperatura [$m^6 h^{-2} cm^{-4} K^{-1}$]

b – coeficiente associado ao efeito do vento [$m^4 s^2 h^{-2} cm^{-4}$]

ΔT – diferença de temperatura média entre o interior e o exterior [$^{\circ}K$]

U_{met} – velocidade do vento medida na estação meteorológica [m/s]

O coeficiente a pode assumir um de três valores, dependendo do número de pisos do edifício:

$a = 0,00188$ – edifícios com um único piso

$a = 0,00376$ – edifícios com dois pisos

$a = 0,00564$ – edifícios com três pisos

O coeficiente b é, não só dependente do número de pisos do edifício mas também da sua exposição ao vento, ou seja, do tipo de obstruções que o envolvem (tabela 2-1).

Tabela 2-1 - Valores do coeficiente b do método ASHRAE

	Número de Pisos		
	1	2	3
Sem obstruções	0,00413	0,00544	0,00640
Zona rural	0,00319	0,00421	0,00495
Zona suburbana	0,00226	0,00299	0,00351
Zona urbana	0,00135	0,00178	0,00209
Zona urbana muito densa	0,00041	0,00054	0,00063

Método *British Standards* [6]

Este método empírico propõe um conjunto de expressões para o cálculo da infiltração e ventilação natural em edifícios com ventilação unilateral, ou seja, através de apenas uma fachada, e ventilação cruzada, isto é, várias aberturas em fachadas opostas. Assume o fluxo de ar bidireccional e ignora todas as partições existentes no interior do edifício assumindo que o este é apenas uma única zona de análise. Nas tabelas seguintes apresentam-se as expressões propostas pelo método, para situações de ventilação unilateral e cruzada, respectivamente.

Tabela 2-2 - Expressões propostas pelo método *British Standards* para ventilação unilateral

Ventilação provocada pelo vento

$$Q = 0,025 \cdot A \cdot U_v$$

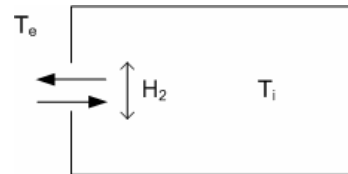
A – área da abertura [m²]U_v – velocidade do vento [m/s]

Ventilação provocada pela diferença de temperaturas

$$Q = C_d \cdot \frac{A}{3} \cdot \sqrt{\frac{\Delta T \cdot g \cdot H_2}{\bar{T}}}$$

C_d – coeficiente de descarga [-] $\Delta T = T_i - T_e$ - diferença de temperatura entre o interior e o exterior do espaço [°C]

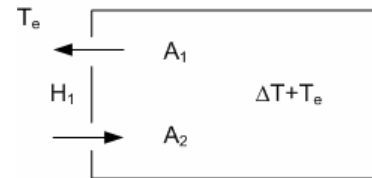
$$\bar{T} = \frac{T_e + T_i}{2} \text{ - Temperatura média [°C]}$$



Ventilação, numa fachada com duas aberturas, provocada pela diferença de temperaturas

$$Q = C_d \cdot A \cdot \left[\frac{\sqrt{2} \cdot \varepsilon}{(1 + \varepsilon)(1 + \varepsilon)^{1/2}} \right] \left(\frac{\Delta T \cdot g \cdot H_1}{\bar{T}} \right)$$

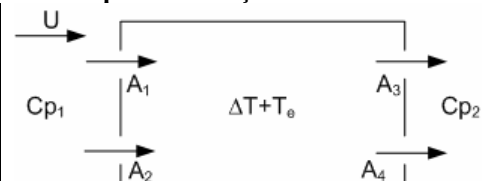
$$\varepsilon = \frac{A_1}{A_2}, A = A_1 + A_2$$

**Tabela 2-3 - Expressões propostas pelo método *British Standards* para ventilação cruzada**

Ventilação provocada apenas pelo vento

$$Q_w = C_d \cdot A_w \cdot U_v \cdot \sqrt{\Delta C_p}$$

$$\frac{1}{A_w^2} = \frac{1}{(A_1 + A_2)^2} + \frac{1}{(A_3 + A_4)^2}$$



Ventilação provocada apenas pela diferença de temperaturas

$$Q_b = C_d \cdot A_b \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \Delta T \cdot g \cdot H_1}{\bar{T}}}$$

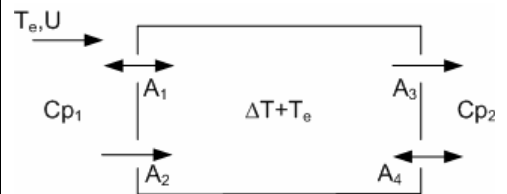
$$\frac{1}{A_b^2} = \frac{1}{(A_1 + A_3)^2} + \frac{1}{(A_2 + A_4)^2}$$



Ventilação provocada pela diferença de temperaturas e pelo vento

$$Q = Q_b \text{ se } \frac{U_v}{\sqrt{\Delta T}} < 0,26 \sqrt{\frac{A_b}{A_w} \frac{H_1}{\Delta C_p}}$$

$$Q = Q_w \text{ se } \frac{U_v}{\sqrt{\Delta T}} > 0,26 \sqrt{\frac{A_b}{A_w} \frac{H_1}{\Delta C_p}}$$

**2.1.2.2. Modelos nodais multizona**

Os modelos empíricos e teóricos simplificados, aqui apresentados, têm como princípio básico uma única zona por cada edifício quando o que é importante é a análise dos diferentes zonas dentro do mesmo edifício. Em situações reais esta aproximação simplista não é adequada,

uma vez que a interacção entre as diferentes zonas, em termos de ventilação, pode ter um impacto elevado. Nestas circunstâncias dever-se-á utilizar modelos de rede multizona e/ou multinodal [6].

De acordo com este tipo de modelos, um edifício é representado por um conjunto de nós, estando cada um deles associado a uma zona, formando deste modo uma malha. Cada nó da malha representa o valor da pressão de toda a zona.

A malha é constituída por nós e ligações, que caracterizam, respectivamente, as zonas e o ambiente exterior, assim como as aberturas existentes (portas, janelas, grelhas, frinchas) no próprio edifício.

Um edifício com N zonas é representado por uma malha com N nós de pressão (figura 2-5). Alguns deles comunicam com nós exteriores, cujas pressões são conhecidas enquanto que outros comunicam apenas com nós interiores, com pressões desconhecidas. O cálculo destas últimas pressões baseia-se na aplicação das equações de balanço de massa a cada nó.

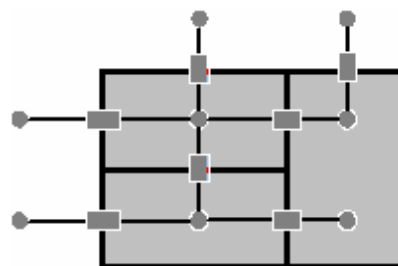


Figura 2-5 - Modelo nodal de um edifício multizona

A aplicação do balanço mássico a uma zona i , com j ligações resultará na expressão (16).

$$\sum_{k=1}^j \rho_i \cdot Q_{ik} = 0 \quad (16)$$

sendo, Q_{ik} (17), expresso em m^3/s e definido pela equação da potência, que representa as características do caudal de ar através de uma frincha e demais aberturas.

$$Q_{ik} = K(\Delta p)^n \quad (17)$$

Nesta equação, K representa o coeficiente do escoamento, que se relaciona com a dimensão da abertura e o expoente n caracteriza o tipo de escoamento, podendo variar entre 0,5 (escoamento turbulento) e 1 (escoamento laminar).

A aplicação deste balanço a todos os nós da malha origina um conjunto de equações não lineares, cuja resolução conduz aos valores das pressões dos nós interiores.

O sistema de equações gerado pela aplicação da expressão (16) a cada nó da malha poderá ser resolvido através de métodos numéricos, no entanto, existem ferramentas computacionais que permitem o cálculo do sistema, dando origem aos valores pretendidos de uma forma simples e

rápida. Algumas das ferramentas que utilizam estes modelos para o cálculo dos caudais de ar envolvidos num processo de ventilação serão apresentados, detalhadamente, no capítulo 4.

2.1.2.3. Modelos CFD

Os modelos discutidos, até ao momento, baseiam-se na hipótese de zonas homogêneas. Apesar de esta hipótese, em algumas situações não corresponder à realidade, na grande maioria dos casos, de uma forma global, representam o comportamento do edifício.

A Mecânica dos Fluidos Computacional, CFD, é um modelo baseado na discretização de um edifício em pequenos subvolumes, aos quais se aplicam a expressão de conservação da massa, energia e quantidade de movimento, com o objectivo de obter os campos de velocidade e temperatura e pressões (expressões (18), (19), (20), (21) e (22)).

$$\begin{array}{l} \text{Equação da continuidade:} \\ \text{(conservação da massa)} \end{array} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0 \quad (18)$$

$$\begin{array}{l} \text{Equação da quantidade de} \\ \text{movimento:} \end{array} \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u V) = -\frac{\partial p}{\partial x} + \rho f_x \quad (19)$$

$$\frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v V) = -\frac{\partial p}{\partial y} + \rho f_y \quad (20)$$

$$\frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w V) = -\frac{\partial p}{\partial z} + \rho f_z \quad (21)$$

$$\begin{array}{l} \text{Equação da energia:} \end{array} \quad \begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t} \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) \right] + \nabla \cdot \left[\rho \left(e + \frac{V^2}{2} \right) V \right] \\ & = \rho q - \frac{\partial(\rho u p)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v p)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w p)}{\partial z} + \rho f \cdot V \end{aligned} \quad (22)$$

As equações anteriores [6], uma vez discretizadas, são aplicadas a cada volume finito bidimensional ou tridimensional. As pressões e velocidades são calculadas com base nas condições de fronteira específicas para o caso em análise, o que denota a elevada importância deste parâmetro. As expressões discretizadas dão origem a um sistema de equações que são, normalmente, resolvidas recorrendo a métodos numéricos do tipo SIMPLE, TDMA [8].

No caso do escoamento ser turbulento, os modelos de simulação recorrem a modelos de turbulência entre os quais o mais frequente é o k-ε.

2.1.2.4. Métodos experimentais

Analisando um edifício, em termos de trocas de ar, na sua globalidade, verifica-se que existem dois processos distintos:

- caudais de ar entre o exterior e o interior do edifício, usualmente designado por infiltrações ou exfiltrações, dependendo do sentido do escoamento;
- caudais de ar entre os diferentes espaços, e portanto interiores.

A determinação dos caudais de ar em movimento através da envolvente de um edifício (infiltrações) pode ser efectuada utilizando diferentes métodos experimentais, entre eles [9].:

- o método do comprimento das frinchas;
- o do número de renovações horárias;
- o dos gases traçadores;
- o método da pressurização.

Os dois primeiros métodos destinam-se, essencialmente, à medição de infiltrações enquanto que os dois últimos são apropriados para a determinação de características inerentes ao edifício, nomeadamente áreas de frinchas.

Quando se pretende medir os caudais de ar que circulam no interior do edifício poderão utilizar-se um de dois métodos: anemometria e uma vez mais os gases traçadores [9].

Qualquer dos métodos referidos anteriormente é incompleto, uma vez que a caracterização de um edifício sob o ponto de vista das infiltrações e dos caudais, que circulam no seu interior, exige a determinação de vários parâmetros e nenhum dos métodos referidos tem a capacidade de os medir todos. No entanto, os vários métodos complementam-se entre si e será possível uma obtenção de todos os parâmetros se eles forem utilizados em conjunto.

2.1.3. Tipo de sistemas de ventilação natural

Os mecanismos de ventilação natural, como referido, são muito variáveis no tempo e no espaço, o que dificulta o controlo das taxas de ventilação do edifício. Deste modo, podem ocorrer períodos em que os diferentes mecanismos (temperatura e vento) agem em simultâneo, aumentando as referidas taxas ou, agem em sentidos opostos, reduzindo drasticamente a ventilação do edifício. No sentido de minorar este efeito desenvolveram-se sistemas e estratégias de controlo que permitem otimizar o recurso à ventilação natural, embora se mantenha a sua

dependência da temperatura, velocidade e direcção do vento. Os sistemas de ventilação natural são caracterizados de forma genérica em sistemas com ventilação controlada e não controlada (infiltrações).

2.1.3.1. Ventilação natural não controlada (infiltrações)

Estratégia de ventilação mais frequente em Portugal em edifícios já construídos. A entrada do ar nos espaços efectua-se através de frinchas existentes na envolvente do edifício, por exemplo nas caixilharias das portas e janelas. Este processo pode ser intensificado através da abertura de janelas e/ou portas.

Trata-se de um processo simples mas desaconselhado uma vez que não existe qualquer tipo de controlo sobre a ventilação originando problemas quer no Inverno, quer no Verão:

- Inverno – ventilação deficiente; a não abertura das janelas pode provocar uma ventilação deficiente ou taxas de ventilação excessivas se, apesar das baixas temperaturas exteriores a abertura das janelas for efectuada, provocando correntes frias, desconforto nos ocupantes e, consequentemente, no caso de existir aquecimento aumento do consumo energético;
- Verão – neste período, o gradiente térmico é mais reduzido ocorrendo, por tal motivo, uma diminuição das taxas de ventilação e sobreaquecimento dos espaços.

O facto de, actualmente, existir uma melhoria no isolamento da envolvente dos edifícios, que incluem também a redução da área de frinchas, tem como consequência directa uma maior estanquicidade do edifício, ou seja, adverso aos fenómenos da ventilação natural.

2.1.3.2. Infiltrações através de aberturas na fachada

O princípio de funcionamento deste sistema de ventilação é semelhante à anterior, no entanto, os caudais de ar entram/saem do edifício através de aberturas propositadamente colocadas nas fachadas. Em consequência do aumento da qualidade da construção, que origina edifícios mais estanques, promove-se desta forma a entrada de ar no edifício através da inclusão de grelhas nas suas fachadas.

As grelhas a incluir nas fachadas podem ser de dois tipos: reguláveis e auto-reguláveis. Em ambos os casos, a abertura e o fecho dos dispositivos pode ser controlada manual ou automaticamente. A utilização das grelhas automáticas está fortemente associada a estratégias de ventilação com sistema de controlo automático.

▪ Grelha regulável

Este tipo de dispositivos (figura 2-6), em que a área de passagem pode ser regulada, não permite a regulação do caudal em função das condições interiores e exteriores. Ou seja, os caudais que as atravessam são totalmente dependentes da acção do vento e do gradiente de temperaturas, não sendo possível aumentá-los ou diminuí-los, uma vez que se tratam de aberturas estáticas.



Figura 2-6 - Grelhas reguláveis

Nestas aberturas é possível efectuar o controlo dos caudais de ventilação, de forma indirecta, através da alteração da sua área útil. No entanto, trata-se de um controlo parcial, uma vez que, os caudais se encontram de igual modo dependentes dos gradientes de pressão e temperatura, entre o interior e o exterior. Tal como se mostra na figura 2-7 [10], actuando na área útil de passagem da grelha, é possível reduzir o caudal que a atravessa, podendo essa actuação ser manual ou automática no caso de existir um sistema de controlo.

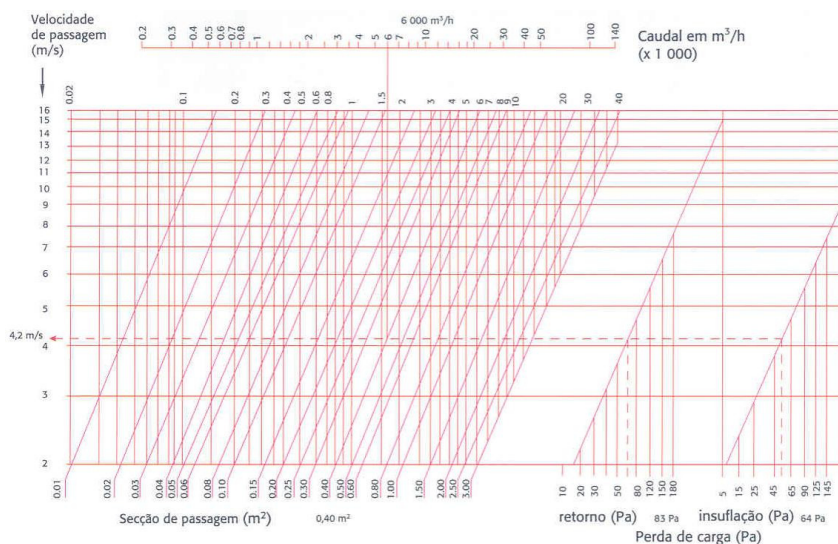


Figura 2-7 - Grelhas reguláveis: Variação do caudal com a área útil de passagem

▪ Grelhas Auto-Reguláveis (figura 2-8) [11]

Este último tipo de abertura permite a obtenção de um caudal de infiltrações aproximadamente constante (figura 2-9) [11], dentro de uma determinada gama de gradientes de pressão, e

evita, totalmente, as exfiltrações de ar. São aberturas que funcionam em função do gradiente de pressão entre o interior e o exterior do edifício, fechando automaticamente sempre que o diferencial é negativo. No caso de diferenciais positivos, ajusta a área útil de passagem mantendo o caudal que a atravessa aproximadamente constante.



Figura 2-8 - Grelha Auto Regulável

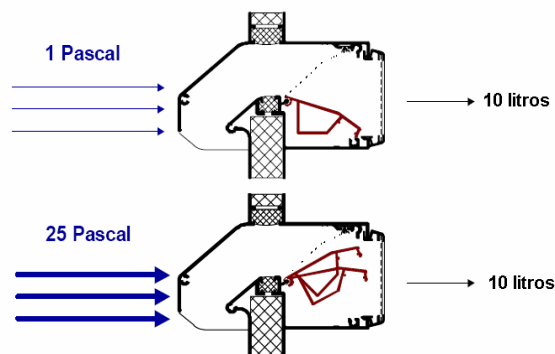


Figura 2-9 - Grelha auto-regulável, débito constante

Na figura 2-10 [11] apresenta-se a curva característica de uma grelha deste tipo em comparação com uma abertura regulável.



Figura 2-10 - Comparação entre o caudal debitado por uma grelha regulável e uma grelha auto-regulável

A localização das grelhas nas fachadas dos edifícios é importante uma vez que pode, ou não, favorecer o mecanismo da ventilação natural. No entanto, nem sempre a configuração e geometria do edifício permitem o melhor posicionamento, existindo diferentes opções:

- Ventilação Cruzada (figura 2-11) – várias grelhas em fachadas opostas

A localização mais favorável das grelhas é aquela em que os dispositivos são colocados em fachadas opostas, aproveitando o potencial do gradiente de pressões que podem existir entre as fachadas. Com este posicionamento é possível obter uma ventilação do tipo pistão, como se esquematiza na figura 2-11.



Figura 2-11 - Ventilação Cruzada

- Ventilação Unilateral (figura 2-12) [12] – várias grelhas numa única fachada

Na impossibilidade de implementar a configuração anterior, porque os edifícios apenas possuem uma fachada disponível, as grelhas deverão ser aí colocadas.

Edifícios com aberturas numa única fachada são de ventilação difícil, mesmo nos períodos em que o vento incide directamente nas mesmas. Se for este o caso, é desejável a colocação de aberturas espaçadas, como forma de melhorar o escoamento, pois o vento não incide exactamente na perpendicular, excepto em casos pontuais. No caso de um espaço em que só se possa colocar aberturas num único lado, é preferível colocar duas aberturas afastadas. Pode-se ainda recorrer a elementos arquitectónicos – bandeiras de ventilação – de forma a induzir e melhorar a ventilação natural no edifício.

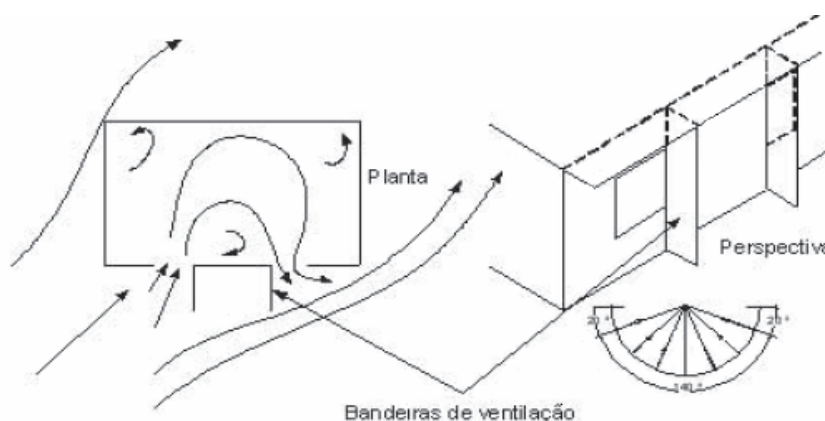


Figura 2-12 - Ventilação Unilateral

- Ventilação por Deslocamento⁹ (figura 2-13) – várias aberturas em fachadas opostas e alturas diferentes

O conceito que serve de base a este tipo de ventilação é a insuflação de ar novo e fresco a baixa velocidade e a um nível próximo do pavimento.

O calor libertado pelos equipamentos e ocupantes do espaço alimentará depois a convecção natural, fazendo com que o ar novo e fresco circule subindo junto a estas fontes de calor como resultado das diferentes densidades do ar. Num nível mais elevado, já fora da zona de ocupação, acumula-se o ar “contaminado” e aquecido, que é depois removido pela extracção.

⁹ Displacement Ventilation

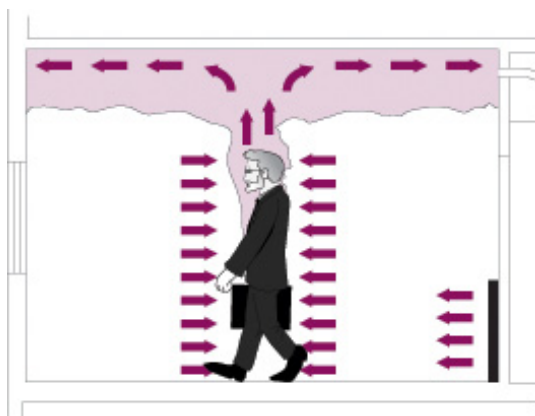


Figura 2-13 - Ventilação por deslocamento

2.1.3.3. Ventilação assistida por condutas verticais

Com o intuito de facilitar e incrementar o efeito da ventilação natural é comum adicionar aos dispositivos descritos (grelhas) condutas verticais. Esta técnica é frequente em habitações unifamiliares.

As condutas verticais (figura 2-14) incrementam a extracção do ar do interior do edifício devido ao efeito de chaminé¹⁰.

Estas “chaminés” são parte integrante da construção e servem, geralmente, para remover o ar das zonas húmidas como é o caso das cozinhas e das casas de banho. Nestes casos, o ar admitido nos compartimentos principais (quartos e salas), através de aberturas existentes na fachada (grelhas, frinchas, janelas, ...).

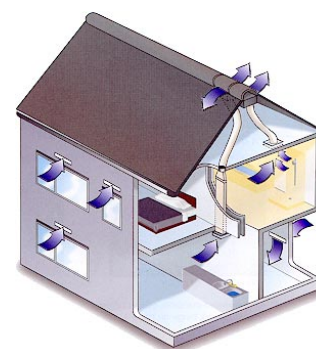


Figura 2-14 - Ventilação assistida por condutas verticais – Efeito de Chaminé

Apesar de não existir um controlo dos caudais de ventilação, as aberturas e as condutas são dimensionadas de modo a garantir um caudal médio de ventilação, o que não evita a existência de situações extremas, tal como já foi referenciado.

2.2. Ventilação Mecânica

Num sistema de ventilação mecânica o gradiente de pressões é provocado pela existência de um, ou mais, ventiladores que, à custa de um consumo energético adicional, provoca uma diferença de pressões e que promove a ventilação.

¹⁰ Thermal Stack Effect

Neste tipo de sistemas, o controlo dos caudais de insuflação/extracção é mais eficaz do que num sistema de ventilação natural, eliminando quase na totalidade os mecanismos de ventilação provocados pelo vento e diferença de temperatura.

Nos edifícios habitacionais existem basicamente três tipos de ventilação mecânica: insuflação mecânica, extracção mecânica e sistemas balanceados, que não são mais do que a combinação dos dois primeiros. Em todos eles existe um sistema de condutas, associado a um ou mais ventiladores, que, tal como já referido, promovem a circulação de ar no edifício através do gradiente de pressões que provocam, e que é proporcional aos caudais de ar em movimento.

2.2.1. Insuflação Mecânica

Neste sistema o ar é insuflado no edifício através de uma rede de condutas à qual está associado um ventilador. Desta forma o edifício é pressurizado e o ar é forçado a sair pelas frestas, janelas ou grelhas existentes nas fachadas.

Uma das principais desvantagens deste método está associada ao controlo dos poluentes nas diferentes zonas e também do nível de humidade. Este tipo de sistema de ventilação é pouco usual nos edifícios portugueses.

2.2.1.1. Extracção Mecânica

Sistema bastante difundido nas habitações portuguesas. Neste caso, provoca-se uma depressão no interior do edifício, forçando-se a saída do ar por meios mecânicos. A localização destes sistemas (figura 2-15) [13] é comum em zonas com grande produção de humidade e/ou odores (cozinhas e casas de banho).

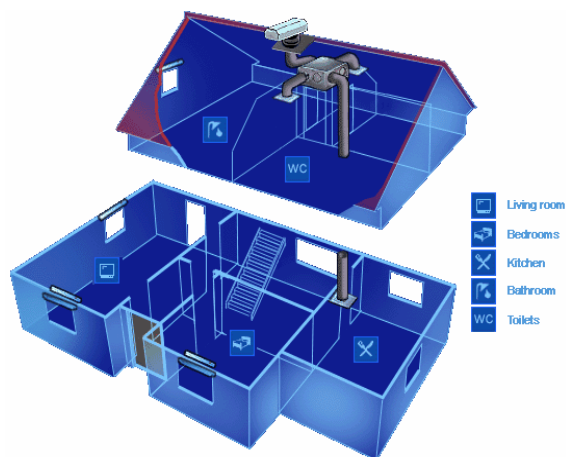


Figura 2-15 - Extracção mecânica

O facto de se criar uma depressão no edifício obriga a entrada de ar exterior através de frestas, portas, janelas, entre outros. Neste caso, para se aumentar a eficiência do sistema introduzem-se grelhas reguláveis nas fachadas dos edifícios, nomeadamente nos quartos e salas para se garantir uma melhor QAI.

2.2.1.2. Sistemas Balanceados

Neste caso, o edifício dispõe de insuflação e extracção mecânica, totalmente independentes, tendo o sistema de insuflação, em média 90 a 95 % da capacidade do sistema de extracção provocando, deste modo, uma ligeira despressurização do edifício.

O ar é insuflado nos compartimentos principais e extraído nos espaços de serviço, onde ocorre produção de vapor de água e odores.

Nestes sistemas é possível a instalação de um recuperador de calor, que garante o pré-aquecimento do ar insuflado.

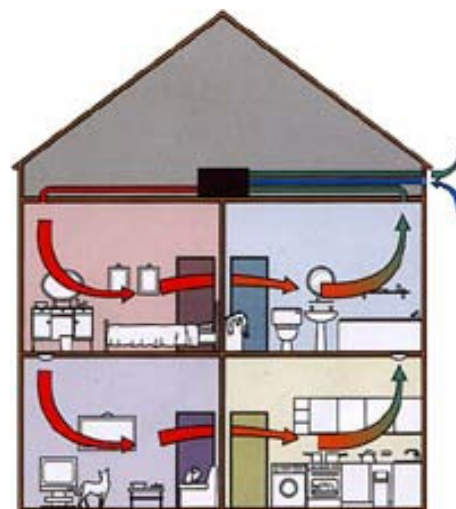


Figura 2-16 - Sistema Balanceado com recuperação de calor

2.3. Ventilação Híbrida

Ao longo dos anos os sistemas de ventilação natural e de ventilação mecânica evoluíram separadamente. Os primeiros partindo de um estado de descontrolo total dos caudais de ventilação, através de frinchas e abertura de janelas, desenvolveram-se até à situação presente, em que são utilizados no arrefecimento dos edifícios, com o máximo aproveitamento possível dos gradientes de temperatura e da acção do vento e com caudais proporcionais à procura e às exigências do momento. A ventilação mecânica partiu de uma situação com caudais constantes e permanentes evoluindo até sistemas, com recuperadores de calor integrados, e caudais variáveis e dependentes dos requisitos específicos dos espaços. Para ambos os tipos de ventilação, a evolução deu-se sempre no sentido de minimizar o consumo energético, mantendo um ambiente interior saudável e confortável. Tendo-se atingido um ponto em que as possibilidades de evolução destas duas estratégias são reduzidas, o passo seguinte para a ventilação dos edifícios conduzirá a uma combinação das melhores características de cada um dos sistemas, mecânico e natural, criando um novo tipo de ventilação, a Ventilação Híbrida (figura 2-17) [11].

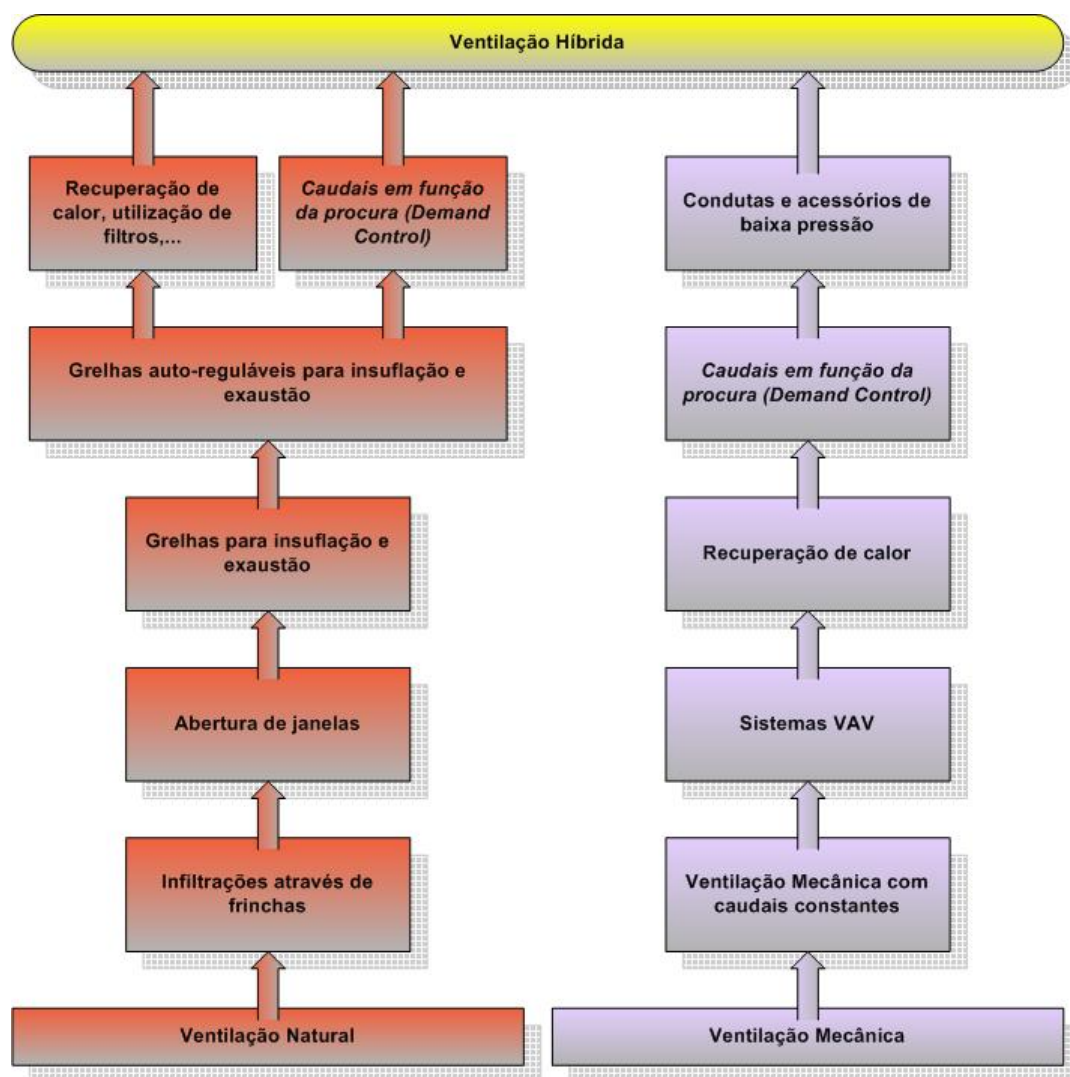


Figura 2-17 - Desenvolvimento dos Sistemas de Ventilação

2.3.1. Princípios da Ventilação Híbrida

A ventilação híbrida pode então ser definida como uma estratégia de ventilação que conjuga a ventilação natural e a mecânica de modo a que o consumo energético seja minimizado, mantendo a QAI e o conforto térmico dos ocupantes. Existem, três princípios, a partir dos quais se desenvolve esta nova estratégia de ventilação:

- *Ventilação Natural e Ventilação Mecânica* [14]

Dois sistemas de ventilação, autónomos, um natural e outro mecânico. As duas estratégias funcionam alternadamente de acordo com os requisitos específicos de cada momento;

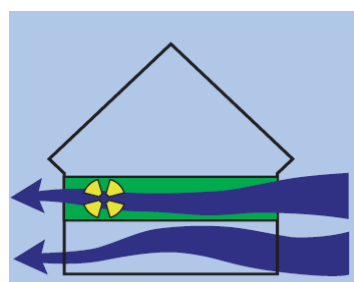


Figura 2-18 - Ventilação Natural e Mecânica

▪ *Ventilação Natural assistida por um ventilador*
[14]

Este princípio baseia-se num sistema de ventilação natural assistida por um ventilador de insuflação ou de extracção. São sistemas a utilizar quando existem períodos em que os gradientes de pressão e temperatura são fracos, ou que tem períodos em que as exigências de ventilação são muito elevadas.

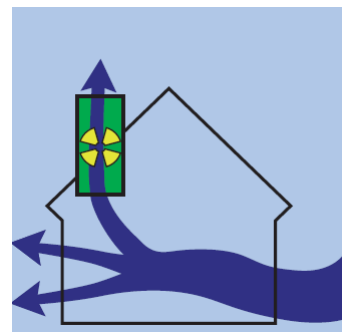


Figura 2-19 - Ventilação Natural assistida

▪ *Ventilação Mecânica assistida pelos gradientes de pressão e de temperaturas (tiragem térmica)*
[14]

Neste caso, existe um sistema de ventilação mecânica com baixas perdas de pressão, fornecendo as forças naturais o restante diferencial de pressão.

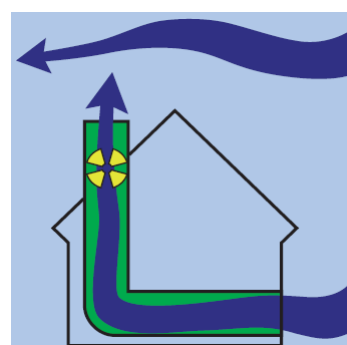


Figura 2-20 - Ventilação Mecânica assistida

2.3.2. Estratégias de controlo

O desenvolvimento de uma estratégia de controlo apropriado a um determinado edifício dependerá de um conjunto alargado de parâmetros, tais como: tipo de edifício, sistema de ventilação, ruído e poluição exteriores, sombreamento, cargas internas e também tipo de ocupação e expectativas dos ocupantes. Num sistema de ventilação híbrida, a estratégia de controlo é tão importante como o próprio sistema de ventilação, havendo uma grande interacção entre ambos, sendo, por esta razão, fundamental que o dimensionamento dos dois sistemas seja feito em simultâneo.

A estratégia de controlo de um sistema de ventilação híbrida deve incluir, pelo menos, dois tipos de controlo e deverá ser sempre função das necessidades específicas do espaço, no que é vulgarmente designado por Ventilação Controlada pelas Necessidades¹¹ (VCN):

▪ *Sistema controlado pela Qualidade do Ar Interior (QAI)*

Neste caso, pretende-se atingir um equilíbrio entre a Qualidade do Ar Interior, o conforto

¹¹ Demand Control Ventilation (DCV)

térmico, o consumo energético e o impacto ambiental durante os períodos de aquecimento e arrefecimento.

▪ *Sistema controlado 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.

O controlo pela QAI é a estratégia utilizada no Inverno, uma vez que neste período este é o factor mais importante. O controlo pela temperatura será utilizado no Verão, onde este é o parâmetro mais relevante. Deverá ainda existir uma terceira estratégia de controlo que faça a transição entre estes dois períodos extremos.

As condições climáticas são determinantes no comportamento não só do sistema de ventilação híbrida mas também do controlo do mesmo. Assim, deve ter-se em atenção que, num clima frio, a estratégia de controlo deve focar-se na QAI enquanto que, em climas quentes a estratégia a privilegiar deverá ser a da temperatura interior dos espaços.

A estratégia de controlo deverá fazer o equilíbrio dos caudais necessários no espaço. Deverá ainda, determinar os diferentes modos de controlo em função das condições climáticas exteriores e tem, sobretudo, de reflectir, em cada momento, as necessidades dos ocupantes conjugadas com as normas em vigor.

▪ *QAI durante os períodos ocupados*

No Inverno, quando o edifício está ocupado, o controlo do sistema de ventilação pode ser efectuado manualmente pelos ocupantes, ou através da existência de sensores dentro dos espaços, como por exemplo: sensores de presença, sensores de CO₂, de compostos orgânicos voláteis, HR, entre outros.

▪ *QAI durante os períodos não ocupados*

Durante os períodos em que o edifício se encontra desocupado, não é aconselhável que o sistema de ventilação seja desligado por completo, principalmente, se o tipo de construção for muito estanque. O sistema deve remover os poluentes gerados pelos ocupantes no período ocupado que o antecedeu e contaminantes libertados pelos materiais do próprio edifício. Desta forma é possível garantir ar fresco e limpo quando o edifício voltar a ser ocupado.

- *Temperatura interior durante os períodos ocupados*

O controlo da temperatura no interior dos espaços pode ser feita automática ou manualmente. Devido à baixa diferença de temperaturas entre o exterior e o interior do edifício, no Verão, o ar exterior tem um potencial de arrefecimento muito baixo, mesmo que os caudais insuflados sejam muito elevados.

- *Sombreamento do edifício*

O sombreamento solar é um parâmetro muito importante no que diz respeito à ventilação híbrida. Deve existir no edifício sombreamento, se possível automático (em função da radiação solar), podendo os utilizadores actuá-los, sobrepondo-se ao controlo, sempre que assim o desejarem.

Utilizando um sombreamento adequado, pode aproveitar-se, no Inverno toda a energia solar para aumentar a temperatura interior do espaço e evitar no Verão, o sobreaquecimento do edifício.

- *Ventilação nocturna durante o Verão*

A utilização de sistemas de ventilação nocturna para o arrefecimento do edifício é de grande importância, pois permite atingir o conforto térmico sem ser necessário recorrer a sistemas de arrefecimento mecânicos. Idealmente, a ventilação nocturna deverá ser automática, com base na temperatura de cada zona, e deve garantir que pela manhã o edifício não estará desconfortável (demasiado frio) para os ocupantes.

- *Pré aquecimento do ar insuflado*

Ao efectuar o pré-aquecimento do ar insuflado podem evitar-se correntes de ar desconfortáveis. Este pré-aquecimento pode ser efectuado com base na colocação de radiadores em frente das grelhas de insuflação ou através do uso de resistências eléctricas nas condutas de insuflação. Sempre que o sistema de ventilação o permita deverá utilizar-se recuperadores de calor.

- *Protecção contra condições climáticas severas*

Sempre que as condições climáticas exteriores forem muito severas (ventos fortes, chuva, ...) o sistema deverá actuar de modo a que estas não se façam sentir no interior do edifício, fechando automaticamente janelas, aberturas muito expostas...

▪ *Comando dos ventiladores*

Os ventiladores, caso existam, podem ser controlados através da temperatura, da QAI, da pressão nas condutas ou do caudal ventilado.

Os edifícios que têm instalado um sistema híbrido de ventilação encontram-se ainda muito longe da solução perfeita. Existe ainda um longo caminho a percorrer, essencialmente, devido à falta de conhecimento e experiência no que diz respeito ao dimensionamento e controlo do sistema.

2.4. Ventilação e Qualidade do Ar Interior

Os caudais de ventilação necessários para assegurar a QAI dependem do tipo de poluentes libertados no espaço, da sua taxa de libertação e do poluente predominante. Se as características das emissões forem conhecidas, é possível determinar os caudais de ventilação necessários para que a concentração desse poluente não exceda os limites recomendados por normas e regulamentos. A figura 2-21 representa, esquematicamente, essa estratégia, onde se pode constatar que, a concentração do poluente diminui, exponencialmente, com o caudal de ventilação.

É muito importante identificar o poluente dominante no espaço, uma vez que, se a concentração deste estiver controlada, todos os outros poluentes existentes no espaço se encontrarão abaixo dos limites recomendados.

Nos edifícios ventilados naturalmente não é necessária nenhuma energia suplementar para movimentar o ar, a única energia adicional será a necessária para aquecer/arrefecer o ar novo. As necessidades energéticas, no Inverno, aumentarão, directamente, com as taxas de ventilação (figura 2-22) que, na ventilação natural, varia com a velocidade e direcção do vento e com as diferenças de temperatura entre o interior e o exterior do edifício.

Conclui-se assim, que não só é essencial garantir a qualidade do ar interior, promovendo os caudais convenientes, como também é fundamental evitar caudais excessivos, que conduzirão a consumos energéticos elevados, no caso do Inverno. Ou seja, a optimização do processo de ventilação natural é essencial para que se possa atingir a QAI e baixas necessidades energéticas, mantendo os caudais de ventilação dentro de determinados valores.

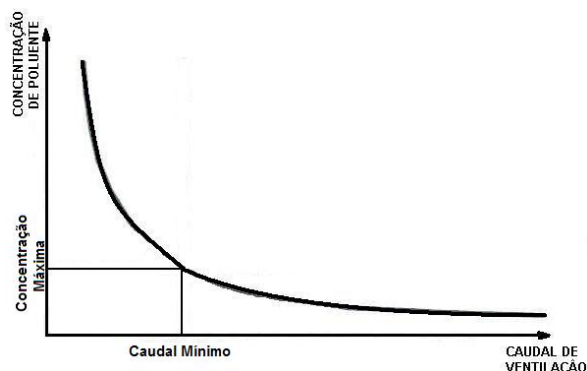


Figura 2-21 - Ventilação natural para garantir QAI

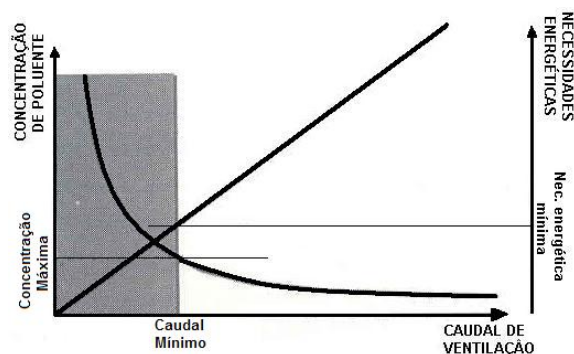


Figura 2-22 - Evolução da concentração de poluentes e necessidades energéticas

2.5. Ventilação e Conforto Térmico

O conforto humano é um conceito complexo, uma vez que depende de um conjunto de parâmetros nem sempre fáceis de controlar. De acordo com a norma ASHRAE 55 [15], o conforto térmico é *aquele estado de espírito que expressa satisfação relativamente à envolvente térmica*. Esta definição deixa em aberto o que se entende por *estado de espírito* ou *satisfação*, mas, fica implícito, que a avaliação do conforto térmico é um processo cognitivo que envolve diversos processos. Os parâmetros que influenciam o conforto dos ocupantes podem ser agrupados em três categorias:

- Parâmetros físicos, que incluem a temperatura e humidade relativa do ar e as condições térmicas do ambiente (temperatura média radiante, temperatura das superfícies envolventes), a velocidade do ar, os odores, a intensidade lumínica e o nível de ruído.
- Parâmetros fisiológicos, ou seja, idade, sexo e características específicas de cada ocupante.
- Parâmetros externos, como por exemplo, actividade desenvolvida, vestuário e condições sociais.

Entre estes parâmetros, o ambiente envolvente, representado pela temperatura, humidade e velocidade do ar, tem um papel relevante e, quando combinado com outros factores, como por exemplo: o tipo de vestuário e a actividade desenvolvida, dá origem a uma infinidade de combinações, razão pela qual é muito complicado atingir o conforto térmico em todas as circunstâncias.

O conforto térmico dos ocupantes não pode ser representado, apenas, pelo simples balanço térmico do corpo humano, uma vez que existem diversos processos fisiológicos envolvidos. No entanto, o efeito positivo, ou negativo, de cada um dos parâmetros referidos anteriormen-

te, permite desenvolver estratégias de controlo desses parâmetros para que atinjam condições de conforto térmico aceitáveis. O vestuário, por exemplo, é facilmente ajustado pelo próprio indivíduo. Modificar a velocidade do ar em torno do ocupante é outro factor que pode contribuir para manter o conforto térmico. O movimento do ar define a transferência de calor e massa por convecção entre o corpo humano e o ambiente. No Verão, velocidades elevadas aumentam a taxa de evaporação na pele e, consequentemente, a sensação de arrefecimento. Apesar de um sistema de ventilação natural, devidamente dimensionado, poder ocorrer velocidades do ar elevadas, mas o limite máximo recomendado no interior do espaço, é de 0,8 m/s, para não ocorrerem distúrbios. Este é um parâmetro muito importante, uma vez que, com uma velocidade do ar adequada, os ocupantes poderão tolerar gradientes de temperaturas interiores mais elevadas.

A ventilação natural tem também um efeito directo na remoção dos ganhos internos, limitando o aumento da temperatura no interior do espaço. Esta é uma estratégia de arrefecimento utilizada nos climas moderados, nos quais os edifícios têm aberturas francas para o exterior. Neste tipo de edifícios, as taxas de renovação do ar tendem a ser muito elevadas e a temperatura interior iguala a exterior. É uma estratégia que deve ser acompanhada de sombreamento, que evite elevados ganhos devidos à radiação solar, sendo eficaz apenas em locais onde a temperatura exterior está próxima da temperatura de conforto.

Uma outra estratégia baseia-se no arrefecimento da estrutura do edifício no período em que este se encontra desocupado, é conhecida como arrefecimento nocturno. Neste caso, o sistema retira partido das amplitudes elevadas dia/noite e assim utiliza a ventilação para arrefecer o edifício.

3. A Ventilação em Portugal

Ao longo deste capítulo far-se-á uma incursão pela regulamentação existente em Portugal que, directa ou indirectamente, aborda o tema da ventilação em edifícios. A norma NP 1037, relativa à ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás servirá de base à análise da ventilação em edifícios. Finalmente serão focados os aspectos dos novos regulamentos dos edifícios¹², publicados em Abril de 2006.

3.1. Normas de ventilação

Em Portugal, nunca foi publicado nenhum regulamento específico sobre ventilação. No entanto, a norma NP 1037, cuja primeira versão data de 1974 [16] apresenta-se como uma norma de ventilação associada à evacuação dos produtos de combustão dos locais em que existem aparelhos a gás. Apesar de não ser específica da ventilação, esta norma, acaba por ser mencionada em diversos regulamentos ligados à área de distribuição de gás canalizado, acabando por ter um carácter quase obrigatório.

3.1.1. A norma NP 1037:2002

A primeira versão desta norma, a NP 1037:1974, foi revista e actualizada no decorrer do ano de 2002, surgindo a norma NP 1037:2002, com o título genérico “Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás” e que *tem por objectivo definir as regras a que devem obedecer os sistemas de ventilação natural dos edifícios de habitação, de modo a que os mesmos cumpram a sua função nos seus múltiplos aspectos, como seja o funcionamento dos aparelhos a gás e a qualidade do ar interior* [17].

Na elaboração da referida norma foram consideradas duas directivas comunitárias:

- a Directiva 90/396/CEE – relativa à aproximação das legislações dos Estados-membros respeitantes aos aparelhos a gás;
- a Directiva 92/42/CEE – relativa às exigências de rendimento para as novas caldeiras de água quente alimentadas com combustíveis líquidos e gasosos.

Dada a importância da ventilação natural, uma preocupação permanente deste trabalho, a embora a norma NP 1037 [17] seja constituída por quatro partes, apenas a primeira delas será objecto de análise neste subcapítulo. As quatro partes que a constituem são:

¹² Regulamento das Características de Comportamento Térmico de Edifícios (RCCTE) e Regulamento de Sistemas Energéticos de Climatização de Edifícios (RSECE), foram publicados em Abril de 2006 e vieram substituir os anteriores regulamentos.

- Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural
- Parte 2: Edifícios de Habitação. Ventilação Mecânica
- Parte 3: Volume dos locais. Posicionamento dos aparelhos de gás
- Parte 4: Instalação e ventilação de cozinhas profissionais

Genericamente, a primeira parte da norma descreve o modelo para determinar as características de aberturas (grelhas), diâmetros e localizações de chaminés, bem como a estanqueidade de caixilharias de janelas e portas, necessárias para garantir uma taxa de renovação de ar dentro de um edifício multifamiliar de 0,6 RPH.

A experiência tem demonstrado que a aplicação dos requisitos da norma se apresentam algo difícil. A norma não contempla a extracção assistida por ventiladores nas cozinhas e casas de banho, sistema mais utilizado nos edifícios portugueses nos últimos 20 anos, desta forma a sua aplicabilidade é muito reduzida, existindo, no país, apenas alguns casos pontuais. De referir que esta intolerabilidade da norma às extracções mecânicas localizadas se deve ao facto de se tratar de uma norma associada à ventilação e evacuação de gases de combustão e esses dispositivos, ainda que, de funcionamento pontual podem provocar distúrbios na exaustão dos gases de combustão.

3.1.1.1. Generalidades

De acordo com a norma, existem uma série de recomendações que se aplicam a todos os edifícios de habitação onde se pretende instalar aparelhos a gás, independentemente da sua localização, permeabilidade e considerações específicas para o dimensionamento do sistema de ventilação natural. Assim:

- os aparelhos a gás podem ser classificados de acordo com o modo de evacuação dos produtos de combustão e de admissão de ar comburentes:
 - Tipo A: aparelhos concebidos para não serem ligados a condutas, ou dispositivos, de evacuação dos produtos de combustão para o exterior do local de instalação;
 - Tipo B: aparelhos concebidos para serem ligados a condutas de evacuação dos produtos de combustão para o exterior, sendo o ar comburentes captado directamente no local de instalação;
 - Tipo C: aparelhos concebidos de modo a que o circuito de combustão¹³ seja estanque rela-

¹³ Circuito de combustão compreende a admissão do ar comburentes, a câmara de combustão, o permutador de calor e a evacuação dos produtos da combustão.

tivamente ao local de instalação;

▪ a ventilação das habitações deve ser geral e permanente, mesmo nos períodos em que a temperatura exterior obriga a manter as portas e as janelas fechadas. Esta ventilação deve compreender:

- entradas de ar nos compartimentos principais, através de aberturas directas para o exterior, ou através de aberturas servidas por condutas de comunicação com o exterior;

- passagens de ar dos compartimento principais¹⁴ para os compartimento de serviço¹⁵;

- saídas de ar dos compartimentos de serviço através de aberturas servidas por condutas individuais ou colectivas;

▪ a ventilação em situação de Inverno e de Verão deve ser considerada separadamente, uma vez que, no Inverno ela será resultante da diferença de temperatura entre o interior e o exterior, enquanto que no Verão, para garantir os caudais previstos na norma, será necessário abrir as portas e janelas que devem, preferencialmente, estar localizadas em fachadas opostas, de maneira a permitir o aproveitamento da diferença de pressões provocada pela acção do vento;

▪ a disposição dos compartimentos e a orientação das suas aberturas para o exterior devem estar coordenadas com a direcção do vento predominante no local;

▪ a permeabilidade ao ar da envolvente do edifício, nomeadamente das portas e janelas, deve obedecer às exigências da norma, sendo admitidas alterações desde que o desempenho do sistema de ventilação não seja afectado;

▪ existem dois tipos de ventilação das fracções autónomas¹⁶ (FA):

- a ventilação conjunta, na qual todos os compartimentos estão englobados, sendo realizada a admissão de ar pelos compartimentos principais e a exaustão pelos compartimentos de serviço;

- a ventilação separada, na qual a FA é dividida em zonas ventiladas independentes;

▪ o esquema de ventilação separada é tecnicamente recomendável para os compartimentos onde estejam instalados aparelhos a gás do tipo A ou B;

▪ nos edifícios de habitação unifamiliares e nos últimos pisos de habitações multifamiliares é necessário ter em atenção que, devido à sua reduzida altura, os gradientes de pressão gerados por efeito térmico são menos importantes do que no caso de edifício elevados. Isto implica que a concepção da construção destes edifícios tem de ter em conta a direcção do vento pre-

¹⁴ Compartimento principal é um espaço que constitui uma zona de estar ou de dormir, incluindo-se quartos, escritórios e salas de estar e de jantar.

¹⁵ Compartimento de serviço é um espaço no qual existem zonas de lavagem, instalações sanitárias ou zonas de confecção de alimentos.

¹⁶ Fração Autónoma, de acordo com o RCCTE e o RSECE, é cada uma das partes do edifício dotadas de um contador individual de consumo de energia, separada do resto do edifício por uma barreira física contínua, e cujo direito de propriedade ou fruição seja transmissível autonomamente.

dominante em cada local;

- em habitações unifamiliares, a ventilação deve ser conjunta, de modo a aproveitar os gradientes de pressão gerados entre as várias fachadas, por acção do vento. Exceptuam-se os casos em que se encontram instalados aparelhos de circuito não estanque;
- existem sistemas de aspiração do pó centralizados que podem extrair caudais de ar significativos, no entanto, uma vez que ocorrem em períodos limitados no tempo não é necessário entrar em conta com a existência de tais sistemas no dimensionamento da ventilação natural da FA;
- os exaustores com ventilador incorporado são sistemas mecânicos e, como tal, são incompatíveis com a estratégia de ventilação natural prevista na norma. A sua integração indevida em sistemas de ventilação natural ocasiona graves distúrbios que frequentemente se traduzem no incumprimento dos caudais impostos.

3.1.1.2. Requisitos de ventilação

A NP 1037-1 [17] utiliza a noção de caudal-tipo, para estabelecer as exigências da ventilação. Os referidos caudais foram determinados com base em critérios de QAI, quando todos os compartimentos se encontram em plena utilização, e devem ser entendidos como elementos de dimensionamento e não como um caudal a assegurar fisicamente, uma vez que não há controlo sobre as acções que promovem a ventilação natural.

A determinação do caudal-tipo de ventilação é baseada no maior valor de ventilação que se obtém ao aplicar as três condições que se seguem:

- as exigências mínimas de ventilação impõem, 1 RPH nos compartimentos principais e 4 RPH nos compartimentos de serviço;
- em instalações sanitárias, o caudal de extracção deve ser sempre superior a $30 \text{ m}^3/\text{h}$ e, se existir chuveiro ou banheira, o caudal de extracção deve ser superior a $45 \text{ m}^3/\text{h}$;
- nas cozinhas, o caudal mínimo permitido é de $60 \text{ m}^3/\text{h}$.

As tabelas seguintes apresentam os caudais-tipo que devem ser respeitados para os compartimentos de serviço e para os compartimentos principais, respectivamente, em função do seu volume. De referir, que no caso em que a estratégia de ventilação adoptada é conjunta, deve ser considerado o volume total dos compartimentos principais.

Tabela 3-1 - Caudais-tipo a extrair nos compartimentos de serviço

Compartimento		Volume				
		$\leq 8 \text{ m}^3$	$> 8 \text{ m}^3$ $\leq 11 \text{ m}^3$	$> 11 \text{ m}^3$ $\leq 15 \text{ m}^3$	$> 15 \text{ m}^3$ $\leq 22 \text{ m}^3$	$> 22 \text{ m}^3$ $\leq 30 \text{ m}^3$
Cozinha e outros espaços com aparelhos a gás instalados		*	60 m ³ /h		90 m ³ /h	120 m ³ /h
Instalação Sanitária	com banheira ou chuveiro	45 m ³ /h		60 m ³ /h	90 m ³ /h	**
	sem banheira ou chuveiro	30 m ³ /h	45 m ³ /h	60 m ³ /h	**	**
Espaços para lavandaria		30 m ³ /h	45 m ³ /h	60 m ³ /h	**	**

*Volumes para os quais não é permitida a instalação de aparelhos a gás do tipo A. Esta montagem é permitida para aparelhos do tipo B desde que o local seja destinado apenas a este.

**Volumes pouco usuais em compartimentos deste tipo em relação aos quais se recomenda o dimensionamento caso a caso.

Tabela 3-2 - Caudais-tipo a admitir nos compartimentos principais

Volume [m ³]	≤ 30	> 30 ≤ 60	> 60 ≤ 90	> 90 ≤ 120	> 120 ≤ 150	> 150 ≤ 180	> 180 ≤ 210	> 210 ≤ 240
Caudal-tipo [m ³ /h]	30	60	90	120	150	180	210	240

3.1.1.3. Permeabilidade ao ar de portas e janelas

A permeabilidade de portas e janelas é fundamental, para a concepção de sistemas de ventilação natural, dado que influencia directamente a permeabilidade do edifício ao ar. Por outro lado, quanto maior for este factor maior serão os distúrbios no sistema de ventilação.

A maior ou menor permeabilidade de um edifício deve-se, essencialmente, ao tipo de janelas e portas instaladas, assim como ao tipo de execução das juntas fixas entre estes elementos e a envolvente. No âmbito da norma NP 1037-1, admite-se, que as juntas fixas são bem executadas e, portanto de permeabilidade reduzida, atribuindo-se, às folhas móveis das aberturas, toda a permeabilidade do edifício. Torna-se necessário limitar a sua permeabilidade, escolhendo convenientemente o tipo de elemento que se irá instalar no edifício, em função da sua exposição ao vento.

O grau de exposição ao vento é definido de acordo com as classes apresentadas na tabela 3-3, que serão necessárias para a definição das perdas de carga das aberturas para o exterior.

Tabela 3-3 - Classes de exposição ao vento das fachadas do edifício ou da FA

Altura acima do solo [m]	Região A			Região B		
	Rugosidade I	Rugosidade II	Rugosidade III	Rugosidade I	Rugosidade II	Rugosidade III
≤ 10	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 1	EXP 2	EXP 3
> 10 e ≤ 18	EXP 1	EXP 2	EXP 3	EXP 2	EXP 3	EXP 4
> 18 e ≤ 28	EXP 2	EXP 3	EXP 4	EXP 2	EXP 3	EXP 4
> 28 e ≤ 60	EXP 3	EXP 4	EXP 4	EXP 3	EXP 4	EXP 4

Notas:

Região A – todo o território nacional, excepto os locais pertencentes à região B

Região B – região autónoma da Madeira e dos Açores e as localidades situadas numa faixa de 5 km de largura junto à costa e/ou altitude superior a 600 m

Rugosidade I – edifícios situados no interior de uma zona urbana

Rugosidade II – edifícios situados na periferia d uma zona urbana ou numa zona rural

Rugosidade III – edifícios situados em zonas muito expostas

Os limites de 10, 18 ,28 e 60 m correspondem, em geral, a edifícios com 3, 6, 9 e 20 pisos, respectivamente.

Permeabilidade ao ar de janelas e portas exteriores

No que diz respeito à classe de permeabilidade ao ar das janelas e das portas de uma habitação, que comunicam com o exterior deve obedecer ao que se apresenta na tabela 3-4. Os valores indicados destinam-se a garantir o conforto dos ocupantes através da redução de correntes de ar indesejáveis. As classes foram definidas de acordo com a Directiva Comunitária UEAtc¹⁷ para a homologação de janelas [18], documento este utilizado em Portugal para a certificação destes elementos da construção.

De acordo com a referida directiva, a permeabilidade ao ar de uma janela é caracterizada por uma curva indicando o caudal que a atravessa, expresso em função da diferença de pressão entre as duas faces. Este caudal pode ser referenciado ao comprimento das juntas móveis ($\text{m}^3/\text{h.m}$) ou à área móvel da janela ($\text{m}^3/\text{h.m}^2$). As janelas, segundo estas características podem ser classificadas em quatro categorias, A1, A2, A3 e A4. Na figura 3-1, onde as características de cada uma das classes se encontram representadas não se encontra a categoria A4 devido ao facto de ser uma classificação ainda recente.

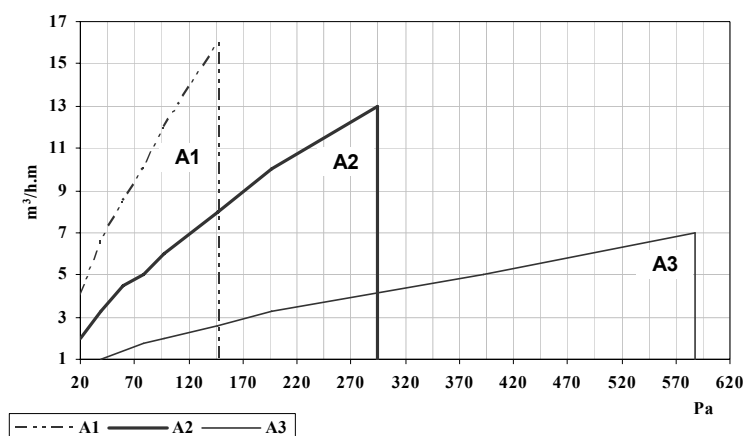


Figura 3-1 - Permeabilidade ao ar por comprimento de junta móvel

¹⁷ UEAtc – Union Européenne pour l'Agrément Technique dans la Construction

Uma janela de categoria A2, por exemplo, será aquela cuja característica se encontra abaixo da curva A2 da figura anterior, ou seja, abaixo da recta que passa pelo ponto de caudal $6 \text{ m}^3/\text{h.m} @ 100 \text{ Pa}$.

Tabela 3-4 - Classes de permeabilidade ao ar das janelas e portas exteriores em função da sua exposição

Altura acima do solo [m]	Região A			Região B		
	Rugosidade I	Rugosidade II	Rugosidade III	Rugosidade I	Rugosidade II	Rugosidade III
≤ 10	A1	A2	A2	A1	A2	A2
$> 10 \text{ e } \leq 18$	A1	A2	A2	A1	A2	A2
$> 18 \text{ e } \leq 28$	A1	A2	A2	A2	A2	A2
$> 28 \text{ e } \leq 60$	A2	A2	A2	A2	A2	A3

Permeabilidade ao ar de portas de patamar

A permeabilidade das portas de patamar não deve exceder os $12 \text{ m}^3/(\text{h.m}^2)$ para um gradiente de pressão de 100 Pa. O mesmo acontece com as portas interiores que limitam sectores separados de ventilação, sendo por isso consideradas portas de permeabilidade reduzida.

Permeabilidade ao ar de portas interiores

As portas interiores que delimitem zonas pertencentes ao mesmo sector de ventilação devem possuir aberturas permanentes, com perdas de carga nunca superiores a 3 Pa, de modo a que nunca se verifique qualquer restrição à passagem do ar.

3.1.1.4. Aberturas de admissão de ar em paredes de fachada

Aberturas de admissão de ar nas paredes de fachada consistem em dispositivos, instalados nas fachadas exteriores, e que estabelecem uma comunicação directa entre o interior e o exterior do edifício. O dimensionamento destas aberturas deve basear-se na classe de exposição ao vento, tal como se apresenta na tabela 3-5.

Tabela 3-5 - Aberturas de admissão de ar instaladas nas fachadas dos edifícios

Classe de Exposição ao Vento	Tipo de abertura	Δp para $Q_{\text{admitido}} > Q_{\text{ctipo}}$ [Pa]	Δp para $Q_{\text{admitido}} < 4.Q_{\text{ctipo}}$ [Pa]
EXP 1	Não regulável	10	60
EXP 2	Auto-regulável	10	260
EXP 3	Auto-regulável	10	240
EXP 4	Auto-regulável	10	380

Q_{ctipo} é o caudal-tipo previsto pela norma para o compartimento em questão

As aberturas auto-reguláveis são dispositivos que variam a sua área útil de passagem, automaticamente e de acordo com os diferenciais de pressão existentes entre o interior e o exterior do edifício. Com este comportamento evitam-se caudais muito elevados, que ocorrem quando o

vento tem uma velocidade elevada e incide directamente na abertura.

3.1.1.5. Passagens de ar interiores

As aberturas que garantem a passagem do ar entre os compartimentos principais e os compartimentos de serviço devem ter perdas de carga da ordem de 1 Pa, para caudais-tipo inferiores a 60 m³/h, e para caudais superiores, as perdas de carga não devem ultrapassar os 3 Pa. As áreas úteis de passagem dessas aberturas apresentam-se na tabela 3-6.

Tabela 3-6 - Áreas úteis das aberturas interiores

Área útil [cm ²]	Caudal - tipo ¹⁸ [m ³ /h]
100	até 30
200	de 30 a 90
250	de 90 a 120

De referir que estas aberturas podem assumir diferentes configurações: folga na porta, grelha aplicada na porta ou grelha aplicada na parede interior.

3.1.1.6. Aberturas de evacuação de ar

As aberturas de evacuação de ar podem ser servidas por condutas individuais ou por condutas colectivas. Se situados nos cinco últimos pisos de um edifício devem ter uma área útil superior aos valores indicados na tabela 3-7, devendo a perda de carga ser inferior a 3 Pa. Nos restantes pisos, e para o caso de uma conduta colectiva a perda de carga na grelha deve ser da ordem dos 10 Pa, com uma área útil equivalente à indicada na mesma tabela.

Tabela 3-7 - Áreas úteis das aberturas de evacuação de ar

Caudal - tipo [m ³ /h]	Área útil [cm ²]	
	5 últimos pisos $\Delta p = 3 \text{ Pa}$	Restantes pisos $\Delta p = 10 \text{ Pa}$
30	80	40
45	120	60
60	150	80
90	220	120
120	280	150

3.1.1.7. Condutas de evacuação de ar

Tal como já foi referido anteriormente, as condutas de evacuação podem ser individuais ou colectivas, referindo-se nesta secção apenas os detalhes de dimensionamento relativos às condutas individuais.

¹⁸ Este caudal-tipo corresponde, para a saída de um compartimento principal, ao caudal-tipo de entrada de ar nesse compartimento. Para um compartimento de saída corresponde ao caudal-tipo de evacuação.

A tabela 3-8 apresenta as secções das condutas individuais lisas em função do caudal-tipo de evacuação. Note-se que as entradas de ar destas condutas devem ser instaladas na parede oposta à da porta do compartimento, para garantir uma ventilação mais eficaz do espaço.

Tabela 3-8 - Áreas de secção mínima das condutas individuais de evacuação

Caudal – tipo [m ³ /h]	Conduta circular [cm ²]	Conduta quadrada [cm ²]	Conduta rectangu- lar [cm ²]
30	80	100	110
45	100	130	135
60	120	155	165
90	160	205	220
120	200	255	270

3.2. Regulamentos térmicos e de sistemas em edifícios

O Regulamento das Características Térmicas dos Edifícios (RCCTE) [19], surgiu em 1991, e foi o primeiro instrumento legal que, em Portugal, impôs requisitos ao projecto de novos edifícios e de grandes remodelações por forma a salvaguardar a satisfação das condições de conforto térmico nesses edifícios sem necessidades excessivas de energia, quer no Inverno, quer no Verão [20]. Este regulamento tinha como objectivo orientar os projectistas para a redução dos consumos energéticos nos edifícios, sem comprometer o conforto térmico dos ocupantes, e fazendo o maior aproveitamento possível das condições climáticas do nosso país. O Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) [21], foi posto em prática em 1998 e procurava introduzir algumas medidas de racionalização, fixando limites à potência máxima dos sistemas a instalar num edifício para, sobretudo, evitar o seu sobredimensionamento, conforme a prática do mercado mostrava ser comum, contribuindo para a sua eficiência energética, evitando investimentos desnecessários [22]. Este regulamento impunha ainda algumas medidas, a aplicar aos sistemas em função da sua potência, e que visavam a racionalização energética.

Quinze anos passados, desde o aparecimento do primeiro regulamento, verificou-se que os objectivos a que o RCCTE se propunha foram superados em muitos aspectos, nomeadamente no que diz respeito ao isolamento térmico da envolvente dos edifícios que foi generalizado, até mesmo em zonas de clima mais ameno. Quanto ao RSECE, não foi tão bem sucedido, uma vez que se verificou uma certa indiferença por parte das entidades licenciadoras e lançou a aplicação do regulamento para a responsabilidade dos projectistas, instaladores e fornecedores dos equipamentos. Para além disso, a instalação de sistemas de climatização, em Portugal, na última década aumentou, significativamente, como resposta à melhoria do nível de vida das populações e do seu maior grau de exigência em termos de conforto [22], o que provocou um

aumento dos consumos energéticos no sector dos edifícios de cerca de 12 % por ano.

Chegou por isso a altura de fazer uma actualização destes regulamentos com o objectivo de os aproximar do panorama actual da União Europeia respeitando, para isso, a Directiva 2002/91/CE, publicada em 16 de Dezembro, e que diz respeito ao desempenho energético dos edifícios impondo *aos Estados Membros o estabelecimento e actualização periódica de regulamentos para reduzir os consumos energéticos nos edifícios (...)* [22].

Em Abril de 2006, os novos regulamentos RCCTE [20] e RSECE [22] foram publicados, com as devidas alterações e revisões que cumprem as imposições da Directiva e normas europeias mantendo-se, no entanto, a estratégia de aplicação dos dois regulamentos:

- RCCTE – orientado para os edifícios residenciais e os pequenos serviços;
- RSECE – orientado para os edifícios com climatização e consumos efectivos elevados.

As alterações de base relativamente aos regulamentos anteriores são:

- aumentar as exigências de qualidade aproximadamente para dobro;
- exigir qualificações específicas para quem aplica os regulamentos e para quem verifica a sua aplicação;
- dar estrutura estável aos regulamentos, com objectivos actualizados de forma periódica pelos Ministérios que tutelam o sector.

No entanto, a estrutura actual de aplicação dos regulamentos mantém-se inalterada, para que os hábitos adquiridos e conhecimentos já existentes sejam capitalizados.

De uma forma global, na tabela 3-9 apresenta-se o campo de aplicação destes dois regulamentos consoante o tipo de edifício e dimensão dos sistemas instalados.

Tabela 3-9 - Aplicação dos regulamentos em função do tipo de edifício e dimensão do sistemas de AVAC

	RCCTE	RSECE
RESIDENCIAL		
sem sistema de AVAC	SIM	NÃO
com sistema de AVAC	SIM	SIM
SERVIÇOS		
potência do sistema de AVAC inferior a 25 kW	SIM	NÃO
potência do sistema de AVAC superior a 25 kW	NÃO ¹⁹	SIM
Área útil de pavimento superior a 1000 m ² (com ou sem sistema de AVAC)	NÃO	SIM

A actualização do RCCTE procurou adequar o nível de exigências ao actual contexto social, económico e energético, promovendo um aumento da qualidade térmica dos edifícios. A revisão do RSECE tem os seguintes objectivos [22]:

¹⁹ NÃO: não significa que, no RSECE, não se declarem aplicáveis certos requisitos de qualidade mínima para a envolvente.

- *definir as condições de conforto térmico e de higiene que devem ser requeridas (requisitos exigenciais) nos diferentes espaços dos edifícios, em consonância com as respectivas funções;*
- *melhorar a eficiência energética global dos edifícios, não só nos consumos para climatização mas em todos os tipos de consumos de energia que neles têm lugar, promovendo a sua limitação efectiva para padrões aceitáveis, quer nos edifícios existentes, quer nos edifícios a construir ou nas grandes intervenções de reabilitação de edifícios existentes;*
- *impor regras de eficiência aos sistemas de climatização que permitam melhorar o seu desempenho energético efectivo e garantir os meios para a manutenção de uma boa qualidade do ar interior, quer a nível do projecto, quer a nível da sua instalação, quer durante o seu funcionamento, através de uma manutenção adequada;*
- *monitorizar com regularidade as práticas da manutenção dos sistemas de climatização como condição da eficiência energética e da qualidade do ar interior dos edifícios.*

No que diz respeito à ventilação e Qualidade do Ar Interior, os regulamentos anteriores, não impunham qualquer restrição às taxas de ventilação nem à QAI. Existiam, apenas, valores indicativos, 30 a 35 m³/h para os espaços típicos, que os projectistas poderiam adoptar, mas sem qualquer penalização caso não o fizessem.

Os novos regulamentos foram drasticamente alterados, no que diz respeito a estes temas e adicionaram ao seu objectivo impor *os requisitos mínimos de ventilação e tratamento de ar* [22].

As alterações, e inovações, mais importantes dos novos regulamentos, no que respeita a ventilação e a QAI, são:

RCCTE [20]:

- por razões de higiene e conforto dos ocupantes os edifícios devem ser ventilados em permanência com um caudal mínimo de ar que garanta uma taxa de renovação mínima de 0,6 RPH, quer os sistema de ventilação existente seja natural, mecânico ou híbrido;
- edifícios que apenas disponham de ventilação natural e estiverem em conformidade com a norma NP1037-1, a taxa de renovação a adoptar deve ser 0,6 RPH;
- se, num edifício o único dispositivo de ventilação mecânica for um exaustor na cozinha, uma vez que este tem um funcionamento intermitente e por curtos períodos de tempo, considera-se que o edifício é ventilado naturalmente;

- neste e noutros edifícios com ventilação natural que não respeitem a norma NP1037-1, os valores para a taxa de renovação mínima (tabela 3-10) [20] são função da tipologia do edifício, da sua exposição ao vento (tabela 3-3) e da permeabilidade ao ar da sua envolvente;
- em edifícios que disponham de ventilação mecânica a taxa de renovação horária é calculada com base no maior dos dois valores de caudal insuflado ou extraído do edifício devendo-se, no caso de sistemas de caudal variável calcular o valor médio diário;
- num edifício com ventilação mecânica, as infiltrações/exfiltrações, são função do desequilíbrio existente entre os caudais de insuflação e extracção mecânicos. Este efeito pode ser desprezado se a diferença entre os caudais for superior a 0,1 RPH no caso de edifícios com EXP 1, 0,25 RPH para EXP 2 e 0,5 RPH para EXP 3 e 4;
- devem somar-se ao consumo energético global do edifício, os consumos eléctricos dos ventiladores, os quais se admitem em funcionamento permanente.

Tabela 3-10 - Valores convencionais de R _{ph} para edifícios de habitação [RPH]										
Classe de exposição ao vento	Dispositivos de Admissão na fachada	Permeabilidade ao ar das caixilharias (de acordo com EN 12207)								Edifícios conformes com NP 1037-1
		Sem classificação		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		Caixa de estore		
		sim	não	sim	não	Sim	não	sim	não	
EXP 1	sim	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	0,75	0,65	0,60
	não	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
EXP 2	sim	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	0,80	0,70	
	não	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
EXP 3	sim	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	0,85	0,75	
	não	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	
EXP 4	sim	1,05	0,95	1,00	0,90	0,95	0,85	0,90	0,80	
	não	1,15	1,05	1,10	1,00	1,05	0,95	1,00	0,90	

RSECE [22]:

- no projecto de novos edifícios que possuam sistemas de climatização com ventilação mecânica e para as residências que sejam abrangidas por este regulamento, o caudal mínimo de ar novo, em quartos e salas deve ser $30 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$;
- em espaços onde seja permitido fumar o caudal mínimo de ventilação deverá ser pelo menos, $60 \text{ m}^3/(\text{h.ocupante})$ e estes espaços devem encontrar-se em depressão relativamente às zonas contíguas;
- se, os materiais de construção utilizados não forem ecologicamente limpos, os sistemas de renovação de ar devem garantir um acréscimo de 50 % aos caudais mínimos de ar novo, de forma a que os valores de concentrações máximas de poluentes admitidas não sejam excedidos (tabela 3-11) [22];

Tabela 3-11 - Concentrações máximas admissíveis no interior de edifícios existentes

Parâmetros	Concentração máxima permitida [mg/m ³]
Partículas suspensa no ar (PM10)	0,15
Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800
Monóxido de Carbono (CO)	12,5
Ozono (O ₃)	0,2
Formaldeído (HCHO)	0,1
Compostos orgânicos voláteis totais (TVOC)	0,6

- o dimensionamento dos sistemas de AVAC para novos edifícios tem de ser fiscalizado por entidades independentes e para ser certificado tem de estar de acordo com os regulamentos no que diz respeito às taxas mínimas de ventilação. Estas taxas têm valores semelhantes às do regulamento anterior, residindo a diferença no seu carácter obrigatório. No caso dos limites de concentrações de poluentes não serem excedidos, as taxas de ventilação podem ser inferiores às regulamentadas;
- a eficiência da ventilação em cada espaço do edifício tem de ser tomada em consideração na fase de dimensionamento.

Quanto ao período de arrefecimento, são encorajados todos os meios que permitam a diminuição da temperatura interior, sem a necessidade de recorrer a sistemas de arrefecimento mecânico. Assim, devem aumentar-se os caudais de ventilação, sempre que a temperatura do ar exterior for inferior à interior, a abertura das janelas deve ser possível, excepto nos casos em que é aconselhável não o fazer, situações em que têm de existir aberturas alternativas no edifício, como por exemplo grelhas de insuflação. O sombreamento de envidraçados é obrigatório se estes tiverem uma área superior a 5 % da área de pavimento excepto no caso de se encontrarem no quadrante Norte.

4. Métodos de Previsão e Dados Climáticos

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 utilizada. A correcta previsão do desempenho térmico e energético de um edifício e a escolha acertada de soluções construtivas e sistemas exigem, entre outro factores, o conhecimento das características climáticas dos locais de implantação. Sendo, a simulação térmica um método de avaliação do desempenho de um edifício do ponto de vista térmico e energético é fundamental que as informações climáticas utilizadas sejam credíveis, detalhadas e as mais próximo possíveis da realidade, razão pela qual, neste capítulo, se apresentarão também os dados climático que serão utilizados no decorrer das simulações.

4.1. Métodos de Previsão

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 AVAC²⁰, e muitos outros. A cada instante, dentro do edifício, há inúmeros processos de transferência de calor nos subsistemas, como por exemplo a entrada de uma pessoa, pode afectar outro subsistema, que por sua vez, influencia o seguinte resultando, em cada momento, em situações com requisitos térmicos e de QAI totalmente diferentes. 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 rea-

²⁰ Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

lista, 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, no entanto, estes sistemas podem atingir, facilmente, o milhar de equações. Por zona térmica deve entender-se um espaço com características térmicas semelhantes e não necessariamente coincidente com as zonas físicas do edifício.

A simulação detalhada deve a sua precisão ao seu carácter dinâmico por duas razões:

- permite calcular e armazenar as variáveis relevantes em cada intervalo de tempo;
- a influência de parâmetros de controlo, padrões de ocupação e tipo de actividades podem ser integrados na simulação.

Uma vez definidas as condições fronteira de um determinado sistema é possível avaliar o estado de qualquer variável, em qualquer instante de tempo e observar os perfis temporais de evolução de temperaturas, fracção de carga dos sistemas, entre outros. A análise destes perfis pode ser determinante para a decisão do tipo de sistemas a adoptar e na definição das estratégias de controlo e de gestão.

A simulação detalhada tem uma outra vantagem, que a torna única. Permite efectuar estudos paramétricos associados ao sistema e/ou ao edifício e desta forma, optimizar soluções com o objectivo de reduzir os consumos energéticos e aumentar a Qualidade do Ar Interior.

As vantagens deste tipo de simulação são:

- fácil incorporação das componentes dinâmicas e precisão acrescida relativamente aos métodos simplificados;
- possibilidade de integração simples de estratégias de controlo;
- análise da evolução de um grande número de variáveis;
- facilidade de comparação de soluções alternativas e realização de estudos paramétricos;
- maior precisão na previsão da potência dos equipamentos de AVAC a instalar;
- previsão de consumo energético anual;
- possibilidade de quantificação dos efeitos de diferentes opções de projecto (arrefecimento gratuito²¹, sombreamento, isolamento térmico, tipo de envidraçados, acabamentos interiores, ventilação natural) nos parâmetros referidos acima,;
- previsão do comportamento do edifício em situações extremas (ausência ou limitações do

²¹ *free-cooling*

sistema de AVAC, carga térmica invulgar);

- previsão de temperaturas superficiais da envolvente interior e exterior;
- previsão do conforto térmico;
- possibilidade de estudos dos efeitos da estratificação interior (ventilação por deslocamento).

No entanto, deve referir-se que existem alguns obstáculos à implementação da simulação detalhada na fase de projecto, quer de edifícios, quer dos sistemas em que os principais factores/obstáculos são:

- necessidade de utilizadores especializados, quer em termos gerais sobre a área da física dos edifícios, quer em termos específicos sobre os métodos, algoritmos e estrutura do programa específico a utilizar;
- dificuldade em reunir um conjunto de informação necessária à simulação detalhada, tais como: dados climáticos completos, padrões de ocupação, entre outros. Esta dificuldade é acrescida nas fases iniciais do projecto por indefinição do próprio projecto;
- dificuldades na conversão dos dados existentes para o formato requerido pelo *software*, (por exemplo: geometria do edifício, informação relativa a equipamento, resultados experimentais, entre muitos outros);
- problemas de integração dos diferentes componentes envolvidos na simulação;
- falta de documentação apropriada;
- resistência do mercado em abandonar as soluções tradicionais e estabelecidas;
- limitações de tempo por parte dos projectistas para se familiarizarem com este tipo de ferramentas;
- falta de formação e divulgação na utilização deste tipo de recursos.

Ao longo dos últimos 50 anos foram desenvolvidos centenas de *softwares* de simulação detalhada. O princípio de funcionamento de todas essas ferramentas é a simulação energética de edifícios completos e cujo objectivo é fornecer ao utilizador os indicadores da performance dos edifícios (as necessidades energéticas, a temperatura, a humidade, a QAI, etc.).

No âmbito do trabalho que se deseja desenvolver e dos objectivos que se pretendem alcançar, do leque alargado de ferramentas disponíveis, existem quatro que são, pelas suas características específicas, pela informação e apoio existentes, as mais indicadas. A saber: o ESP-r, o

VisualDOE, o EnergyPlus e o TRNSYS 15 associado ao COMIS²²:

- ESP-r – *Environmental Systems Performance, Research version* é utilizado para simular o comportamento térmico dos edifícios em condições reais com o maior rigor possível sendo mais direccionado para a investigação. Permite analisar, embora com algumas limitações, escoamentos interiores utilizando Mecânica dos Fluidos Computacional²³ (CFD) e efectuar estudos de iluminação;
- DOE – uma ferramenta de simulação dinâmica que utiliza o método das funções de transferência, para calcular os ganhos internos do edifício e as cargas de aquecimento e arrefecimento, assumindo uma temperatura interior constante. É aplicável a situações onde se pretenda analisar o conforto, a climatização e a iluminação. Este *software* dispõe de uma interface gráfica que permite ao utilizador trabalhar facilmente com o DOE;
- EnergyPlus – é um programa de simulação do comportamento energético de edifícios e sistemas AVAC. Surge da junção do código de dois outros *softwares*: o BLAST²⁴ e o DOE. Reúne assim as melhores características do DOE às capacidades de cálculo do BLAST, no que diz respeito às componentes radiativas da envolvente.
- TRNSYS – *Transient System Simulation Program* é um programa que foi desenvolvido para simular o comportamento transiente de sistemas energéticos com base num conjunto de módulos (subrotinas em linguagem FORTRAN), onde estão descritos os modelos de cada componente. É especialmente direccionado para a simulação e análise de sistemas permitindo fazer diagnósticos energéticos de sistemas e edifícios.

4.1.1. ESP-r

O ESP-r é um *software* de simulação que procura simular um edifício em condições reais, analisando o seu desempenho em termos de consumos energéticos, conforto dos ocupantes, qualidade do ar, controlo de sistemas... O seu principal objectivo é simular um modelo, o mais próximo possível da realidade, através de simulação dinâmica. Para esse efeito, dispõe de modelos matemáticos que permitem simular a transferência de calor e humidade, caudais de ar, iluminação, sistemas de controlo e uma gama alargada de tecnologias energéticas convencionais e renováveis.

O programa utiliza o método das diferenças finitas na modelação térmica, podendo por isso

²² Multizone Air Flow Model

²³ Computational Fluid Dynamics

²⁴ Building Loads Analysis and System Thermodynamics

ser utilizado para simular componentes não lineares, como por exemplo Paredes de Trombe²⁵. Ao utilizar um algoritmo com diferenças finitas o ESP necessita, para conseguir convergir, de intervalos de tempo²⁶ de integração muito pequenos, na ordem de apenas alguns minutos, o que resulta em computadores de elevada capacidade de cálculo e de armazenamento de dados. É possível utilizar métodos de cálculo avançados para fazer a integração dos diversos tipos de equações, que representam a conservação de energia e de massa que ocorrem dentro dos edifícios. Dispõe de uma base de dados, que permite gerir todos os modelos de componentes dos sistemas, existindo sempre a possibilidade de o utilizador criar e adicionar os seus próprios modelos. No entanto, esta é uma tarefa nem sempre fácil, devido às regras a que é necessário obedecer para que o ESP reconheça os novos componentes.

Para além desta base de dados o *software* disponibiliza informação relativa aos materiais que constituem a envolvente do edifício, controlo, sombreamento, entre outras. Deste modo, o utilizador poderá sempre acrescentar os seus próprios dados na simulação do edifício. A figura 4-1 [23] representa um diagrama estrutural do *software* com o fluxos de informação necessários à simulação.

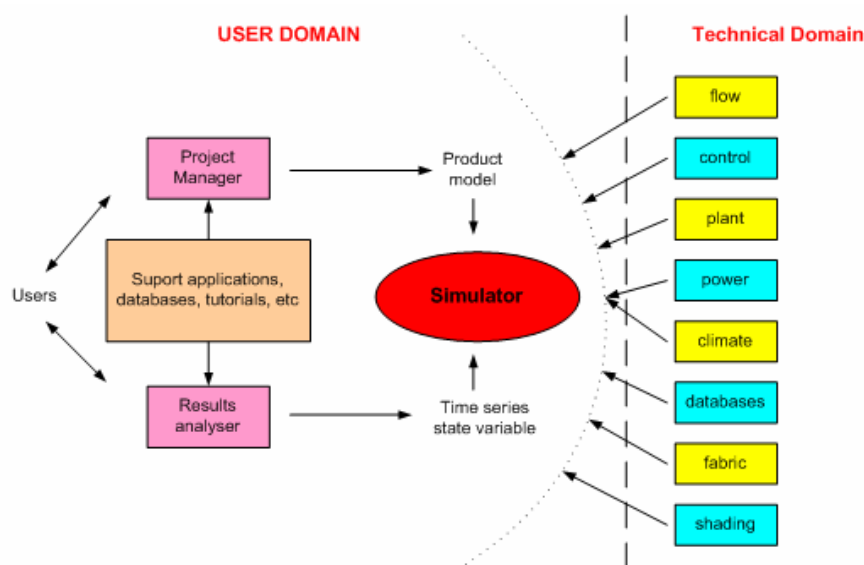


Figura 4-1 - ESP-r - A estrutura

O ESP-r dispõe de um núcleo central, o *Project Manager*, ligado a uma série de módulos que permitem simular, gerir as bases de dados, analisar e visualizar resultados. As características principais dos diferentes módulos apresentam-se em seguida:

- *Project Manager* – permite a definição do edifício, a configuração do sistema e controla o

²⁵ Paredes de Trombe: paredes com grande inércia térmica, que são usadas para "guardar" o calor quando a parede é atingida pela radiação solar. Esta energia acumulada é depois radiada directamente para o interior do edifício a partir da outra face da parede.

²⁶ timesteps.

acesso do utilizador às bases de dados;

- *Product Model* – contém a descrição completa do edifício e configuração dos sistemas;
- *Simulator* – é o núcleo do programa e responsável por todo o processo de cálculo. Permite obter os consumos e os fluxos energéticos do edifício e do sistema, utilizando um método rigoroso no qual o edifício/sistema são divididos em volumes finitos. Para cada intervalo de tempo, o balanço de energia e de massa é aplicado a cada um dos volumes finitos, originando uma matriz diferencial cuja solução é obtida numericamente;
- *Database Management Modules* – permitem a introdução de dados climáticos, ganhos internos, propriedades de materiais de construção, sombreamentos, entre outros. Cada um destes módulos dará origem a um ficheiro que será utilizado no *Project Manager* e no *Simulator*;
- *Results Analyzer* – mecanismo de análise e visualização dos resultados gerados pelo *Simulator*.

Para facilitar a introdução dos dados no programa, o código do *Simulator* encontra-se dividido de acordo com diferentes domínios, nomeadamente: rede de escoamento de fluidos, CFD, AVAC, energias renováveis, controlo, entre outros;

O ESP-r permite analisar o escoamento no interior do edifício (rede de escoamento de fluidos) utilizando para tal dois módulos distintos:

- Método Nodal – modelo estacionário de um fluído incompressível numa rede de nós de pressão interligados por condutas, frinchas, entre outros, e sujeitos a condições fronteiras variáveis no tempo. O programa calcula os caudais mássicos em cada ligação bem como o gradiente de pressão. É um modelo limitado, uma vez que não contabiliza os escoamentos no interior dos espaços;
- Modelação utilizando CFD – este modelo supera as limitações do anterior, baseando-se na resolução de equações de conservação da massa, momento e energia térmica em malhas 2D ou 3D.

Os sistemas AVAC e de energias renováveis são modelados utilizando quatro tipos de sistemas:

- climatização, incluindo aquecimento, arrefecimento e humidificação;
- sistemas solar activos, com colectores solares e armazenamento térmico;
- sistema de aquecimento central, com caldeiras, bombas, radiadores e reservatórios de

água quente;

- um sistema de conversão de energia renovável incluindo componentes fotovoltaicos e aerogeradores.

O sistema de controlo do ESP é um conjunto de ciclos de controlo, cada um manipulando um determinado parâmetro do modelo (temperatura, abertura de uma janela, ...). Cada ciclo de controlo permite actuar e avaliar os seguintes elementos:

- um sensor, para detectar o parâmetro a controlar;
- um actuador, para efectuar a operação determinada pelo ciclo;
- uma lei de controlo que representa as características do sensor e/ou do actuador (atraso, histerese, desfasamento,...).

O *software* dispõe de uma interface gráfica de fácil utilização e permite a visualização imediata dos resultados. O facto de permitir a visualização do edifício introduzido facilita a detecção de erros grosseiros (figura 4-2).

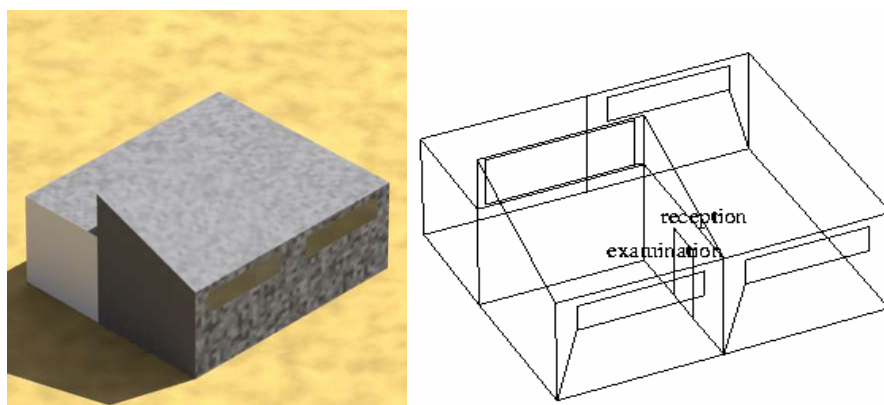


Figura 4-2 - ESP – Visualização do modelo

O ESP-r foi concebido para o sistema operativo UNIX²⁷, sendo suportado pelo ambiente SOLARIS²⁸ ou LINUX²⁹. Este é um detalhe que o torna pouco atractivo da óptica do utilizador comum e que pode colocar alguns entraves à sua utilização. No entanto, sendo um programa direccionado para o ensino e investigação, o ESP-r é um programa que pode ser descarregado da Internet sem qualquer encargo.

Trata-se de uma ferramenta poderosa que permite, numa primeira fase do estudo, a quantificação do impacto da localização, geometria e construção de um edifício, factores que influenciam, fortemente o desempenho operacional e os custos associados. Numa segunda fase, o

²⁷ Universal Internet Exchange

²⁸ Sistema Operativo UNIX desenvolvido pela Sun Microsystems

²⁹ Sistema operativo gratuito do tipo UNIX

modelo permite uma análise com mais detalhe de parâmetros como o controlo ou a QAI.

4.1.2. Visual DOE

O VisualDOE é uma “máscara” do DOE2.1E, programa mais utilizado para a realização de simulações energéticas em edifícios. Trata-se de uma ferramenta poderosa e de fácil utilização desenvolvida por arquitectos e engenheiros e direccionada para os projectistas que pretendam estimar, com precisão, a eficiência energética de um edifício perante um leque de soluções de AVAC alternativas.

Apesar do VisualDOE estar associado ao DOE2.1E, o utilizador não necessita de contactar com este último programa, uma vez que o VisualDOE se encarrega da escrita dos ficheiros de entrada e saída e também da execução da simulação, uma vez que, para todos os efeitos, o VisualDOE é um *frontend* do DOE2.1E.

O programa recorre ao método das funções de transferência, assumindo uma temperatura interior constante, antes de calcular as taxas de extracção de calor dos equipamentos. Para eliminar a necessidade de calcular a interacção entre todas as zonas em simultâneo, o cálculo da condução de calor entre paredes adjacentes é feito utilizando a temperatura das zonas do intervalo de tempo anterior. Ou seja, deste ponto de vista não se trata de um modelo multizona, sendo, normalmente, utilizado em edifícios de grandes dimensões em que as variações de temperatura das zonas e entre zonas não é relevante.

A interface gráfica do programa é muito simples de utilizar (figura 4-3). Enquanto o utilizador cria o modelo, é possível visualizar o edifício e o diagrama do sistema AVAC (figura 4-4). Deste modo a verificação de formas e dimensões das zonas, janelas e outros elementos do edifício é imediata. Sendo também possível importar ficheiros CAD³⁰, o que acelera o processo de introdução de um edifício no programa.

O VisualDOE permite simular a grande maioria de sistemas convencionais em edifícios, incluindo iluminação, artificial e natural, sistemas AVAC, águas quentes sanitárias (AQS) e a envolvente do edifício. Esta interface cria e modifica basicamente dois ficheiros:

- o ficheiro do projecto, onde é armazenada toda a informação relativa a cada alternativa do projecto;
- o ficheiro da base de dados, ou seja, a base de dados do programa, que pode ser actualizada por cada utilizador e onde se pode encontrar informações sobre dados climáticos, equipamen-

³⁰ Computer Aided Design

to, horários, entre outras.

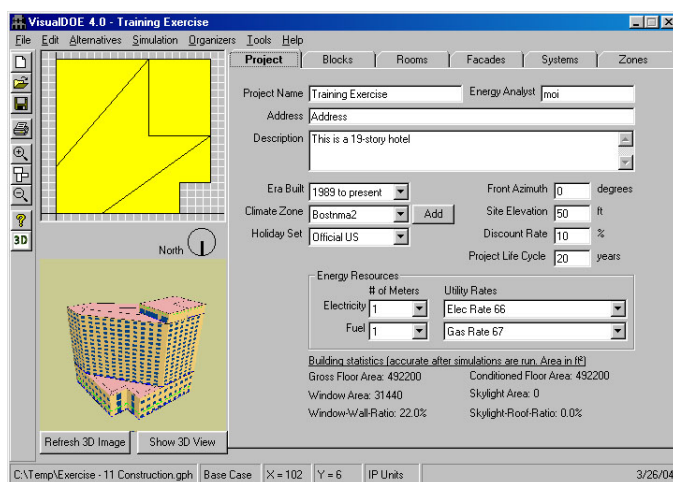


Figura 4-3 - VisualDOE – Interface Gráfica

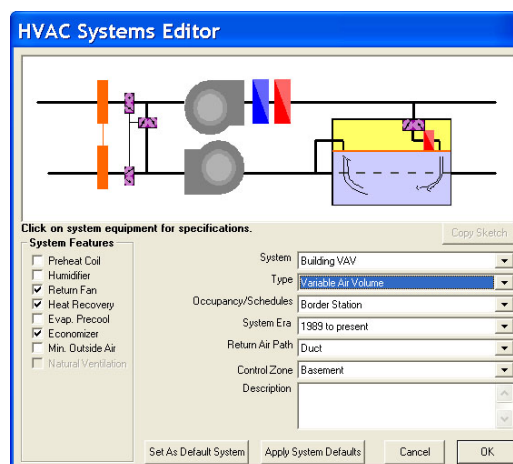


Figura 4-4 - VisualDOE – Introdução do sistema de AVAC

A estrutura do VisualDOE e o modo de circulação da informação para o DOE está esquematizada na figura 4-5 [24].

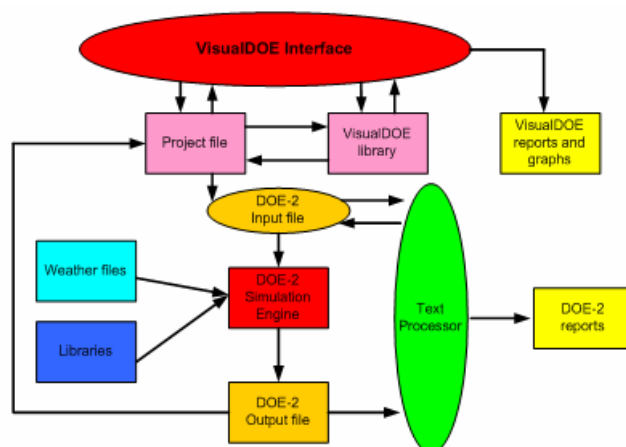


Figura 4-5 - VisualDOE – A estrutura

Na maioria dos *softwares* de simulação, cada zona térmica é introduzida separadamente, o que pode levar a muitas horas de introdução de dados. No VisualDOE, esta tarefa é simplificada, uma vez que ele utiliza o conceito de Bloco, ou seja, permite a introdução de um grupo de zonas térmicas contíguas, localizadas no mesmo piso e com características comuns. Deste modo, não é necessário configurar as zonas e respectiva envolvente individualmente, o programa executa essa tarefa pelo utilizador [24].

No VisualDOE existe uma gama alargada de sistemas AVAC e algumas regras que devem ser respeitadas:

- todas as zonas têm de estar associadas a um sistema;
- zonas não climatizadas não podem ser a zona de controlo de um sistema;

- um sistema necessita de ter associada, pelo menos, uma zona climatizada.

Com este programa é possível associar um sistema AVAC ao edifício, de forma quase automática, com base apenas na dimensão deste e no tipo de ocupação. Com esta opção, pretende-se que um utilizador pouco experiente consiga obter resultados facilmente, podendo também ser útil quando não existe qualquer informação relativamente ao tipo de sistema existente no edifício. No entanto deve referir-se que este tipo de solução poderá ter riscos associados.

No caso de um utilizador experiente e que conheça o tipo de sistemas e características dos seus componentes é possível utilizar o editor dos sistemas AVAC, onde se encontram disponíveis alguns sistemas pré-definidos podendo o utilizador fornecer apenas a informação necessária à simulação.

Outro tipo de sistema que se encontra disponível é o da água quente sanitária (AQS). Através do editor de sistemas de aquecimento de água, o utilizador pode definir as necessidades, os horários de funcionamento e o equipamento que irá fornecer a água quente ao edifício. Este sistema deve ser definido para todo o edifício.

Finalmente, o modelo pode ter apenas um sistema central para a produção de água gelada e água quente para os sistemas AVAC. Disponíveis na base de dados existem *chillers*, caldeiras e bombas de circulação.

O controlo dos sistemas de AVAC pode ser efectuado tendo em conta três módulos disponíveis: temperatura constante, controlo pela zona mais quente e controlo pelo ar exterior.

4.1.3. EnergyPlus

O EnergyPlus é um programa de simulação energética em edifícios, vocacionado para a modelização de sistemas de aquecimento, arrefecimento, iluminação, ventilação e outros fluxos energéticos. Trata-se de uma ferramenta gratuita desenvolvida pelo DOE³¹ em colaboração com diversos investigadores de vários países tendo sido desenvolvido em código aberto³². Em relação a outras ferramentas disponíveis o EnergyPlus destaca-se pelo rigor na modelação da geometria do edifício (incluindo edifícios adjacentes), sistemas de AVAC, e pela possibilidade de integração de modelos que facilitam os estudos de optimização energética (iluminação natural e artificial com *dimmers*, sistemas de ventilação natural e híbrida, superfícies "radiantes", painéis solares, etc.). No entanto, deve referir-se que a introdução de novos módulos no código do programa é uma tarefa complexa, e que exige um elevado grau de for-

³¹ Department of Energy (DOE)

³² *open-source*

mação por parte do utilizador. Existem também módulos que foram desenvolvidos para permitir a interacção entre o EnergyPlus e outros programas, como por exemplo o COMIS³³, programa que analisa a distribuição dos caudais de ar no interior dos espaços e que será apresentado em seguida. Na figura 4-6 [25] representa-se, esquematicamente, a ligação entre os diferentes programas e módulos, no que forma o código base do EnergyPlus.

O EnergyPlus surge da necessidade de criar um sistema de simulação integrada, ou seja, sistema e necessidades energéticas em simultâneo para cada intervalo de tempo. Para esse efeito, foram desenvolvidos dois módulos, um que diz respeito ao edifício, e o cálculo das potências máximas dos equipamentos a instalar nos espaços, e outro para a definição dos sistemas. Esta integração permite a obtenção das temperaturas das zonas mais precisas e próximos dos casos reais, o que é fundamental para o correcto dimensionamento de sistemas, análise de conforto e de QAI.

A simulação integrada também permite a avaliação de sistemas de controlo, adsorção/desadsorção de humidade pela envolvente do edifício, sistemas de aquecimento e arrefecimento radiativos e escoamentos de ar entre diferentes zonas. A simulação decorre em intervalos de tempo que podem ir de 1h a 10 min, utilizando os dados climáticos de um ano representativo de clima local.

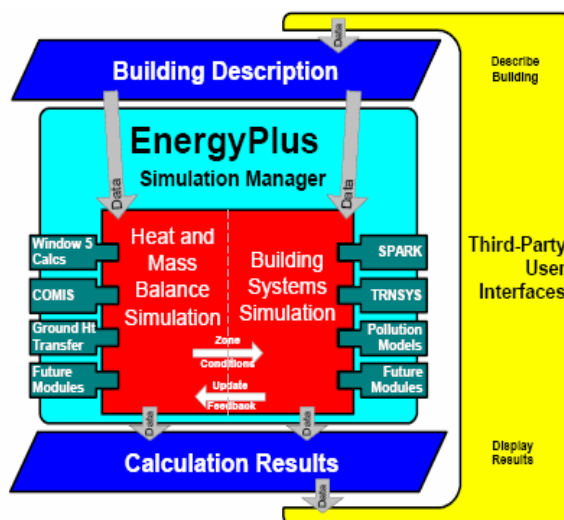


Figura 4-6 - EnergyPlus – Esquema de Princípio

O programa utiliza modelos detalhados de:

- transferências radiativas e convectivas em superfícies exteriores e interiores;
- sistemas de AVAC (elevada flexibilidade);
- trocas de calor com o terreno de implantação;
- transferência de massa (absorção/adsorção de humidade, produção no interior);
- conforto térmico dos ocupantes;
- modelo de “céu” anisotrópico (determinação da radiação e temperatura do céu, entre

³³COMIS - Multizone Air Flow Model

outros);

- simulação de sistemas de iluminação natural e híbridos (controle automático);
- simulação de Ventilação por Deslocamento (DCV);
- simulação de temperaturas e caudais de ventilação natural (COMIS).

Trata-se de um *software* autónomo com o inconveniente de ainda não possuir uma interface gráfica que facilite a sua utilização. Actualmente, existem algumas interfaces a serem desenvolvidas, mas apenas é possível utilizá-las em versões *beta*.

O EnergyPlus, sendo uma ferramenta flexível, permite a importação de dados de outros *softwares*. Entre as diferentes possibilidades destacam-se:

- o DesignBuilder – especificamente desenvolvida para o EnergyPlus permite, através da utilização das bases de dados de materiais, construções, envidraçados, janelas e sombreadores construir o edifício a 3D e exportá-lo, posteriormente para o EnergyPlus. Os dados de desempenho ambiental são exibidos sem ser necessário recorrer a módulos externos ou importação de dados. As aplicações típicas deste programa incluem: avaliação dos níveis de iluminação, visualização do sombreamento no edifício, dimensionamento de equipamentos de aquecimento e arrefecimento, entre outros.
- o ECOTECT – é um *software* de simulação independente que permite exportar, para o EnergyPlus, o ficheiro de entrada – *input* (IDF). É uma interface 3D, intuitiva e com uma série de funções que permitem a análise de iluminação natural e artificial, sombreamentos, comportamento térmico, ventilação e acústica.
- O ESP-r – *software* de simulação já referido e que permite, uma vez introduzido o edifício e características térmicas, criar um ficheiro IDF, que pode ser importado directamente para o EnergyPlus.

4.1.4. TRNSYS

O TRNSYS – *Transient System Simulation Program* é um programa de simulação dinâmica que proporciona grande flexibilidade para as mais variadas aplicações de engenharia [26]. Trata-se de um programa de estrutura modular adequado à análise de sistemas cujo comportamento seja dependente do tempo. É um programa especialmente concebido para a simulação de sistemas solares activos e simulação térmica de edifícios. O TRNSYS é um conjunto de subrotinas, designadas por *types*, com um conjunto de entradas - *inputs* e saídas – *outputs* - cuja inclusão na rotina principal depende do sistema a analisar. Este comportamento modular

permite que o utilizador adicione, ao código do programa, modelos matemáticos e reduz a complexidade da simulação, sendo esta uma das maiores vantagens deste *software*.

Todo o código fonte encontra-se compilado numa livreria de ligação dinâmica³⁴ (DLL) que é chamada quando o programa é executado. Todos os novos *types* (módulos) criados pelo utilizador têm de ser incorporados na DLL, através de um simples compilador FORTRAN.

No TRNSYS um sistema é tratado como um grupo de componentes interligados para executar uma determinada tarefa. O comportamento desse sistema será afectado pelos parâmetros e *outputs* de cada componente que serão os *inputs* do componente seguinte em cada intervalo de tempo. Na versão de instalação, existe uma gama alargada de componentes, que geralmente se encontram nos sistemas termo-energéticos. O TRNSYS disponibiliza componentes que permitem a utilização de *inputs* dependentes do tempo, como por exemplo, os dados climáticos.

Na figura 4-7 apresenta-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 relativa aos edifícios;
- TRNSED – Ferramenta para partilhar simulações com não utilizadores do TRNSYS;
- SIMCAD – Envolve CAD compatível com AUTOCAD para edifícios, com o objectivo de facilitar a introdução da geometria do edifício.

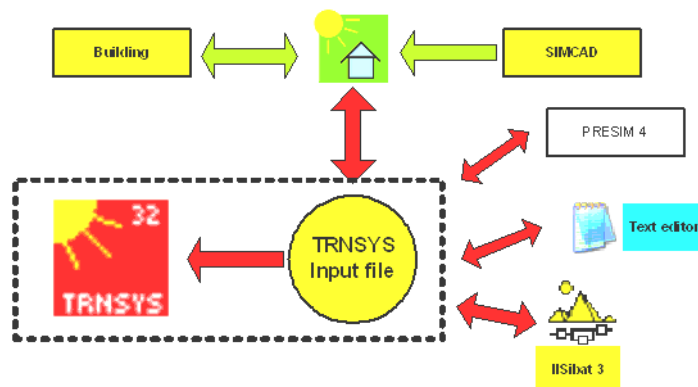


Figura 4-7 - TRNSYS – Ligação entre aplicações

O ficheiro de entrada do TRNSYS é em código ASCII e, no início, era escrito manualmente, dando origem a linhas infindáveis de comandos que descrevem os *types* e suas interligações (figura 4-8). As interfaces gráficas, nomeadamente o IISibat (figura 4-9), 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.

³⁴ Dynamic Link Library

```

1 VERSION 15
2 *****
3 ASSIGN "C:\trnsys15\TESE\Apartamento\IC2_caso1\Franca\Nice\IC2_caso1.LST" 6
4 *****
5 *** Control cards
6 *****
7 CONSTANTS 3
8 START=0
9 STOP=9504
10 STEP=0.0625
11 SIMULATION START STOP STEP
12 VERSION 15
13 TOLERANCES 0.001 0.001
14 LIMITS 30 30 30
15 DFQ 1
16 WIDTH 80
17 LIST
18 MAP
19 SOLVER 0
20 *****
21 *** TYPES
22 *****
23 UNIT 9 TYPE 89 TYPE89d
24 PARAMETERS 2
25 * 1 Mode
26 -2
27 * 2 Logical unit
28 90
29 ASSIGN "C:\trnsys15\TESE\Dados Climaticos\Meteonorm\FR-Nice-76900.tm2" 90
30 *-----
31 UNIT 10 TYPE 16 TYPE16g
32 PARAMETERS 9
33 * 1 Horiz. radiation mode
34 4
35 * 2 Tracking mode
36 1
37 * 3 Tilted surface mode

```

Figura 4-8 - TRNSYS – Extracto de um ficheiro de entrada em código ASCII

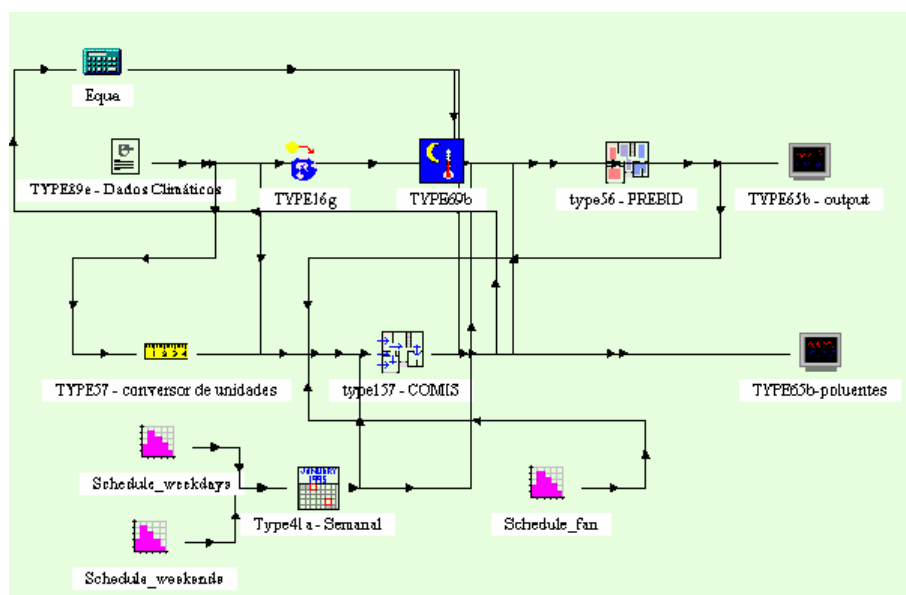


Figura 4-9 - TRNSYS – Interface Gráfica – IISibat

No TRNSYS, os edifícios são tratados como se de outro componente de um sistema se tratasse, contrariamente aos outros componentes dos edifícios. 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 (figura 4-10). Para a sua definição é necessário a utilização de uma ferramenta específica – PREBID³⁵. Nesta aplicação, o utilizador caracteriza o edifício, especificando as zonas térmicas e introduz os dados relativos a cada uma: perfis de ocu-

³⁵ PREBID – Interface gráfica para introduzir as características do edifício e respectiva descrição.

pação, 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.

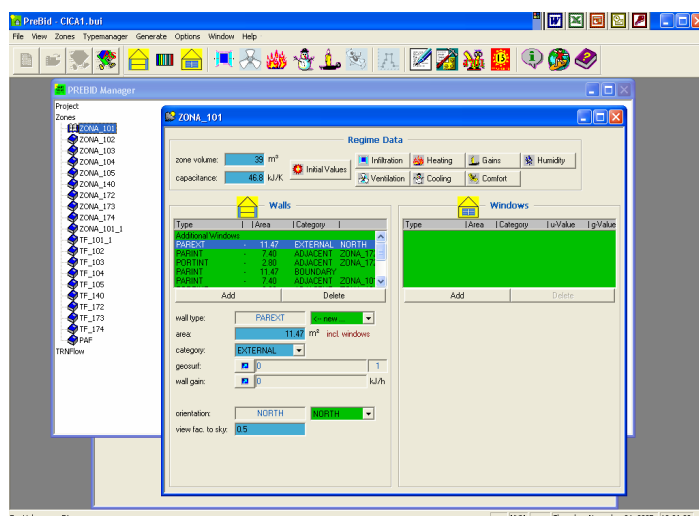


Figura 4-10 - TRNSYS – Aplicação para definição do edifício – PREBID

Os diferentes componentes (types) partilham a informação entre si de forma cíclica, tal como se apresenta na figura 4-11.

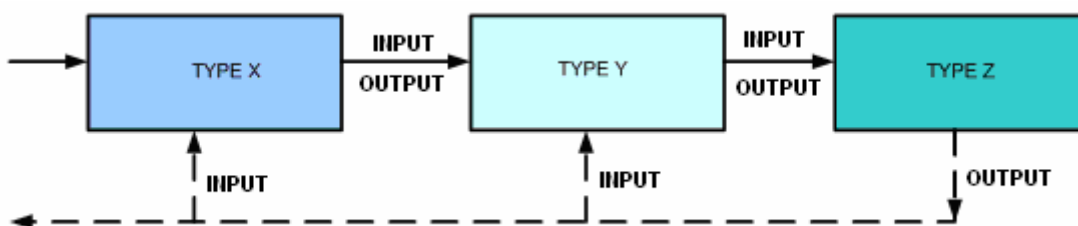


Figura 4-11 - TRNSYS - Ligação entre os diferentes types

A inclusão de estratégias de controlo para os diferentes sistemas é conseguida através da utilização de controladores, sendo possível criar dependência entre as diferentes variáveis de interacção. Existem três tipos de *types* de controlo previamente definidos na versão base do TRNSYS:

- i. controlador diferencial ON/OFF que permite o controlo directo de variáveis como a temperatura, caudais mássicos, entre outros;
- ii. termostato de três estágios, especialmente direccionado para o controlo de aquecimento e arrefecimento simultâneo;
- iii. controlador de Microprocessador, que combina cinco comparadores diferenciais e que permite a simulação de certos tipos de programadores/controladores existentes no mercado. Este sistema comporta-se como um autómato que pode ser, simplesmente, pré-programado.

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, das quais se destacam, a complexidade para os novos 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 significativos.

Como já foi apresentado no Capítulo 2, 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 [26] é um *software* fortemente direccionado para o cálculo térmico e trata a ventilação de uma forma não 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 se incluir outras subrotinas que podem tratar todas as questões associadas à ventilação, fluxos de ar e transporte de poluentes. O programa COMIS - *Multizone Air Flow Model* [27] é um *software* de simulação que foi desenvolvido entre 1987-1988 durante uma conferência da *Lawrence Berkley Laboratory* (LBNL). Em 1990 a Comissão Executiva da Agência Internacional de Energia (IEA³⁶) formou um grupo de trabalho que se focou no estudo da modelação de escoamentos de ar em edifícios multizona. Estes estudos dariam origem ao código final do COMIS. Este software 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 4-12) 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, entre outros, ou seja resistências à passagem do ar.

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 intervalo de tempo de integração, baseado na constante de tem-

³⁶ IEA – International Energy Agency

po da zona mais crítica.

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 4-13 apresenta-se, esquematicamente, o processo de ligação dos dois programas.

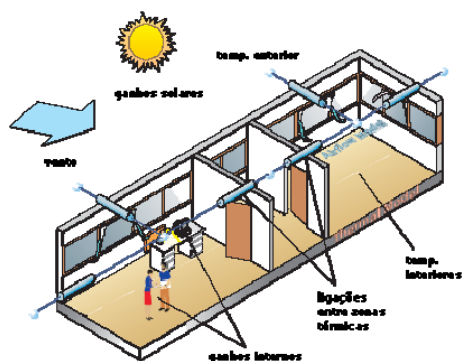


Figura 4-12 - COMIS – Modelo nodal

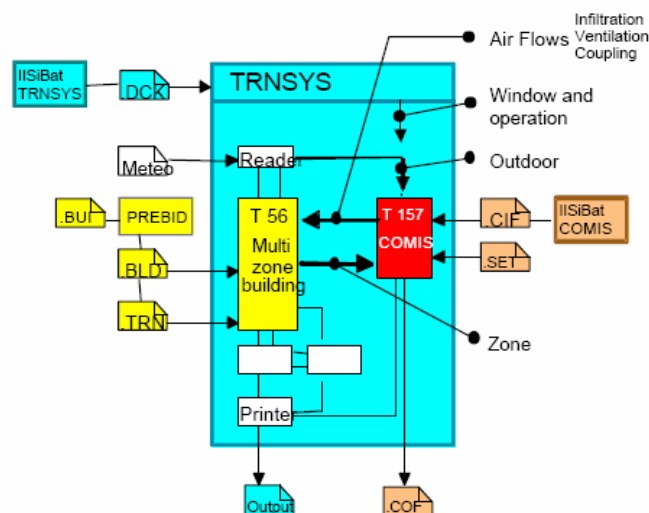


Figura 4-13 - COMIS – Ligação entre softwares

4.1.5. Comparação entre os diferentes *softwares* de simulação térmica de edifícios

Uma das conclusões que facilmente se retira da descrição sumária dos diferentes *softwares* de simulação, é que não existe uma forma expedita de descrever as capacidades de cada um deles e especificar a sua função. Verifica-se que, se um tem uma capacidade, o outro tem um melhor desempenho noutra particularidade qualquer, ou então, todos conseguem simular um determinado aspecto, mas utilizando métodos distintos.

Na tabela 4-1 [28] faz-se uma tentativa de clarificar as potencialidades de cada um dos *softwares* de simulação detalhada aqui analisados. Optou-se por fazer uma classificação mais detalhada de cada característica, uma vez que existem determinadas funções que não existem na versão de instalação, ou que exigem um maior conhecimento por parte do utilizador.

Tabela 4-1 - Comparação entre características das ferramentas de simulação

	ESP-r	VisualDOE	EnergyPlus	TRNSYS
Características gerais do modelo				
Simulação detalhada simultânea das necessidades energéticas, sistemas e instalação	X		X	X
Passo de tempo de simulação determinado pelo utilizador	X		X	X
Importação de geometrias em CAD	X		X	X
Importar/Exportar a geometria para outros programas	X		X	
Número de zonas, superfícies, sistemas e equipamento ilimitado	X		X	X
Carga térmica da zona				
Análise da adsorção/desadsorção de humidade dos materiais	X		X	X
Método de análise da condução:				
Funções de Transferência		X	X	X
Diferenças Finitas		X		
Método de análise da convecção:				
Dependente da temperatura	X		X	X
Dependente do escoamento de ar	X		P	E
CFD	E		E	
Coeficientes definidos pelo utilizador	E	X	X	X
Análise do conforto térmico:				
Fanger	X		X	X
Temperatura Média Radiante (MRT)	X		X	X
Funções de forma	X			
CFD	E		E	
Envolvente do Edifício, Iluminação e solar				
Reflexão da radiação solar directa do exterior e interior dos envidraçados			X	X
Contabilização dos ganhos solares através dos estores em função da transmitância do solo e do céu			X	X
Contabilização dos ganhos solares e iluminação natural devidos às reflexões provenientes de edifícios e obstáculos circundantes	X		X	X
Transmitância da superfície do sombreador	X	P	X	
Sombreamento com horários	X	P	X	X
Controlo dos sombreadores especificado pelo utilizador	X	P	X	X
Sombreamento entre vidros	X	X	X	X
Envidraçados electrocrómicos	X		X	E
Envidraçados termocrómicos	X			E
Compatibilidade com o WINDOW 5 ³⁷		X	X	X
Modelo de Céu:				
Isotrópico		X		X
Anisotrópico	X		X	
Iluminação natural e controlo:				
Iluminação interior proveniente de janelas e clarabóias	X	X	X	
Simulação da claridade e controlo	X	X	X	
Mapas de iluminância	X	X		
Dispositivos de iluminação natural	X	X		
Transferência de calor através do solo:				
Modelo ASHRAE				X
1D	X	P	X	
2 ou 3D	R		X	
Sistemas Fotovoltáicos	X		X	E
Infiltração, Ventilação, escoamentos interiores e multizona				
Cálculo automático dos coeficientes de pressão do vento			P	
Ventilação Natural	X		X	C
Ventilação Mecânica e Híbrida	I			C
Janelas com abertura controlável, para ventilação natural	X		X	C

³⁷ Software desenvolvido pelo Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL) que permite determinar as propriedades térmicas e ópticas de um envidraçado ou janela.

	ESP-r	VisualDOE	EnergyPlus	TRNSYS
Escoamentos Multizona	X		X	C
Ventilação por deslocamento	X		X	C
CFD	E			
Análise de Poluentes	R			C
Energias Renováveis				
Colectores solares:				
Placa plana envidraçada	X		X	X
Placa plana não envidraçada	X			X
Tubo de saída				X
Colectores de concentração de elevada temperatura				X
Sistemas solares configurados pelo utilizador				X
Sistemas de armazenamento				X
Sistemas de hidrogénio	X			X
Energia eólica	X			X
Sistemas AVAC				
Componentes de AVAC separados	X		X	X
Sistemas de AVAC ideais	X		X	X
Sistemas de AVAC configurados pelo utilizador	X		X	X
Circuitos de ar	X		X	X
Circuitos de fluidos	X		X	X
Sistemas de distribuição de ar	X		X	X
Ventilação de acordo com as necessidades (DCV):				
Taxa de ventilação por ocupante e área de pavimento			X	X
Ventilação de acordo com horários pré definidos	X		X	X
Modelação de CO ₂ :				
Transporte de CO ₂ em ventilação natural ou mecânica e concentração por zona	X			C
DCV baseada nos níveis de CO ₂	X			C
Dimensionamento automático de sistemas de AVAC		X	X	P
Dados Climáticos				
Disponíveis com o programa	X		X	X
Com possibilidade de importação	X		X	X
Ficheiros de dados lidos pelo programa:				
Formato especificado pelo utilizador			X	X
EnergyPlus/ESP-r	X		X	X
Ano meteorológico típico ³⁸ (TMY)	X	X	X	X
Dados Climáticos Internacionais para cálculos energéticos ³⁹ (IWECC)			X	X
Ano Meteorológico tipo 2 (TMY2)	X	X	X	X
Apresentação de resultados				
Relatórios definidos pelo utilizador	X		X	X
Formato definido pelo utilizador:				
Valores separados por vírgulas	X		X	
Texto	X		X	X
WORD				
Valores separados por tabulações	X		X	X
HTML	P		X	
Gráfico	X			X
Estatístico	X			X
Visualização durante a simulação	X			X
Contadores:				
Utilização da energia	X	X	X	X
Carga máxima	X	X	X	X
Consumo por tipo de energia	P	X	X	X
Validação				
Annex 1 – IEA ECBCS	X			X
Annex 4 – IEA ECBCS	X			X
Annex 10 – IEA ECBCS	X			X

³⁸ em ingles: *Typical Meteorological Year*³⁹ *International Weather for Energy Calculations*

	ESP-r	VisualDOE	EnergyPlus	TRNSYS
Task 8 – IEA SHC	X			X
Task 12 – IEA SHC:				
BESTEST – Envolvente	X	X	X	X
Empírico	X			X
Tarefa 22 – IEA SHC:				
BESTEST HVAC – Volume 1	X	X	X	X
BESTEST HVAC – Volume 2	X	X	X	X
Furnace BESTEST	X		X	
RADTEST	X	X		X
HERS BESTEST		X		
ASHRAE 1052-RP		X	X	
BEPAC – testes de condução	X		X	
BRE/EDF – projecto de validação	X			
PASSYS	X			
CIBSE TM33	X			
ISO 13791	X			

Legenda:

C – Disponível através da integração do COMIS no TRNSYS

E – Existente no *software* mas exige um grande domínio da ferramenta por parte do utilizador

I – Requer dados de entrada que podem ser difíceis de encontrar

P – Parcialmente implementado no *software*

R – Característica opcional e direccionada para a investigação

X – Implementado e testado com documentação disponível e exemplos

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 a ferramenta apropriada ao estudo que se pretende efectuar neste trabalho.

Tem ainda a vantagem, evidente, de comparativamente ao EnergyPlus, *software* que se lhe equipara, ser um *software* mais antigo e por essa razão, mais desenvolvido, com menos *bugs* e com uma documentação e base de apoio mais consistente e vasta.

4.2. Dados Climáticos

Para uma utilização correcta dos programas de simulação detalhada é fundamental o conhecimento dos dados climáticos da zona de implantação do edifício. Esta é uma tarefa difícil mas que, nos últimos anos, foi facilitada pelo aparecimento de programas de geração de séries de dados sintéticos, que apresentam como vantagem evidente a possibilidade de aceder a informação climática de diversas localizações com rapidez e baixo custo [29].

4.2.1. Caracterização geral do clima em Portugal

Há duas características importantes no clima português: a influência Atlântica e a influência Mediterrânea. Durante o dia, no Inverno, a temperatura média é de cerca de 16 °C e o período de insolação ronda as 6 horas diárias. Durante a Primavera a temperatura sobe gradualmente e as temperaturas médias diárias são de 22 °C com, aproximadamente, 10 horas de sol. Durante o Verão as temperaturas são em média de 25 °C e o período de insolação de 12 horas. A região Norte de Portugal é fortemente influenciada pelos ventos atlânticos enquanto que no Sul e Este o anticiclone subtropical é predominante, o que faz com que, ocasionalmente, as temperaturas subam aos 40 °C durante o Verão.

O zoneamento do território utilizado nesta dissertação, será baseado nas informações climáticas das diferentes regiões do país e com base na regulamentação existente. De acordo com o RCCTE [20], Portugal está dividido em três zonas climáticas de Inverno (I_1 , I_2 e I_3) e três zonas de Verão (V_1 , V_2 , V_3). A delimitação destas zonas apresenta-se na figura 4-14 e na figura 4-15. As zonas de Verão estão divididas em região Norte e a região Sul. A região Sul abrange toda a área a sul do rio Tejo e ainda os seguintes concelhos dos distritos de Lisboa e Santarém: Lisboa, Oeiras, Cascais, Amadora, Loures, Odivelas, Vila Franca de Xira, Azambuja, Cartaxo e Santarém.

A análise será efectuada para cada uma das zonas climáticas sendo as localizações escolhidas as seguintes:

- I_1V_2 – Lisboa
- I_1V_3 - Évora
- I_2V_1 - Porto
- I_2V_3 – Castelo Branco
- I_3V_1 – Penhas Douradas

▪ I₃V₂ – Bragança

Esta selecção baseou-se nos dados climáticos disponíveis, e sem os quais não seria possível efectuar as simulações, razão pela qual não se consideraram, neste estudo, as zonas climáticas I1V1, I2V2 e I3V3, para as quais não foi possível encontrar dados climáticos completos e fiáveis, apesar de se ter contactado o INETI⁴⁰ no sentido de este fornecer a informação em falta, infelizmente, sem sucesso. A análise detalhada dos dados climáticos que serão utilizados será feita mais adiante.

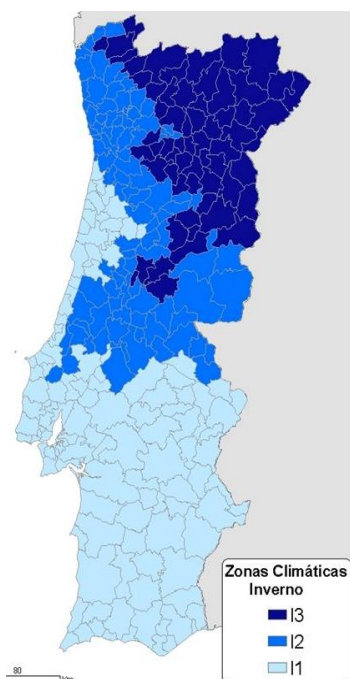


Figura 4-14 - Zonas climáticas de Inverno

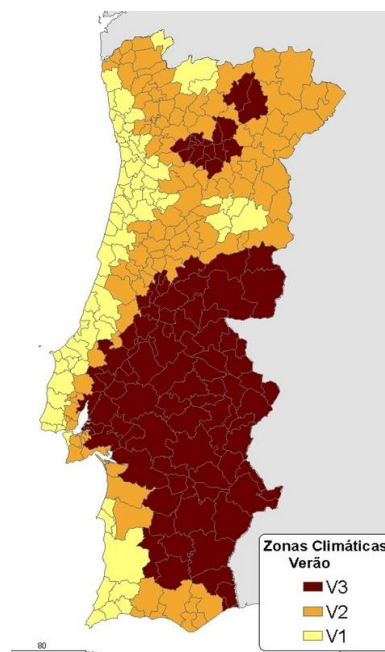


Figura 4-15 - Zonas climáticas de Verão

4.2.2. Divisão climática da Europa

Ao longo dos tempos foram feitas diversas tentativas de classificar o clima do planeta em diferentes regiões climáticas. Uma das mais notáveis foi a classificação de Aristóteles que dividia o planeta em 3 zonas: a temperada, a tórrida e a frígida. No entanto, a divisão climática que prevalece até aos nossos dias é da responsabilidade do climatologista Wladimir Koppen que, no início do século XX criou diversas categorias climáticas [30], baseadas nas médias anuais e mensais de precipitação e temperatura.

O zoneamento climático inicialmente proposto por Koppen sofreu actualizações e modificações por parte do próprio e, posteriormente, por diversos geógrafos.

A actual classificação de Koppen reconhece seis zonas climáticas principais, cada uma delas designada por uma letra maiúscula, existindo ainda 24 subcategorias representadas por letras

⁴⁰ INETI – Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação

minúsculas e dependentes da temperatura e da precipitação [31].

Por exemplo, Faro pertence, segundo Koppen, à zona Cfa. A letra *C* representa um clima ameno e húmido, o *f*, vem da palavra alemã *feucht* ou humidade e o *a* indica que a temperatura média do mês mais quente é superior a 22 °C. Ou seja, analisando a tabela 4-2 sabe-se que Faro tem um clima ameno e húmido, sem estação seca e que no Verão tem temperaturas elevadas.

Tabela 4-2 - Classificação de Koppen - Categorias

Categorias principais	Subcategorias
A Clima tropical Precipitação abundante que excede a evaporação Temperaturas médias mensais superiores a 18 °C	f : precipitação média mensal superior a 60 mm m : estação seca muito curta compensada por precipitação abundante no resto do tempo w : estação seca bem definida
B Tropical seco de baixas e médias latitudes Evaporação excede a precipitação	w : árido s : semiárido h : temperatura média anual superior a 18°C k : temperatura média anual inferior a 18°C
C Clima tropical húmido das latitudes médias Temperatura média mensal do mês mais frio entre - 3 e 18 °C Pelo menos um mês no ano com temperatura média superior a 10 °C	s : verão seco w : inverno seco f : sem estação seca a : verão quente b : verão ameno e longo c : verão curto e frio
D Clima continental húmido de latitudes médias Os invernos são frios, com temperaturas médias mensais inferiores a - 3 °C A temperatura média do mês mais quente superior a 10 °C	s : verão seco w : inverno seco f : sem estação seca a : verão quente b : verão ameno e longo c : verão curto e frio d : inverno extremamente frio
E Clima polar As temperaturas médias mensais são inferiores a 10 °C	t : tundra f : polar
H Clima das terras altas A temperatura pode diminuir 2 °C por cada 305 m de aumento na altitude	

A – Clima tropical húmido

As zonas com este tipo de clima localizam-se numa banda de 15 a 25 ° de latitude a Norte e Sul do equador. As temperaturas médias mensais são superiores a 18 °C e a precipitação anual excede os 1500 mm.

Koppen definiu três subcategorias em função da precipitação:

Af – também designado por clima tropical húmido. Chove durante todo o ano e as temperaturas médias mensais não diferem mais de 3 °C.

Am – é o clima tropical de monção. A precipitação anual é próxima da registada em Af, e não se verifica durante todo o ano, mas apenas durante os 7 a 9 meses mais quentes.

Aw – é a savana, com períodos de seca durante o Inverno e precipitação inferior a 1000 mm

durante a estação húmida.

B – Clima tropical seco

É possível encontrar estas regiões climáticas numa banda compreendida entre 20 e 25 ° de latitude a Norte e a Sul do equador e ainda em regiões continentais das latitudes médias, habitualmente rodeadas de montanhas.

As subcategorias deste clima incluem:

Bw – Deserto (seco e árido); cobre cerca de 12 % da superfície do planeta; A precipitação é inexistente.

Bs – Estepe (seco e semiárido); presente em cerca de 14 % do planeta.

C – Clima subtropical húmido

Neste clima, geralmente, os Invernos são amenos e os Verões quentes e húmidos. Estende-se na área compreendida entre 30 e 50° de latitude, em relação ao equador, principalmente nas zonas laterais Este e Oeste dos continentes.

Existem três subclasses:

Cfa – subtropical húmido; os verões são quentes e húmidos com tempestades frequentes. Os Invernos são amenos ocorrendo precipitação;

Cs - mediterrâneo; a precipitação ocorre, maioritariamente durante o Inverno e o Verão pode estender-se por períodos de 5 meses;

Cfb – marítimo; têm Verões curtos e secos e Invernos amenos e chuvosos.

D – Clima continental húmido de latitudes médias

Os climas continentais têm Verões frescos e Invernos frios.

A temperatura média do mês mais quente é superior a 10 °C e do mês mais frio não atinge os - 3 °C. Os Invernos são severos com tempestades de neve, ventos fortes e frio intenso proveniente das massas de ar polares.

Existem, tal como no caso anterior, três subcategorias:

Dw – Invernos secos;

Ds – Verões secos;

Df – todas as estações húmidas.

E – Climas polares

Os climas polares têm temperaturas médias mensais sempre inferiores a 10 °C.

1. Para cada clima construir um ficheiro de dados climáticos com os valores médios de cada parâmetro para cada localização

Esta opção revelou-se ineficiente, fundamentalmente em termos de velocidade e direcção do vento e radiação solar. Uma vez que o vento é um parâmetro muito aleatório e variável, e ainda porque existe uma grande variação de latitudes nas localizações pertencentes a uma mesma categoria de Koppen, o que implicará, necessariamente, uma grande diferença nos dados climáticos para zonas extremas da categoria. Por exemplo, ao clima Cfb pertence Bragança (Portugal), a uma latitude de 41,47 °N, e Bergen (Noruega) situado a 60,17 °N. Por análise da figura 4-17 à figura 4-19 verifica-se a grande discrepância que ocorre nos dados climáticos nomeadamente ao nível da temperatura de bolbo seco e radiação solar total.

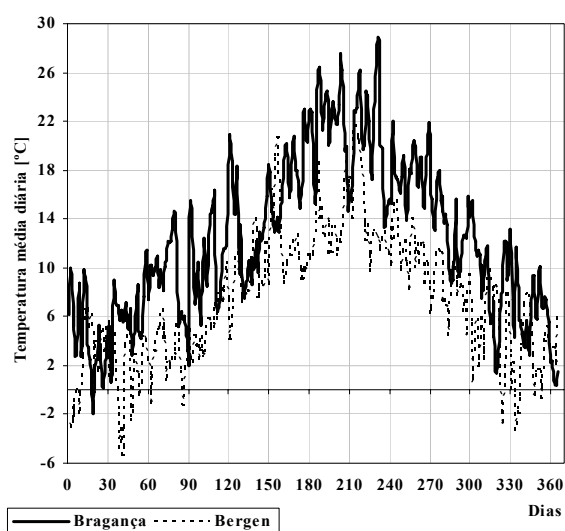


Figura 4-17 - Temperatura média diária [°C]

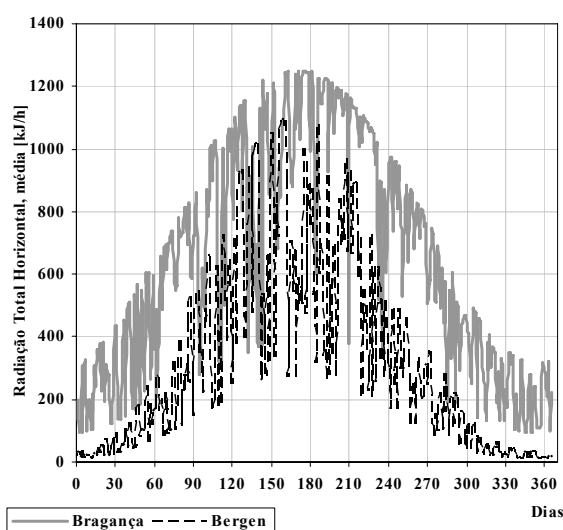


Figura 4-18 - Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários

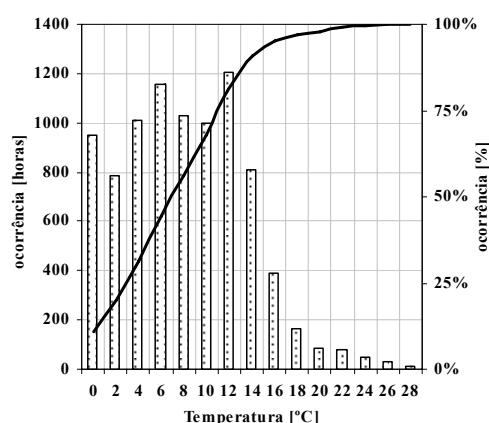
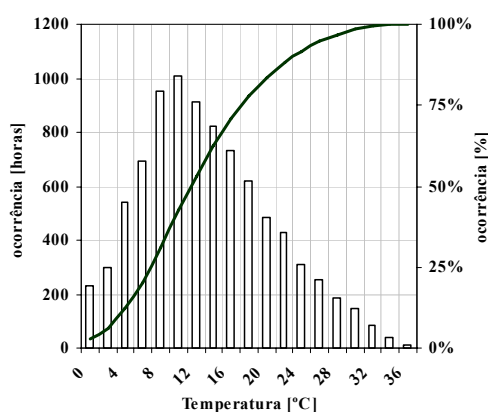


Figura 4-19 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior - Bragança (esquerda) e Bergen (direita)

2. Utilizar uma ou duas localizações por país

O facto de existirem países que têm diversas zonas climáticas a escolha de localizações espe-

cíficas implica a não completa caracterização das zonas do país em questão, por razões de simplificação. No entanto, a escolha das localizações basear-se-á em dois critérios:

- escolha de duas localizações pertencentes a duas classificações de Koppen distintas, nos casos em que este critério se aplica;
- nos restantes casos escolher-se-ão localizações com a maior diferença de latitudes possível.

Das duas propostas anteriores, optou-se por utilizar a segunda, ou seja, duas localizações em cada país, tendo-se escolhido 6 países europeus. A lista dos países seleccionados e respectivas localizações encontram-se na tabela 4-3, tendo a sua selecção sido baseada nos países que foram considerados no projecto RESHYVENT⁴¹ [32] e utilizando a filosofia do projecto europeu AUDITAC⁴².

Tabela 4-3 - Países e localizações seleccionados para as simulações

País	Localização	Classificação de Koppen	Latitude [°N]	Longitude [°W]	Altitude [m]
Bélgica	Bruxelas	Cfb	50,54	4,31	58
	Saint Hubert	Dfb	50,1	5,24	557
França	Nice	Cfa	43,39	7,11	10
	Paris	Cfb	48,43	2,24	96
Holanda	Amsterdão	Cfb	52,17	4,46	2
	Groningen	Cfb	53,7	6,34	4
Noruega	Jan_Mayen	Dfc	70,56	8,4	10
	Bergen	Cfb	60,17	5,13	50
Suécia	Estocolmo	Dfb	59,39	17,57	61
	Gotemburgo	Dfb	57,4	12,18	169
Reino Unido	Londres	Cfb	51,9	0,1	62
	Aberdeen	Cfb	57,12	2,13	65

Na figura 4-20 apresenta-se um mapa da Europa Ocidental com os países que serão considerados para as simulações a desenvolver no âmbito deste estudo.

⁴¹ RESHYVENT - *Cluster Project on Demand Controlled Hybrid Ventilation in Residential Buildings with Specific Emphasis on the Integration of Renewable.*

⁴² AUDITAC - *Field benchmarking and Market development for Audit methods in Air Conditioning*



Figura 4-20 - Mapa da Europa com os países seleccionados para as simulações

4.2.3. Análise dos dados climáticos

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 complexa, uma vez que seria necessário que no local de implantação do edifício existisse uma estação meteorológica, 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.

Face à dificuldade de se obterem dados reais foi necessário recorrer a bases de dados e programas de geração de dados.

Uma das bases de dados climáticos que poderá ser utilizada é proveniente do EnergyPlus [33], e fornece a informação, no formato EPW, sendo que, no caso português, os dados provêm do:

- IWEC⁴³ – ficheiros de dados climáticos resultantes de um projecto desenvolvido pela ASH-

⁴³ International Weather for Energy Calculations

RAE e que se baseou nas informações climáticas existentes no Centro Nacional de dados Climáticos dos Estados Unidos da América⁴⁴. Estes ficheiros são apropriados para a simulação energética de edifícios, e baseiam-se em medições horárias efectuadas durante dezoito anos para todos os parâmetros, excepto a radiação solar que é estimada em função da geometria solar de cada local.

- INETI (Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação) – estes ficheiros compilam as medições efectuadas pelo Instituto de Meteorologia, aproximadamente, durante trinta anos.

Uma vez que não existem dados climáticos disponíveis para todas as localizações para as quais se pretende efectuar simulações, poderá ser utilizada uma segunda base de dados que disponibiliza os ficheiros com a informação climática no formato TMY2⁴⁵. O METEONORM v5.013 [34] 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. Permitindo ainda fazer o cálculo detalhado da radiação solar incidente numa superfície, em qualquer local do mundo.

Os dados climáticos das duas bases de dados para uma mesma localização, em consequência das diferentes proveniências, são diferentes e os valores horários de cada parâmetro podem estar mais ou menos próximos da realidade. Para avaliar essa proximidade, utilizar-se-á a informação disponível no RCCTE [20], onde é feita uma caracterização de cada localização com base na duração da estação de aquecimento, no número de Graus - Dias de aquecimento e na amplitude térmica diária do mês mais quente.

Os Graus – Dias de aquecimento (GD), para além de outras aplicações, são usados na estimativa das necessidades de aquecimento dos edifícios e na previsão dos consumos das instalações de aquecimento correspondentes. O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios [20] preconiza a utilização do número de Graus - Dias de aquecimento para a temperatura de base de 20 °C.

Para o cálculo dos Graus - Dias de aquecimento utiliza-se a expressão (23) e, por convenção, GD é zero sempre que a temperatura exterior é superior à temperatura de base.

$$GD = \sum_{j=1}^{24} \frac{T_b - T_j}{24} \quad (23)$$

sendo,

⁴⁴ U S National Climatic Data Center

⁴⁵ TMY2: Typical Meteorological Year

GD – Graus –Dias de aquecimento [°C.dia]

T_b – temperatura de base [°C]

T_j – temperatura de bolbo seco do ar exterior (valor horário) [°C]

Por outro lado, o cálculo dos Graus – Dias de aquecimento é efectuado para o período correspondente à estação convencional de aquecimento, ou seja, a época do ano com início no primeiro decêndio posterior a 1 de Outubro em que a temperatura média diária é inferior a 15 °C, e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio, em que a referida temperatura é ainda inferior a 15 °C.

A amplitude térmica diária é o valor médio das diferenças registadas entre os valores máximos e mínimos das temperaturas diárias do mês mais quente.

Na tabela 4-4 e na figura 4-21 apresentam-se os valores dos parâmetros apresentados, provenientes do RCCTE [20] e os obtidos utilizando os ficheiros do EnergyPlus (E+) [33] e do METEONORM (MET) [34], para cada um dos parâmetros anteriores. A conclusão que se retira é que os dados dos ficheiros climáticos provenientes do METEONORM dão origem a valores mais próximos da realidade, apesar de apresentar alguns desvios, mais ou menos acentuados, como é o caso do número de Graus – Dias de aquecimento em Castelo Branco onde existe um acréscimo de 23 % relativamente aos dados do regulamento (RCCTE). Serão, portanto os dados provenientes do METEONORM que serão utilizados nas simulações a efectuar.

Tabela 4-4 - Comparação entre valores obtidos dos ficheiros de dados climáticos E+ e METEONORM e informação proveniente do RCCTE

Localizações	Zona Climática	Duração da Estação de Aquecimento			Número de Graus – Dias [°C.dia]			Amplitude térmica diária do mês mais quente [°C]		
		RCCTE	E+	MET	RCCTE	E+	MET	RCCTE	E+	MET
Bragança	I ₃ V ₂	8	7.6	7.6	2850	2679	2766	15	14,00	14,00
Castelo Branco	I ₂ V ₃	6.7	-	7	1650	-	2037	15	-	13,35
Évora	I ₁ V ₃	7	6.6	6.3	1390	1684	1665	17	12,71	16,03
Lisboa	I ₁ V ₂	5.3	6.3	6	1190	1448	1276	11	13,61	9,55
Penhas Douradas	I ₃ V ₁	8	-	8	3000	-	3491	12	-	14,18
Porto	I ₂ V ₁	6.7	7.6	7	1610	1870	1830	9	8,40	9,25

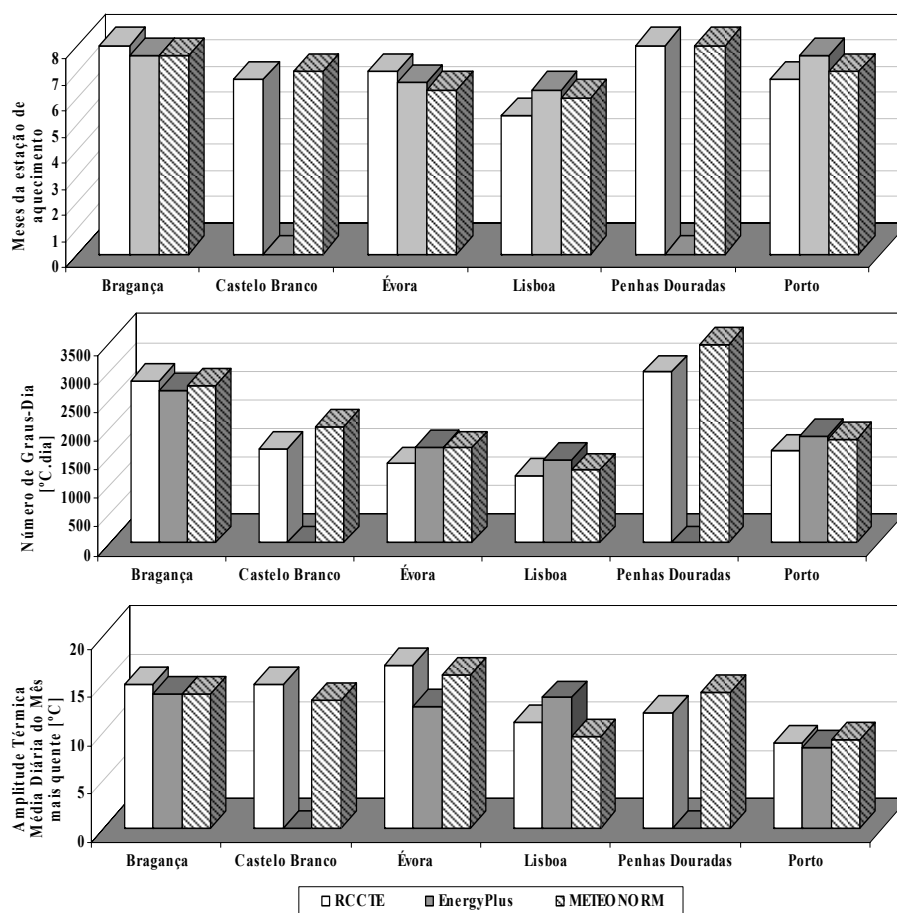


Figura 4-21 - Valores baseados nos ficheiros de dados climáticos E+ e METEONORM e informação proveniente do RCCTE

Uma vez que os dados climáticos provenientes do METEONORM [34] se encontram mais próximos dos existentes no RCCTE e ainda pelo facto de, nesta base de dados, existirem ficheiros para um maior número de localizações, a informação climática a utilizar nas simulações será a proveniente deste *software*.

Deverá no entanto referir-se que não existe, no RCCTE qualquer informação relativamente à intensidade do vento e sua direcção predominante para cada localização. Sendo este um parâmetro muito importante no comportamento de um sistema de ventilação natural e/ou híbrido, poderão os valores utilizados para estes dois parâmetros não ser os mais correctos para algumas localizações, no entanto, e de acordo com Ferreira [35], os valores fornecidos para as direcções do vento no ficheiros do IWECE encontram-se próximos dos que são indicados no Atlas Europeu dos Ventos, razão pela qual se poderão considerar que os dados relativos à direcção do vento são credíveis.

Análise detalhada dos dados climáticos

Como já se referiu anteriormente, e 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 °C e com termo no último decêndio anterior a 31 de Maio em que a referida temperatura ainda é inferior a 15 °C* [20]. Este será o método de cálculo aplicado nas zonas climáticas portuguesas.

Para os restantes países da Europa, a determinação do período de aquecimento utilizará o mesmo método de cálculo, deixando, no entanto, de ser restrito ao período compreendido entre 1 de Outubro e 31 de Maio, como exigido pela regulamentação portuguesa.

Na tabela 4-5 apresentam-se os períodos correspondentes à estação convencional de aquecimento para cada localização e com base nos ficheiros de dados climáticos provenientes do METEONORM [34]

Tabela 4-5 - Estação convecional de aquecimento calculada com base nos dados climáticos do METEONORM

Localização	Período de Aquecimento
Aberdeen	1 de Janeiro a 31 de Dezembro
Amsterdão	1 de Outubro a 20 de Maio
Bergen	21 de Agosto a 20 de Julho
Bragança	1 de Outubro a 20 de Maio
Bruxelas	10 de Setembro a 10 de Junho
Castelo Branco	21 de Outubro a 20 de Maio
Estocolmo	1 de Setembro a 20 de Junho
Évora	1 de Novembro a 10 de Maio
Gotemburgo	1 de Setembro a 10 de Junho
Groningen	1 de Setembro a 20 de Julho
Lisboa	1 de Novembro a 30 de Abril
Londres	1 de Setembro a 10 de Junho
Nice	1 de Novembro a 30 de Abril
Paris	1 de Outubro a 10 de Junho
Penhas Douradas	1 de Outubro a 31 de Maio
Porto	21 de Outubro a 20 de Maio
Saint Hubert	1 de Setembro a 20 de Junho
Jan-Mayen	1 de Janeiro a 31 de Dezembro

A análise detalhada dos dados climáticos para cada localização é incluída no Anexo I, apresentando-se nesta secção, a título exemplificativo alguns dados climáticos para o Porto, zona climática I₂V₁.

Na figura 4-22 e na figura 4-23 apresenta-se, respectivamente, a probabilidade de ocorrência da temperatura exterior, o número de horas, e a evolução da temperatura média diária durante o ano, apenas como exemplo.

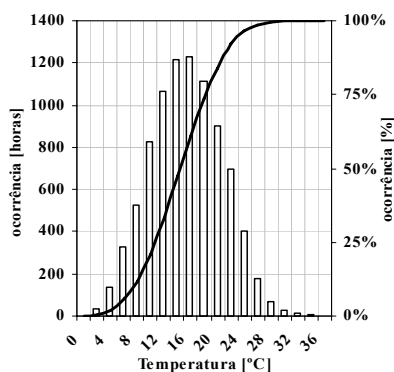


Figura 4-22 – N° de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior no Porto

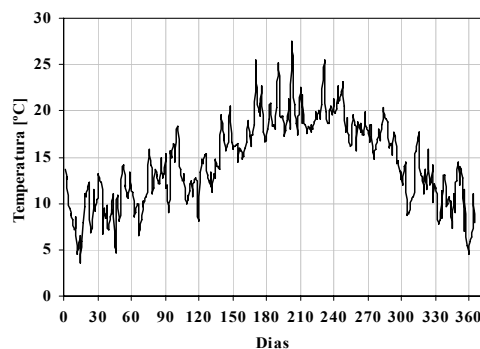


Figura 4-23 - Temperatura média diária no Porto

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. É portanto, da máxima importância conhecer, não só a sua velocidade como também a direcção predominante. Nas figuras que se seguem, é feita uma análise de ocorrência da velocidade do vento e respectiva direcção.

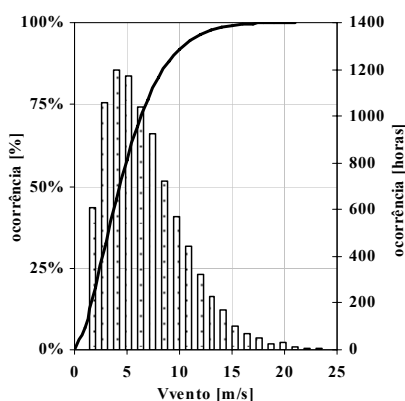


Figura 4-24 - Probabilidade e n° de horas de ocorrência da velocidade do vento no Porto

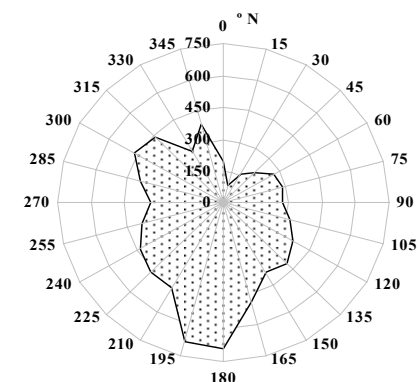


Figura 4-25 - N° de horas de ocorrência da direcção do vento para o Porto
(0° vento de Norte, 90 de Este, 180 de Sul e 270 de Oeste)

Uma última análise diz respeito à temperatura do solo, informação inexistente nos dados climáticos do METEONORM [34]. Para este parâmetro, recorrer-se-á aos dados provenientes do EnergyPlus [33] que disponibiliza essa temperatura, sob a forma de um valor médio mensal, para uma profundidade de 0,5 m, em solo não perturbado, mas sempre com o inconveniente de não existirem dados para todas as localizações necessárias. No entanto, analisando os valores fornecidos pelo EnergyPlus conclui-se que estes se encontram muito próximos da temperatura média mensal do ar, calculada com base nas médias diárias de cada mês, facto ilustrado na figura 4-26. Assim sendo, serão estes, os valores utilizados para a temperatura do solo nas localizações em que esta informação não esteja disponível.

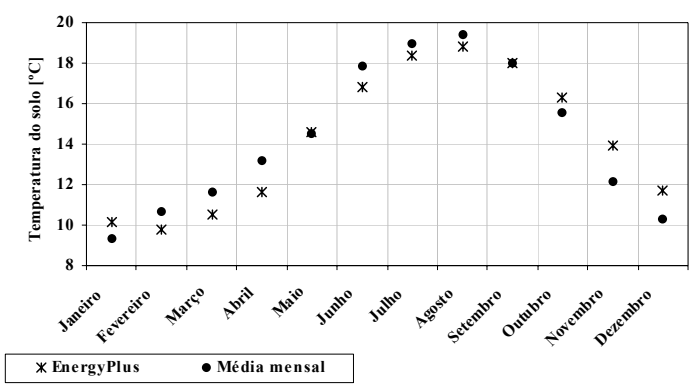


Figura 4-26 - Temperatura do solo, para o Porto, a uma profundidade de 0,5 m

5. Caracterização dos edifícios

Os sistemas de ventilação que se pretende estudar serão implementados em dois edifícios genéricos, semelhantes aos tipicamente encontrados na Europa e baseados nos edifícios utilizados no decorrer do projecto RESHYVENT [36]. O primeiro edifício é uma habitação unifamiliar: uma vivenda, com a fachada principal orientada a Sul e com três pisos. O segundo edifício é multifamiliar: um prédio de apartamentos com quatro pisos e duas fracções autónomas em cada um. Deste último edifício será feita a análise de três apartamentos, um no rés-do-chão, outro no último pisos e, por fim, um apartamento de um dos pisos intermédios do edifício.

5.1. Habitação unifamiliar

Para o estudo foi utilizado um edifício de referência com tipologia unifamiliar (figura 5-1 e figura 5-2) cuja planta se encontra representada na figura 5-3. É constituído por três pisos e a orientação da fachada principal (sala), é Sul. O terceiro piso corresponde ao sótão do edifício sendo a inclinação das vertentes do telhado 45°. Este edifício será utilizado em todas as localizações, conservando as características geométricas e havendo apenas alteração na sua envolvente.

A vivenda tem quatro quartos e três casas de banho, uma delas de serviço, sendo a área total de pavimento, aproximadamente, 120 m², dos quais 75 % são climatizados na estação de aquecimento.



Figura 5-1 - Habitação Unifamiliar, fachada Norte



Figura 5-2 - Habitação Unifamiliar, fachada Sul

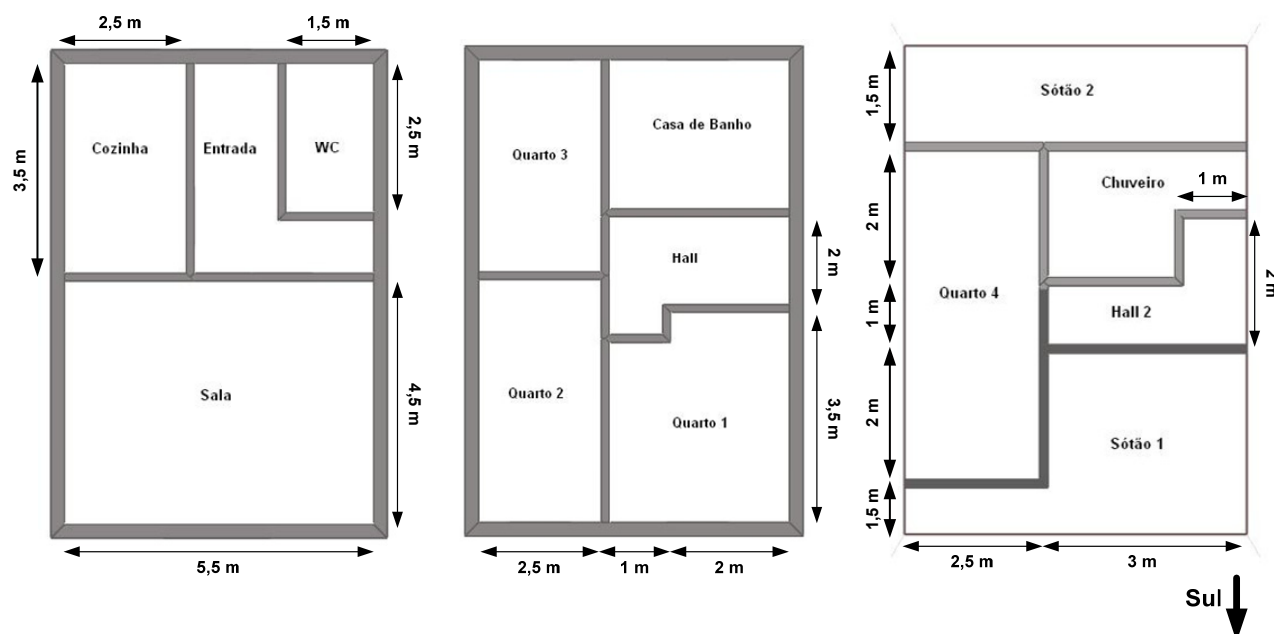


Figura 5-3 - Habitação Unifamiliar: Planta do edifício

A tabela 5-1 apresenta as áreas e volumetrias referentes à habitação unifamiliar e na figura 5-4 esquematiza-se a localização de portas e janelas. As portas, interiores e exterior, têm áreas correspondentes a $2,1 \text{ m}^2$ ($2 \times 1 \text{ m}$) e as janelas, situadas a 1 m de altura, relativamente à laje de piso, têm áreas variáveis.

Tabela 5-1 - Habitação Unifamiliar: Dimensões das diferentes zonas da habitação e respectivas áreas de envidraçados

	Área útil [m ²]	Volume [m ³]	Área de envidraçados [m ²]
Sala	25,5	63,75	2,5
Cozinha	8,75	21,88	1
WC de Serviço	3,75	9,38	-
Entrada	6,75	16,88	-
Quarto 1	10	25,00	1
Quarto 2	10	25,00	1
Quarto 3	10	25,00	1
Casa de Banho	7,5	18,75	1
Hall	6,5	16,25	-
Quarto 4	12,5	28,75	1
Chuveiro	5	11,00	0,5
Hall2	4	10,00	-
Sótão 1	14,25	60,00	-
Sótão 2	8,25	6,19	-
Sótão 3	16,5	12,37	-

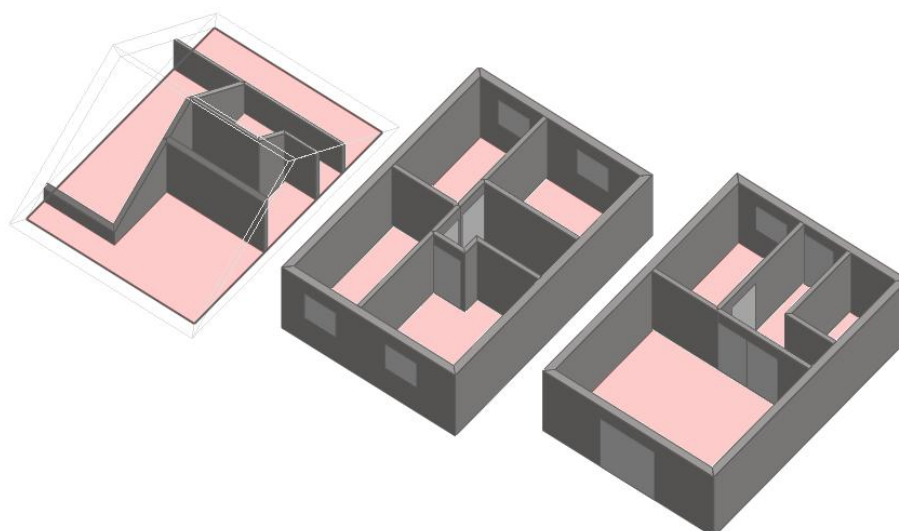


Figura 5-4 - Habitação Unifamiliar: Perspectiva 3D da habitação

5.1.1. Caracterização da envolvente

Portugal

No caso português, as características da envolvente do edifício foram escolhidas de forma a cumprir os requisitos mínimos de qualidade térmica para a envolvente dos edifícios, impostos pelo RCCTE. No referido regulamento, são impostos os valores máximos para os coeficientes de transmissão térmica (U), tal como se apresenta na tabela 5-2.

Tabela 5-2 - Coeficientes de transmissão térmica máximos admissíveis de elementos opacos [$W/m^2 \cdot ^\circ C$]

	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

Restantes países da Europa

Para os restantes países europeus, onde se aplica o estudo, utilizaram-se os elementos da envolvente típicos de cada país, com base na informação recolhida nos projectos RESHY-VENT [36] e AUDITAC [37].

Nas tabelas seguintes [38-40] [37, 41], descrevem-se as características de cada um dos elementos da envolvente para os diferentes países em estudo. Os materiais constituintes de cada elemento da envolvente e as respectivas propriedades térmicas são apresentados do interior para o exterior das zonas.

Tabela 5-3 - Portugal: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kg.°C]	U [W/m².°C]
Parede Exterior	Reboco	0,02	1,150	1950	837	0,780
	Tijolo furado	0,11	0,440	1100	936	
	PEEP ⁴⁶	0,02	0,035	32,5	1210	
	Tijolo furado	0,11	0,440	1100	936	
	Reboco	0,02	1,150	1950	837	
Laje de pavimento exterior	Madeira	0,03	0,150	550	2750	0,520
	LAC ⁴⁷	0,13	0,931	1320	965	
	PEEP	0,04	0,035	32,5	1210	
	Terra	0,25	0,870	1362	837	
Cobertura Inclinada	Reboco	0,02	1,150	1950	837	0,670
	LAC	0,13	0,931	1320	965	
	PEEP	0,04	0,035	32,5	1210	
	Telha	0,02	0,440	1100	936	
Parede Interior – Tipo 1	Reboco	0,02	1,150	1950	837	2,2
	Tijolo furado	0,11	0,440	1100	936	
	Reboco	0,02	1,150	1950	837	
Parede Interior – Tipo 2 ⁴⁸	Reboco	0,02	1,150	1950	837	2,070
	Tijolo furado	0,11	0,440	1100	936	
	Azulejo	0,02	0,44	1100	936	
Laje de pavimento interior	Madeira	0,03	0,150	550	2750	1,670
	LAC	0,13	0,931	1320	965	
	Reboco	0,02	1,150	1950	837	

Tabela 5-4 - Bélgica e França: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kg.°C]	U [W/m².°C]
Parede Exterior	Tijolo Interior	0,14	0,32	980	1000	0,508
	PRE ⁴⁹	0,05	0,045	25	1450	
	Ar	0,03				
	Tijolo Exterior	0,09	1,09	1600	1000	
Laje de pavimento exterior	Pavimento	0,003	0,81	750	2500	0,474
	Betão Leve	0,05	0,37	1200	1000	
	Poliuretano	0,06	0,035	30	1400	
	Betão	0,15	1,3	2200	1000	
Cobertura Inclinada	Reboco	0,02	1,150	1950	837	0,332
	Ar	0,02				
	Lã Mineral	0,10	0,045	25	1450	
	Ar	0,05				
	Telha	0,02	0,440	1100	936	
Parede Interior – Tipo 1	Reboco	0,02	1,150	1950	837	1,560
	Tijolo	0,14	0,32	980	1000	
	Reboco	0,10	0,045	25	1450	
Parede Interior – Tipo 2	Reboco	0,02	1,150	1950	837	3,0
	Painel Interior	0,1	1	2000	840	
	Azulejo	0,02	0,44	1100	936	
Laje de pavimento interior	Pavimento	0,003	0,81	750	2500	1,439
	Betão Leve	0,05	0,37	1200	1000	
	Laje de betão	0,13	0,95	1600	1000	
	Ar	0,05				
	Tecto Falso	0,012	0,15	1300	1000	

⁴⁶ PEEP - Poliestireno Expandido Extrudido em Placas⁴⁷ LAC - Laje aligeirada de cerâmica⁴⁸ Este tipo de elemento é utilizado nas casas de banho, cozinhas e WCs⁴⁹ PRE – Poliestireno Rígido Extrudido

Tabela 5-5 - Noruega e Suécia: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kg.°C]	U [W/m².°C]
Parede Exterior	Reboco	0,013	0,21	900	1000	0,214
	Lã Mineral	0,11	0,046	60	750	
	Ar	0,02				
	Tijolo	0,1	0,06	1500	840	
Laje de pavimento exterior	Betão	0,15	1,5	2300	830	0,180
	Poliestireno	0,05	0,04	70	1045	
Cobertura Inclinada	Madeira	0,015	0,013	500	2500	0,150
	Betão	0,15	1,5	2300	830	
	Poliestireno	0,05	0,04	70	1045	
	Telha	0,02	0,440	1100	936	
Parede Interior – Tipo 1	Reboco	0,026	0,21	900	1000	1,820
	Betão	0,11	1,5	2300	830	
	Reboco	0,026	0,21	900	1000	
Parede Interior – Tipo 2	Reboco	0,026	0,21	900	1000	2,120
	Betão	0,11	1,5	2300	830	
	Azulejo	0,02	0,44	1100	936	
Laje de pavimento interior	Madeira	0,015	0,13	2500	500	0,690
	Betão	0,2	1,5	2300	830	

Tabela 5-6 - Holanda: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kg.°C]	U [W/m².°C]
Parede Exterior	Painel Interior	0,1	1	2000	840	0,281
	Isolamento	0,09	0,035	25	1470	
	Ar	0,03				
	Painel Exterior	0,1	1,2	1900	840	
Laje de pavimento exterior	Pavimento	0,05	0,5	1350	840	0,337
	Betão	0,05	1,7	2400	840	
	Isolamento	0,12	0,045	25	1470	
Cobertura Inclinada	Isolamento	0,12	0,045	25	1470	0,287
	Painéis de Madeira	0,02	0,15	600	1880	
	Ar	0,02				
	Telha	0,02	0,440	1100	936	
Parede Interior – Tipo 1	Reboco	0,02	1,150	1950	837	3,280
	Painel Interior	0,1	1	2000	840	
	Reboco	0,02	1,150	1950	837	
Parede Interior – Tipo 2	Reboco	0,02	1,150	1950	837	3,0
	Painel Interior	0,1	1	2000	840	
	Azulejo	0,02	0,44	1100	936	
Laje de pavimento interior	Madeira	0,03	0,150	550	2750	1,980
	Betão	0,20	1,9	2500	840	
	Reboco	0,02	1,150	1950	837	

Tabela 5-7 - Reino Unido: Características dos materiais dos elementos da envolvente opaca

	Material	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kg.°C]	U [W/m².°C]
Parede Exterior	Reboco	0,013	0,534	1264	889	0,284
	Blocos	0,1	0,513	1299	827	
	Isolamento	0,11	0,039	38	1072	
	Ar	0,05				
	Tijolo	0,105	0,789	1720	837	
Laje de pavimento exterior	Alcatifa	0,006	0,060	183	1740	1,755
	Argamassa	0,05	0,787	1481	904	
	Betão Leve	0,15	1,491	2179	864	
	Terra	0,15	1,106	1878	885	
Cobertura Inclinada	Isolamento	0,259	0,039	38	1072	0,145
	Reboco	0,012	0,191	704	1359	
Parede Interior	Reboco	0,012	0,191	704	1359	1,238
	Ar	0,05				
	Blocos	0,1	0,513	1299	827	
	Ar	0,05				
	Reboco	0,012	0,191	704	1359	
Laje de pavimento interior	Alcatifa	0,006	0,060	183	1740	1,980
	Argamassa	0,05	0,787	1481	904	
	Betão Pesado	0,15	1,491	2179	864	
	Metal ferroso	0,004	44	7870	501	
	Alcatifa	0,006	0,060	183	1740	

▪ 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 5 cm, sendo o coeficiente de transmissão térmica de 1,75 W/m².°C e 1,99 W/m².°C, respectivamente.

▪ Envidraçados

São utilizados dois tipos de envidraçados: duplos e triplos. Em Portugal e no sul de França, os envidraçados são de vidro duplo e com caixilharia de alumínio, representando, esta última, 15 % da área total do envidraçado. Nos restantes países, de clima mais severo, os envidraçados são de vidro triplo e com a mesma área e tipo de caixilharia. As principais características destes dois componentes estão indicadas na tabela 5-8.

Tabela 5-8 - Propriedades dos envidraçados

Tipo de janela	Triplo		Duplo	
Número de painéis	3	e = 4 mm	2	e = 4 mm
Tipo de gas	ar	e = 6 mm	ar	e = 6 mm
Material da caixilharia	Alumínio		Alumínio	
Tipo de vidro	Transparente		Transparente	
Conductividade do vidro [W/m.K]	1		1	
Transmissividade solar do vidro	0,624		0,693	
Reflectividade solar – face exterior	0,168		0,135	
Reflectividade solar – face interior	0,168		0,135	
Transmissividade visível do vidro	0,744		0,815	
Reflectividade visível – face exterior	0,202		0,145	
Reflectividade visível – face interior	0,202		0,145	
Transmissividade térmica de radiação infravermelha	0,0		0,0	
Emissividade de radiação infravermelha – face exterior	0,84		0,89	
Emissividade de radiação infravermelha – face interior	0,84		0,89	
Factor solar do envidraçado	0,70		0,751	
Factor solar do vão envidraçado com a protecção interior	0,63		0,63	
Factor solar do vão envidraçado com a protecção exterior	0,07		0,07	
Factor solar do vão envidraçado	0,06		0,06	
U [W/m ² .°C]	1,8		4,5	

Em cada janela existe uma cortina interior, transparente de cor clara e persianas exteriores de material plástico. Os sombreadores interiores encontram-se 100 % activos durante todo o ano, com um factor solar de 0,63. Quanto aos dispositivos exteriores de sombreamento, estes encontram-se totalmente abertos durante a estação de aquecimento, maximizando-se deste modo o aproveitamento dos ganhos solares. No Verão, os sombreadores encontram-se fechados, durante o período em que os raios solares incidem na fachada em que se encontram instalados.

Após apresentação detalhada das características da envolvente, apresenta-se, na tabela 5-9, o coeficiente global de transferência de calor (UA) para a habitação unifamiliar, em cada localização em estudo.

Tabela 5-9 - Habitação Unifamiliar: Valores de UA para cada localização

	Portugal	Paris e Bélgica	Nice	Suécia e Noruega	Holanda	Reino Unido
UA [W/°C]	186	116	140	57	75	138

5.1.2. Ganhos Internos

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.

5.1.2.1. Ocupação

O edifício é habitado por uma família com 5 elementos (2 adultos e três crianças). Na tabela 5-10 [42], encontram-se os períodos em que cada ocupante se encontra no edifício. A localização de cada ocupante no interior do edifício é descrita, detalhadamente, no Anexo II.

Tabela 5-10 - Habitação Unifamiliar: Período de ocupação do edifício

Habitante	Segunda a Sexta	Sábado e Domingo
Homem	0-7 h; 18-24 h	0-10 h; 12-24 h
Mulher	0-8 h; 17-24 h	0-13 h; 15-24 h
Criança (19 anos)	0-8 h; 18-24 h	2-17 h
Criança (16 anos)	0-8 h; 17-24 h	0-15 h; 17-20 h; 23-24 h
Criança (13 anos)	0-8 h; 17-24 h	0-12 h; 15-24 h

Na tabela 5-11e na tabela 5-12 [42] apresentam-se os períodos em que ocorre produção de vapor de água, ou seja, horários e duração de banhos e confecção de refeições.

Tabela 5-11 - Habitação Unifamiliar: Horário de banhos

Ocupante	Segunda a Sexta	Sábado e Domingo	Produção de H ₂ O [g/banho]
Casa de Banho			
Homem	6.00 - 6.15	9.00 - 9.15	300
Mulher	6.30 - 6.45	9.30 - 9.45	
Criança, 13 anos	7.30 - 7.45	10.00 - 10.15	
Criança, 16 anos	7.15 - 7.30	11.00 - 11.15	
Chuveiro			
Criança, 19 anos	7.00 - 7.15	11.45 - 12.00	300

Tabela 5-12 - Habitação Unifamiliar: Horário de confecção de refeições

Refeição	Segunda a Sexta		Sábado e Domingo	
	Produção de H ₂ O [g]	Schedule	Produção de H ₂ O [g]	Schedule
Pequeno-almoço	50	6.30 - 7.00	100	9.00 - 10.00
	200	7.00 - 8.00	100	10.00 - 11.00
Almoço	0	-	750	11.00 - 12.00
Jantar	1500	17.00 - 18.00	1500	17.00 - 18.00

A taxa de produção de CO₂ e o calor sensível e latente libertado por cada ocupante encontra-se descrito na tabela 5-13 [42].

Tabela 5-13 - Taxa de produção de CO₂, H₂O e calor libertado por ocupante

Produção de H ₂ O [g/(h*p)]	Produção de CO ₂ [l/(h*p)]	Ganho Sensível [W]	Ganho Latente [W]
55	18	60	40

5.1.2.2. Equipamentos e iluminação

Os ganhos térmicos incluem qualquer fonte de calor situada no espaço, excepto sistemas de aquecimento. De acordo com o RCCTE [20], os ganhos térmicos médios por unidade de área útil de pavimento, para um edifício do tipo residencial, é de 4 W/m², numa base de 24 h/dia,

todos os dias do ano. Foi este o valor considerado na análise dos diferentes casos.

5.1.3. Climatização

O edifício tem um sistema de aquecimento que garante uma temperatura interior de 20 °C em 75 % do edifício (sala, cozinha, quartos, casa de banho e chuveiro).

Não existe qualquer tipo de dispositivo para promover o arrefecimento dos espaços.

5.1.4. Infiltrações

A taxa de renovação de ar devido a infiltrações, assumida para este edifício, é de 1 RPH @ 50 Pa. Esta taxa de infiltrações resulta num caudal equivalente a 16 m³/h @1 Pa e, seguindo a filosofia proposta no Anexo 27 [42], é distribuído por todas as zonas, de acordo com as áreas de pavimento, considerando-se que a entrada de ar ocorre a dois níveis distintos: 0,625 m e 1,875 m do pavimento. Na tabela 5-14 [42] apresentam-se os valores dos caudais de infiltração por zona, por aplicação do critério descrito anteriormente e com base na expressão (24) e considerando $n = 0,78$ [42].

$$m = C_s \cdot \Delta p^n \quad (24)$$

sendo,

m - caudal de infiltrações [kg/s @ Δp Pa]

C_s - caudal de infiltrações a 1 Pa [kg/s]

n - expoente adimensional

Tabela 5-14 - Habitação Unifamiliar: Caudais de infiltração de ar em cada zona da habitação unifamiliar

	Área [m ²]	Fracção	Cs [kg/s@1Pa]	Q [m ³ /h@50Pa]
Sala	25,5	0,193	0,001032	21,8
Cozinha	8,75	0,066	0,000354	7,5
WC de Serviço	3,75	0,028	0,000152	3,2
Entrada	6,75	0,051	0,000273	5,8
Quarto 1	10	0,076	0,000405	8,6
Quarto 2	10	0,076	0,000405	8,6
Quarto 3	10	0,076	0,000405	8,6
Casa de Banho	7,5	0,057	0,000304	6,4
Hall	6,5	0,049	0,000263	5,6
Quarto 4	12,5	0,095	0,000506	10,7
Chuveiro	5	0,038	0,000202	4,3
Hall2	4	0,030	0,000162	3,4
Sótão 1	14,25	0,108	0,000577	12,2
Sótão 2	8,25	0,063	0,000334	7,1
Sótão 3	16,5	0,125	0,000668	14,1

5.1.5. Coeficientes de Pressão

Os coeficientes de pressão (C_p) em torno do edifício foram retirados da TN 44 [4]. Neste caso, assume-se que se trata de um edifício rodeado de obstruções com aproximadamente metade da sua altura. O nível de referência para a velocidade do vento é a altura do edifício e a relação entre o comprimento e a largura deste é de 2:1. Na tabela 5-15 apresentam-se os valores utilizados para os C_p 's, para as diferentes direcções do vento.

Tabela 5-15 - Habitação Unifamiliar: Valores dos coeficientes de pressão (C_p)

	0	45	90	135	180	225	270	315
Norte	0,25	0,06	-0,35	-0,6	-0,5	-0,6	-0,35	0,06
Sul	-0,5	-0,6	-0,35	0,06	0,25	0,06	-0,35	-0,6
Este	-0,6	0,2	0,4	0,2	-0,6	-0,5	-0,3	-0,5
Oeste	-0,6	-0,5	-0,3	-0,5	-0,6	0,5	0,4	0,2
Vertente a 45° N	0,15	-0,08	-0,4	-0,75	-0,6	-0,75	-0,4	-0,08
Vertente a 45° S	-0,6	-0,75	-0,4	-0,08	0,15	-0,08	-0,4	-0,75

5.2. Habitação multifamiliar

Neste trabalho utilizou-se o edifício de referência com tipologia multifamiliar [36] que se apresenta na figura 5-1 e na figura 5-2. Trata-se de um edifício de apartamentos, com quatro pisos e 2 fracções autónomas em cada um. Os apartamentos têm todos a mesma configuração e cerca de 80 m^2 , sendo o pé-direito de cada piso 2,5 m. São constituídos por três quartos, uma sala, cozinha e duas casas de banho. Têm duas frentes, encontrando-se a sala orientada a Sul. De referir ainda a existência de uma cobertura em desvão ventilado com as vertentes inclinadas a 30° .



Figura 5-5 - Edifício de habitação multifamiliar, fachada Sul



Figura 5-6 - Edifício de habitação multifamiliar, fachada Norte

Tal como aconteceu com a habitação multifamiliar, as características geométricas deste edifício são independentes da sua localização, ocorrendo, apenas, alterações na envolvente.

Na figura 5-7 encontra-se representada a planta genérica dos pisos do edifício. Como já foi referido. Neste edifício serão estudados três apartamentos, na mesma prumada: um no rés-do-chão, outro num piso intermédio e o outro sob a cobertura.

O posicionamento das janelas e portas em cada piso do edifício é visível na figura 5-8. As portas, interiores e exteriores (de cada apartamento para o hall), têm uma área de $2,1 \text{ m}^2$ ($2,1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$) e as janelas, com larguras de 2 m, na sala e 1 m, nos restantes compartimentos, têm 1 m de altura encontrando-se a 1 m do pavimento de cada apartamento.

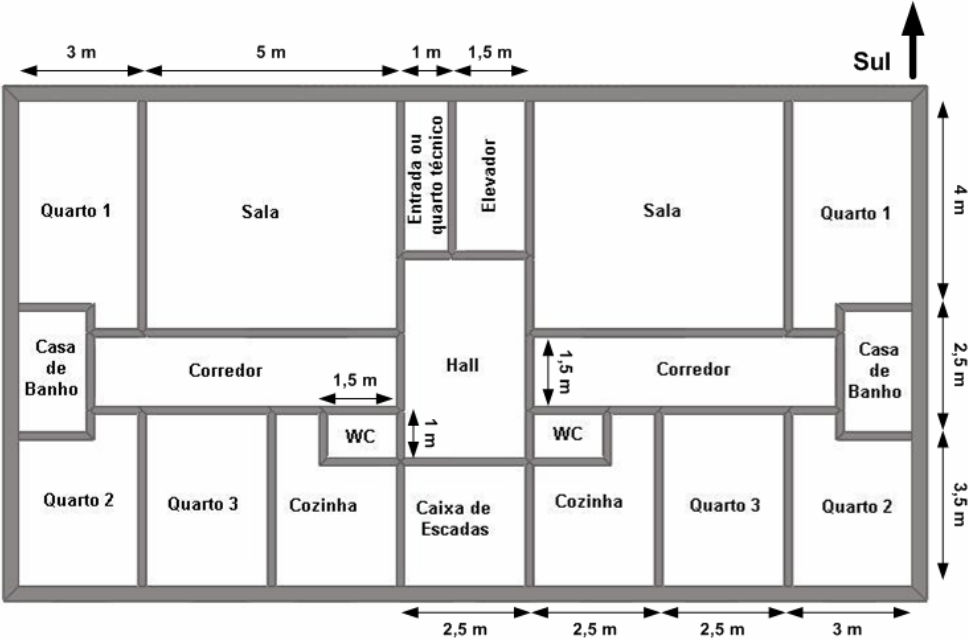


Figura 5-7 - Habitação Multifamiliar: Planta de um piso do edifício (2 apartamentos)

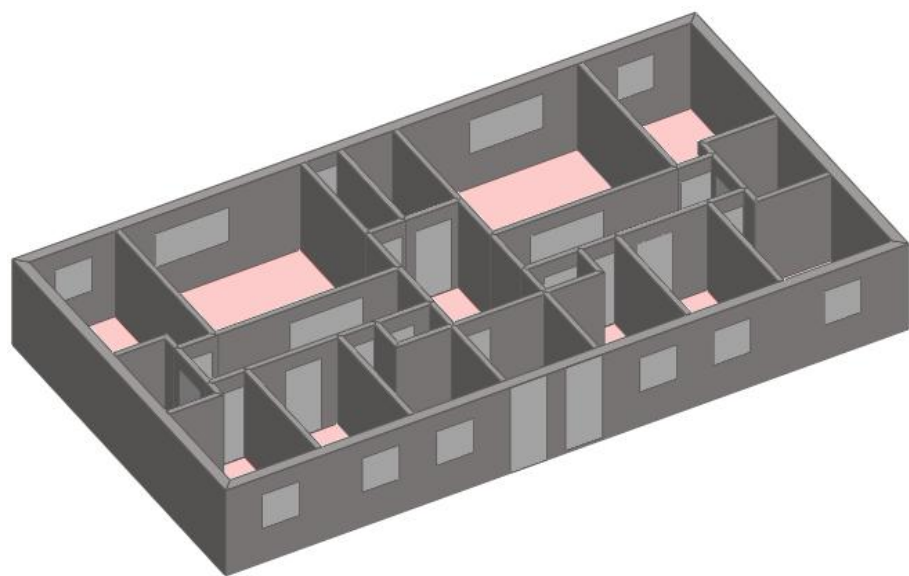


Figura 5-8 - Habitação Multifamiliar: Vista 3D de um piso

As áreas e volumetrias referentes a um apartamento encontram-se na tabela 5-16 [36].

Tabela 5-16 - Habitação Multifamiliar: Dimensões das zonas de cada apartamento

	Área útil [m ²]	Volume [m ³]	Área de envidraçados [m ²]
Sala	22,5	56,25	2
Cozinha	8,5	21,25	1
WC de Serviço	1,5	3,75	-
Corredor	9	22,5	-
Quarto 1	12,5	31,25	1
Quarto 2	11	27,5	1
Quarto 3	10	25	1
Casa de Banho	5	12,5	-

5.2.1. Caracterização da envolvente

A envolvente deste edifício é semelhante à utilizada na habitação unifamiliar, pelo que apenas se relembra, na tabela 5-17 [38] [40] [41] [39], os valores dos coeficientes de transmissão térmica de cada um dos elementos da envolvente comuns aos dois edifícios. A única exceção será no que diz respeito ao piso da cobertura, não habitável e em desvão fortemente ventilado. Na tabela 5-18 [38, 40] [39, 41] apresentam-se os constituintes da cobertura deste edifício, assim como, o posicionamento dos diferentes constituintes que é feito do interior para o exterior das zonas.

Tabela 5-17 - Coeficiente de transmissão térmica dos elementos da envolvente

	Portugal	França Bélgica	Suécia Noruega	Holanda	Reino Unido
Elemento	U [W/m ² .°C]				
Parede Exterior	0,78	0,508	0,214	0,281	0,284
Laje de Pavimento Exterior ⁵⁰	0,52	0,474	0,18	0,337	1,755
Parede interior à fracção autónoma – Tipo 1	2,2	1,56	1,82	3,82	1,238
Parede interior à fracção autónoma – Tipo 2	2,07	3,0	2,12	3,0	1,238
Laje de pavimento interior ⁵¹	1,67	1,439	0,69	1,98	2,303
Portas interiores à FA	1,99				
Portas exteriores do edifício e FA	1,75				

Tabela 5-18 - Características dos materiais constituintes da cobertura

PORTUGAL					FRANÇA E BÉLGICA				
	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m ³]	c _p [J/kg.°C]		e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m ³]	c _p [J/kg.°C]
Reboco	0,02	1,150	1950	837	Reboco	0,02	1,150	1950	837
LAC	0,13	0,931	1320	965	Ar	0,02			
PEEP	0,04	0,035	32,5	1210	Lã Mine- ral	0,10	0,045	25	1450
U = 0,61 W/m ² .°C					U = 0,392 W/m ² .°C				
SUÉCIA E NORUEGA					HOLANDA				
	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m ³]	c _p [J/kg.°C]		e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m ³]	c _p [J/kg.°C]
Madeira	0,015	0,013	500	2500	Isolamento	0,12	0,045	25	1470
Betão	0,15	1,5	2300	830	Painéis de Madeira	0,02	0,15	600	1880
Poliestireno	0,05	0,04	70	1045	U = 0,337 W/m ² .°C				
U = 0,374 W/m ² .°C									

⁵⁰ Apenas nos apartamentos do piso 0.

⁵¹ Entre as FA dos diferentes pisos.

Tabela 5-18 - Características dos materiais constituintes da cobertura (cont.)

REINO UNIDO				
	e [m]	λ [W/m.°C]	ρ [kg/m³]	c_p [J/kg.°C]
Isolamento	0,259	0,039	38	1072
Reboco	0,012	0,191	704	1359

$$U = 0,145 \text{ W/m}^2\text{.}^\circ\text{C}$$

No que diz respeito aos envidraçados, tal como na habitação unifamiliar, são de vidro duplo com caixilharia de alumínio que ocupa 15 % da área de envidraçado. O coeficiente de transmissão térmica é, tal como anteriormente, 4,5 W/m².°C, nos envidraçados duplos e 1,8 W/m².°C nos envidraçados triplos. Para ambos os casos, as propriedades físicas e ópticas são as descritas na tabela 5-8.

O sombreamento destes elementos baseia-se numa cortina interior, transparente de cor clara e persianas exteriores de material plástico, seguindo a mesma filosofia apresentada na habitação unifamiliar.

À semelhança do que aconteceu para a habitação unifamiliar, na tabela 5-19, apresenta-se o coeficiente global de transferência de calor (UA) para a habitação unifamiliar, em cada localização em estudo.

Tabela 5-19 - Habitação Multifamiliar: Valor do UA do edifício para cada piso [W/°C]

	Piso 1	Piso 2 e 3	Piso 4
Portugal	111	70	123
Paris e Bélgica	76	39	65
Nice	93	55	81
Suécia e Noruega	37	23	34
Holanda	53	26	49
Reino Unido	165	26	38

5.2.2. Ganhos Internos

5.2.2.1. Ocupação

Em cada apartamento será considerada a presença de uma família com quatro elementos, dois adultos e duas crianças. Na tabela 5-20 [42], encontram-se os períodos em que cada ocupante se encontra no edifício. A localização de cada ocupante no interior do edifício é descrita, detalhadamente, no Anexo II.

Tabela 5-20 - Habitação Multifamiliar: Período de ocupação do edifício

Habitante	Segunda a Sexta	Sábado e Domingo
Homem	0-7 h; 18-24 h	0-10 h; 12-24 h
Mulher	0-8 h; 12-13 h; 17-24 h	0-13 h; 15-24 h
Criança (13 anos)	0-8 h; 17-24 h	0-12 h; 15-24 h
Criança (10 anos)	0-8 h; 17-24 h	0-10 h; 13-24 h

Nas tabelas seguintes encontram-se descritos os horários e duração de banhos e confecção de refeições [42].

Tabela 5-21 - Habitação Multifamiliar: Horário de banhos

Ocupante	Segunda a sexta	Sábado e Domingo	Produção de H ₂ O [g/banho]
Casa de Banho			
Homem	6.00 - 6.15	9.45 - 10.00	300
Mulher	6.30 - 6.45	9.30 - 9.45	
Criança, 13 anos	7.15 - 7.30	10.00 - 10.15	
Criança, 10 anos	7.30 - 7.45	9.00 - 9.15	

Tabela 5-22 - Habitação Multifamiliar: Horário de confecção de refeições

Refeição	Segunda a sexta		Sábado e Domingo	
	Produção de H ₂ O [g]	Schedule	Produção de H ₂ O [g]	Schedule
Pequeno-almoço	100	6.30 - 7.00	150	9.00 - 10.00
	100	7.00 - 8.00	50	10.00 - 11.00
Almoço	150	12.00 - 13.00	0	-
Jantar	1200	17.00 - 18.00	1200	17.00 - 18.00

A taxa de produção de CO₂ e o calor sensível e latente libertado por cada ocupante foram apresentados anteriormente, e encontram-se na tabela 5-13.

5.2.2.2. Equipamentos e iluminação

Os ganhos internos devidos aos equipamentos e iluminação são os recomendados pelo RCC-TE [20] e já utilizados no caso da vivenda. Usar-se-á um valor de 4 W/m², numa base de 24 h/dia, todos os dias do ano.

5.2.3. Climatização

No Inverno, cada apartamento tem um sistema de aquecimento que garante uma temperatura interior de 20 °C, sendo toda a fracção climatizada.

No Verão não existe qualquer tipo de dispositivo para promover o arrefecimento dos espaços.

5.2.4. Infiltrações

Tal como no caso da habitação unifamiliar, a taxa de infiltrações considerada é de

1 RPH @ 50 Pa equivalente, neste caso, a $10 \text{ m}^3/\text{h}$ @ 1 Pa. A distribuição deste caudal segue, uma vez mais, as orientações do Anexo 27 [42], sendo afecto a todas as zonas, de acordo com as áreas de pavimento. Considerando-se que a entrada de ar nos compartimentos ocorre a dois níveis distintos; isto é: 0,625 m e 1,875 m de altura do pavimento.

Na tabela 5-23 apresentam-se os valores dos caudais de infiltração por zona, resultante da aplicação do critério atrás descrito.

Tabela 5-23 - Habitação Multifamiliar: Caudais de infiltração de ar em cada zona do apartamento

	Área [m^2]	Fracção	Cs [$\text{kg/s}@1\text{Pa}$]	Q [$\text{m}^3/\text{h}@50\text{Pa}$]
Sala	22,5	0,300	0,000949	20,1
Cozinha	8,5	0,113	0,000359	7,6
WC de Serviço	1,5	0,020	0,000063	1,3
Corredor	9	0,120	0,000380	8,0
Quarto 1	12,5	0,167	0,000527	11,1
Quarto 2	11	0,147	0,000464	9,8
Quarto 3	10	0,133	0,000422	8,9
Casa de Banho	0	0,000	0,000000	0,0

5.2.5. Coeficientes de Pressão

Os coeficientes de pressão (C_p) em torno do edifício foram retirados da TN 44 [4], assumindo-se que se trata de um edifício rodeado de obstruções com, aproximadamente, metade da sua altura. O nível de referência para a velocidade do vento é a altura do edifício e a relação entre o comprimento e a largura deste é de 2:1. Na tabela 5-24 apresentam-se os valores utilizados para os C_p 's, para as diferentes direcções do vento.

Tabela 5-24 - Habitação Multifamiliar: Valores dos coeficientes de pressão (C_p)

		0	45	90	135	180	225	270	315
PISO 1	Norte	0,340	0,163	-0,233	-0,437	-0,287	-0,430	-0,233	0,163
	Sul	-0,287	-0,430	-0,233	0,110	0,340	0,163	-0,233	0,110
	Este	-0,423	-0,437	-0,183	0,163	-0,423	0,110	0,260	-0,430
	Oeste	-0,423	0,110	0,260	-0,287	-0,423	-0,437	-0,183	0,163
PISO 2	Norte	0,343	0,160	-0,397	-0,447	-0,303	-0,493	-0,397	0,160
	Sul	-0,303	-0,493	-0,397	0,037	0,343	0,160	-0,397	0,037
	Este	-0,613	-0,447	-0,187	0,160	-0,613	0,037	0,297	-0,493
	Oeste	-0,613	0,037	0,297	-0,303	-0,613	-0,447	-0,187	0,160
PISO 3	Norte	0,500	0,243	-0,503	-0,380	-0,360	-0,523	-0,503	0,243
	Sul	-0,360	-0,523	-0,503	0,107	0,500	0,243	-0,503	0,107
	Este	-0,660	-0,380	-0,190	0,243	-0,660	0,107	0,393	-0,523
	Oeste	-0,660	0,107	0,393	-0,360	-0,660	-0,380	-0,190	0,243
PISO 4	Norte	0,633	0,333	-0,563	-0,347	-0,370	-0,513	-0,563	0,333
	Sul	-0,370	-0,513	-0,563	0,220	0,633	0,333	-0,563	0,220
	Este	-0,667	-0,347	-0,187	0,333	-0,667	0,220	0,523	-0,513
	Oeste	-0,667	0,220	0,523	-0,370	-0,667	-0,347	-0,187	0,333
	Vertente a 30° N	-0,6	-0,6	-0,55	-0,55	-0,45	-0,55	-0,55	-0,6
	Vertente a 30° S	-0,45	-0,55	-0,55	-0,6	0,6	-0,6	-0,55	-0,55

6. Sistemas de Ventilação

O objectivo desta dissertação é estudar sistemas de ventilação híbrida em edifícios. Neste capítulo, descreve-se, detalhadamente, os diferentes sistemas e respectivas estratégias de controlo. Faz-se referência aos dispositivos utilizados por cada um dos sistemas, nomeadamente, grelhas de insuflação, válvulas e hottes de extracção, condutas e ventiladores.

Na sequência do trabalho serão apresentados, como referência, dois sistemas de ventilação: um de ventilação natural e outro de extracção mecânica. O primeiro será de acordo com a norma NP 1037-1 e o outro, um sistema, tipicamente utilizado, de extracção mecânica do ar nos compartimentos húmidos.

6.1. Princípios gerais dos diferentes sistemas de ventilação

Na sequência do presente trabalho serão apresentados, neste capítulo, cinco sistemas de ventilação, dos quais três são sistemas de ventilação híbridos e inovativos, e os outros dois sistemas tipicamente utilizados nos edifícios portugueses.

6.1.1. Sistemas de ventilação híbridos inovativos

O estudo recai sobre três sistemas de ventilação híbrida, sistemas estes propostos no decorrer do projecto europeu RESHYVENT. Os sistemas são baseados em tecnologias de extracção mecânica e insuflação natural e, de uma forma geral, a diferença entre estes sistemas inovativos reside na estratégia de controlo utilizada e no aproveitamento que cada um faz dos meios naturais:

- **Sistema I (SI)** [40] – Extracção do ar nos compartimentos húmidos, através de uma rede aerólica, com um ventilador associado e insuflação natural através de grelhas nas fachadas dos compartimentos principais. O controlo do sistema é baseado na produção de vapor de água no interior dos espaços húmidos e na presença de ocupantes no edifício [40], sendo comandada por uma Unidade Central de Comando (UCC).

- **Sistema II (SII)** [41] – Neste sistema, existe uma rede de condutas associada ao circuito de extracção e um ventilador único. Os pontos de extracção localizam-se nas zonas húmidas do edifício, ou seja, as zonas onde há produção de vapor de água. A insuflação de ar exterior faz-se pelos compartimentos principais através de grelhas instaladas nas fachadas do edifício [41]. Para este sistema de ventilação estudaram-se três estratégias de controlo de ventilação distintas:

- *Sistema IIa (SIIa)* [41] - O controlo deste sistema de ventilação baseia-se na pré programação da UCC. Estabelece-se um horário de ocupação previsto para cada zona do edifício e o número de ocupantes presentes, funcionando o sistema de ventilação de acordo com essa programação. Trata-se de um sistema de extracção mecânica e insuflação natural com um caudal de ar novo igual a 7 l/s por ocupante.
 - *Sistema IIb (SIIb)* [41] – Sistema semelhante ao anterior variando apenas a estratégia de controlo. Neste caso, o sistema reage pelo nível de CO₂ medido na conduta de extracção principal, onde se encontra instalado um sensor de CO₂. O caudal de ar insuflado por pessoa, variável entre 1 e 14 l/s.
 - *Sistema IIc (SIIc)* [41] – Este sistema de ventilação é, tal como o SIIb, controlado pela concentração de CO₂. A diferença encontra-se na localização dos sensores que, neste caso, são colocados em cada zona habitável da habitação, ou seja, quartos e sala. Em função do valor detectado, a UCC comanda a posição de cada grelha de insuflação, variando, deste modo, o caudal admitido. A extracção mecânica compensará as necessidades de insuflação.
- **Sistema III (SIII)** [39] – Este sistema de ventilação utiliza o mesmo princípio dos anteriores, ou seja, a extracção do ar viciado é feita através de válvulas de extracção instaladas nos compartimentos húmidos. A extracção é mecânica e efectuada apenas um ventilador. A insuflação é promovida por meios naturais nos quartos e sala, através de grelhas colocadas nas fachadas de cada zona. A depressão criada nos compartimentos húmidos provoca o movimento do ar em todo o edifício, uma vez que, o ar que entra nas zonas principais, atravessa as frinchas existentes na parte inferior das portas e alcança a cozinha e casas de banho, sendo depois exaurido para o exterior. Desta forma, o ar “fresco” atravessa todo o edifício antes de ser rejeitado. O sistema é controlado através de diversos sensores instalados nos diferentes compartimentos. Serão colocados sensores de humidade na cozinha, casa de banho e chuveiro, sensores de presença nos quartos e casa de banho de serviço e por fim, sensor de movimentos na sala. Utilizando o sinal destes dispositivos, a unidade central de comando (UCC) avalia as necessidades de insuflação e de extracção [39].

6.1.2. Sistemas de ventilação actuais

Neste estudo incluíram-se dois sistemas de ventilação tipicamente utilizados, para se avaliar a eficácia quer em termos de consumo energético, quer em termos de QAI destes sistemas face

aos inovativos que são propostos neste trabalho. Assim, e tendo em atenção o que actualmente se instala, em Portugal, apresentam-se os seguintes sistemas:

- **Sistema IV (SIV)** [38] – De acordo com a norma portuguesa NP 1037-1 [17], este sistema utiliza apenas os recursos naturais. O ar é extraído dos compartimentos húmidos através de condutas verticais e insuflado nos compartimentos principais através de grelhas nas fachadas. Não existe qualquer tipo de controlo neste sistema, os caudais de projecto são constantes e permanentes, e totalmente dependentes das condições exteriores.

- **Sistema V (SV)** [38] – Este é o sistema que, actualmente, se encontra com mais frequência nos edifícios portugueses. Utiliza apenas extracção mecânica do ar na cozinha e casas de banho sendo a entrada do ar garantida pelas aberturas reguláveis instaladas nas fachadas dos compartimentos principais do edifício.

6.2. Sistemas Inovativos

6.2.1. Estratégias de ventilação

Os sistemas de ventilação híbrida inovativos em análise são, no que diz respeito ao princípio de ventilação, muito semelhantes. A extracção do ar interior do edifício efectua-se nos compartimentos húmidos, ou seja, cozinha e casas de banho, de acordo com o esquematizado na figura 6-1, no caso da habitação unifamiliar e na figura 6-2 para a habitação multifamiliar. A entrada do ar no edifício é promovida de uma forma natural, por grelhas colocadas nas fachadas dos compartimentos principais (quartos e sala). O escoamento do ar ocorre devido ao diferencial de pressão entre o interior e o exterior do edifício.

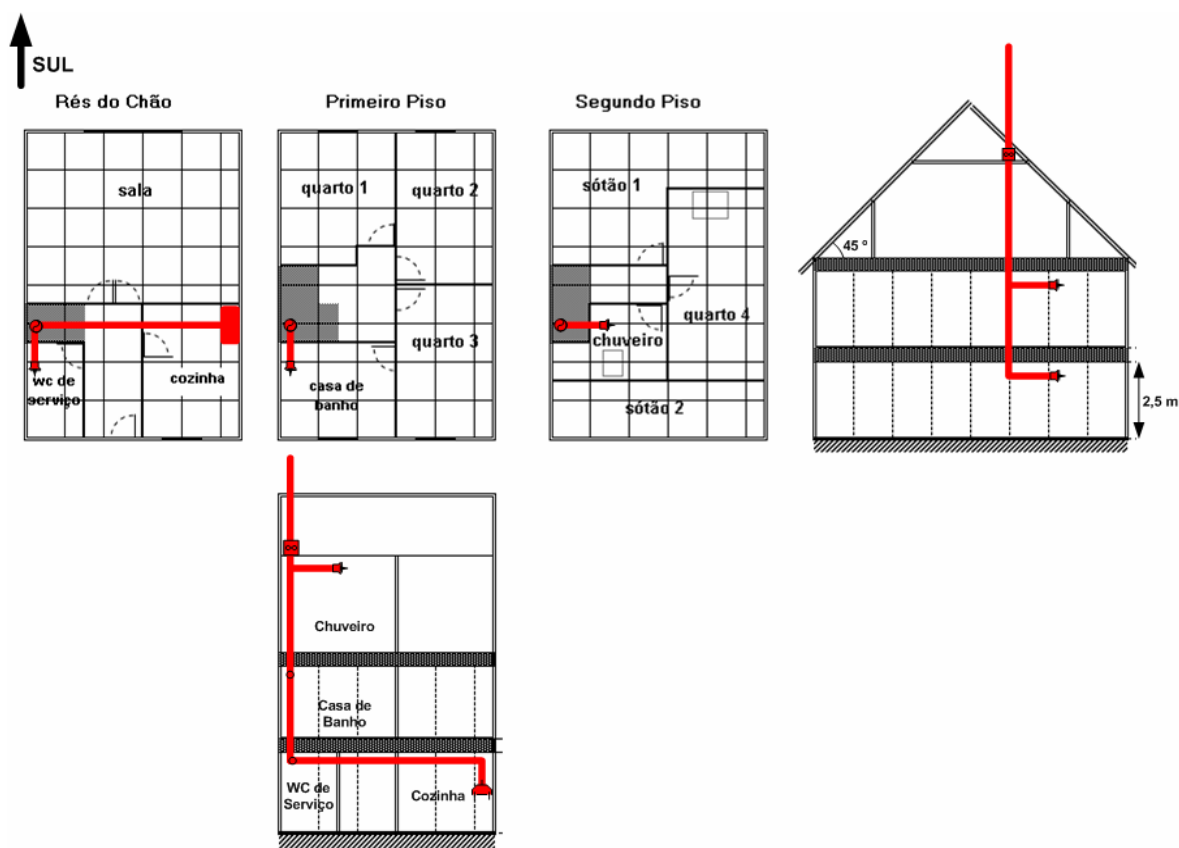


Figura 6-1 - Habitação Unifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica nos sistemas híbridos

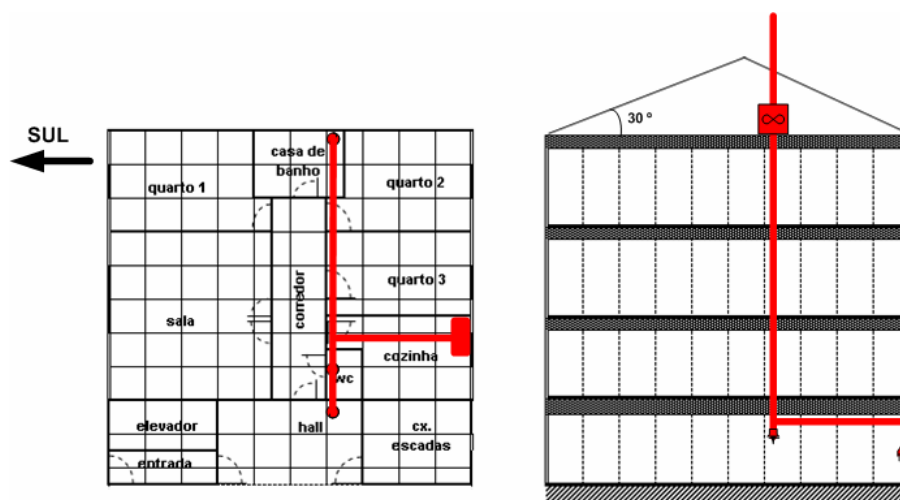


Figura 6-2 - Habitação Multifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica nos sistemas híbridos do piso 1⁵²

6.2.2. Dispositivos de ventilação

As diferenças entre os sistemas de ventilação residem não só no tipo de controlo mas também nos dispositivos de ventilação utilizados. Estes sistemas são constituídos por uma série de dispositivos que garantem a circulação do ar no interior da vivenda:

⁵² A configuração do sistema de condutas de extracção é igual em todos os pisos da habitação multifamiliar.

- ventilador;
- condutas;
- válvulas de extracção;
- grelhas de insuflação.

6.2.2.1. Ventilador

A extracção mecânica do ar do interior da vivenda ou de cada fracção autónoma (FA), no caso de edifício de habitação multifamiliar, efectua-se através de um único ventilador axial instalado na conduta principal de extracção.

Os ventiladores utilizados nos sistemas I e II são de caudal constante e independente do diferencial de pressões, obtendo-se os caudais desejados através da alteração da velocidade de rotação. A potência do ventilador é de 24 W.

No sistema III, utiliza-se um ventilador, proposto por um no projecto RESHYVENT [39], e que permite obter diferentes caudais de extracção, dependendo da potência eléctrica consumida pelo ventilador, cujo valor pode variar entre 0 e 16 W, de acordo com o que se apresenta na figura 6-3.

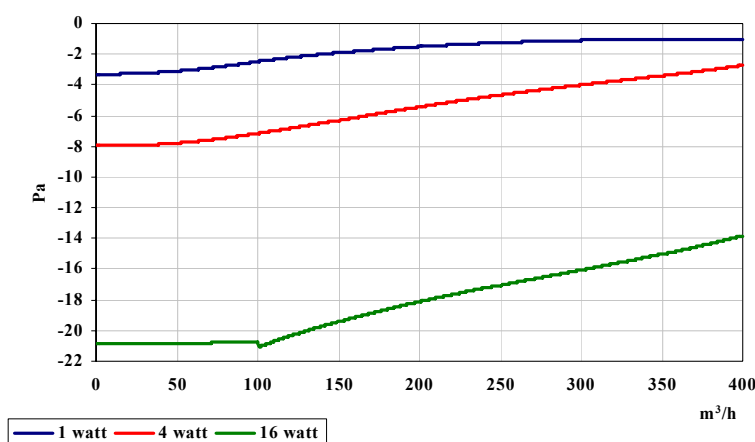


Figura 6-3 - Sistema III: Curva característica do ventilador para diferentes potências

O comportamento do ventilador [39], para cada uma das três potências de funcionamento é traduzido pelas equações (25), (26) e (27), nas quais os coeficientes A a C representam os patamares de caudais e os aa a ss , os coeficientes das equações e que, por razões de confidencialidade do fabricante não podem ser aqui incluídos.

- $P_{\text{vent}} = 0 \text{ W}$

No caso em que o ventilador se encontra desligado, a resistência ao escoamento é semelhante à de uma conduta circular com 192 mm de diâmetro.

- $P_{vent} = 1 \text{ W}$

$$A \text{ m}^3 / h \leq \dot{Q} < B \text{ m}^3 / h \Rightarrow$$

$$\Delta p_{vent} = aa \cdot \dot{Q}^2 - bb \cdot \dot{Q} - cc \quad (25)$$

$$B \text{ m}^3 / h \leq \dot{Q} < C \text{ m}^3 / h \Rightarrow$$

$$\Delta p_{vent} = dd \cdot \dot{Q}^3 - ee \cdot \dot{Q}^2 + ff \cdot \dot{Q} - gg$$

- $P_{vent} = 4 \text{ W}$

$$0 \text{ m}^3 / h \leq \dot{Q} < C \text{ m}^3 / h \Rightarrow$$

$$\Delta p_{vent} = hh \cdot \dot{Q}^4 - ii \cdot \dot{Q}^3 + jj \cdot \dot{Q}^2 - kk \cdot \dot{Q} - ll \quad (26)$$

- $P_{vent} = 16 \text{ W}$

$$0 \text{ m}^3 / h \leq \dot{Q} < B \text{ m}^3 / h \Rightarrow$$

$$\Delta p_{vent} = mm \cdot \dot{Q} - nn \quad (27)$$

$$B \text{ m}^3 / h \leq \dot{Q} < C \text{ m}^3 / h \Rightarrow$$

$$\Delta p_{vent} = pp \cdot \dot{Q}^3 - qq \cdot \dot{Q}^2 + rr \cdot \dot{Q} - ss$$

6.2.2.2. Condutas de extracção

Existe uma rede de condutas circulares de extracção, com uma rugosidade de 0,15 mm, que garante a extracção do ar, de forma natural ou mecânica.

Na tabela 6-1 e na tabela 6-2 apresentam-se as dimensões de cada rama da rede de condutas de extracção que se encontra representada na figura 6-4 e na figura 6-5, para a habitação unifamiliar e multifamiliar, respectivamente. O dimensionamento das condutas foi feito admitindo Δp constante e com base na ASHRAE Fundamentals [43].

Deste modo, foi possível garantir que a perda de carga linear se encontra dentro da gama de 1 a 5 Pa/m. Desta forma, os níveis de ruído são inferiores aos limites máximos impostos e dá-se uma redução da perda de carga e, consequentemente, da energia associada.

Tabela 6-1 - Habitação Unifamiliar: Dimensões das condutas de extracção

Sistema I				Sistema II				Sistema III			
	Q [m³/h]	φ [mm]	L [m]		Q [m³/h]	φ [mm]	L [m]		Q [m³/h]	φ [mm]	L [m]
DS1	70	100	0,4	DS1	200	125	0,4	DS1	200	160	0,4
DS2	70	100	5	DS2	200	125	5	DS2	200	160	5
DS3	28,8	80	1	DS3	25	63	1	DS3	200	160	1
DS4	96	125	2,8	DS4	200	125	2,8	DS4	400	192	2,8
DS5	80	100	1	DS5	200	125	1	DS5	200	160	1
DS6	176	125	2,8	DS6	400	160	2,8	DS6	400	192	2,8
DS7	80	100	1	DS7	200	125	1	DS7	200	160	1
DS8	256	160	0,4	DS8	600	200	0,4	DS8	400	192	0,4
DS9	256	160	1,6	DS9	600	200	1,6	DS9	400	192	1,6

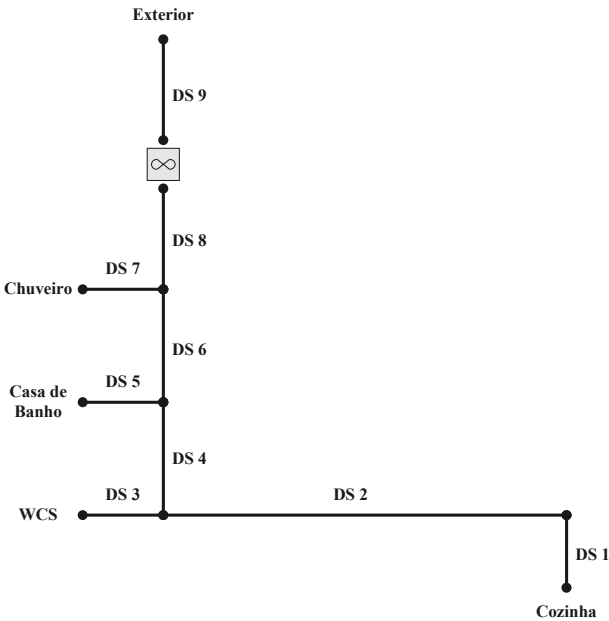


Figura 6-4 - Habitação Unifamiliar: Rede de condutas do sistema de extracção

Tabela 6-2 - Habitação Multifamiliar:
Dimensões das condutas de extracção

Sistema I			
	Q [m ³ /h]	φ [mm]	L [m]
DS1	105	100	0,4
DS2	105	100	6,0
DS3	70	100	0,8
DS4	70	100	3,5
DS5	175	125	1,0
DS6	30	80	0,4
DS7	205	160	8,7
DS8	205	160	2,1
DS9	205	160	5,9
DS10	205	160	3,1
DS11	205	160	0,3
Sistema II			
	Q [m ³ /h]	φ [mm]	L [m]
DS1	200	125	0,4
DS2	200	125	6,0
DS3	200	125	0,8
DS4	200	125	3,5
DS5	400	160	1,0
DS6	25	63	0,4
DS7	400	160	8,7
DS8	400	160	2,1
DS9	400	160	5,9
DS10	400	160	3,1
DS11	400	160	0,3
Sistema III			
	Q [m ³ /h]	φ [mm]	L [m]
DS1	200	160	0,4
DS2	200	160	6,0
DS3	200	160	0,8
DS4	200	160	3,5
DS5	400	192	1,0
DS6	200	160	0,4
DS7	400	192	8,7
DS8	400	192	2,1
DS9	400	192	5,9
DS10	400	192	3,1
DS11	400	192	0,3

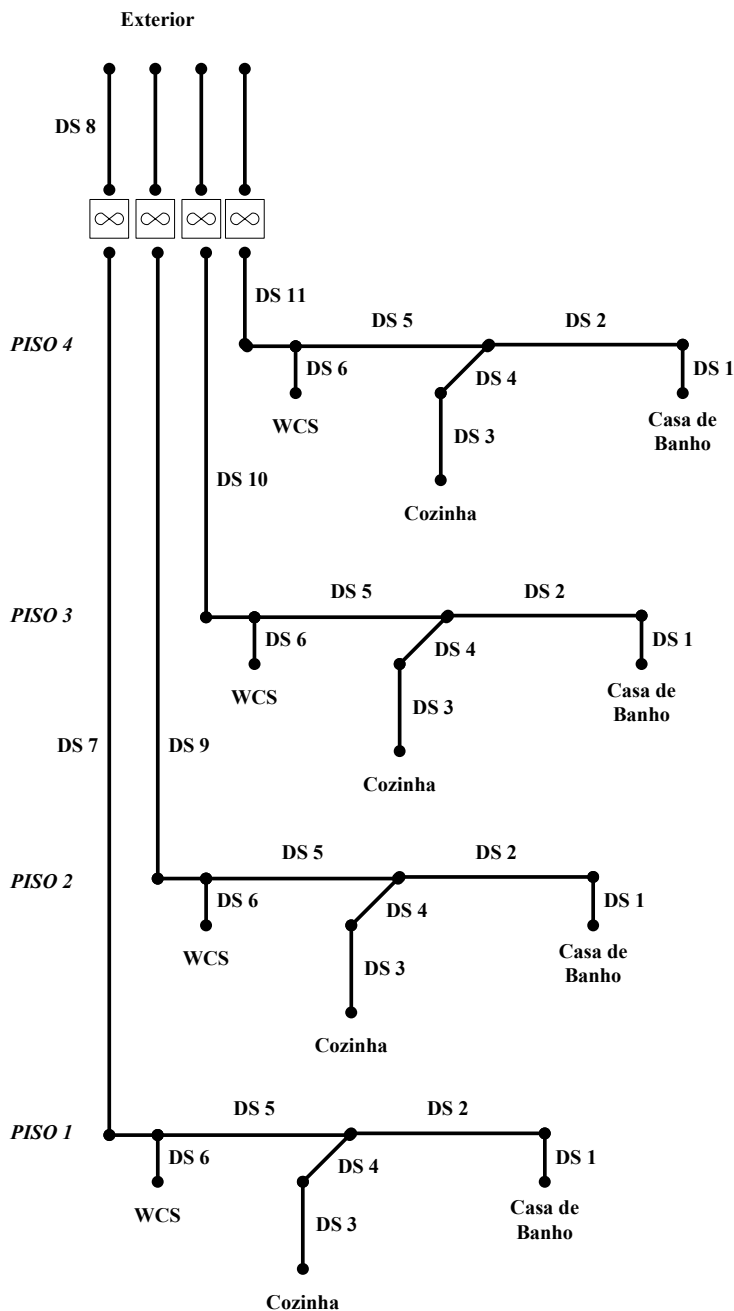


Figura 6-5 - Habitação Multifamiliar: Rede de condutas do sistema de extracção da habitação multifamiliar

6.2.2.3. Válvulas de extracção

Na Casa de Banho, Chuveiro e WC de serviço existem válvulas de extracção (figura 6-6), através das quais o ar é extraído das zonas. Na Cozinha a ligação à rede de condutas é feita através de uma *hotte* de exaustão.



Figura 6-6 - Válvula de extracção das casas de banho

Sistema I

As válvulas de extracção da Casa de banho, WC e Chuveiro têm uma curva característica de funcionamento que garante um caudal de 25 l/s @10 Pa, enquanto que para a *hotte* da Cozinha este valor será 17 l/s @ 13 Pa [40].

Sistema II

Neste segundo sistema, os dispositivos de extracção de ar terão os seguintes pontos de funcionamento [41]:

$$\begin{cases} \text{Cozinha} - 21 \text{ l/s @ } 5 \text{ Pa} \\ \text{Casa de banho e Chuveiro} - 14 \text{ l/s @ } 5 \text{ Pa} \\ \text{WC de serviço} - 7 \text{ l/s @ } 5 \text{ Pa} \end{cases}$$

Sistema III

As válvulas de extracção utilizadas no Sistema III, devido a um sistema motorizado “passo a passo”, dispõem de diversas posições que permitem variar a área útil de passagem do ar [39].

Utilizando a expressão (29) é possível correlacionar o caudal de extracção da válvula, $\dot{Q}_{valv}$, e o diferencial de pressão $\Delta p = p_{espaço} - p_{conduta}$.

$$\dot{Q}_{valv} = S_i \cdot \left(\frac{\Delta p}{9,8} \right)^{1/2} \quad (28)$$

Na expressão anterior, o caudal é expresso em m³/h, o diferencial de pressão em Pa e S_i , que representa a área útil, vem em cm² e pode assumir oito valores de S_0 a S_7 , não se apresentando as áreas correspondentes a cada posição por motivos de confidencialidade.

6.2.2.4. Grelhas de insuflação

As grelhas de insuflação são auto-reguláveis, o que significa, que a sua abertura é regulada, automaticamente, em função do gradiente de pressão entre o interior e o exterior do edifício. Estes dispositivos evitam também as exfiltrações, fechando totalmente sempre que se verifica um diferencial de pressões negativo. Estas grelhas são ainda ajustáveis, ou seja, têm a possibilidade de ser comandadas pela UCC assumindo diferentes posições, equivalentes a diferentes áreas úteis de passagem.

Sistema I

Foram instaladas três tipos de grelhas [40], que garantem um fluxo de ar unidireccional, cujo comportamento é traduzido pelas equações (29), (30) e (31).

$$\dot{Q}_{sala} = 7,35 \cdot \Delta p^{0,6} [l/s] \quad (29)$$

$$\dot{Q}_{quarto1} = 2,20 \cdot \Delta p^{0,7} [l/s] \quad (30)$$

$$\dot{Q}_{quarto2,3,4} = 1,10 \cdot \Delta p^{0,7} [l/s] \quad (31)$$

Sistema II

Estas grelhas são dimensionadas de modo a que se garanta um caudal de ar de 0,9 l/(s.m²) @ 1 Pa, sendo deste modo a capacidade instalada em cada um dos compartimentos principais a apresentada na tabela 6-3.

Tabela 6-3 - Sistema II: Caudal nominal de insuflação

	Capacidade instalada [l/s]	
	Habitação Unifamiliar	Habitação Multifamiliar
Sala	11,5 x 2	10x 2
Quarto 1	9	11
Quarto 2	9	9,9
Quarto 3	9	9
Quarto 4	12	-

Cada uma destas grelhas tem quatro posições de funcionamento, determinadas pelo sistema de controlo. A posição p1, corresponde a uma abertura de 35 %, a posição p2 a 50 % e a posição p3 e p4 a 75 e 100 %, respectivamente [41]. O caudal de projecto corresponde à posição p2.

Sistema III

À semelhança do que aconteceu com as válvulas de extracção, as grelhas de insuflação (figura 6-7) utilizadas neste sistema têm oito posições de funcionamento (S_g), correspondendo a cada uma delas uma área útil de passagem. A expressão (32) traduz a relação entre o caudal de ar que atravessa a grelha de insuflação, $\dot{Q}_{grelha}$, e o diferencial de pressão entre o exterior e o espaço, $\Delta p = p_{exterior} - p_{espaço}$ [39].

$$\dot{Q}_{grelha} = S_g \cdot \left(\frac{\Delta p}{9,8} \right)^{1/2} \quad (32)$$

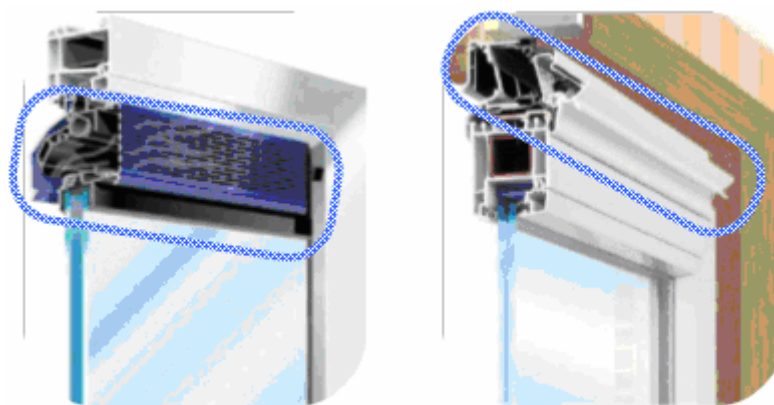


Figura 6-7 - Sistema III: Grelhas de insuflação auto-reguláveis

Estes dispositivos permitem variar os caudais de 5,5 até 44 m³/h em função da secção de passagem e para Δp de 3 Pa, existindo 8 posições, de S₀ a S₇⁵³.

6.2.3. Transferência de ar entre zonas

A passagem do ar entre os compartimentos é garantida pelas frinchas existentes na parte inferior das portas de ligação. Estima-se que, na porta da Sala, Casa de Banho e Chuveiro a área de frinchas seja, aproximadamente, 200 cm² e nas restantes portas este valor pode ser reduzido para cerca de metade.

6.2.4. Estratégia de controlo dos sistemas de ventilação inovativos

De uma forma geral, um sistema híbrido combina a extracção mecânica com a insuflação natural no mesmo edifício, fazendo ainda uso da extracção natural em determinadas circunstâncias. Todo o sistema de controlo é baseado no envio e detecção de sinais por uma Unidade Central de Comando (UCC). Os referidos sinais são enviados por diferentes sensores colocados em diversos locais do edifício (sensores de humidade, de CO₂, de presença, de temperatura, etc).

6.2.4.1. Sistema I

Todo o sistema de controlo é baseado numa Unidade Central de Comando (UCC) que, através da detecção dos sinais enviados por sensores de humidade relativa localizados na Casa de Banho e Chuveiro, de um sensor de presenças na entrada do edifício, e de um sensor de temperatura instalado no exterior, comanda a posição das grelhas de insuflação, válvulas de

⁵³ Não se inclui, neste texto, as áreas úteis de passagem correspondentes a cada posição, por razões de confidencialidade do fabricante.

extracção e velocidade do ventilador.

Existem quatro posições de funcionamento dependentes dos sinais enviados pelos referidos sensores. Se não é detectada a presença de ocupantes, o sistema assume uma posição de funcionamento que garante um caudal mínimo de ventilação. Se é detectada uma presença dentro do edifício, o sistema de controlo faz a verificação do nível de humidade relativa na Casa de Banho e Chuveiro e se esta for superior a 75 %, inicia a extracção máxima nestas duas zonas, efectuando novas leituras da humidade relativa de 15 em 15 minutos.

Existe ainda uma sonda que mede a temperatura exterior e cujo valor, ao ser comparado com uma temperatura pré estabelecida na UCC, determinará se o ventilador pode ser desligado passando a extracção a ser natural. Esta ordem só é enviada para o ventilador nos períodos não ocupados.

As posições de ventilação associadas ao controlo são as seguintes:

- Posição Ninguém em Casa (PNC)

se não existe ocupação, o nível de ventilação é reduzido para um valor mínimo de 36 m³/h, através da redução da velocidade do ventilador. Existe ainda uma função, associada ao sistema de controlo que garante que, na ausência de ocupação, sempre que a temperatura exterior é inferior a uma temperatura pré-programada, o ventilador é desligado e a extracção do caudal mínimo ocorre através do efeito de chaminé.

A temperatura a partir da qual se verifica a extracção natural ($T_e < T_{\text{efeito de chaminé}}$), é dependente da localização e será determinada posteriormente através de simulação, de acordo com os critérios impostos no RESHYVENT [40]. Ou seja, efectuou-se, para cada local, uma simulação na qual o sistema de ventilação SI está presente mas, com o ventilador permanentemente desligado, tendo-se posteriormente determinado qual a temperatura exterior para a qual o caudal extraído por vias naturais é de 36 m³/h. Os resultados dessas simulações encontram-se no Anexo III.

- Posição Forçada 1 (PF1)

se na Casa de Banho é detectada, pelo sensor de humidade, uma humidade relativa superior a 75 %, o ventilador altera a sua velocidade de rotação para o máximo e a extracção é feita, apenas, pela Casa de Banho e pelo Chuveiro;

▪ Posição Forçada 2 (PF2)⁵⁴

a partir do momento em que na Casa de Banho a humidade relativa atinge valores normais, se no Chuveiro ainda permanecerem valores elevados, a válvula da Casa de Banho fecha e a extracção é feita, apenas, pelo Chuveiro;

▪ Posição Normal (PN)

se é detectada a presença de ocupantes no interior do edifício e PF1 ou PF2 não estão operacionais, o sistema passa para a posição normal. Dentro desta posição existem dois níveis de ventilação, diurna (PND) (7- 23 h) e nocturna (PNN) (23 – 7 h), a diferença entre estas duas posições está não só no caudal de ar que é extraído do edifício como também nas posições das grelhas de insuflação. Durante o dia, a entrada de ar é feita, maioritariamente, na Sala enquanto que durante a noite é efectuada, com maior incidência nos quartos.

Tabela 6-4 - Sistema I: Caudais de extracção, insuflação e posições dos dispositivos de ventilação

		Habitação Unifamiliar					Habitação Multifamiliar			
		PNC	PF1	PF2	PN		PNC	PF1	PN	
					PND	PNN			PND	PNN
Caudal de extracção [m³/h]	Cozinha	36	0	0	68	48	36	0	68	48
	Casa de Banho		128	0	80	54		202	105	79
	Chuveiro		128	256	80	54		-	-	-
	WC de Serviço		0	0	28	18		0	28	18
Caudal de insuflação [m³/h]	Sala	36	Não é imposto		145	29	36	Não é imposto	115	29
	Quarto 1				45	58			43	58
	Quarto 2				22	29			22	29
	Quarto 3				22	29			22	29
	Quarto 4				22	29	-	-	-	-
Grelhas de insuflação [% de abertura]	Sala	100	100	100	100	50	100	100	100	50
	Quarto 1	50	50	50	50	100	50	50	50	100
	Quarto 2	50	50	50	50	100	50	50	50	100
	Quarto 3	50	50	50	50	100	50	50	50	100
	Quarto 4	50	50	50	50	100	-	-	-	-
Válvulas de extracção [% de abertura]	Cozinha	53	0	0	53	53	39	39	39	39
	Casa de Banho	38	100	0	38	38	40	40	40	40
	Chuveiro	33	100	100	33	33	-	-	-	-
	WC de Serviço	12	0	0	12	12	7,5	7,5	7,5	7,5
Ventilador [% da vel. máxima]	-	15 ⁵⁵	100	100	99	68	18	100	100	71

Na tabela 6-4 apresentam-se os valores dos caudais de extracção, posições das grelhas de insuflação e válvulas de extracção e ainda, velocidade do ventilador, para a habitação unifamiliar e multifamiliar, respectivamente. Estes valores resultam da informação retirada do pro-

⁵⁴ No caso da habitação multifamiliar a posição PF2 não é aplicável, uma vez que a zona Chuveiro não existe.

⁵⁵ Se a temperatura exterior for inferior a uma temperatura pré-programada e variável de localização para localização, o ventilador desliga e a extracção efectua-se de forma natural.

jecto RESHYVENT [40].

Dos caudais apresentados na tabela 6-4, o sistema apenas garante os caudais de extracção, uma vez que os de insuflação estão dependentes das condições exteriores e podem não ser atingidos em cada compartimento apesar de, em termos globais do edifício, existir um equilíbrio entre os caudais de insuflação e os caudais de extracção.

6.2.4.2. Sistema II

Este sistema de ventilação foi estudado utilizando três estratégias de controlo distintas. Baseando-se essas estratégias em horários pré-programados na UCC, na medição de CO₂ e no comando manual. Apesar de distintas, estas estratégias têm aspectos comuns, nomeadamente:

- a UCC verifica a posição das grelhas de insuflação e válvulas de extracção com intervalos de tempo de 15 minutos, sendo, essas posições, função das necessidades de insuflação/extracção de ar no edifício;
- dependendo da necessidade (insuflação ou extracção), o caudal será compensado pelas grelhas ou pelas válvulas. As necessidades de insuflação serão sempre compensadas pelas de extracção e vice-versa, dependendo de qual tem o maior valor;
- no caso de a compensação ser feita pelas grelhas de insuflação⁵⁶, a primeira escolha será alterar a abertura de todas as grelhas do edifício que se encontram activas, e na posição p1, para a posição p2. Caso esta medida não seja suficiente para igualar o caudal de extracção, abrem-se as restantes grelhas, que se encontram fechadas, sucessivamente até à posição p1 e posteriormente p2. Se, ainda assim, não se atingir o caudal nominal desejado, elevam-se as grelhas para a posição p3 e, por fim, p4, atingindo-se, nesse momento a capacidade máxima de insuflação de ar exterior;
- o caudal de extracção é sempre igual ao de insuflação. Ou seja, sistema em equilíbrio;
- a capacidade de extracção do sistema varia entre 10 e 170 l/s;
- a capacidade mínima de extracção do sistema são 10 l/s. Se este for o caudal que é necessário extrair não haverá compensação por parte das grelhas de insuflação. As infiltrações serão suficientes para garantir esse valor mínimo;
- o sistema tentará garantir as necessidades de extracção através de exaustão natural;
- está previsto, no sistema de controlo, que os ocupantes possam sobrepor-se às ordens da

⁵⁶ A compensação será feita pelas grelhas de insuflação caso a UCC verifique que as necessidades de extracção são superiores às de insuflação.

UCC. A interferência, por parte dos ocupantes, no sistema de ventilação é prioritária e deve sempre ser respeitada, mesmo em situações que conduzam a uma qualidade do ar deficiente. A intervenção manual é sempre temporária e o período de duração dessa interferência depende do local onde se dá a acção. Assim, se for efectuado o:

- ajuste da *hotte* de extracção da cozinha: 1 hora (56 l/s)
- ajuste de uma válvula de extracção: $\frac{1}{2}$ hora (56 l/s) + $1\frac{1}{2}$ hora (42 l/s)

Com o intuito de simular o sistema, foi necessário assumir um horário de utilização da *hotte* de extracção da cozinha e das casas de banho para prever a acção manual sobre o sistema. Na figura 6-8 e na figura 6-9 apresentam-se esses horários, para os dias da semana e fins-de-semana, respectivamente.

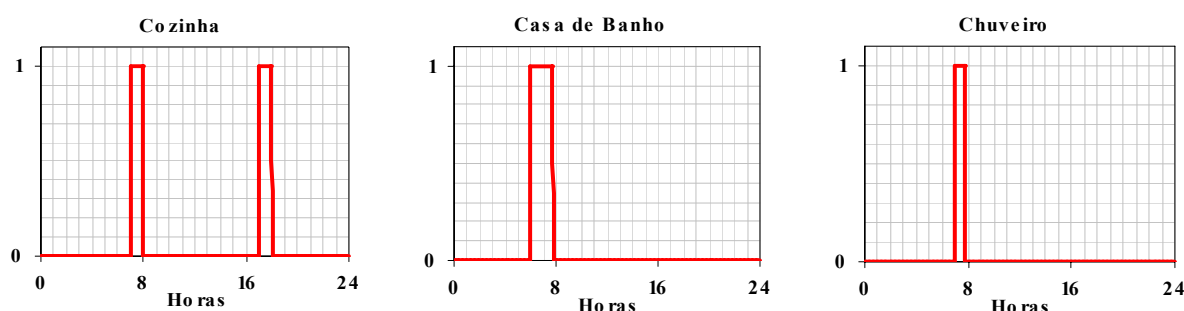


Figura 6-8 - Sistema II: Horário de intervenção manual dos ocupantes (Dias da Semana)

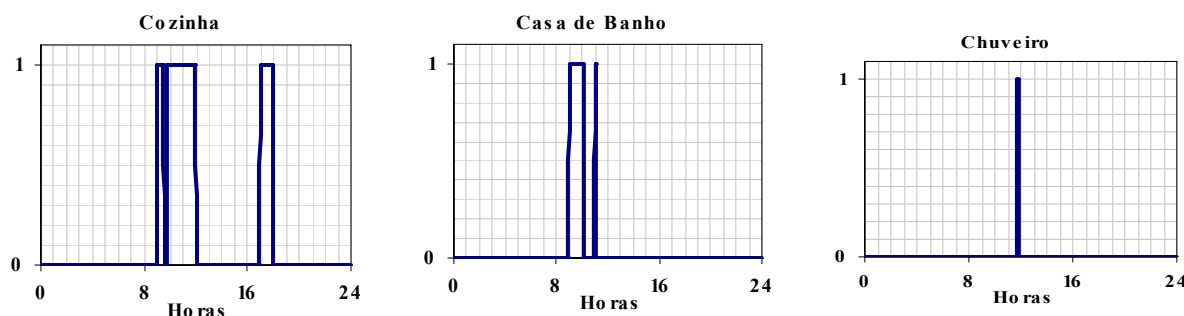


Figura 6-9 - Sistema II: Horário de intervenção manual dos ocupantes (Fim de Semana)

6.2.4.2.1 Sistema IIa

Os caudais de ventilação associados a este sistema são controlados por um horário pré-programado na UCC, que fornece a informação sobre o número de pessoas presentes em cada zona, em cada intervalo de tempo. A UCC determina a posição que cada grelha de insuflação que deverá assumir de forma a garantir um caudal de ar novo equivalente a 7 l/s por ocupante, mantendo esse caudal durante todo o período programado.

Os caudais de extracção são determinados de 15 em 15 minutos e são iguais aos caudais provenientes das grelhas de insuflação. Os caudais assim calculados permanecerão constantes durante 15 minutos.

6.2.4.2.2 Sistema IIb

O controlo deste sistema de ventilação é também baseado na pré-programação da UCC. A diferença, relativamente ao Sistema II, baseia-se no caudal de ar novo por ocupante, que deixa de ser um valor constante (7 l/s) e passa a ser função do nível de CO₂ detectado na conduta principal de extracção, onde está instalado um sensor para detecção deste poluente. O caudal de ar exterior pode variar entre 4 e 14 l/s.ocupante, existindo diferentes patamares de concentração de CO₂ (tabela 6-5) associados aos caudais de ar insuflado.

A título de exemplo, apresenta-se a sequência de ajuste e avaliação da UCC, sabendo que é imposto como situação de arranque o intervalo compreendido entre 600 e 800 ppm.

O procedimento do controlador inicia-se pelo cálculo dos caudais de insuflação e de extracção assumindo um valor de 7 l/s por ocupante, sendo o valor de CO₂ monitorizado 15 minutos depois. Nesta altura podem ocorrer 3 situações distintas:

- *o valor do CO₂ encontra-se entre os dois valores limites pré-estabelecidos, permanecendo o caudal constante no passo de tempo seguinte;*
- *o valor de poluente ultrapassou o limite máximo e o caudal para o passo seguinte é recalculado tendo em conta um valor de 8 l/s.ocupante, ou seja, o patamar seguinte;*
- *o valor de CO₂ é inferior a 600 ppm, o que implica uma diminuição do valor do caudal por ocupante, diminuindo 1 l/s, ou seja, neste caso, para um valor de 6 l/s;*

Este procedimento repete-se, sucessivamente, para cada patamar e em cada intervalo de tempo.

Tabela 6-5 - Sistema IIb: Patamares de concentrações de CO ₂	
Valor mínimo e máximo de CO ₂ [ppm]	Caudal de ar insuflado por ocupante [l/s]
300 – 400	4
400 – 500	5
500 – 600	6
600 – 800	7
800 – 900	8
900 – 1000	9
1000 – 1100	10
1100 – 1200	11
1200 – 1300	12
1300 – 1400	13
1400 – 1500	14

6.2.4.2.3 Sistema IIc

Este sistema permite o acompanhamento das necessidades de ar novo, zona a zona, devido à existência de sensores de CO₂ em cada compartimento principal (quartos e salas). Ao contrá-

rio do que acontecia nos dois sistemas anteriores, não existe qualquer horário pré-programado na UCC, sendo todo o processo controlado pelas medições de CO₂ que são efectuadas a cada 15 minutos.

O procedimento será o seguinte:

- a concentração de CO₂ superior a 800 ppm - a grelha de insuflação da zona abre, assumindo a primeira posição (p1);
- 15 minutos depois pode acontecer uma das seguintes situações:
 - concentração de CO₂ inferior a 800 ppm - o caudal permanece constante;
 - o nível de poluente continua a aumentar – se existir outra grelha na zona esta assumirá a posição p1, caso contrário, a primeira grelha passa para posição p2 e assim sucessivamente até que posição p4 seja alcançada, situação que se manterá até ao momento em que o limite inferior (600 ppm) seja atingido. Nessa altura, todas as grelhas da zona fecham.

6.2.4.3. Sistema III

Este sistema de ventilação baseia a sua estratégia de controlo na utilização de diversos sensores, nomeadamente:

- sensores de presença;
- sensores de humidade relativa;
- sensores de temperatura;
- sensores movimento.

Os sensores estão distribuídos pelos diferentes espaços do edifício de acordo com o tipo de actividade aí desenvolvida.

Sensores de temperatura: na conduta de extracção existem dois sensores de temperatura, um posicionado antes do ventilador e que fornece o valor da temperatura no interior do edifício (T_{in}) e o outro no exterior da conduta, que fornece a temperatura exterior (T_{ext}) em cada instante. As duas temperaturas fazem com que a UCC determine se o ventilador deve estar ligado ou desligado e qual a tensão de alimentação adequada. A estratégia é a seguinte:

$$\begin{aligned}
 T_e < -5 \text{ }^\circ\text{C} &\Rightarrow P_{\text{vent}} = 0 \text{ W} \\
 -5 \text{ }^\circ\text{C} < T_e < 10 \text{ }^\circ\text{C} &\Rightarrow P_{\text{vent}} = 1 \text{ W} \\
 -T_e \geq 10 \text{ }^\circ\text{C} &\Rightarrow P_{\text{vent}} = 4 \text{ W} \\
 \left. \begin{array}{l} T_{\text{med,ext,24h}} \geq 20 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_e \geq 18 \text{ }^\circ\text{C} \\ T_i - T_e > 2 \text{ }^\circ\text{C} \end{array} \right\} &\Rightarrow P_{\text{vent}} = 16 \text{ W} \\
 &\quad (\text{arrefecimento gratuito})
 \end{aligned}$$

No caso de se concluir, da análise das condições exteriores, que é possível o modo *Arrefecimento Gratuito*, as grelhas de admissão e as válvulas de extracção devem assumir as posições correspondentes às áreas úteis de passagem máximas.

Sensores de presença: estes sensores estão instalados nos quartos e WC de serviço, sendo as necessidades de ar novo função do número de pessoas que normalmente o ocupam (tabela 6-6) [39]. O sinal de *ocupado* mantém-se durante 20 minutos depois da saída do último ocupante.

Tabela 6-6 - Sistema III: Necessidades de ar novo em função da presença de ocupantes

	Quarto 1	Quarto 2, 3 e 4	WCS
não ocupado	10 m ³ /h	10 m ³ /h	7 m ³ /h
ocupado	40 m ³ /h	20 m ³ /h	25 m ³ /h

Sensores de humidade relativa: colocados na cozinha, casa de banho e chuveiro, estes sensores estão programados 8 níveis de controlo, estando associado a cada um deles um caudal de extracção, de acordo com o que é apresentado na figura 6-10 [39].

- %HR₀**: 0% ≤ HR < 29%
- %HR₁**: 29% ≤ HR < 39%
- %HR₂**: 39% ≤ HR < 48%
- %HR₃**: 48% ≤ HR < 58%
- %HR₄**: 58% ≤ HR < 67%
- %HR₅**: 67% ≤ HR < 76%
- %HR₆**: 76% ≤ HR < 85%
- %HR₇**: 85% ≤ HR ≤ 100%

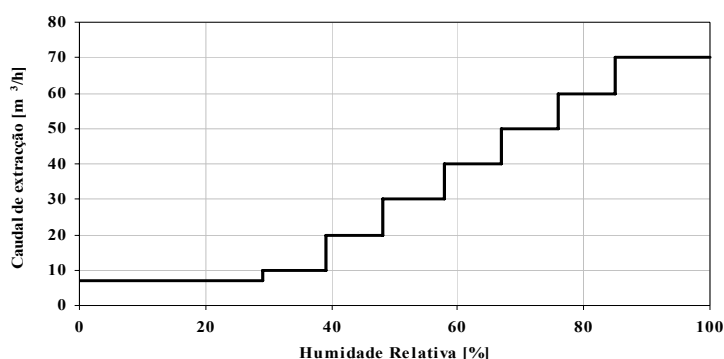


Figura 6-10 - Sistema III: Necessidades de extracção em função da Humidade Relativa

Sensor de movimento: na sala existe um sensor de movimento, que de acordo com o número de movimentos detectados determina o número de pessoas presentes e por cada pessoa impõe

um caudal de ar novo de $20 \text{ m}^3/\text{h}$, tal como se apresenta na figura 6-11.

O princípio de funcionamento deste sensor é simples. Em cada intervalo de 5 minutos efectua a contagem do número de movimentos, ajustando o caudal de acordo com a figura 6-11.

M_0 : $n = 0$ (ninguém)

M_1 : $1 \leq n \leq 14$ (1 pessoa)

M_2 : $15 \leq n \leq 29$ (2 pessoas)

M_3 : $30 \leq n \leq 44$ (3 pessoas)

M_4 : $45 \leq n \leq 59$ (4 pessoas)

M_5 : $60 \leq n \leq 75$ (5 pessoas)

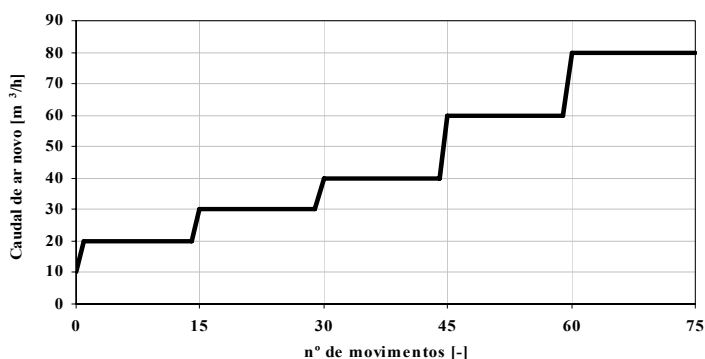


Figura 6-11 - Sistema III: Necessidades de ar novo em função do número de movimentos detectados na sala

A estratégia de controlo deste sistema de ventilação é muito simples (figura 6-12), apresentando-se, em seguida, as etapas principais (no Anexo V apresentam-se, detalhadamente, os diagramas de controlo deste sistema):

1. Avaliação das necessidades e dos parâmetros exteriores

A UCC adquire os sinais dos diferentes sensores e determina qual a situação actual de cada parâmetro medido.

2. Comando do ventilador

De acordo com as informações fornecidas pelos sensores de temperatura, interior e exterior, a UCC determina se o ventilador deve ligar e, em caso afirmativo, qual deve ser a tensão de alimentação, ou seja, o caudal;

3. Avaliação das necessidades individuais de cada espaço

Utilizando o sinal dos detectores de presença posicionados nos quartos e do detector de agitação presente na sala, a UCC avalia as necessidades de ar novo de cada espaço;

4. Equilíbrio dos caudais de admissão e extracção

Em função das necessidades de ar novo individuais determinam-se os caudais de ar exterior que serão admitidos em cada um dos compartimentos principais, e que serão extraídos nos compartimentos de serviço. Para garantir que a extracção e a insuflação estão em equilíbrio, a UCC efectua um balanceamento dos caudais, ajustando a posição das grelhas e insuflação e das válvulas de extracção. A UCC compara o caudal total esperado de admissão de ar através das grelhas de insuflação e o caudal total esperado de extracção através das válvulas. Em alguns espaços, os caudais alvo são incrementados em relação às necessidades avaliadas de

forma a que o caudal de admissão seja igual ao de extracção.

As grelhas de insuflação e as válvulas de extracção são posicionadas de forma a que a área útil anteriormente determinada seja atingida.

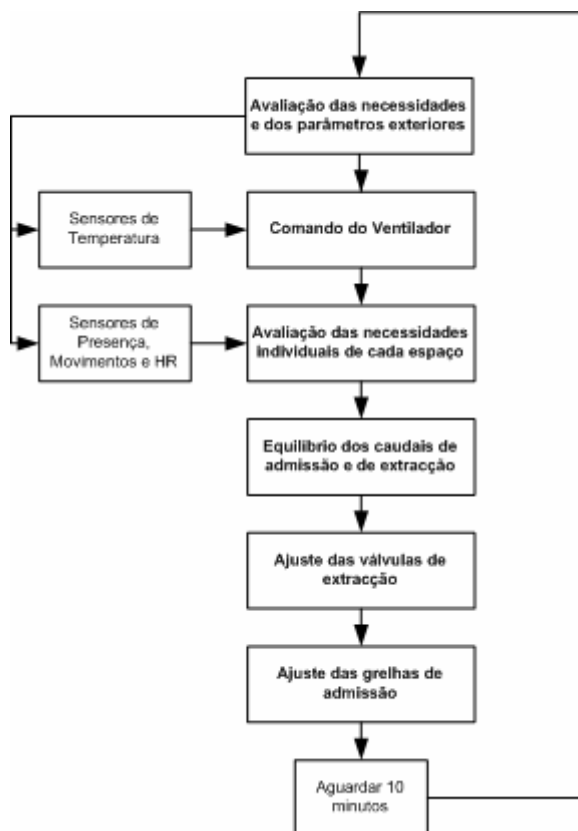


Figura 6-12 - Sistema III: Diagrama de sequência do algoritmo de controlo

6.2.5. Implementação das estratégias de controlo

A implementação das estratégias de controlo no TRNSYS passa pela criação de subrotinas que integradas no código do *software* traduzam o comportamento de cada sistema de ventilação.

Desta forma, foi necessário desenvolver, para cada sistema de ventilação aqui proposto uma rotina (Type), em linguagem FORTRAN, que permitisse efectuar o controlo deste sistema de ventilação, tendo essa rotina, sendo, posteriormente, incorporada no código do TRNSYS, de acordo com o que se apresenta, esquematicamente, na figura 6-13.

As subrotinas e respectivos diagramas de controlo de cada um dos sistemas inovativos encontram-se nos Anexo III, IV e V.

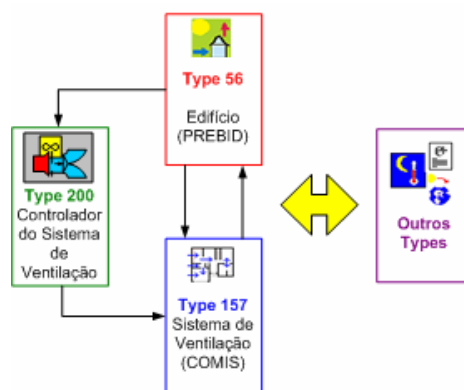


Figura 6-13 - Integração das rotinas no TRNSYS

6.3. Sistemas Actuais

Os sistemas de ventilação que servirão de referência para a análise do desempenho, em Portugal, dos sistemas inovativos são dois sistemas frequentemente utilizados neste país: um sistema de ventilação natural e outro de ventilação mecânica, do tipo extracção.

No sistema de ventilação natural (Sistema IV) a extracção de ar é efectuada por meios naturais enquanto que, no de ventilação mecânica (Sistema V) existem ventiladores associados às condutas de extracção.

No que diz respeito à entrada de ar no edifício, esta efectua-se de forma natural, em ambos os casos, através de grelhas colocadas nas fachadas dos compartimentos principais.

6.3.1. Sistema IV

No caso do sistema de ventilação natural foi aplicada a norma portuguesa NP 1037-1 [17], a cada uma das localizações a simular, o que levará a que, ao contrário do que acontece nos restantes sistemas estudados, o sistema possa ser diferente para cada zona climática. Neste subcapítulo, apresentar-se-ão, os principais parâmetros de selecção que conduziram ao dimensionamento de cada um dos sistemas de ventilação natural.

6.3.1.1. Exposição do edifício o vento

O desempenho do edifício relativamente à permeabilidade ao ar das portas e das janelas exteriores depende da exposição do edifício ao vento. Para efeitos da quantificação da acção do vento é necessário considerar os seguintes parâmetros:

- zoneamento do território;
- rugosidade aerodinâmica do terreno;

- cota das janelas acima do solo.

Na tabela 6-7 e na tabela 6-8 apresentam-se a caracterização de cada uma das localizações em estudo, em função destes três parâmetros, para a habitação unifamiliar e multifamiliar, respetivamente.

Tabela 6-7 - Habitação Unifamiliar: Exposição do Edifício ao Vento

	Zoneamento	Rugosidade	Altura da janelas	Classe de Exposição ao vento
Porto	B	II	<10 m	EXP 2
Lisboa	A	II	<10 m	EXP 2
Bragança	B	II	<10 m	EXP 2
Évora	A	II	<10 m	EXP 2
Castelo Branco	A	II	<10 m	EXP 2
Penhas Douradas	B	II	<10 m	EXP 2

Tabela 6-8 - Habitação Multifamiliar: Exposição do Edifício ao Vento

	Zoneamento	Rugosidade	Altura da janelas Piso 1 a 3 / Piso 4	Classe de Exposição ao vento Piso 1 a 3 / Piso 4
Porto	B	II	<10 m / >10 e ≤ 18 m	EXP 2 / EXP 3
Lisboa	A	II	<10 m / >10 e ≤ 18 m	EXP 2 / EXP 2
Bragança	B	II	<10 m / >10 e ≤ 18 m	EXP 2 / EXP 3
Évora	A	II	<10 m / >10 e ≤ 18 m	EXP 2 / EXP 2
Castelo Branco	A	II	<10 m / >10 e ≤ 18 m	EXP 2 / EXP 2
Penhas Douradas	B	II	<10 m / >10 e ≤ 18 m	EXP 2 / EXP 3

Permeabilidade ao ar das janelas e de portas exteriores e interiores

As classes de permeabilidade ao ar das portas e janelas exteriores de cada edifício apresentam-se na tabela 6-9, com base no exposto no Capítulo 3.

Tabela 6-9 - Permeabilidade ao ar das janelas e portas exteriores

	Habitação Unifamiliar	Habitação Multifamiliar
Porto	A2	A2
Lisboa	A2	A2
Bragança	A2	A2
Évora	A2	A2
Castelo Branco	A2	A2
Penhas Douradas	A2	A2

Ou seja, as janelas e portas exteriores dos edifícios deverão ter uma permeabilidade ao ar tal, que a um diferencial de pressão de 100 Pa corresponda um caudal de 6 m³/h.m.

No que diz respeito às portas interiores, estas devem possuir aberturas permanentes com perdas de carga nunca superiores 3 Pa e as portas de patamar (no caso dos apartamentos), deverão ter uma permeabilidade que não exceda os 12 m³/(h.m²) @ 100 Pa, tal como referido no capítulo 3.1.

6.3.1.2. Dimensionamento da ventilação da Fracção Autónoma

Tratando-se de uma habitação unifamiliar e de apartamentos com duas frentes, sem lareiras ou aparelhos a gás do tipo A ou B (não estanques), o sistema de ventilação natural será dimensionada de acordo com os princípios de ventilação conjunta, englobando todos os compartimentos e permitindo o aproveitamento das diferenças de pressão geradas entre as várias fachadas por acção do vento.

Tratando-se de localizações com classe de exposição ao vento EXP2 e EXP3, a norma NP 1037-1 impõe a utilização de aberturas de admissão de ar auto-reguláveis de acordo com o dimensionamento apresentado na tabela 6-10 e na tabela 6-11, onde são também apresentados os caudais tipo de cada compartimento principal, que foram determinados com base nos critérios apresentados no capítulo 3.1.

Tabela 6-10 - Habitação Unifamiliar: Dimensionamento das aberturas de admissão de ar

	Q_{tipo} [m ³ /h]	Δp para $Q_{\text{admitido}} > Q_{\text{ctipo}}$ [Pa]	$4 \cdot Q_{\text{tipo}}$ [m ³ /h]	Δp para $Q_{\text{admitido}} < 4 \cdot Q_{\text{tipo}}$ [Pa]
Sala	90	10	360	260
Quarto 1	45	10	180	260
Quarto 2	45	10	180	260
Quarto 3	45	10	180	260
Quarto 4	45	10	180	260

Tabela 6-11 - Habitação Multifamiliar: Dimensionamento das aberturas de admissão de ar

	Q_{tipo} [m ³ /h]	Δp para $Q_{\text{admitido}} > Q_{\text{ctipo}}$ [Pa]	$4 \cdot Q_{\text{tipo}}$ [m ³ /h]	Δp para $Q_{\text{admitido}} < 4 \cdot Q_{\text{tipo}}$ Piso 1 a 3 / Piso 4 [Pa]
Sala	60	10	240	260 / 240
Quarto 1	45	10	180	260 / 240
Quarto 2	45	10	180	260 / 240
Quarto 3	45	10	180	260 / 240

De igual forma, na tabela 6-12 e na tabela 6-13 apresentam-se os caudais tipo de evacuação de ar dos compartimentos de serviço e dimensionamento das aberturas de evacuação, bem como os diâmetros das condutas, do tipo individual. Ou seja, existe uma conduta de evacuação que liga cada um dos compartimentos de serviço à cobertura do edifício onde se efectua a exaustão do ar viciado.

Tabela 6-12 - Habitação Unifamiliar: Dimensionamento das aberturas de evacuação de ar

	Q_{tipo} [m ³ /h]	Área Útil [cm ²]	Δp [Pa]	ϕ [mm]
Cozinha	90	120	10	160
WC de Serviço	45	60	10	125
Casa de Banho	90	120	10	160
Chuveiro	45	60	10	125

Tabela 6-13 - Habitação Unifamiliar: Dimensionamento das aberturas de evacuação de ar

	Q_{tipo} [m ³ /h]	Área Útil [cm ²]	Δp [Pa]	ϕ [mm]
Cozinha	90	120	10	160
WC de Serviço	45	60	10	125
Casa de Banho	60	80	10	125

Os dispositivos de admissão e de evacuação de ar foram seleccionados a partir do catálogo de um fabricante [10], tendo-se encontrado algumas dificuldades no que diz respeito às grelhas auto-reguláveis que se encontram, habitualmente, dimensionadas para debitar caudais constantes para diferenças de pressão superiores a 20 Pa em vez dos 10 Pa referidos pela NP 1037-1. Isto deve-se ao facto destas grelhas serem normalmente utilizadas em sistemas de ventilação mecânica, que com facilidade garantem este diferencial. Verificou-se, ainda, que as grelhas existentes no mercado, para o Δp exigido pela norma (10 Pa) apenas são capazes de debitar 15 ou 30 m³/h (figura 6-14) [38], razão pela qual foi necessário considerar a existência de mais do que um dispositivo deste tipo em cada um dos compartimentos principais, tal como se apresenta na tabela 6-14 e na tabela 6-15 [38]. Este e outros problemas foram já encontrados por Miguel Ferreira nos estudos que efectuou no âmbito da sua Tese de Mestrado [35].

As aberturas de evacuação utilizadas neste sistema de ventilação foram também seleccionadas de acordo com o preconizado pela norma, apresentando-se, na figura 6-15, as suas curvas características.

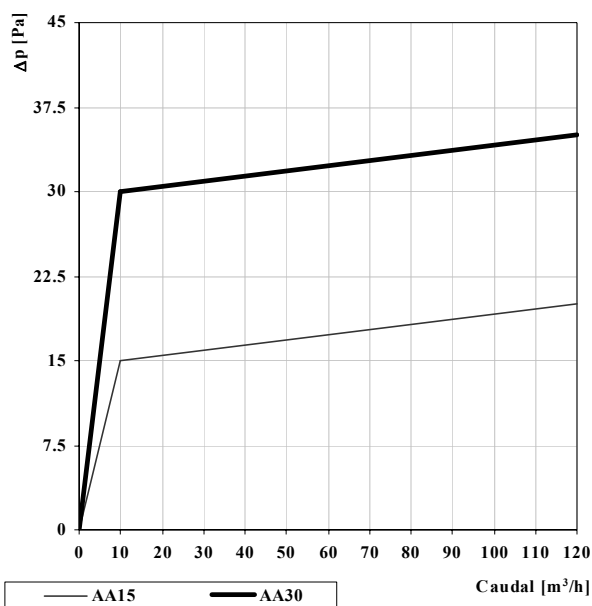


Figura 6-14 - Sistema IV: Aberturas de admissão de ar

Tabela 6-14 - Habitação Unifamiliar: Grelhas de insuflação instaladas em cada compartimento

	AA15	AA30
Sala	-	3
Quarto 1	1	1
Quarto 2	1	1
Quarto 3	1	1
Quarto 4	1	1

Tabela 6-15 - Habitação Multifamiliar: Grelhas de insuflação instaladas em cada compartimento

	AA15	AA30
Sala	-	2
Quarto 1	1	1
Quarto 2	1	1
Quarto 3	1	1

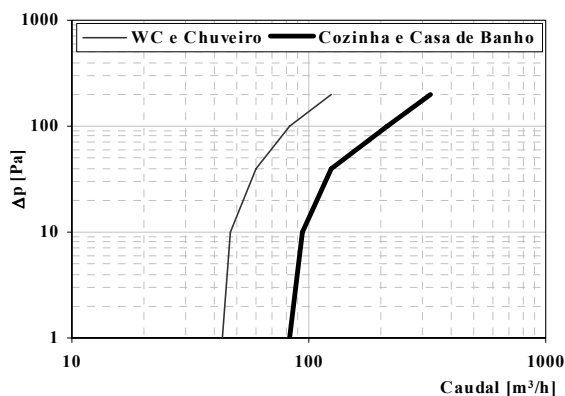


Figura 6-15 - Habitação Unifamiliar: Válvulas de extracção de ar

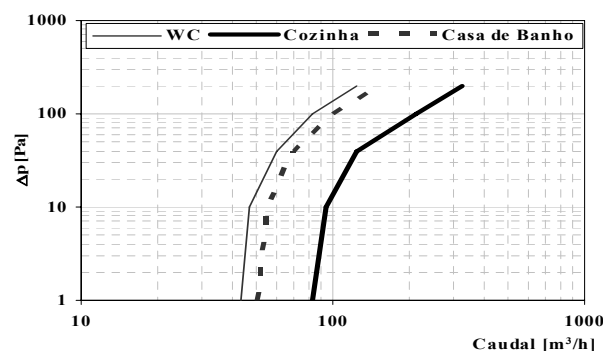


Figura 6-16 - Habitação Multifamiliar: Válvulas de extracção de ar

6.3.2. Sistema V

Este sistema de ventilação consiste na extracção mecânica do ar do interior do edifício, nos compartimentos de serviço (cozinhas e casas de banho). Os ventiladores de extracção são ligados no período das 8 às 24 horas, em contínuo. Devido ao ruído provocado pelo sistema, durante a noite é desligado porque se tornaria incómodo para os ocupantes do edifício. O caudal de extracção é de 100 m^3/h na cozinha e de 50 m^3/h em cada uma das instalações sanitárias [38].

A entrada do ar no edifício, como referido anteriormente, efectua-se através de grelhas reguláveis instaladas nas fachadas do edifício e que, devido ao gradiente de pressões entre o interior e o exterior, permitem a movimentação do ar entre o exterior e o interior dos espaços que servem.

Na figura 6-17 e na figura 6-18 apresentam-se esquematicamente o sistema de extracção de ar deste caso, numa habitação unifamiliar e numa habitação multifamiliar, respectivamente.

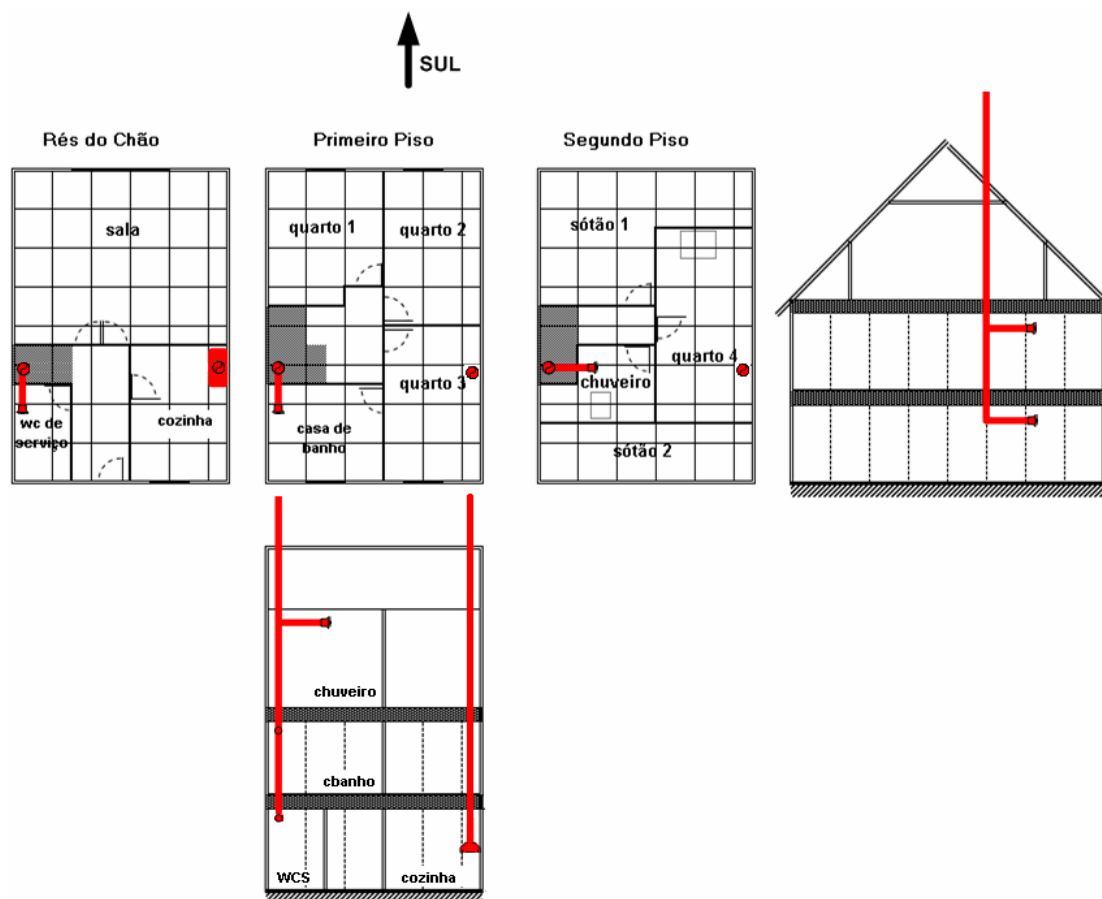


Figura 6-17 - Habitação Unifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica no Sistema V

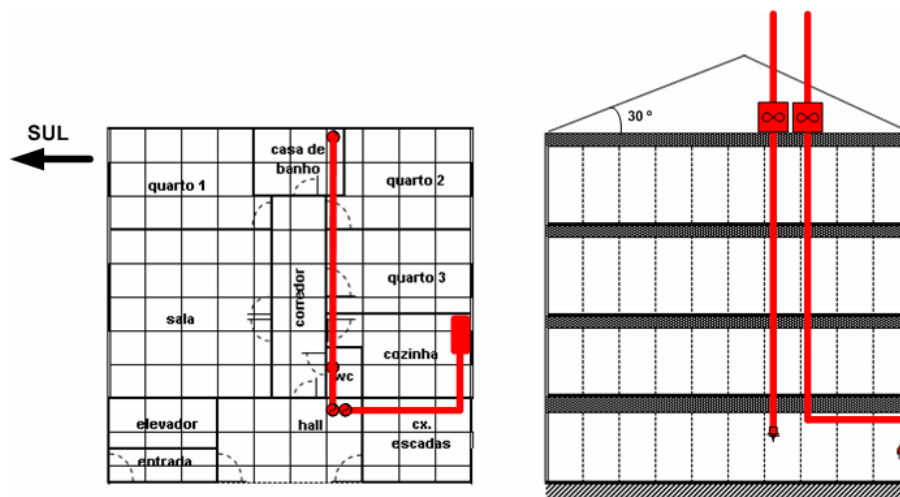


Figura 6-18 - Habitação Multifamiliar: Esquema do sistema de extracção mecânica no Sistema V

6.3.2.1. Ventilador

A extracção mecânica do ar do interior da vivenda ou de cada fracção autónoma (FA) efectua-se por intermédio de dois ventiladores axiais instalados nas condutas de extracção das casas de banho e cozinha, com uma potência de 41 W. Os ventiladores utilizados são de caudal constante, independentemente do diferencial de pressões e funcionam no período compreen-

dido entre as 8 e as 24 horas.

6.3.2.2. Conduatas de extracção

As conduatas instaladas nos edifícios são metálicas de secção circular e com uma rugosidade de, aproximadamente, 0,15 mm. Na tabela 6-16 apresentam-se as dimensões de cada ramal da rede de conduatas de extracção que se encontra representada na figura 6-19 e na figura 6-20, para a habitação unifamiliar e multifamiliar, respectivamente. Tal como nos sistemas inovativos, o dimensionamento das conduatas foi feito com base na ASHRAE Fundamentals [43].

Tabela 6-16 - Sistema V: Dimensões das conduatas de extracção

Habitação Unifamiliar				Habitação Multifamiliar			
	Q [m³/h]	φ [mm]	L [m]		Q [m³/h]	φ [mm]	L [m]
DS1	100	100	8,4	DS1	100	100	9,5
DS2	100	100	2,4	DS2	50	63	0,4
DS3	50	63	1	DS3	50	63	0,4
DS4	50	63	2,8	DS4	50	63	6
DS5	50	63	1	DS5	100	125	8,7
DS6	100	100	2,8	DS6	100	125	5,9
DS7	50	63	1	DS7	100	125	3,1
DS8	150	125	2,4	DS8	100	125	0,3
DS9	150	125	2,4	DS9	100	125	2,1
				DS10	100	125	2,1
				DS11	100	100	6,7
				DS12	100	100	3,9
				DS13	100	100	1,1

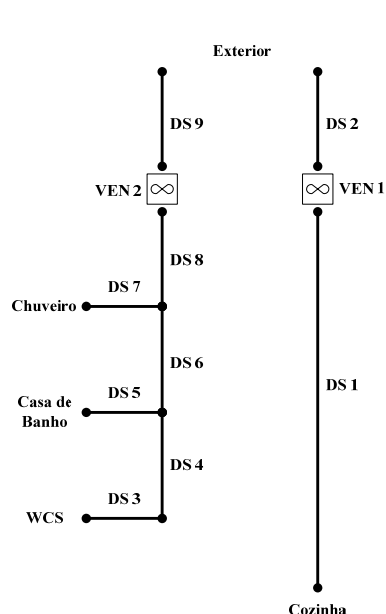


Figura 6-19 - Habitação Unifamiliar: Rede de condutas de extracção do Sistema V

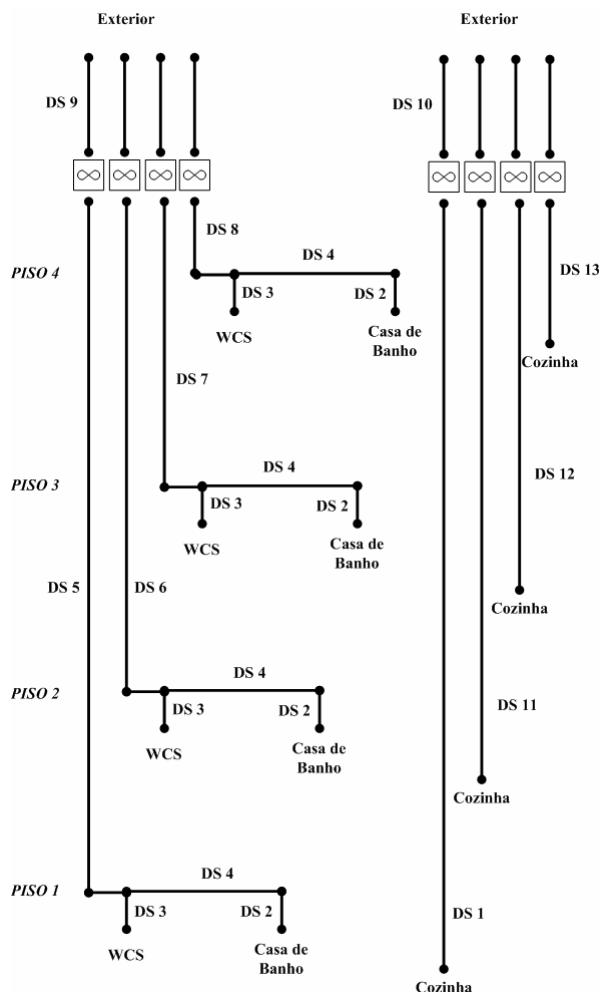


Figura 6-20 - Habitação Multifamiliar: Rede de condutas de extracção do Sistema V

6.3.2.3. Válvulas de extracção

Na Casa de Banho, Chuveiro e WC de serviço existem válvulas de extracção, na Cozinha a ligação à conduta principal é feita através de uma *hotte* de exaustão.

As válvulas de extracção da Casa de Banho, WC e Chuveiro têm uma curva característica de funcionamento que garante um caudal de 10 l/s @10 Pa, enquanto que para a *hotte* da cozinha este valor será 20 l/s @ 10 Pa. Estes dispositivos foram seleccionados a partir de um catálogo de um fabricante [38].

6.3.2.4. Grelhas de insuflação

A insuflação de ar no edifício efectua-se, de forma natural, nos compartimentos principais, ou seja, na sala e nos quartos. As grelhas de insuflação são reguláveis, razão pela qual ocorrem exfiltrações sempre que se verificar um diferencial de pressões negativo. Na figura 6-21 apre-

sentam-se as curvas características destes dispositivos.

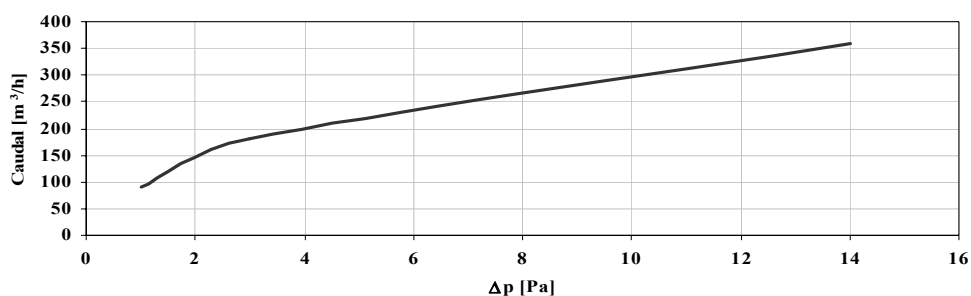


Figura 6-21 - Sistema V: Curva característica da grelha regulável

6.3.3. Transferência de ar entre zonas

Tal como acontece nos sistemas inovativos, já apresentados, a passagem do ar de uma zona para outra é garantida pela existência de frinchas na parte inferior das portas de ligação, estimando-se que a área de frinchas é a mesma que se apresentou anteriormente:

- porta da Sala, Casa de Banho e Chuveiro, aproximadamente 200 cm^2 ;
- restantes portas, aproximadamente, 100 cm^2 .

7. Apresentação e análise de resultados

A avaliação dos sistemas de ventilação simulados basear-se-á, fundamentalmente, no consumo energético associado às necessidades de aquecimento, no conforto e na Qualidade do Ar Interior (QAI) no período de aquecimento. Neste capítulo, apresentam-se os resultados obtidos nas diferentes simulações efectuadas, fazendo-se, também, a respectiva análise.

No âmbito desta dissertação efectuou-se um conjunto de simulações (228 simulações), conjugando os dois edifícios apresentados no Capítulo 5, habitação unifamiliar e multifamiliar, com cada um dos sistemas de ventilação descritos no Capítulo 6 e as diferentes zonas climáticas. Na tabela 7-1 apresenta-se o conjunto dessas simulações efectuadas para o edifício tipo unifamiliar e multifamiliar para os diferentes sistemas e localizações.

Tabela 7-1 – Conjunto de simulações efectuadas

	Habitação Unifamiliar							Habitação Multifamiliar						
	SI	SIla	SIlb	SIlc	SIH	SIV	SV	SI	SIla	SIlb	SIlc	SIH	SIV	SV
Lisboa	P1	P7	P13	P19	P25	P31	P37	P43	P49	P55	P61	P67	P73	P79
Porto	P2	P8	P14	P20	P26	P32	P38	P44	P50	P56	P62	P68	P74	P80
Bragança	P3	P9	P15	P21	P27	P33	P39	P45	P51	P57	P63	P69	P75	P81
Penhas Douradas	P4	P10	P16	P22	P28	P34	P40	P46	P52	P58	P64	P70	P76	P82
Évora	P5	P11	P17	P23	P29	P35	P41	P47	P53	P59	P65	P71	P77	P83
Castelo Branco	P6	P12	P18	P24	P30	P36	P42	P48	P54	P60	P66	P72	P78	P84
Bruxelas	B1	B3	B5	B7	B9			B11	B13	B15	B17	B19		
Saint Hubert	B2	B4	B6	B8	B10			B12	B14	B16	B18	B20		
Nice	FR1	FR3	FR5	FR7	FR9			FR11	FR13	FR15	FR17	FR19		
Paris	FR2	FR4	FR6	FR8	FR10			FR12	FR14	FR16	FR18	FR20		
Estocolmo	SE1	SE3	SE5	SE7	SE9			SE11	SE13	SE15	SE17	SE19		
Gotemburgo	SE2	SE4	SE6	SE8	SE10			SE12	SE14	SE16	SE18	SE20		
Amsterdão	H1	H3	H5	H7	H9			H11	H13	H15	H17	H19		
Groningen	H2	H4	H6	H8	H10			H12	H14	H16	H18	H20		
Jan-Mayen	N1	N3	N5	N7	N9			N11	N13	N15	N17	N19		
Bergen	N2	N4	N6	N8	N10			N12	N14	N16	N18	N20		
Londres	RU1	RU3	RU5	RU7	RU9			RU11	RU13	RU15	RU17	RU19		
Aberdeen	RU2	RU4	RU6	RU8	RU10			RU12	RU14	RU16	RU18	RU20		

No caso do edifício multifamiliar, com quatro pisos, apenas serão apresentados os resultados para o primeiro piso, um piso intermédio e o piso junto à cobertura. Trata-se de uma simplificação no processo de análise por vários factores que justificam esta opção:

- elevado número de zonas envolvidas na simulação de um edifício de apartamentos;
- a capacidade máxima de cálculo foi atingida sempre que se tentou incluir todas as zonas para a simulação completa, razão pela qual apenas se retiraram os resultados obtidos para estes três pisos;
- os Pisos 2 e 3 têm características semelhantes, em termos de envolvente, ganhos internos

e posicionamento no edifício, pelo que é de esperar que os resultados obtidos nestes dois pisos são semelhantes. Este facto foi comprovado no trabalho efectuado no decorrer do RESHYVENT [40].

Genericamente, este capítulo encontra-se dividido em três partes distintas:

1ª parâmetros de análise dos sistemas;

2ª análise dos resultados obtidos para a habitação tipo unifamiliar, comparando os sistemas de ventilação actuais com os inovativos em Portugal e avaliando o impacto destes nas diferentes localizações europeias, nas duas tipologias;

3ª análise dos resultados obtidos para a habitação tipo multifamiliar, nos mesmos moldes do ponto anterior.

7.1. Parâmetros de análise

Tendo em conta a poupança energética e a Qualidade do Ar Interior (QAI), existe um conjunto de parâmetros que devem ser observados e utilizados para a análise dos resultados:

- consumo energético associado ao aquecimento do edifício e às perdas devidas à ventilação;
- consumo eléctrico dos ventiladores;
- concentração de CO₂ nos compartimentos principais;
- ventilação efectiva;
- nível de humidade relativa e absoluta nos espaços onde existe libertação de vapor de água;
- temperaturas interiores dos espaços;
- percentagem de pessoas descontentes (PPD);
- taxas de ventilação.

7.1.1. Consumo energético

A energia necessária para manter, no Inverno, um edifício dentro das condições de conforto previamente definidas representa a maior parcela da energia consumida neste. Por outro lado, a ventilação representa uma fatia considerável da energia necessária para o aquecimento, devido à, significativa, transferência de massa entre o interior e o exterior. Assim sendo, a determinação das taxas de ventilação tem de ser cuidada para a correcta determinação do

impacto da ventilação em todo o sistema.

A avaliação dos consumos de energia basear-se-á, portanto, na energia térmica necessária para manter o edifício nas condições de conforto durante o período de aquecimento, nas perdas energéticas associadas à ventilação e ainda, na energia eléctrica consumida pelos ventiladores existentes em alguns dos sistemas de ventilação estudados.

7.1.2. Concentração de CO₂

O dióxido de carbono (CO₂) é um bioefluente humano importante sendo utilizado como indicador do nível de ventilação de um espaço. O desempenho de um sistema de ventilação pode ser avaliado com base na determinação do período de tempo em que a concentração de CO₂ ultrapassa um dado limite, associado à frequência com que esse limite é excedido. Esta avaliação é feita apenas para o período ocupado e o limite referido será de 1400 ppm [44] acima da concentração exterior do poluente a qual se admite, aproximadamente, igual a 350 ppm.

$$CT_{exc} = t \cdot (C_a - C_{lim}) \quad (33)$$

sendo,

CT_{exc} – integração no tempo do nível de CO₂ em excesso [kppm.h]

t – número de horas em que C_{lim} é excedida

C_a – concentração actual instantânea do espaço [ppm]

C_{lim} – concentração máxima permitida [ppm]

De acordo com os critérios utilizados, e normalmente aceites, a nível Europeu (RESHY-VENT [44]), este parâmetro não deve exceder os 100 kppm.h. Este foi o valor limite utilizado neste trabalho.

Sempre que se considerar pertinente serão apresentados ainda os valores médios das concentrações deste poluente no período de ocupação do edifício.

7.1.3. Ventilação efectiva

A ventilação efectiva (q_{en}) é um outro parâmetro que permite avaliar o nível de ventilação no interior dos espaços e é, também, baseado na concentração de CO₂. Se este parâmetro for inferior à unidade ($q_{en} < 1$), então, a ventilação no espaço é insuficiente. Tal como aconteceu no caso do parâmetro anterior, a análise é efectuada apenas durante os períodos de ocupação.

$$q_{en} = D_{conc} / (C_a - C_{exterior}) \quad (34)$$

sendo,

q_{en} – ventilação efectiva instantânea [-]

D_{conc} – valor limite acima da concentração exterior de CO₂ (700 ppm)

$C_{exterior}$ – concentração exterior de CO₂ (350 ppm)

7.1.4. Humidade Relativa e Humidade Absoluta

Para analisar a humidade dentro dos espaços, e seguindo as especificações aceites a nível Europeu (RESHYVENT [44]), determina-se a percentagem de tempo do período com ocupação em que se verificam duas situações:

- Sensação de Secura (SS) em que Humidade Absoluta (H_{abs}) < 5 g/kg, e o limite deverá ser de 800 horas;
- Elevada Humidade Relativa (EHR), ou seja, $HR > 75 \%$.

A análise destes parâmetros apenas permite avaliar o conforto termo-higrométrico e não os efeitos da humidade na envolvente do edifício. No entanto, estudos mais detalhados podem avaliar este efeito, contudo, não é este o objecto de análise deste trabalho.

7.1.5. Conforto térmico

A análise do conforto térmico será feita para as zonas principais do edifício, ou seja, quartos e salas, onde foram considerados dois parâmetros:

- Temperatura Interior dos Espaços (TIE) a frequência com que ocorrem as diferentes temperaturas, no período ocupado;
- Percentagem de Pessoas Descontentes (PPD) no período ocupado.

O cálculo do PPD é efectuado directamente pelo TRNSYS com base na norma EN ISO 7730 [45]. A norma ISO 7730:2005 apresenta um método de previsão da sensação térmica e do grau de desconforto de pessoas expostas a ambientes térmicos moderados, através da determinação analítica de dois parâmetros criados por Fanger [45]: a Previsão Média de Voto (PMV) e a Percentagem de Pessoas Descontentes (PPD). O primeiro, o PMV, atribui o valor zero à sensação de conforto térmico, valores positivos e negativos a sensações de calor e frio, respectivamente. O PPD representa a percentagem de um grande número de pessoas que, em média, estaria desconfortável nas condições ambiente especificadas.

Seguindo as especificações de Doreer [44] apenas o PPD será utilizado como parâmetro de avaliação do conforto térmico, sendo apresentadas três classes distintas para o efeito, $PPD > 6\%$, $PPD > 10\%$ PPD e $PPD > 15\%$. Como elemento de análise avalia-se a frequência com que cada uma destas classes ocorre durante o período de ocupação do edifício.

7.1.6. Taxas de Ventilação

Através dos parâmetros apresentados anteriormente é possível determinar a eficácia da ventilação no interior dos espaços. No entanto, sempre que se considere oportuno serão apresentados os caudais de extracção e admissão, sob a forma de valores máximos e médios, bem como as taxas de renovação de ar do edifício durante o período de aquecimento.

Analisar-se-á ainda a percentagem de tempo em que ocorre ventilação natural.

7.2. Habitação Unifamiliar

Neste subcapítulo serão apresentados, e analisados, os resultados obtidos nas simulações dos sistemas de ventilação inovativos e actuais para os edifícios unifamiliares localizados em Portugal. A análise será baseada nos parâmetros já indicados, sendo inicialmente apresentada a comparação entre os resultados obtidos para os sistemas inovativos e os actuais. No final, avalia-se o impacto de cada um dos sistemas inovativos para as diferentes localizações europeias, previamente definidas.

Uma vez analisado o impacto dos sistemas de ventilação inovativos em Portugal, e efectuada a comparação destes com os sistemas tradicionalmente utilizados no país, segue-se uma avaliação do impacto dos sistemas inovativos na Europa. Para efectuar esta análise foram utilizados dois locais para definir cada um dos seis países Europeus, Portugal inclusive. No caso português as duas localidades seleccionadas foram Lisboa e Penhas Douradas, que correspondem às duas situações mais extremas.

7.2.1. Sistemas Inovativos versus Sistemas Actuais

Esta análise apenas se aplica a Portugal tal como foi referido anteriormente. Isto porque, a sua extensão a outras localizações europeias obrigaria a uma análise exaustiva dos sistemas de ventilação utilizados localmente, o que ultrapassa o teor da Tese aqui apresentada.

7.2.1.1. Consumo energético

Na figura 7-1 apresentam-se os consumos energéticos associados ao aquecimento do edifício unifamiliar, para cada zona climática de Portugal, para cada sistema de ventilação e respectiva estratégia de controlo. É importante referir, nesta parte introdutória, os seguintes aspectos:

- as características da envolvente são iguais para todas as localizações ($UA = 186 \text{ W/}^\circ\text{K}$), tal como apresentado no Capítulo 5;
- o valor dos ganhos solares é semelhante e próximo de 2 MWh/ano , razão pela qual o seu efeito não terá impacto nos resultados obtidos.

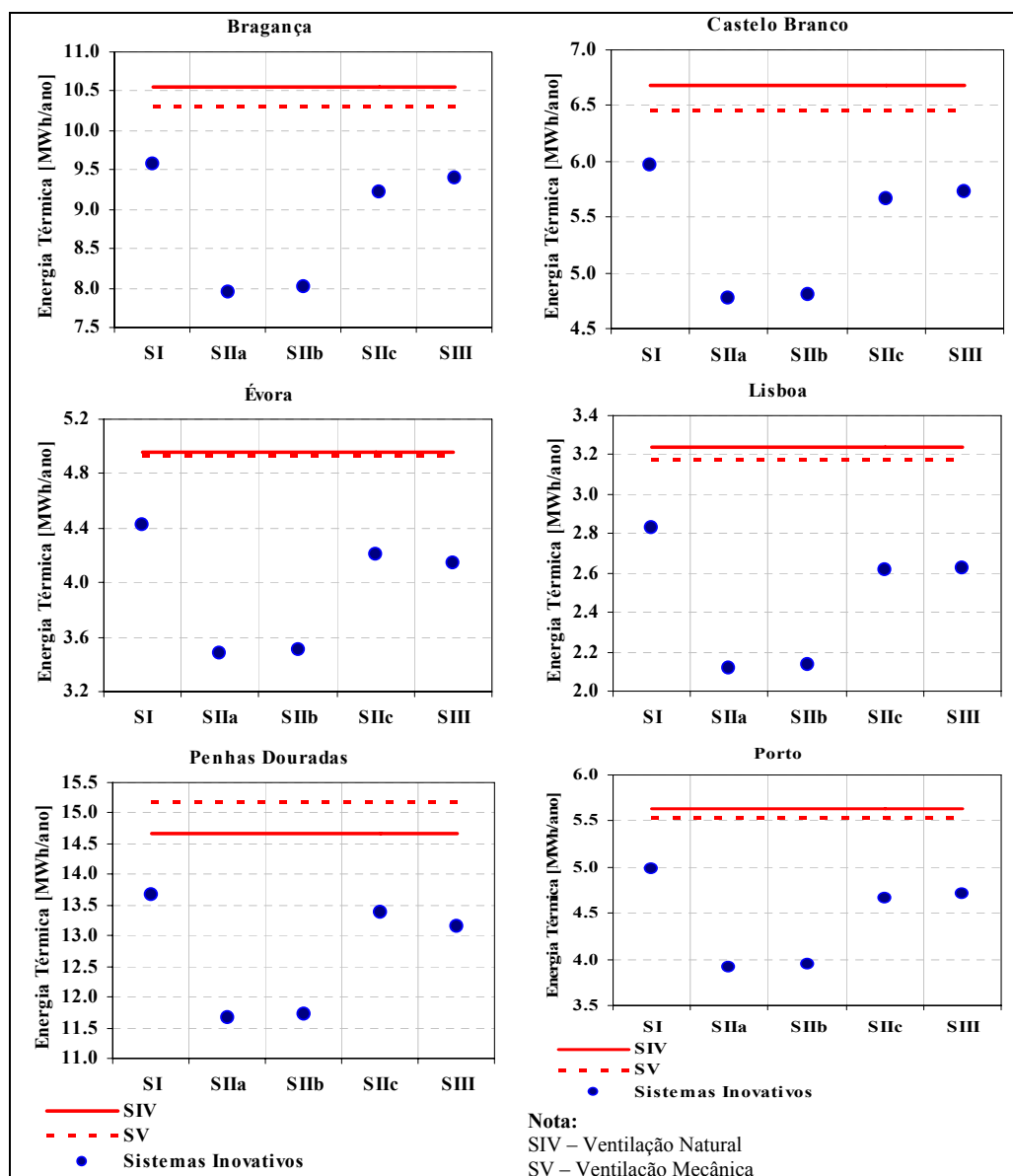


Figura 7-1 - Edifício Multifamiliar: Necessidades energéticas associadas ao aquecimento

Para as diferentes localidades é possível comparar os resultados obtidos, a nível energético, para cada sistema inovativo, relativamente aos sistemas actuais de ventilação.

Genericamente, os sistemas propostos apresentam reduções significativas nos consumos de energia para o período de aquecimento do edifício. Os valores mais elevados das necessidades energéticas para aquecimento registam-se nas localizações que apresentam climas mais severos, como é o caso das Penhas Douradas e Bragança, tal como seria de esperar. A figura 7-2, apresenta a relação entre o número de Graus-Dias e as necessidades térmicas de aquecimento para os diferentes sistemas e localidades.

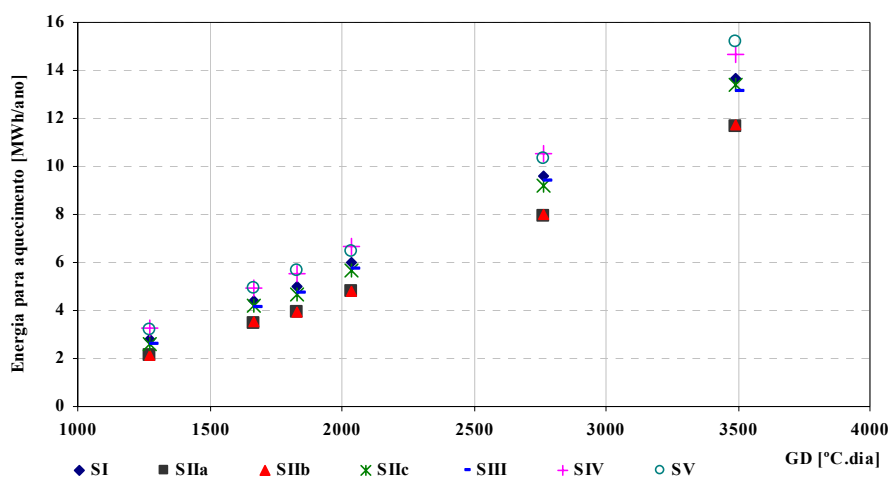


Figura 7-2 - Relação entre os Graus-Dias e as necessidades energéticas de aquecimento para as diferentes localidades portuguesas

Fazendo uma análise separada das perdas de energia associadas à ventilação dos espaços (tabela 7-2), para o período de aquecimento, mantém-se a relação entre a localização e os resultados obtidos, como seria de prever. No entanto, há pequenas variações que pode ser interessante analisar com mais detalhe, podendo ser elementos de decisão na escolha do tipo de sistema.

Tabela 7-2 - Perdas energéticas associadas à ventilação [MWh/ano]

Localização	SI	SIIa	SIIb	SIIc	SIII	SIV	SV
Lisboa	2,02	1,17	1,20	1,85	1,84	2,68	2,38
Évora	2,51	1,48	1,52	2,37	2,26	3,29	3,04
Porto	2,84	1,67	1,70	2,57	2,62	3,66	3,56
Castelo Branco	2,96	1,64	1,72	2,74	2,75	3,99	3,42
Penhas Douradas	5,09	3,04	3,12	4,95	4,67	6,52	6,79
Bragança	3,76	2,08	2,18	3,53	3,69	5,10	4,53

Os consumos energéticos associados à ventilação são mais elevadas nos sistemas actuais, devido ao difícil controlo das taxas de ventilação, principalmente, sistema de ventilação natural (SIV). A título de exemplo, na figura 7-3 pode verificar-se, para Bragança, que as maiores perdas de energia por transferência de massa entre o interior e o exterior do edifício, ocorrem para os sistemas actuais, atingindo-se diferenças da ordem dos 55 % relativamente a alguns sistemas inovativos propostos.

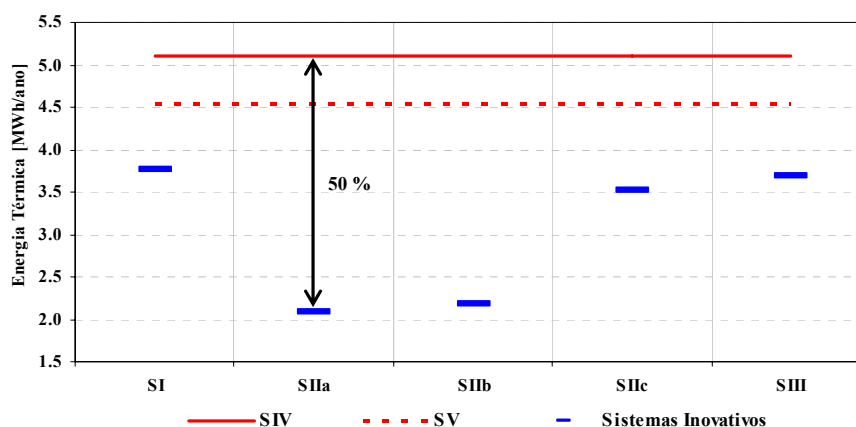


Figura 7-3 – Bragança: Valor da energia térmica associada à ventilação do edifício

Tendo em conta que alguns sistemas utilizam energia eléctrica para o accionamento dos ventiladores, identificam-se, na figura 7-4, o consumo de energia para cada um dos sistemas. Os valores mais elevados do consumo eléctrico são os registados para o sistema de extracção mecânica (SV), no entanto, é necessário relembrar que, os ventiladores são diferentes e que o seu consumo eléctrico é dependente de dois factores:

- caudal de extracção, que, nos sistemas inovativos, varia de acordo com as condições no interior do edifício;
- duração dos períodos em que a extracção é natural.

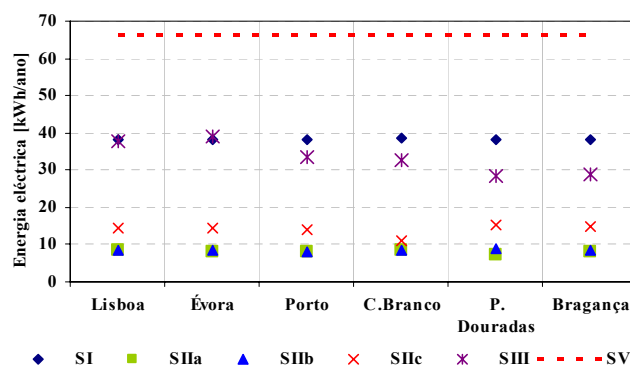


Figura 7-4 - Consumos anuais de energia eléctrica dos ventiladores [kWh/ano]

7.2.1.2. Qualidade do Ar Interior e Renovação de Ar

A avaliação da QAI basear-se-á na análise de três parâmetros base: o nível de dióxido de carbono (CO_2) nos compartimentos principais e a humidade relativa nos compartimentos húmidos (EHR) e a humidade absoluta nos mesmos (SS). Através destes parâmetros é possível avaliar a taxa de renovação de ar no edifício.

O nível de CO_2 é determinado com base no número de horas em que a concentração do

poluente é superior a um dado valor (CT_{exc}). Este efeito está também associado ao parâmetro que traduz a ventilação efectiva dos espaços (q_{en}).

Os valores obtidos para CT_{exc} (figura 7-5), têm por base apenas os períodos em que o edifício se encontra ocupado.

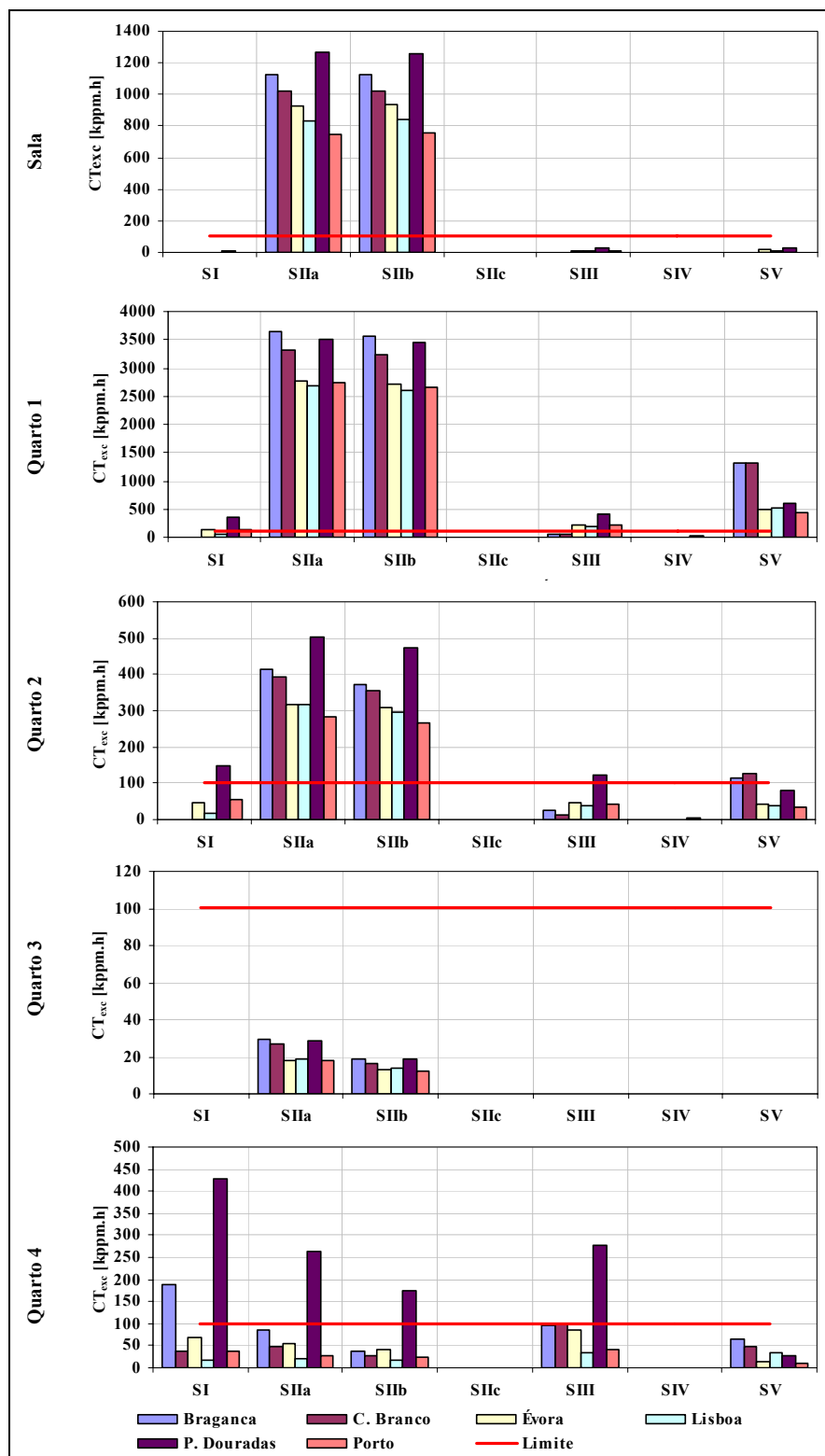


Figura 7-5 - Portugal: Valores de CT_{exc} no período ocupado da habitação unifamiliar

Da análise da figura 7-5 observa-se que, independentemente da localização, a maior concentração de CO₂ ocorre para o Quarto 1 e que o Quarto 3 não atinge o limite imposto. A concentração limite de CO₂ no Quarto 4 é ultrapassada na maioria dos casos para as localizações de Penhas Douradas e Bragança.

O posicionamento relativamente a um dos pontos de extracção (Casa de Banho) do Quarto 3 é justifica os reduzidos valores de CT_{exc}.

Note-se que, a porta da Casa de Banho comunica directamente com o Quarto 3 (figura 7-6), razão pela qual a renovação do ar deste último está sempre assegurada. Aspectos semelhantes estão na base dos resultados obtidos no Quarto 1, entre outros.

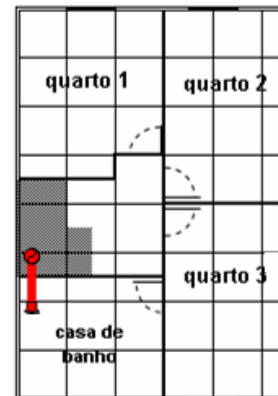


Figura 7-6 - Localização do Quarto 3

O excesso de CO₂, em alguns espaços, é um resultado directo de uma ventilação insuficiente, tal como se demonstra na tabela 7-3, na qual se apresenta a percentagem do período de aquecimento em que q_{en} é inferior à unidade. Tal como aconteceu com o CT_{exc}, o Quarto 1 e o Quarto 4 apresentam ventilação insuficiente com mais frequência para alguns dos sistemas analisados.

Tabela 7-3 - % do período ocupado em que a ventilação é insuficiente nos compartimentos principais

	Sistema I	Sistema IIa	Sistema IIb	Sistema IIc	Sistema III	Sistema IV	Sistema V
Sala							
Bragança	1,0	77,7	76,8	2,3	6,7	0,4	11,7
Castelo Branco	0,7	79,7	78,8	2,6	6,0	0,2	12,0
Évora	3,4	75,1	74,8	2,4	14,4	2,1	14,7
Lisboa	1,9	77,4	77,0	1,9	14,3	1,0	13,1
Penhas Douradas	5,7	70,0	69,4	1,5	19,3	4,2	16,6
Porto	3,3	70,2	69,8	1,8	15,0	1,7	10,3
Quarto 1							
Bragança	38,1	60,3	60,5	36,1	37,5	4,2	46,5
Castelo Branco	39,2	66,7	67,1	35,5	37,4	1,7	46,6
Évora	34,0	47,1	46,8	5,9	36,9	7,2	39,1
Lisboa	33,1	56,2	56,0	28,4	35,1	5,0	40,6
Penhas Douradas	35,1	47,9	47,8	10,5	40,0	23,2	35,3
Porto	30,5	46,4	46,1	13,3	35,8	6,2	34,0
Quarto 2							
Bragança	35,4	57,4	52,4	0,0	30,8	0,0	43,5
Castelo Branco	30,1	56,4	52,1	0,0	25,8	0,0	45,2
Évora	25,7	54,2	51,1	0,2	37,3	0,3	28,0
Lisboa	19,2	53,8	50,5	0,1	39,9	0,0	30,5
Penhas Douradas	37,8	54,0	50,1	0,7	42,6	1,7	24,9
Porto	20,3	48,8	46,3	0,4	36,1	0,6	21,9

Tabela 7-3 - % do período ocupado em que a ventilação é insuficiente nos compartimentos principais (cont.)

	Sistema I	Sistema IIa	Sistema IIb	Sistema IIc	Sistema III	Sistema IV	Sistema V
Quarto 3							
Bragança	0,2	12,0	10,6	0,0	21,7	0,0	4,9
Castelo Branco	0,1	11,7	10,4	0,0	23,2	0,0	3,4
Évora	1,9	14,8	13,5	0,2	21,2	0,0	7,0
Lisboa	0,8	16,0	14,2	0,3	21,3	0,0	7,8
Penhas Douradas	4,3	16,5	14,7	0,2	27,8	0,1	7,6
Porto	1,8	17,1	15,7	0,2	16,8	0,0	5,5
Quarto 4							
Bragança	53,9	55,1	45,2	0,1	58,8	0,0	52,2
Castelo Branco	47,4	51,7	39,5	0,1	57,3	0,0	54,1
Évora	43,9	40,2	33,1	0,1	52,8	0,1	33,7
Lisboa	37,8	34,5	25,3	0,0	50,7	0,1	37,7
Penhas Douradas	54,3	50,0	45,7	1,6	55,6	1,7	26,5
Porto	37,1	34,5	28,5	0,2	47,2	0,4	25,3

De uma forma geral, os níveis de CO₂ são mais elevados para os Sistemas IIa e IIb em oposição ao Sistema IV onde os valores limites nunca são ultrapassados. A taxa de renovação do ar (figura 7-7) reforça os resultados obtidos anteriormente. De facto, os Sistemas IIa e IIb apresentam valores muito reduzidos de taxas de renovação do ar, o que se traduz, directamente, numa redução da QAI. Note-se ainda que, o sistema de ventilação natural (SIV) apresenta um valor muito superior de taxa de renovação (RPH), quando comparado com os restantes sistemas, o que explica as reduzidas concentrações de CO₂.

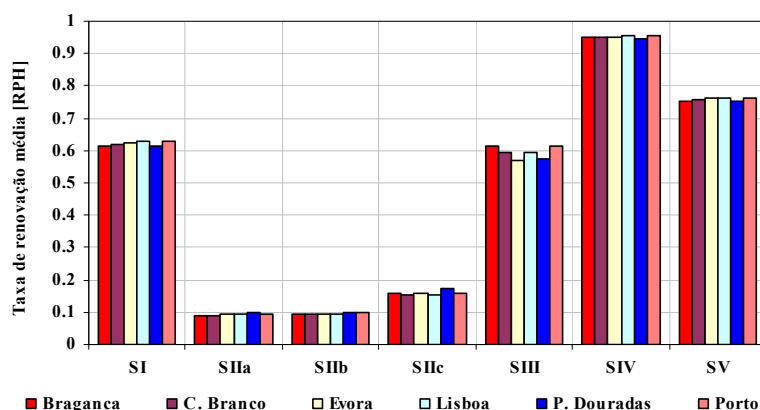


Figura 7-7 - Portugal: Taxa de renovação média do ar no edifício de habitação unifamiliar

O sistema de ventilação natural apresenta uma renovação de ar elevada que também é justificada pelos elevados caudais médios de infiltrações de ar, registados em todos os compartimentos do edifício em análise. Na figura 7-8 e na figura 7-9 apresentam-se, a título de exemplo, os resultados obtidos para os caudais de infiltrações de ar nos compartimentos principais no período de ocupação do edifício para Penhas Douradas e Lisboa, respectiva-

mente. Note-se que estes caudais de ar, com valores mais elevados, estão associados ao facto de não existir qualquer tipo de controlo do sistema SIV, estando apenas dependentes das condições exteriores.

O facto de não existir controlo da ventilação não é sinónimo de taxas de ventilação elevadas, veja-se o caso do Sistema V. Neste caso, a baixa taxa de ventilação deve-se ao facto do sistema de extracção mecânica se encontrar desligado durante a noite (período ocupado).

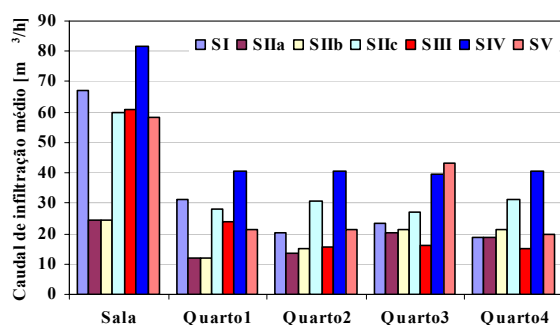


Figura 7-8 - Penhas Douradas: Caudais médios de infiltrações no período ocupado

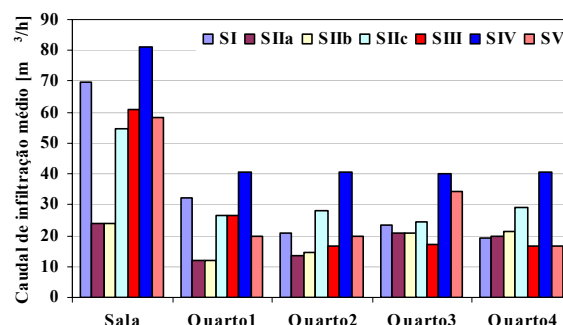


Figura 7-9 - Lisboa: Caudais médios de infiltrações no período ocupado

Um outro parâmetro importante na análise dos sistemas de ventilação é a humidade relativa (HR) do ar, registada em determinados compartimentos, que não deve ser superior a 75 %. Com base neste critério é possível determinar a percentagem de tempo em que $HR > 75\%$ durante os períodos de ocupação do edifício (figura 7-10 à figura 7-12). Esta percentagem de tempo, assim determinada, representa os períodos com elevada humidade relativa (EHR). Os compartimentos mais susceptíveis de ter EHR, ou seja, cozinhas e casas de banho, apresentam comportamentos distintos, consoante o sistema de ventilação e a localização.

No caso da Cozinha (figura 7-10), para os Sistemas IIa e IIb, a humidade relativa é, globalmente, mais elevada do que para os restantes sistemas. Genericamente, a Casa de Banho apresenta uma percentagem de tempo com EHR relativamente baixa quando comparada com os

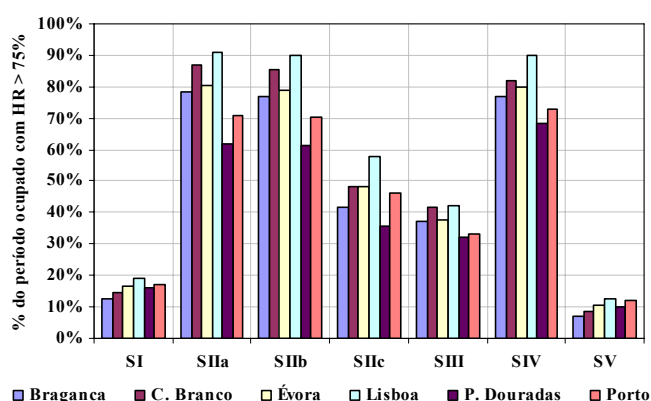


Figura 7-10 - Cozinha: % do período ocupado com HR > 75%

restantes compartimentos húmidos (figura 7-11). Para este caso, observa-se, em média, valores de $HR > 75\%$ inferiores a 12% do período de ocupação.

No que diz respeito ao Chuveiro (figura 7-12), este apresenta valores diferenciados consoante o tipo de sistema. De notar que os valores observados de HR para o Sistema IV estão condicionados à aplicação directa da norma NP 1037. Neste caso concreto, a extracção deste compartimento é reduzida e as implicações são óbvias. Globalmente, os sistemas inovativos apresentam um bom desempenho face aos convencionais.

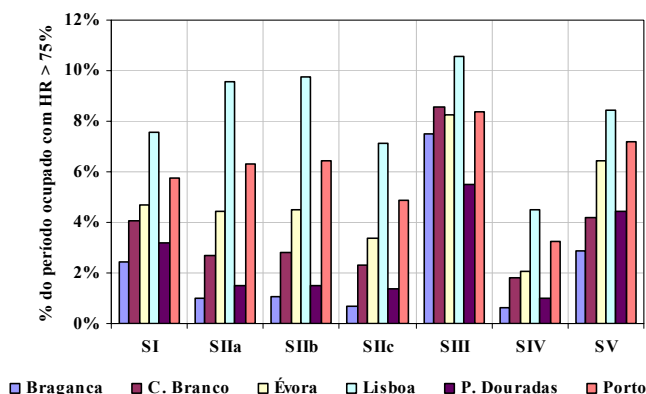


Figura 7-11 - Casa de Banho: % do período ocupado com HR > 75%

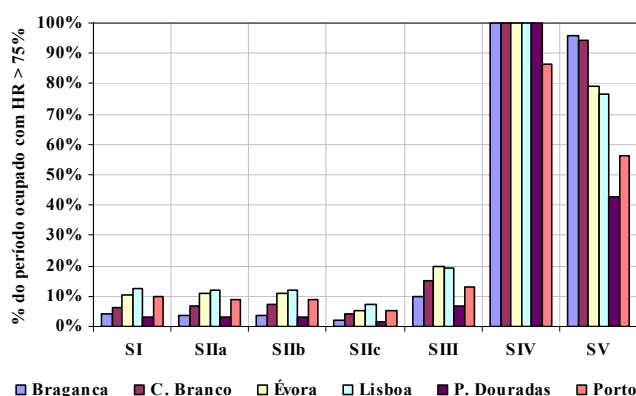


Figura 7-12 - Chuveiro: % do período ocupado com HR > 75%

No sentido de avaliar o impacto da ventilação nos resultados apresentados, determinou-se os valores médios dos caudais de extracção de ar, para o período de ocupação (figura 7-13 à figura 7-15). Globalmente demonstra-se que sempre que os caudais são reduzidos, o índice EHR é elevado, como por exemplo, no caso SIV. Os sistemas inovativos são, em geral, mais eficientes porque o caudal aumenta à medida que é produzido vapor de água na Cozinha, removendo-o de imediato.

Apenas existem variações significativas nos caudais de extracção para os sistemas SI e SIV. O primeiro porque a sua estratégia de controlo é dependente do nível de humidade relativa na Casa de Banho e Chuveiro e o segundo porque depende das condições climáticas exteriores.

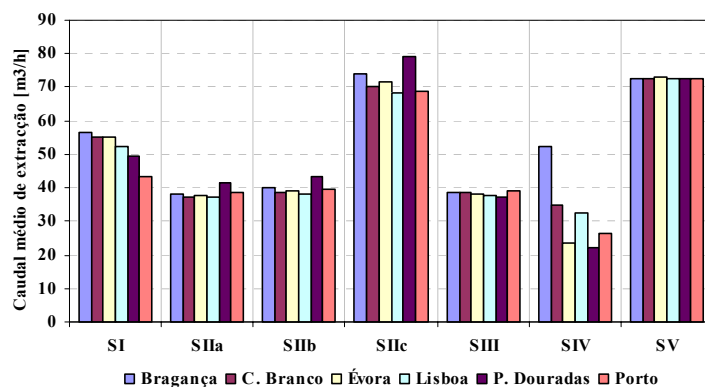


Figura 7-13 - Cozinha: Caudais médios de extracção no período ocupado

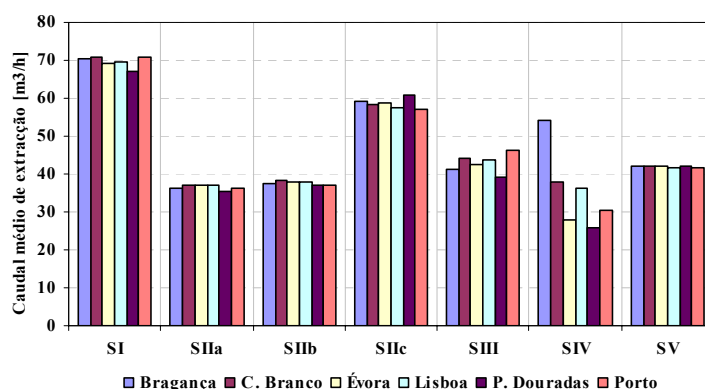


Figura 7-14 - Casa de Banho: Caudais médios de extracção no período ocupado

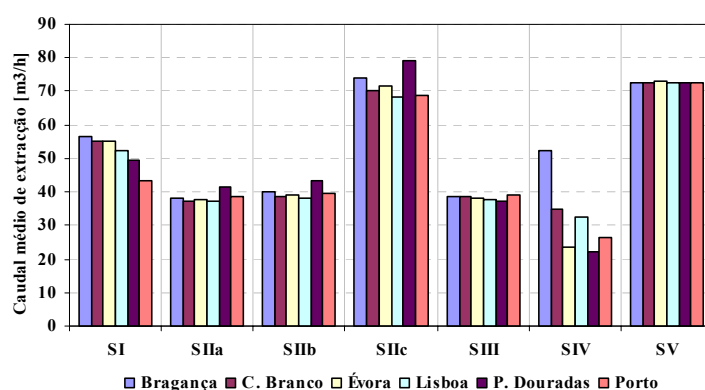


Figura 7-15 - Chuveiro: Caudais médios de extracção no período ocupado

O facto de se obter taxas de ventilação elevadas não é sinónimo de eficiência. O Sistema V apresenta caudais médios de extracção elevados, e, em alguns compartimentos, apresenta valores de EHR elevados, uma vez que o sistema funciona em horários que diferem das necessidades efectivas e com caudais de projecto reduzidos.

No Sistema IV, para a Cozinha, verifica-se uma humidade relativa superior a 75 % durante uma grande percentagem do período ocupado, apesar de, em termos médios, os caudais de extracção serem dos mais elevados. Note-se, no entanto, que a extracção no sistema de ventilação natural é praticamente constante, enquanto que nos sistemas inovativos, como referi-

do, o caudal aumenta quando é produzido vapor de água.

Por fim, consultando a figura 7-13, observa-se que para os Sistemas IIa e IIb, os elevados valores de humidade relativa, registados na Cozinha, são justificados pelos caudais médios de extracção de ar deste compartimento que são inferiores aos dos restantes sistemas, o que justifica os valores observados.

Da mesma forma como se efectuou a análise da humidade relativa, procedeu-se à avaliação da humidade absoluta (Habs), tentando avaliar a percentagem de tempo em que $Habs < 5 \text{ g/kg}$ (figura 7-16 à figura 7-18).

De uma forma geral, a sensação de secura (SS) deverá apresentar resultados opostos aos que se detectaram com a análise da EHR. Este facto é demonstrado pelo comportamento de todos os sistemas para as Penhas Douradas e Lisboa, por exemplo.

O valor limite de 800 horas com Habs inferior a 5 g/kg foi ultrapassado, essencialmente, em duas localizações: Bragança e Penhas Douradas.

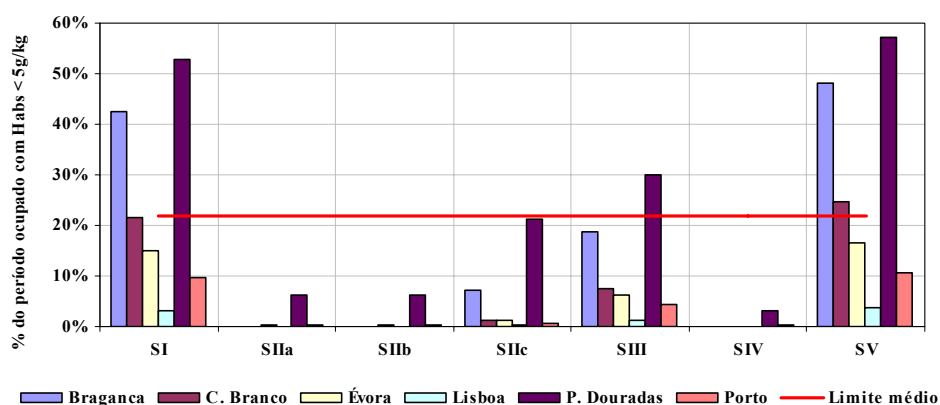


Figura 7-16 - Cozinha: % do período ocupado em que Habs < 5g/kg

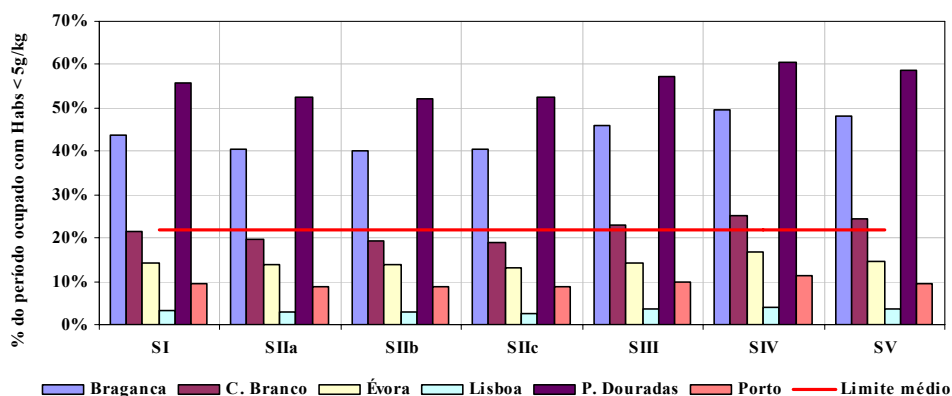


Figura 7-17 - Casa de Banho: % do período ocupado em que Habs < 5g/kg

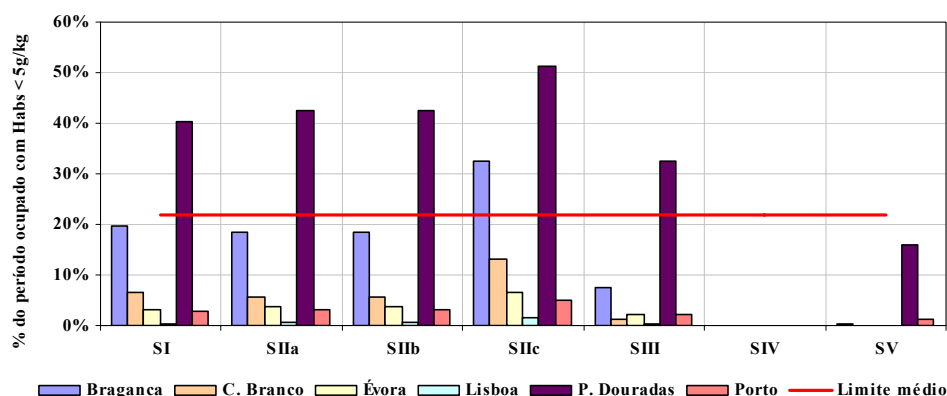


Figura 7-18 - Chuveiro: % do período ocupado em que Habs<5g/kg

7.2.1.3. Conforto Térmico

A avaliação do conforto térmico dos ocupantes no interior dos espaços foi efectuada com base nas temperaturas de bolbo seco do ar interior e no PPD.

Na figura 7-19 apresenta-se a frequência de ocorrência das temperaturas registadas na estação de aquecimento na Sala, a título de exemplo. Optou-se por esta zona, por ser aquela onde os ocupantes permanecem durante mais tempo e em maior número.

No que diz respeito às temperaturas no interior do edifício verifica-se que:

- nas Penhas Douradas, em comparação com as restantes localizações, os valores da temperatura interior mantêm-se próximas do *setpoint* imposto, independentemente do sistema de ventilação (figura 7-19). As temperaturas, para esta localização, são inferiores às registadas nos restantes locais, o que está de acordo com as temperaturas exteriores que são, para esta localização muito inferiores, face às restantes, o que significa que há uma maior perda de energia pela envolvente do edifício neste caso do que nas restantes localizações;
- as temperaturas interiores mais elevadas registam-se em Lisboa, verificando-se um afastamento, com maior frequência, do *setpoint* imposto.

O facto de as temperaturas no interior do edifício atingirem valores superiores ao *setpoint* imposto (20 °C) resulta em períodos de sobreaquecimento do edifício, o que poderá conduzir a maiores períodos de desconforto nos ocupantes. Estes períodos são mais frequentes nos climas com temperaturas exteriores mais elevadas. Podem também ocorrer, nas localizações com climas mais frios, períodos em que os ocupantes sentem frio.

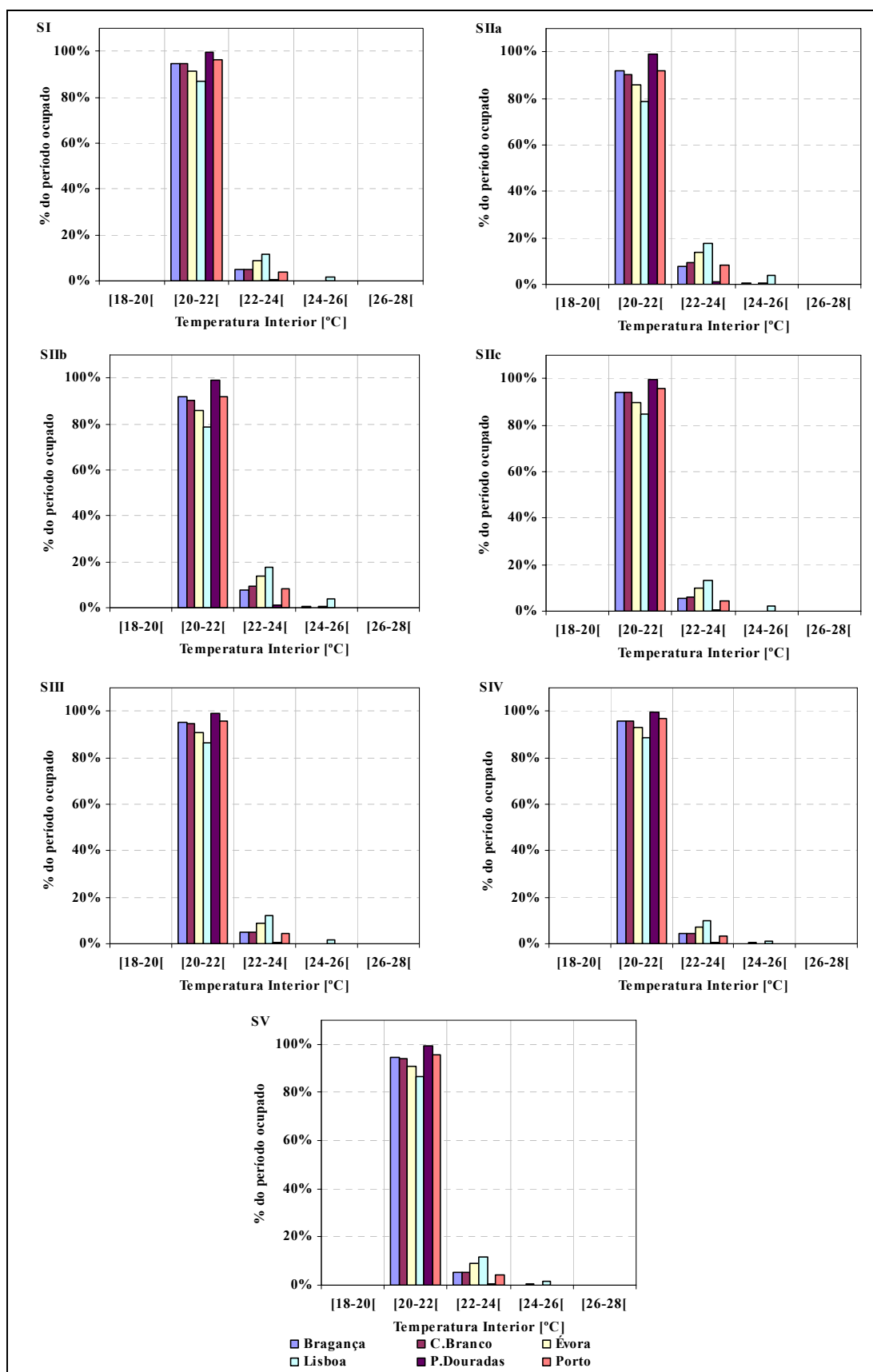


Figura 7-19 - Sala: Frequência de ocorrência das temperaturas interiores nos períodos com ocupação

Através da análise do PPD, é possível avaliar o conforto dos ocupantes, estando este parâmetro relacionado com a temperatura interior e com o nível de humidade. Na figura 7-20 encontra-se a percentagem de tempo do período ocupado em que, na Sala, a percentagem de pessoas descontentes é superior a 6, 10 e 15 %.

Verifica-se que os maiores períodos de desconforto ocorrem em duas situações extremas:

- nas Penhas Douradas, localização que apresenta uma temperatura interior sempre próxima dos 20 °C;
- em Lisboa, onde se verificam os maiores períodos de sobreaquecimento.

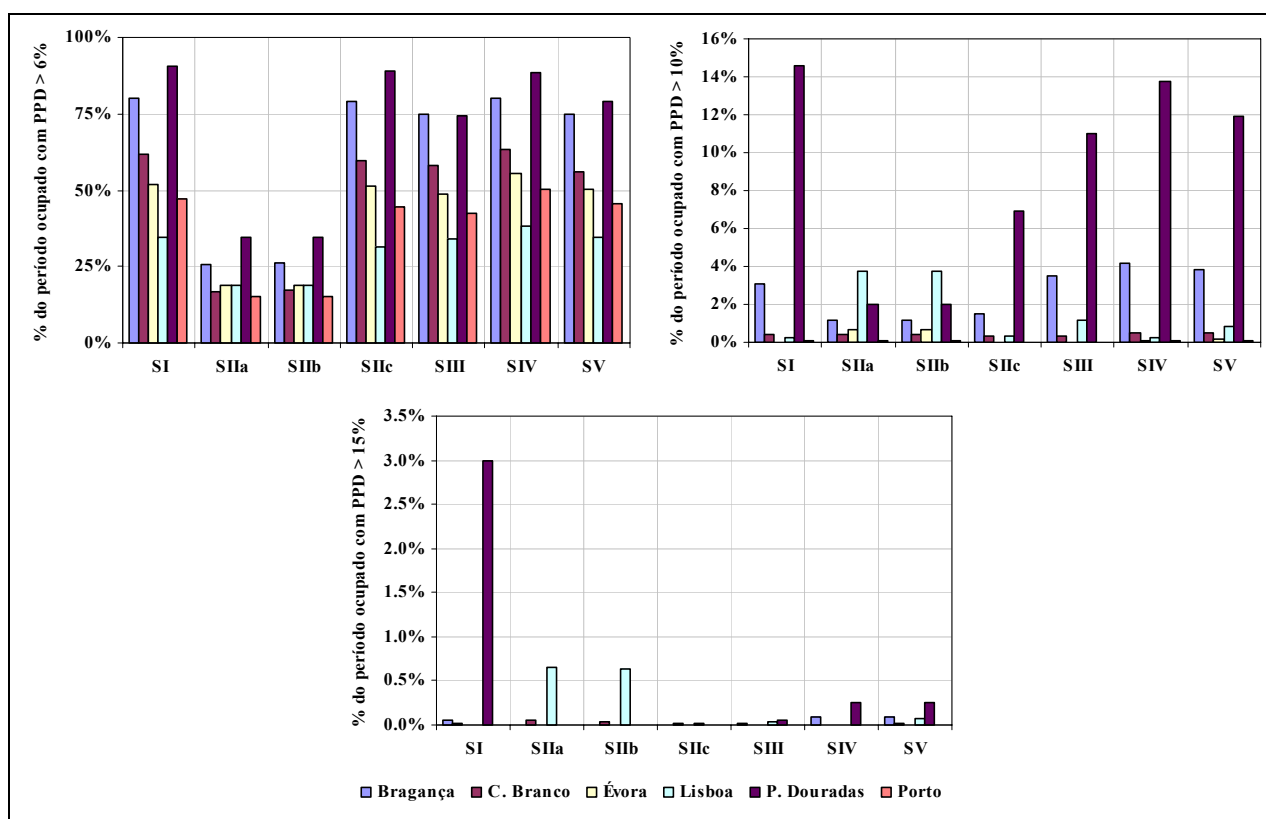


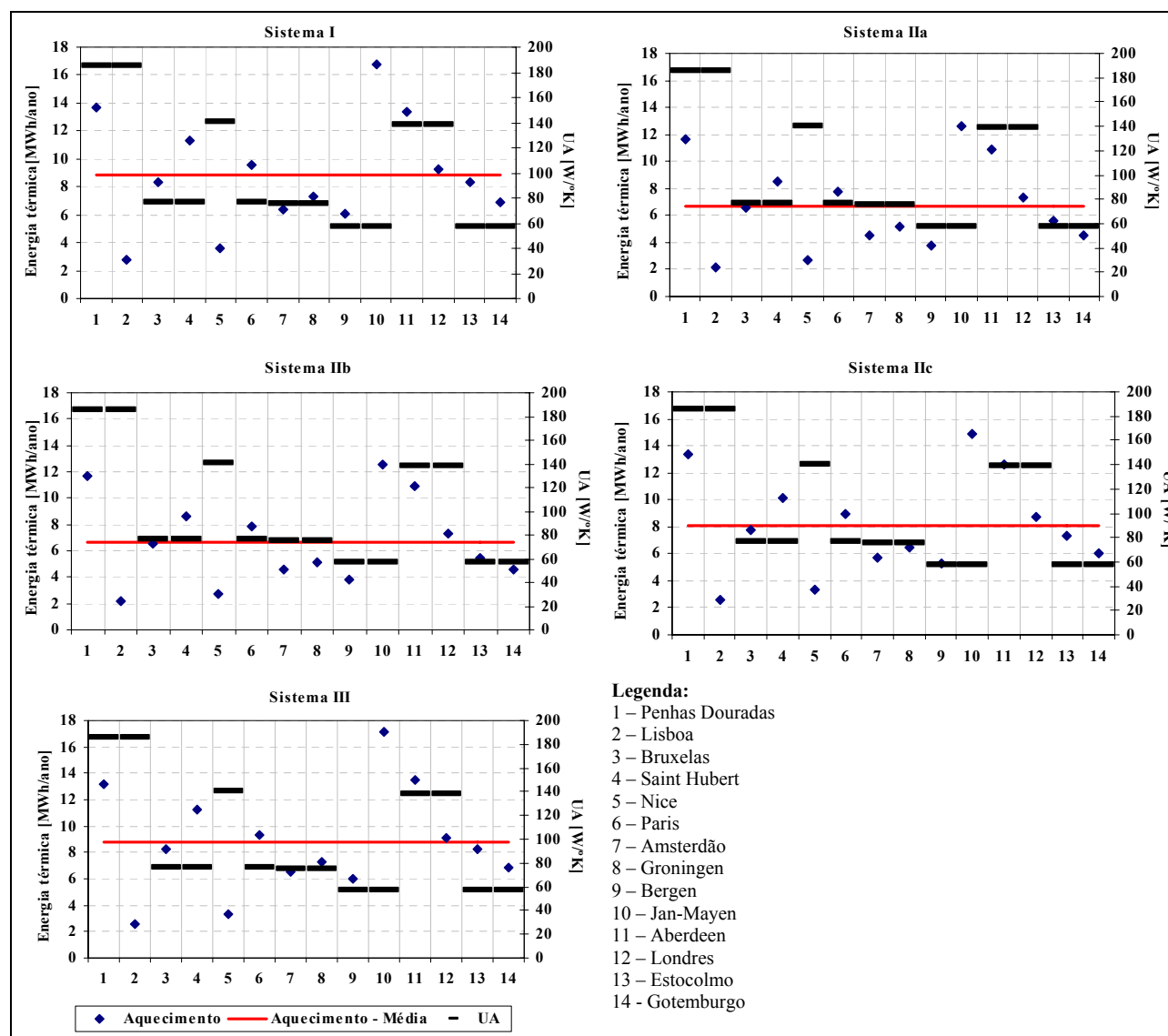
Figura 7-20 - Sala: % do período ocupado em que PPD>6, 10 e 15%

7.2.2. Avaliação do impacto dos sistemas inovativos a nível Europeu

No subcapítulo que se segue serão apresentados os resultados considerados mais relevantes e representativos de catorze localizações europeias.

7.2.2.1. Consumos Energéticos

As necessidades de aquecimento da habitação unifamiliar, para cada um dos sistemas de ventilação inovativos propostos, encontram-se representadas na figura 7-21. Nas mesmas figuras apresentam-se as necessidades médias de aquecimento obtidas para cada sistema, e o valor do coeficiente global de transferência de calor (UA), para cada localização.



Na tabela 7-4 inclui-se o valor associado às necessidades energéticas de ventilação (valores relativos ao período de aquecimento).

Tabela 7-4 - Perdas energéticas associadas à ventilação [MWh/ano]

	Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH
Portugal	Penhas Douradas	5,09	3,04	3,12	4,95	4,67
	Lisboa	2,02	1,17	1,20	1,85	1,84
Bélgica	Bruxelas	4,89	2,94	2,97	4,32	4,87
	Saint Hubert	6,47	3,38	3,43	5,13	6,50
França	Nice	2,14	1,21	1,24	1,92	1,91
	Paris	4,57	2,74	2,78	4,08	4,40
Holanda	Amsterdão	5,02	3,15	3,17	4,38	5,25
	Groningen	6,38	3,82	3,85	5,37	6,57
Noruega	Bergen	5,91	3,39	3,46	5,15	5,78
	Jan - Mayen	11,66	7,48	7,44	9,88	12,22
Reino Unido	Aberdeen	6,63	4,03	4,07	5,86	6,80
	Londres	5,26	3,13	3,18	4,74	5,14
Suécia	Estocolmo	7,49	4,62	4,46	6,53	7,85
	Gotemburgo	6,61	3,81	3,82	5,76	6,60

As principais conclusões a retirar são:

- como se verificou na análise efectuada para Portugal, os consumos energéticos associados ao aquecimento do edifício são mais elevados nas zonas que apresentam um clima mais severo, ou seja, neste caso, Jan-Mayen. A severidade do clima pode ser traduzida não só pela duração da estação de aquecimento que, neste caso, engloba todo o ano (12 meses), mas também pelo número de Graus-Dias de aquecimento, que tem um valor de 7789 °C.dia (tabela 7-5);

Tabela 7-5 - Duração da estação de aquecimento e Graus-Dias de aquecimento para as diferentes localizações

	Duração da Estação de Aquecimento [meses]	Número de Graus – Dias [°C.dia]
Lisboa	6,0	1276
Nice	6,0	1914
Amsterdão	7,7	3286
Paris	8,3	3359
Penhas Douradas	8,0	3491
Bruxelas	8,7	3796
Londres	9,3	3836
Groningen	10,7	4197
Aberdeen	12,0	4442
Bergen	11,0	4476
Saint Hubert	9,7	4629
Gotemburgo	9,3	4721
Estocolmo	9,7	5388
Jan-Mayen	12,0	7789

- nas Penhas Douradas, apesar de a severidade do clima não ser extrema, obtém-se, tam-

bém um valor elevado das necessidades energéticas. Associado a este facto, encontra-se o valor do coeficiente global de perdas (UA), que é mais elevado para Portugal do que nos restantes países europeus;

- no outro extremo dos valores das necessidades energéticas de aquecimento encontram-se, como seria de esperar, Lisboa e Nice, zonas que apresentam um número de Graus-Dias muito baixo relativamente às restantes, apesar de apresentarem um coeficiente UA mais elevado;
- no entanto, existem outras zonas que apesar do seu clima ser mais extremo do que nas Penhas Douradas, apresentam valores para as necessidades de aquecimento inferiores mas, perdas por ventilação mais elevadas. Este facto deve-se, apenas, a uma envolvente com um UA reduzido. Exemplos disso são as cidades de Estocolmo e Gotemburgo.

Na tabela 7-6 apresentam-se os consumos energéticos associados à ventilação mecânica, referindo-se, uma vez mais, que as potências dos ventiladores utilizados são diferentes entre os sistemas de ventilação.

Tabela 7-6 - Consumos anuais de energia eléctrica dos ventiladores [kWh/ano]

	Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH
Portugal	P. Douradas	38,22	3,95	7,33	15,36	20,58
	Lisboa	38,18	8,30	8,52	14,29	37,70
Bélgica	Bruxelas	37,99	7,00	7,26	13,55	22,17
	Saint Hubert	37,60	6,68	7,00	13,97	18,15
França	Nice	38,05	8,10	8,33	14,20	48,69
	Paris	37,96	7,26	7,42	13,65	26,94
Holanda	Amsterdão	37,89	6,74	6,90	13,06	21,81
	Groningen	37,92	6,61	6,81	12,87	20,84
Noruega	Bergen	37,79	7,33	7,52	13,84	18,44
	Jan - Mayen	37,70	5,54	5,61	11,60	6,68
Reino Unido	Aberdeen	37,96	6,55	6,71	12,84	18,05
	Londres	37,96	7,13	7,39	13,71	21,43
Suécia	Estocolmo	37,70	6,42	7,65	13,16	16,95
	Gotemburgo	37,83	6,68	6,87	13,26	18,83

7.2.2.2. Qualidade do Ar Interior e Renovação do Ar

Tal como anteriormente, para se avaliar a QAI analisa-se o nível de dióxido de carbono (CO₂) no interior dos compartimentos principais e a renovação do ar no edifício, avaliando-se se a ventilação é a suficiente para os espaços.

Na figura 7-22 encontram-se os valores de CT_{exc}, obtidos no período ocupado, para cada um dos compartimentos principais. Os resultados obtidos são semelhantes aos do caso português, como já expectável.

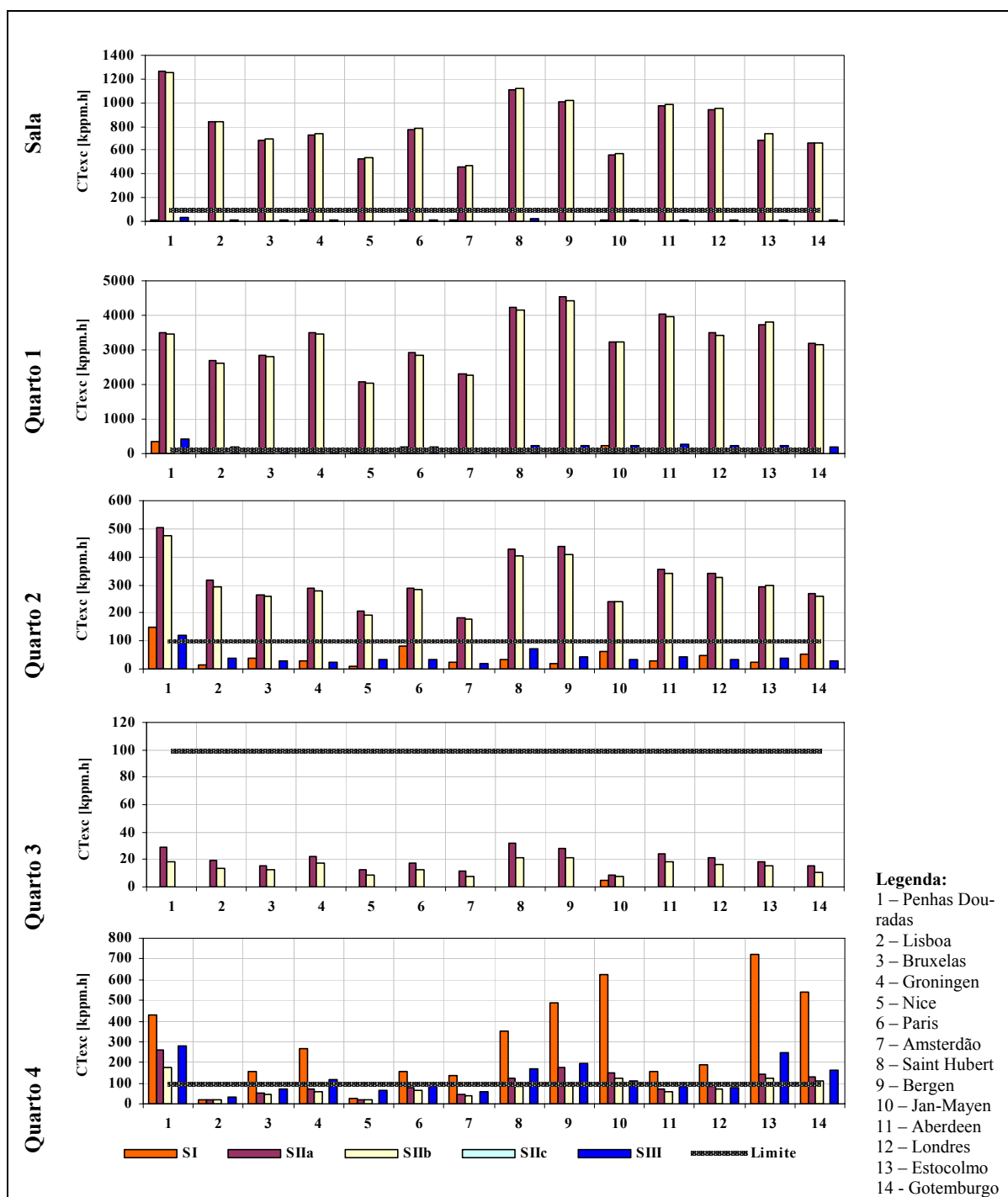


Figura 7-22 - Valores de CT_{ex} no período ocupado da estação de aquecimento

Pela figura 7-23 é possível avaliar se a ventilação é insuficiente no interior de cada compartimento principal e qual a percentagem do período ocupado em que o fenómeno ocorre. Tal como aconteceu com o nível de CO_2 , e demonstrando que não são parâmetros independentes, é no Quarto 1 e no Quarto 4, que a ventilação é insuficiente durante períodos mais prolongados de tempo e é para o Sistema IIa e IIb que os resultados obtidos demonstram a maior ineficácia do sistema de ventilação.

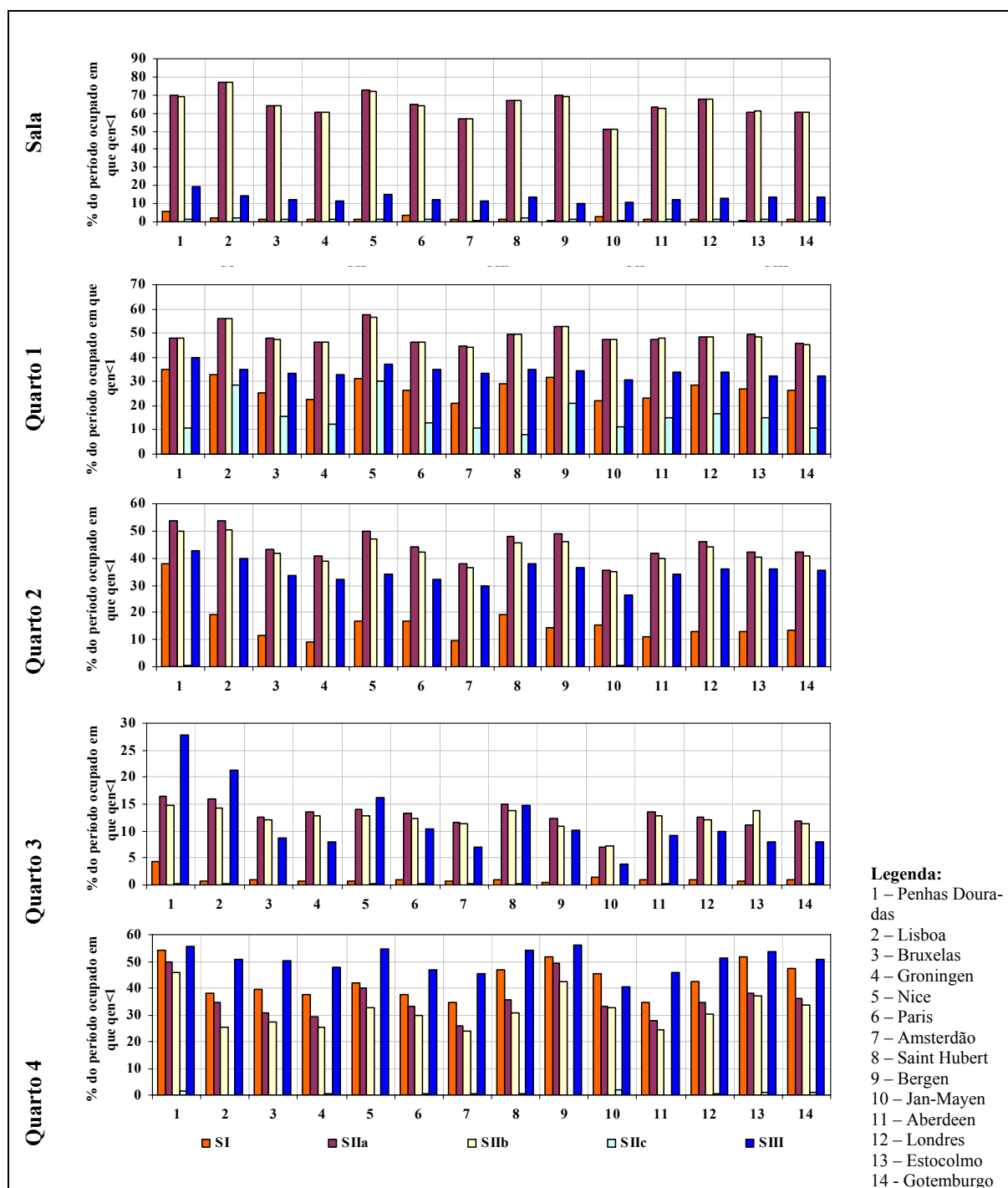


Figura 7-23 - % do período ocupado em que a ventilação nos compartimentos principais é insuficiente

A taxa de renovação do ar média da habitação unifamiliar para cada localização encontra-se representada na figura 7-24, onde se observa que os sistemas que conduzem a valores médios mais elevados são os SI e SIII.

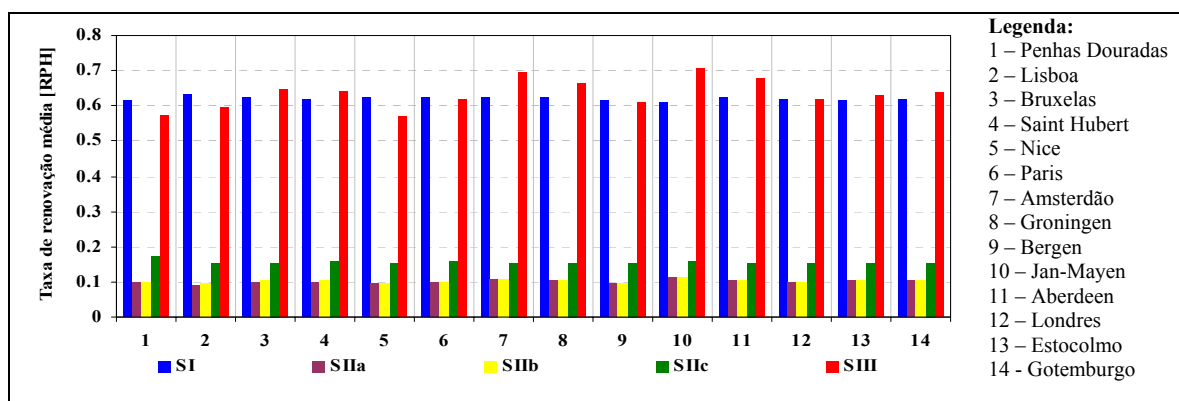


Figura 7-24 - Europa: RPH média do ar no edifício na estação de aquecimento

A avaliação do nível de humidade no interior dos espaços será efectuada com base na percentagem do período ocupado, durante o qual a humidade relativa atinge valores superiores a 75 % (figura 7-25).

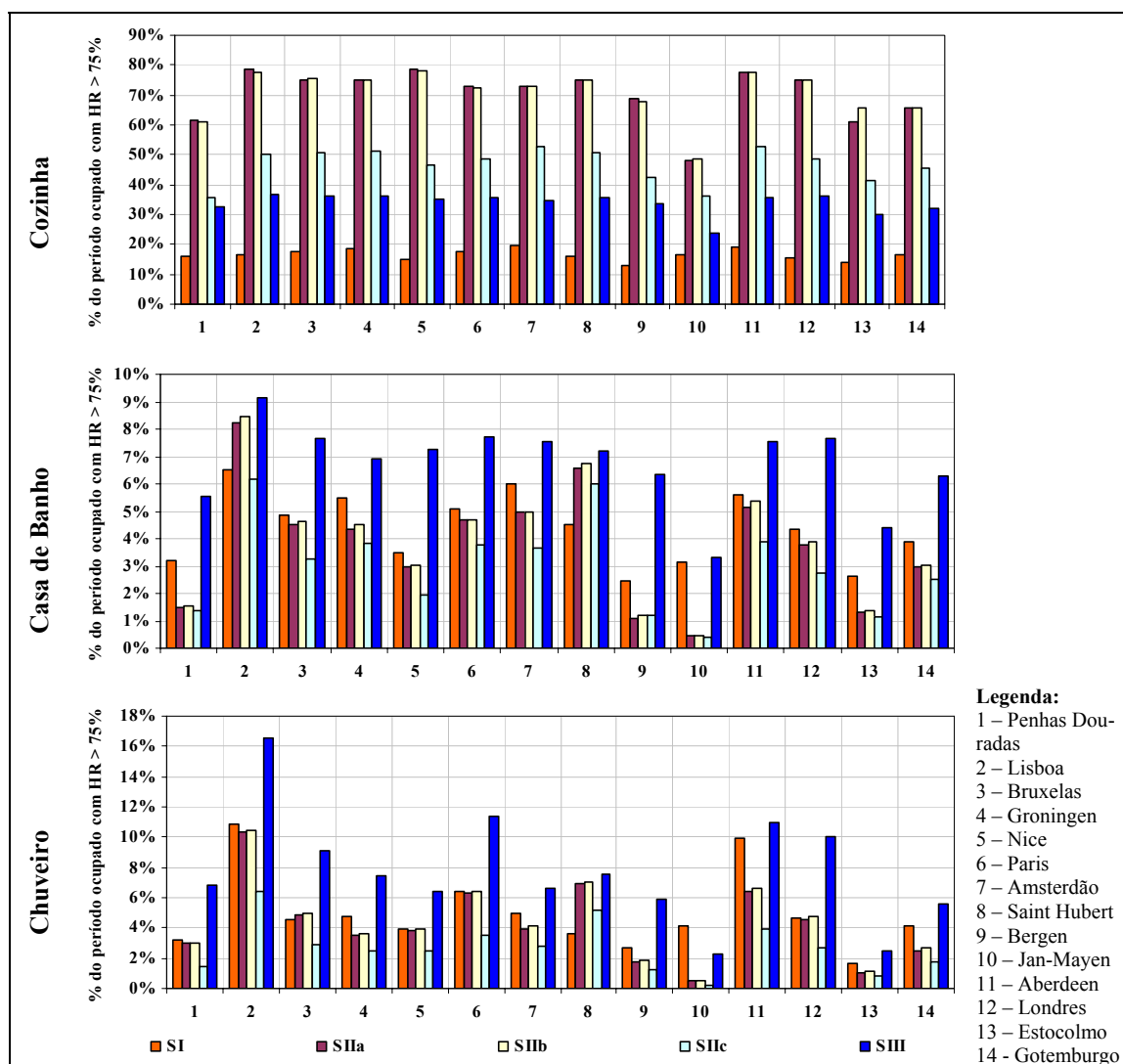


Figura 7-25 - Europa: % do período ocupado com HR>75%

No período ocupado, os valores de humidade relativa superiores a 75 % são mais prolongados na Cozinha e para os sistemas de ventilação SIIa e SIIb, apesar de nestes sistemas existir intervenção manual dos ocupantes na extracção de ar dos espaços húmidos, quando estes estão a ser utilizados. Na Casa de Banho e Chuveiro os valores obtidos são reduzidos, o que leva a concluir que essa intervenção é suficiente para garantir que a humidade e desta forma não atinge valores elevados.

Na figura 7-26 apresentam-se os caudais médios de extracção de ar da Cozinha, Casa de Banho e Chuveiro.

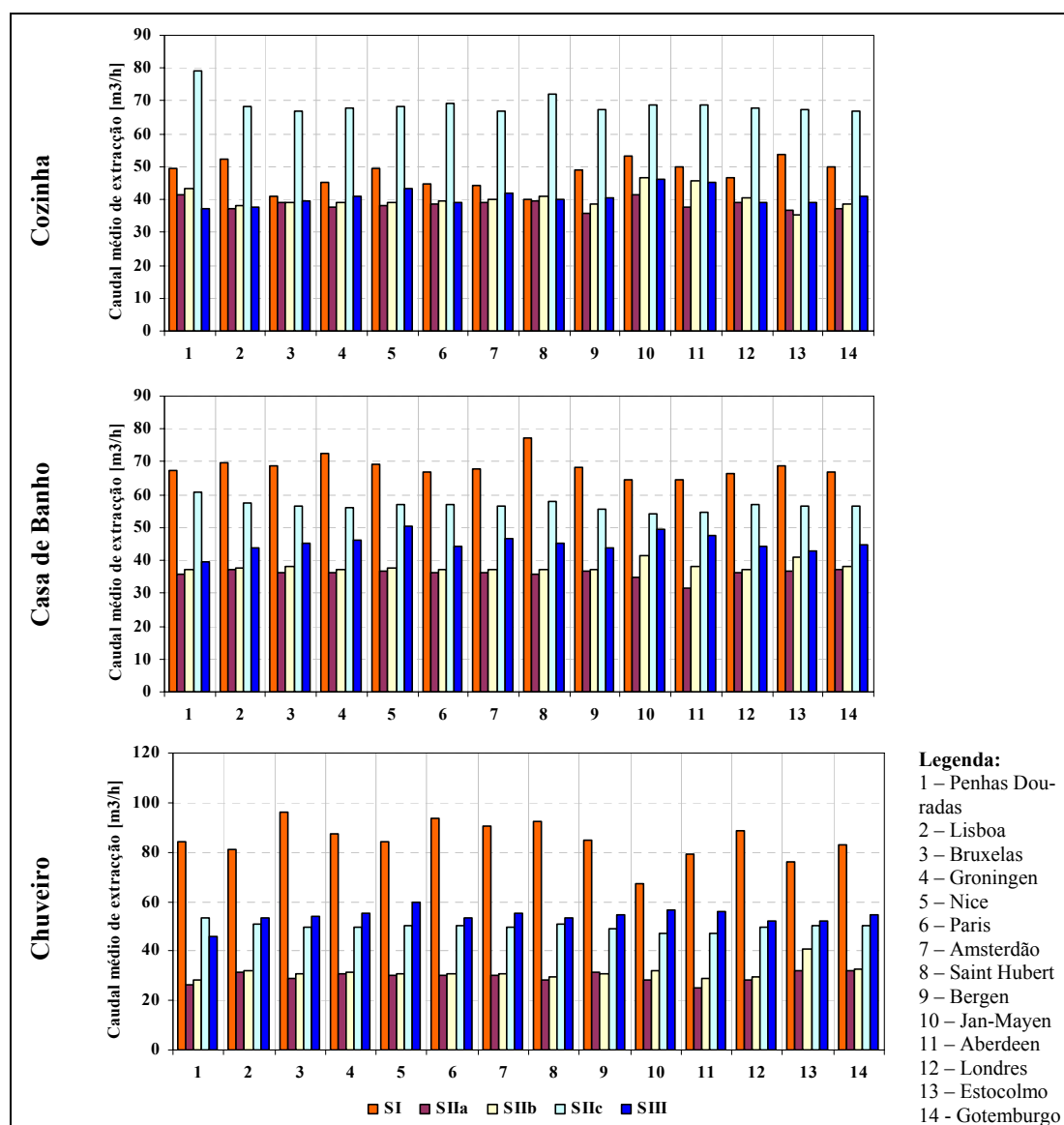


Figura 7-26 - Europa: Caudal médio de extracção de ar dos compartimentos húmidos

Os caudais médios mais elevados, na Cozinha, ocorrem para SIIc, sendo a HR, neste espaço e para este sistema de ventilação, a que apresenta menor frequência acima dos 75 %. Na

Casa de Banho e Chuveiro, é o SI que apresenta maiores caudais médios, apesar de nem sempre a HR ser a mais baixa, indicando que o sistema de controlo não é 100 % eficiente. No entanto, as frequências de ocorrência de $HR > 75\%$ para este sistema são baixas.

No que diz respeito à frequência com que a humidade absoluta é inferior a 5 g/kg, o valor limite de 800 horas é ultrapassado em algumas localizações e para alguns sistemas (figura 7-27). Note-se, no entanto, que a duração dos períodos de aquecimento é diferente, mas o número limite de horas se mantém constante.

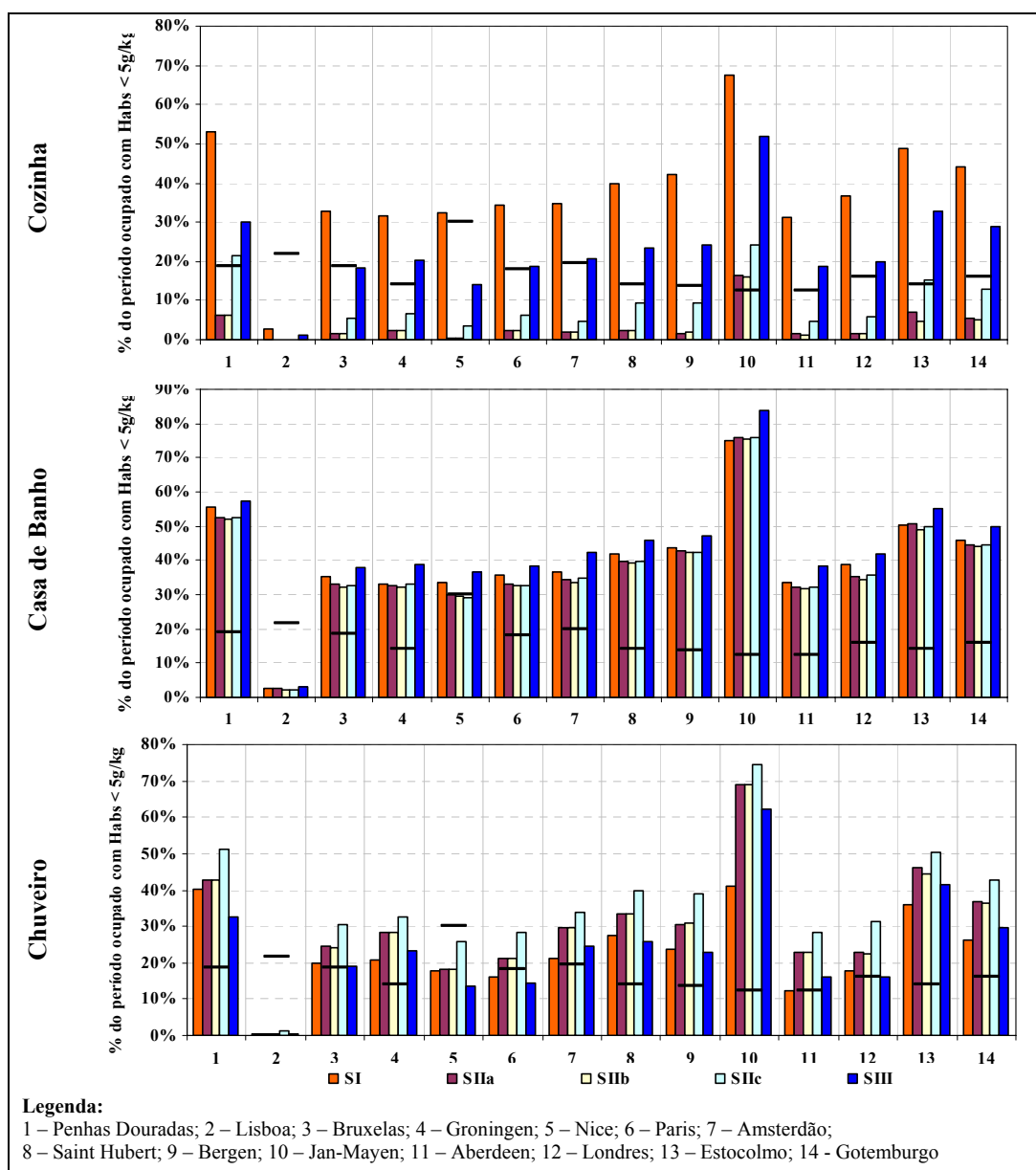


Figura 7-27 - Europa: % do período ocupado com $Habs < 5 \text{ g/kg}$

7.2.2.3. Conforto Térmico

Tal como no caso anterior, para avaliar o conforto térmico dos ocupantes no interior dos espaços analisaram-se as temperaturas e o PPD.

A frequência de ocorrência das temperaturas registadas durante a estação de aquecimento na Sala, encontram-se representadas na figura 7-28, para os diferentes sistemas e localizações.

As temperaturas no interior dos espaços depende, principalmente, de quatro factores:

- temperatura de *setpoint*;
- temperatura exterior;
- características da envolvente (UA);
- trocas de ar com o exterior.

Com efeito verifica-se que:

- as temperaturas máximas ocorrem para Bergen, Estocolmo e Gotemburgo, localizações que possuem o coeficiente global de transferência de calor (UA) mais baixo, apesar das reduzidas temperaturas exteriores;
- os sistemas que dão origem a temperaturas máximas mais elevadas são o Sistema IIa e IIb, devido à reduzida taxa de renovação de ar do edifício (figura 7-24).

Para algumas localizações, como por exemplo, Bergen, Estocolmo e Gotemburgo, as temperaturas no interior do edifício atingem valores muito superiores ao *setpoint* imposto podendo a diferença atingir os 6 °C. Ou seja, podem ocorrer períodos de sobreaquecimento. Por outro lado, nas Penhas Douradas, e Jan-Mayen, por exemplo, as temperaturas máximas, têm valores mais baixos próximos do *setpoint*, razão pela qual poderão ocorrer períodos em que os ocupantes têm sensação de frio.

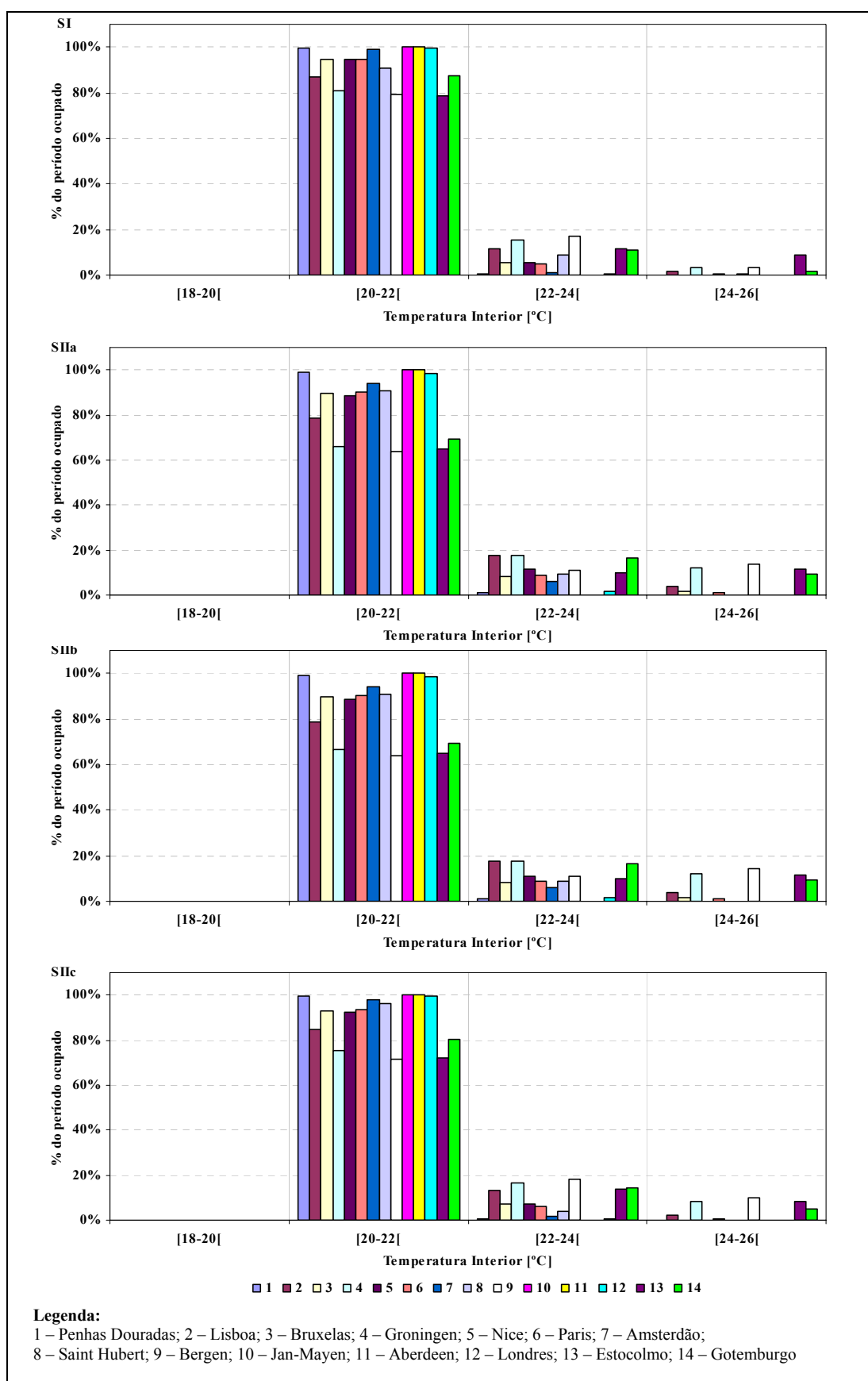


Figura 7-28 - Sala: Frequência de ocorrência das temperaturas interiores nos períodos com ocupação

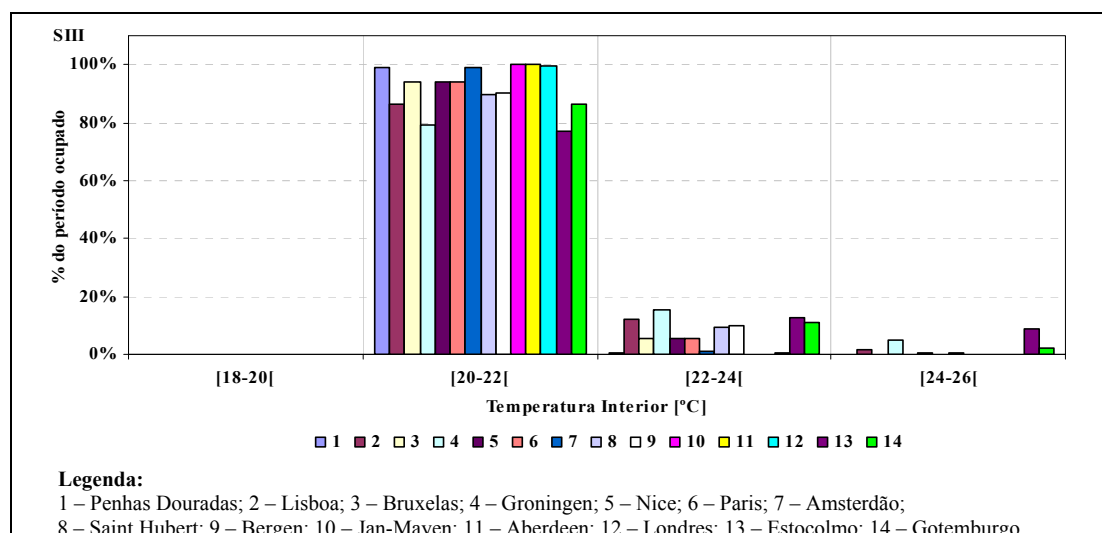


Figura 7-28 - Sala: Frequência de ocorrência das temperaturas interiores nos períodos com ocupação (cont.)

Para avaliar este desconforto apresenta-se, na figura 7-29, a percentagem do período ocupado em que PPD é superior a 10 %. As localizações para as quais ocorre maior desconforto são aquelas nas quais ocorrem as temperaturas máximas, ou seja, Bergen, Estocolmo e Gotemburgo, tal como expectável.

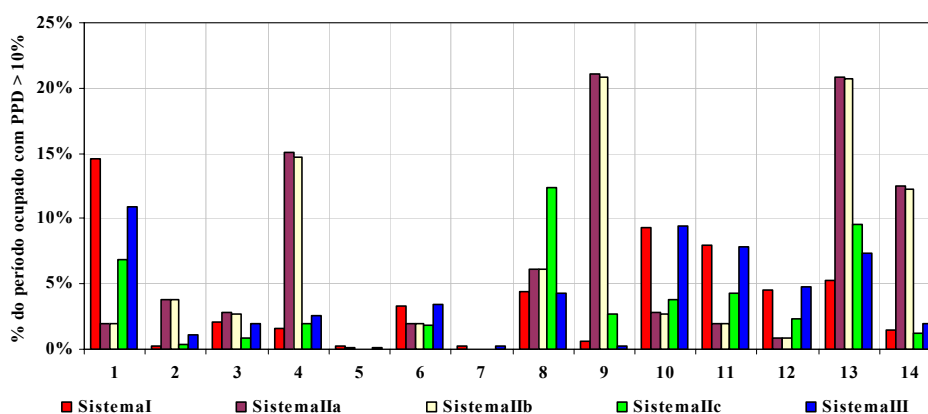


Figura 7-29 - Sala: % do período ocupado em que PPD>10%

7.2.3. Análise global da habitação unifamiliar

No que diz respeito aos consumos energéticos de aquecimento constatou-se que os sistemas actuais apresentam os valores mais elevados, assistindo-se a diferenças de cerca de 30 % entre os sistemas SIIa e SIV. A ocorrência destas diferenças era expectável, uma vez que, são os sistemas actuais que têm associadas as maiores perdas devidas às elevadas taxas de ventilação que a caracterizam. No caso mais extremo, para SIV, a energia que se perde pela ventilação representa 83 % de toda a energia envolvida no processo de aquecimento dos espaços. Por outro lado, são os sistemas SIIa e SIIb que dão origem às menores necessidades de aquecimento e, também, menores perdas associadas à ventilação.

Ao efectuar a análise dos sistemas inovativos nas localizações europeias, as conclusões são semelhantes, no que diz respeito às necessidades de aquecimento. Os sistemas SIIa e SIIb apresentam os menores valores e sistema SI os valores máximos. As perdas energéticas associadas à ventilação ocorrem, também nas localizações em que as temperaturas exteriores são mais baixas. No entanto deve notar-se que, ao contrário do que aconteceu quando se analisou apenas Portugal, estas perdas não são proporcionais às necessidades de aquecimento, como ilustrado, a título exemplificativo, na figura 7-30 para o Sistema III. Nesta figura apresenta-se também o valor o coeficiente global de transferência de calor (UA), onde se verifica que, por exemplo, nas Penhas Douradas, o desfasamento entre as necessidades de aquecimento e as perdas associadas à ventilação são de cerca de 65 %. O que significa que a qualidade da envolvente, aqui representada pelo parâmetro UA, é preponderante para esta localização.

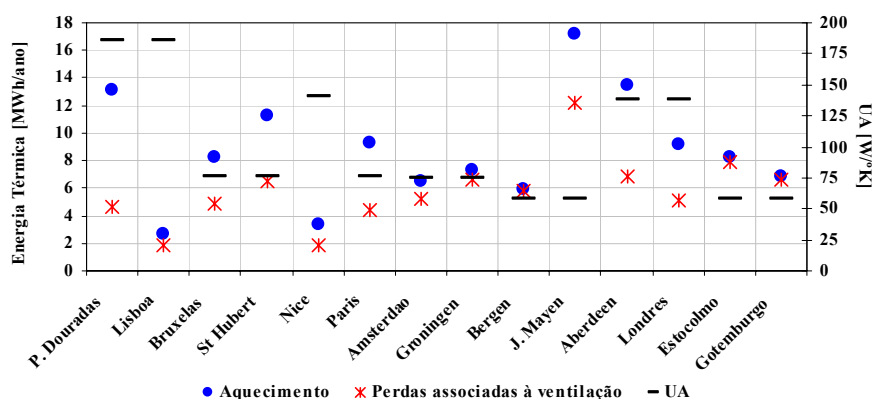


Figura 7-30 - Sistema III: Valores de energia térmica de aquecimento e perdas associadas à ventilação

Um outro consumo energético que foi analisado diz respeito aos ventiladores que promovem a extracção mecânica do ar interior. Como se verificou na figura 7-30, apresentada ante-

riormente, os maiores consumos ocorrem nos sistemas SIV e SV, no qual o ventilador funciona durante 16 horas, em contínuo, com caudais constantes e com uma potência eléctrica superior.

Nos restantes sistemas, e como se referiu anteriormente, é importante conhecer o período da estação de aquecimento em que o ventilador se encontra desligado, ocorrendo apenas ventilação natural. Cada sistema tem associado um algoritmo de controlo, e permite a ventilação natural de acordo com condições distintas. Na figura 7-31 apresenta-se a percentagem do período de aquecimento, em que, para cada um dos sistemas inovativos, a extracção é natural.

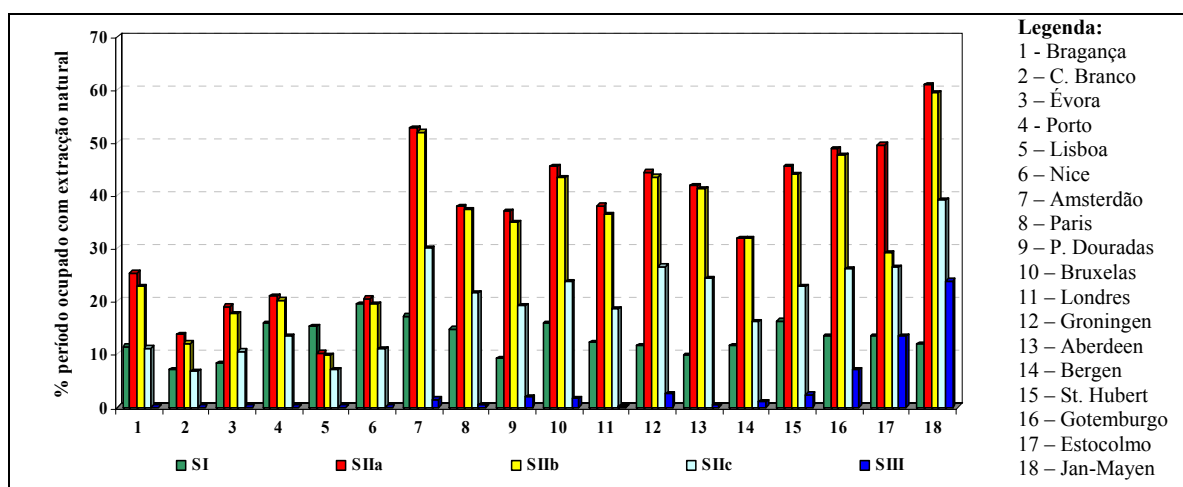


Figura 7-31 - % do período de aquecimento com ventilação natural

As capacidades de extracção do ar do interior do edifício, sem recorrer a meios mecânicos, é diferente para os diversos sistemas de ventilação:

- **Sistema I:** a extracção natural apenas ocorre nos períodos não ocupados e quando a temperatura exterior é inferior a uma temperatura pré programada e variável com a localização. O tempo durante o qual ocorre a extracção por meios naturais é próxima dos 15 %, para todas as localizações;
- **Sistema IIa e IIb:** estes dois sistemas têm um elevado potencial de extracção natural, atingindo o seu máximo para Jan-Mayen (~60 % do tempo), localização para a qual o gradiente de temperaturas entre o interior e o exterior é máximo. Para estes sistemas, as localizações que menos proveito retiram desta particularidade do sistema são Lisboa e Nice, uma vez que possuem os climas mais amenos ($\Delta T_{\text{ext-int}}$ mais baixo).
- **Sistema IIc:** também neste caso, os melhores resultados são obtidos para Jan-Mayen, pelos motivos anteriormente apresentados;
- **Sistema III:** este sistema apenas apresenta resultados significativos nos climas mais

severos (Gotemburgo, Estocolmo e Jan-Mayen), nos restantes a extracção por meios naturais é, praticamente, inexistente.

Ou seja, os sistemas actuais (SIV e SV) conduzem a consumos energéticos superiores aos obtidos nos sistemas inovativos. São superiores as necessidades de aquecimento, as perdas associadas à ventilação do edifício e, SV, apresenta valores de energia eléctrica utilizada pelos ventiladores muito superiores às dos restantes sistemas. As diferenças entre as necessidades de aquecimento dos sistemas actuais e inovativos acentuam-se para os climas mais extremos.

Em relação aos sistemas inovativos, aquele para o qual se obtém maiores necessidades de aquecimento é o sistema SI, ao qual está associada uma taxa de renovação de ar média mais elevada, ou seja, em que as perdas energética associadas à ventilação são maiores. Em seguida, encontram-se os sistemas SIIC e SIII, com consumos próximos e por fim, os casos SIIa e SIIb, que apresentam valores muito reduzidos de taxas de renovação de ar médias, próximas das 0,15 RPH, o que se traduz em baixas perdas por ventilação e reduzidas necessidades de aquecimento. Para além disso, como são os dois sistemas que fazem melhor aproveitamento da ventilação natural, apresentam, comparativamente, os menores consumos energéticos associados ao ventilador.

A QAI foi avaliada analisando o nível de CO₂ e de humidade relativa e absoluta. No caso do sistema de ventilação natural (SIV) o limite imposto para a concentração de CO₂ nunca é excedido, devendo-se estes resultados aos caudais médios de infiltrações que registam os valores mais elevados para este sistema. O sistema SV dá origem a valores de CT_{exc} que ultrapassam os limites impostos, nos Quartos 1 e 2, para algumas localizações, o que acontece devido ao facto do ventilador estar desligado no período nocturno, durante o qual estes espaços se encontram ocupados, dando origem aos resultados obtidos.

A relação entre os caudais de infiltração e os valores de CT_{exc} está representado na figura 7-32 para o Quarto 1, compartimento que apresenta a situação mais extrema, e para os diferentes sistemas de ventilação. Verifica-se que, para os sistemas de ventilação que apresentem caudais médios de infiltração menores ocorrem as concentrações de CO₂ mais elevadas, tal como é normal acontecer. As concentrações mais elevadas ocorrem para os Sistemas IIa e IIb, para os quais as infiltrações médias são muito reduzidas.

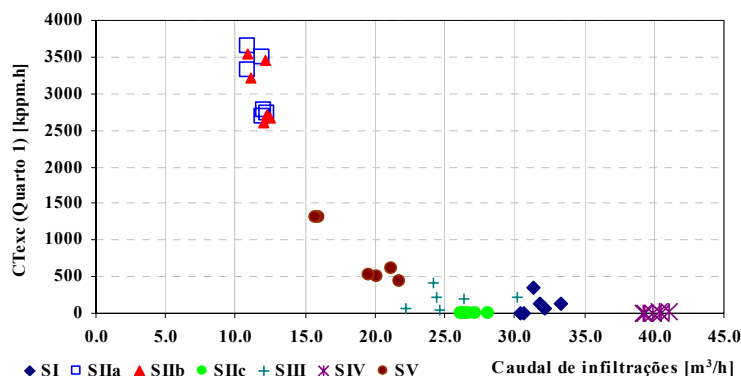


Figura 7-32 - Quarto 1: Relação entre CT_{exc} média e o caudal médio de infiltrações

Um outro parâmetro que avalia o nível de CO_2 nos espaços é a ventilação efectiva (q_{en}), sendo os resultados obtidos coincidentes com os resultados obtidos para o CT_{exc} . Deste modo os sistemas para os quais a ventilação é insuficiente, durante um período mais alargado, são os Sistemas IIa e IIb. Deve também notar-se que, excepto para os Sistemas IIc e IV, o Quarto 4, tem em geral uma ventilação insuficiente, sugerindo, este facto uma má distribuição dos caudais no interior do edifício.

Quanto aos níveis da humidade relativa estes atingem os valores mais elevados na Cozinha de uma forma geral. É nesta zona que a produção de vapor de água é superior e mais frequente durante o dia. A frequência com que a humidade relativa é superior a 75 % é maior para os sistemas SIIa, SIIb e SIV. Analisando estes resultados, com detalhe, observa-se que, os caudais de extracção para os dois primeiros sistemas são muito reduzidos, quando comparados aos dos restantes sistemas (figura 7-13). Apesar dos reduzidos caudais médios obtidos nestes sistemas é permitido aos ocupantes intervir manualmente na extracção de ar dos espaços húmidos quando estes estão a ser utilizados. Na Casa de Banho e Chuveiro os valores de HR obtidos são reduzidos, o que leva a concluir que essa intervenção é suficiente para garantir que a humidade não atinja valores elevados.

Não se deve, no entanto esquecer que, como referido, é na Cozinha que ocorre a maior produção de vapor de água, durante períodos mais prolongados e numerosos, podendo a intervenção manual pode não ser a suficiente em todas as situações, uma vez que HR depende também da humidade exterior, tal como se ilustra na figura 7-33, para o caso das Penhas Douradas.

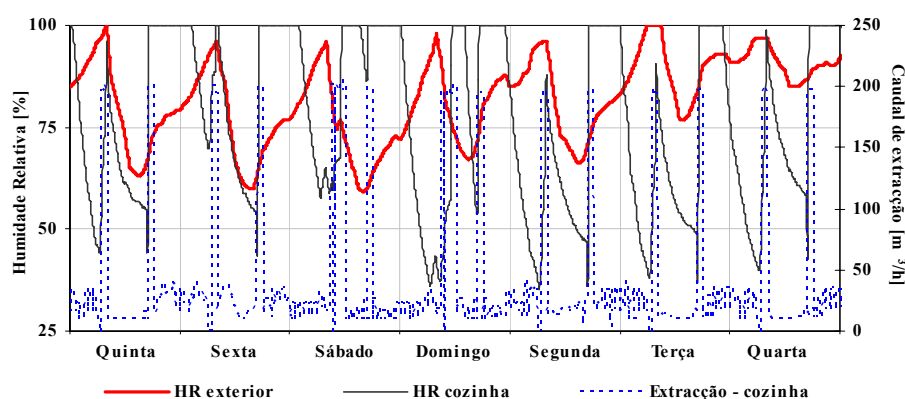


Figura 7-33 - Sistema IIa: Evolução da HR e dos caudais de extracção na Cozinha (Penhas Douradas)

Quanto ao sistema SIV, para a Cozinha, verifica-se uma humidade relativa superior a 75 % durante uma grande percentagem do período ocupado, apesar de, em termos médios, os caudais de extracção serem dos mais elevados. Note-se, no entanto, que a extracção no sistema de ventilação natural é constante (figura 7-34), enquanto que, nos sistemas inovativos o caudal aumenta quando é produzido vapor de água na Cozinha.

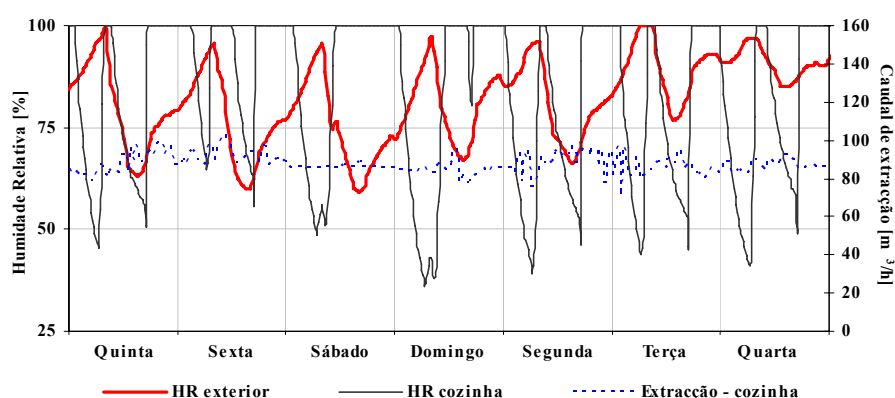


Figura 7-34 - Sistema IV: Evolução da HR e dos caudais de extracção na Cozinha (Penhas Douradas)

O sistema inovativo que tem os caudais médios de extracção mais elevados na Cozinha é o SIIc, sendo, também para este sistema que se atinge, com menor frequência, EHR.

Para SI, seria de esperar que, na Casa de Banho e Chuveiro a humidade relativa nunca excedesse os 75 %, no entanto, note-se que nos resultados apresentados contabilizam-se os períodos em que o vapor de água está a ser produzido e que, quando a UCC assume a posição Ninguém em Casa (PNC), o caudal de extracção é reduzido para 36 m³/h (caudal total do edifício), caudal insuficiente para remover a humidade que possa ter ficado nas casas de banho e cozinha e que só será totalmente removida quando o sistema assumir a posição Normal (PN), ou seja, quando os ocupantes voltarem ao edifício. Este comportamento do Sistema I está representado na figura 7-35.

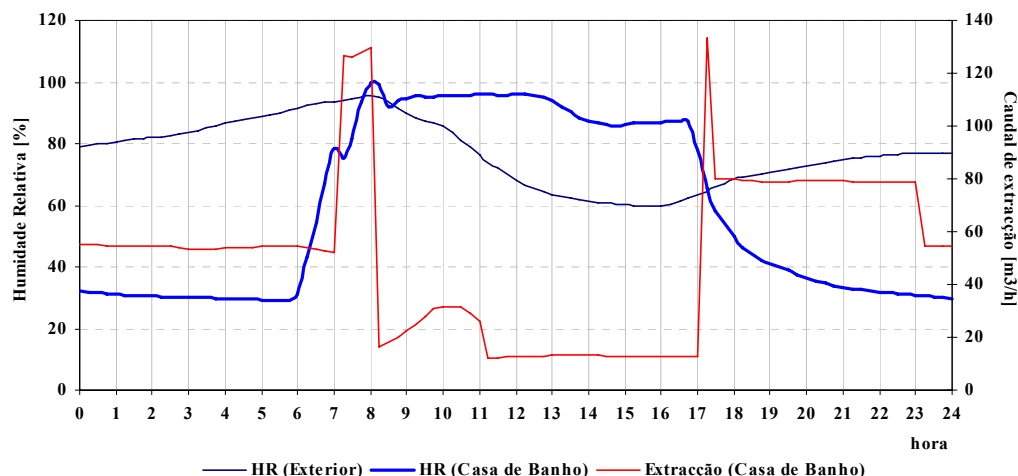


Figura 7-35 - Sistema I: Evolução da HR e dos caudais de extracção na Cozinha (Penhas Douradas)

No caso português, a sensação de secura (SS) ocorre para um período superior a 800 horas, nas Penhas Douradas e em Bragança, facto que está associado aos valores da humidade absoluta exterior que são mais reduzidos para estas localidades, como se ilustra na figura 7-36.

Na Europa, a humidade absoluta é inferior a 5 g/kg, em localizações para as quais a humidade exterior é frequentemente baixa. Um exemplo disso é Jan-Mayen.

A SS é dependente da localização e função dos caudais de infiltração envolvidos.

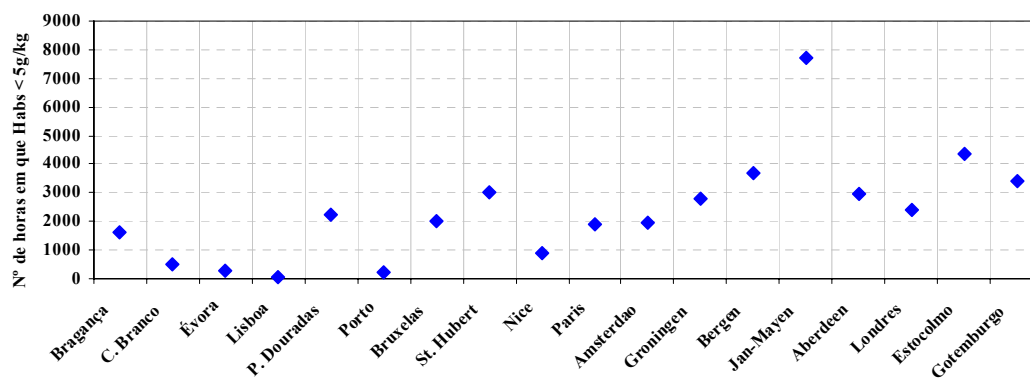


Figura 7-36 - Humidade Absoluta Exterior: N.º de horas em que este parâmetro é inferior a 5g/kg

A última análise efectuada recai no conforto térmico dos ocupantes que é, baseado na temperatura interior e no PPD. Analisando a figura 7-19 e a figura 7-28 conclui-se que a temperatura no interior dos espaços se encontra relacionada com a localização do edifício, uma vez que, para os diferentes sistemas as frequências de ocorrência deste parâmetro são semelhantes, verificando-se que é para os climas mais quentes que as temperaturas interiores se afastam com maior frequência do *setpoint* imposto.

Através da avaliação do índice PPD, verifica-se que, na Sala, ocorre um maior período de desconforto nas zonas climáticas mais frias do que nas restantes. Desta forma é possível verificar que as temperaturas mais baixas registadas são mais determinantes do que o sobreaquecimento temporário.

7.3. Habitação Multifamiliar

Depois de analisado o comportamento dos diferentes sistemas de ventilação, inovativos e actuais, na habitação unifamiliar, será avaliado o desempenho destes sistemas, quando aplicados num edifício multifamiliar. A análise foi efectuada para os Pisos 1, 3 e 4.

7.3.1. Sistemas Inovativos versus Sistemas Actuais

Em semelhança ao que se efectuou no caso anterior, inicia-se a análise para as diferentes localidades Portuguesas, seguindo-se uma análise a nível Europeu.

7.3.1.1. Consumo energético

Genericamente, verifica-se que é no Piso 4 que ocorrem as maiores necessidades energéticas de aquecimento, independentemente da localização (figura 7-37). As diferenças verificadas neste parâmetro devem-se a dois factores fundamentais:

- perdas de energia pela envolvente, que são diferentes entre pisos;
- perdas associadas à ventilação do edifício que variam com as localizações e sistemas.

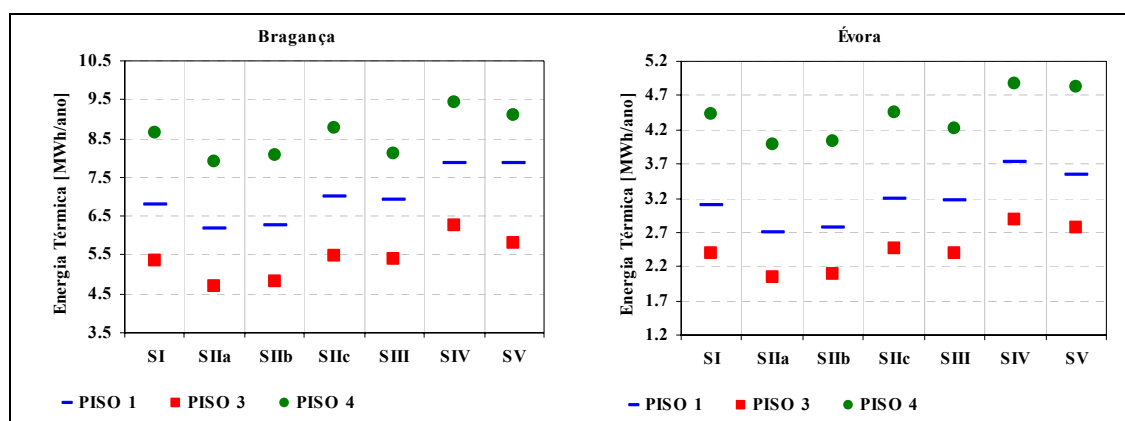


Figura 7-37 - Edifício Multifamiliar: Necessidades energéticas para o aquecimento dos apartamentos

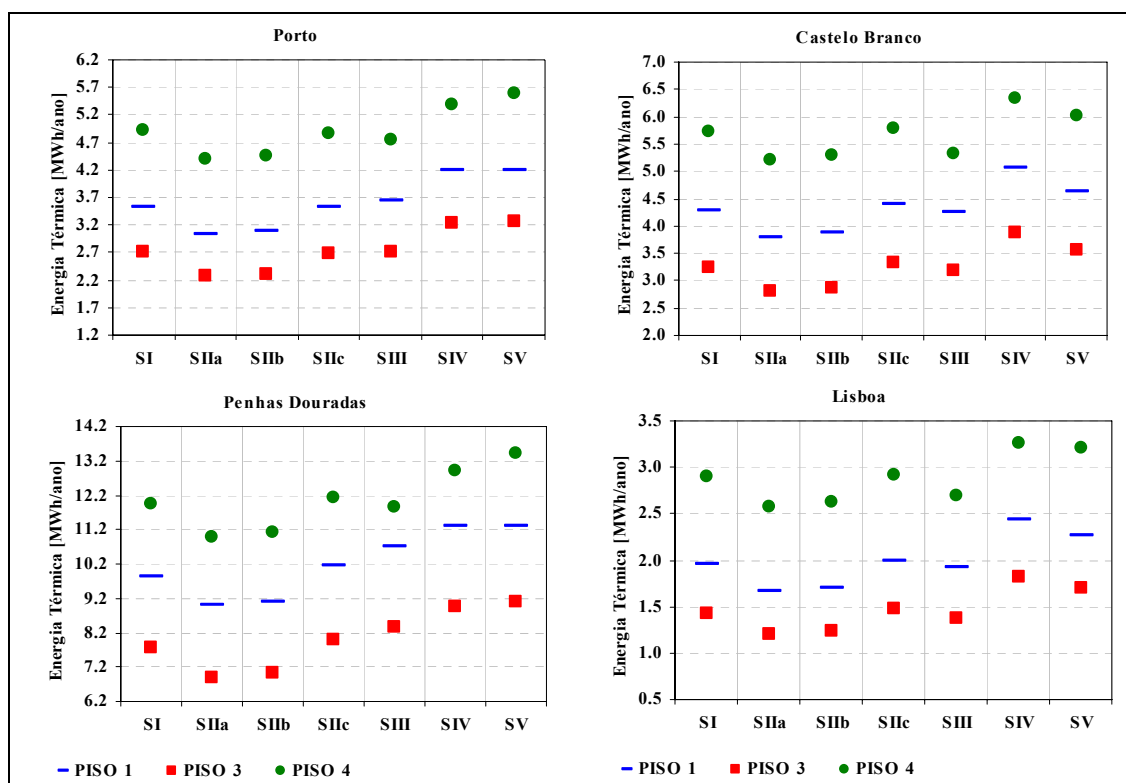


Figura 7-37 - Edifício Multifamiliar: Necessidades energéticas para o aquecimento dos apartamentos (cont.)

Com efeito, o apartamento do Piso 4 possui uma envolvente mais permeável às trocas de calor, uma vez que o seu coeficiente global de transferência de calor (UA) é superior à dos restantes pisos. Neste aspecto é o apartamento do Piso 3 aquele que deverá apresentar um melhor desempenho, por se encontrar limitada superior e inferiormente, por dois apartamentos, tendo como consequência valores de UA inferiores.

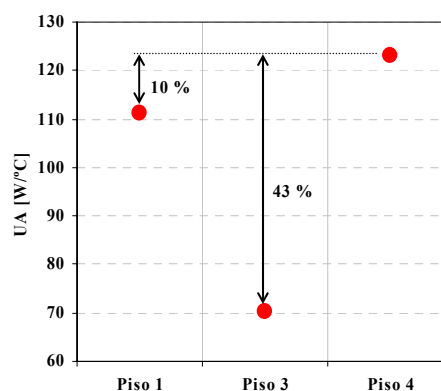


Figura 7-38 - Portugal: UA dos apartamentos da habitação multifamiliar

De referir que a diferença entre o coeficiente global de transferência de calor (UA) do Piso 1 (111 W/°C) e do Piso 4 (123 W/°C) não é muito significativa e que a área de perdas para o exterior é muito semelhante. No entanto, note-se que, enquanto que a cobertura do Piso 4 é em desvão ventilado, sendo a temperatura nesse desvão igual à exterior, o pavimento do Piso 1, encontra-se em contacto com o solo, sendo a temperatura assumida para este a média mensal das médias diárias, ou seja, não ocorrem temperaturas extremas. Neste piso, as perdas devidas à ventilação são superiores às do Piso 4, mas, globalmente, as necessidades de

aquecimento são inferiores às do Piso 4 por causa da reduzida perda pelo solo.

Na tabela 7-7 apresenta-se a energia térmica que se perde nas trocas de ar que ocorrem entre o interior e o exterior do edifício. As maiores perdas ocorrem no Piso 1 seguidas pelo Piso 3 e pelo Piso 4, no entanto as diferenças que se verificam entre pisos são muito reduzidas, o que indica que os caudais de ventilação. No interior do edifício deverão ter valores semelhantes.

Tabela 7-7 - Habitação Multifamiliar: Perdas energéticas associadas à ventilação do edifício
[MWh/ano]

	Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIII	SIV	SV
Piso 1	Lisboa	1,54	1,22	1,27	1,59	1,54	2,11	1,92
	Évora	1,95	1,54	1,61	2,04	2,07	2,65	2,46
	Porto	2,20	1,70	1,74	2,20	2,37	2,94	2,90
	Castelo Branco	2,31	1,82	1,90	2,44	2,37	3,19	2,78
	Penhas Douradas	3,93	3,13	3,22	4,27	4,95	5,48	5,46
	Bragança	2,96	2,36	2,45	3,17	3,19	4,13	4,13
Piso 3	Lisboa	1,46	1,14	1,18	1,49	1,41	1,91	1,78
	Évora	1,84	1,42	1,48	1,90	1,86	2,39	2,23
	Porto	2,09	1,59	1,63	2,07	2,14	2,66	2,68
	Castelo Branco	2,17	1,67	1,75	2,26	2,13	2,87	2,54
	Penhas Douradas	3,67	2,81	2,95	3,95	4,33	4,89	4,97
	Bragança	2,78	2,13	2,26	2,93	2,87	3,71	3,32
Piso 4	Lisboa	1,38	1,06	1,10	1,41	1,21	1,80	1,74
	Évora	1,79	1,35	1,41	1,83	1,62	2,28	2,22
	Porto	2,06	1,53	1,58	2,01	1,93	2,55	2,73
	Castelo Branco	2,09	1,58	1,67	2,19	1,74	2,75	2,45
	Penhas Douradas	3,63	2,71	2,87	3,87	3,67	4,70	5,13
	Bragança	2,71	2,03	2,18	2,86	2,27	3,58	3,24

Apesar destes resultados, as maiores necessidades térmicas de aquecimento ocorrem no apartamento do último piso, pelo que se conclui que as perdas de calor pela envolvente neste piso são determinantes, comparativamente às restantes.

Tal como se referiu anteriormente, os ventiladores utilizados em cada um dos sistemas para extrair o ar mecanicamente são diferentes, originando as alterações que se verificam no consumo energético em cada piso e localização (tabela 7-8).

Tabela 7-8 - Habitação Multifamiliar: Consumos anuais de energia eléctrica para ventilação mecânica
[kWh/ano]

	Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH	SIV	SV
Piso 1	Lisboa	39,97	27,67	31,50	32,63	37,27	0	45,19
	Évora	39,86	27,72	31,20	32,52	38,32		
	Porto	40,28	27,59	31,86	32,55	33,32		
	Castelo Branco	40,36	28,25	31,28	32,66	37,08		
	Penhas Douradas	39,81	27,48	31,92	32,86	20,44		
	Bragança	40,11	28,50	31,61	32,86	28,36		
Piso 3	Lisboa	39,92	27,70	31,64	32,72	37,30	0	45,19
	Évora	39,81	27,75	31,45	32,63	38,37		
	Porto	40,17	27,61	31,97	32,66	33,35		
	Castelo Branco	40,36	28,25	31,23	32,72	37,16		
	Penhas Douradas	39,78	27,50	31,37	32,94	20,47		
	Bragança	40,17	28,47	31,06	32,94	28,41		
Piso 4	Lisboa	39,83	27,70	31,53	32,74	37,27	0	45,19
	Évora	39,78	27,75	31,26	32,66	38,29		
	Porto	40,22	27,61	31,72	32,69	33,32		
	Castelo Branco	40,14	28,25	30,95	32,74	37,05		
	Penhas Douradas	39,83	27,50	31,14	32,97	20,44		
	Bragança	40,03	28,47	30,70	32,94	28,36		

Como se referiu anteriormente, o consumo dos ventiladores está directamente associado à sua potência e ao tempo durante o qual está ligado, ou seja, é dependente da capacidade do sistema em efectuar extracção do ar interior de forma natural.

7.3.1.2. Qualidade do Ar Interior e Renovação de Ar

A Qualidade do Ar no Interior do Edifício é avaliada através de dois parâmetros: a concentração de CO₂ nos compartimentos principais e o nível de humidade no interior dos compartimentos húmidos, em tudo semelhante ao que foi apresentado para os edifícios unifamiliares. Analisando os resultados para os diferentes pisos constata-se que os valores não apresentam diferenças significativas entre os diferentes pisos, como ilustrado na figura 7-39 para as Salas e Quartos 2, espaços localizados em fachadas opostas, do edifício localizado no Porto, Penhas Douradas e Lisboa.

Esta proximidade dos resultados obtidos era expectável, uma vez que os sistemas são controlados através do mesmo princípio de controlo em todos os pisos e, as condições no interior do edifício, no que diz respeito à presença dos ocupantes, é exactamente igual. Assim sendo, será de esperar que, os caudais de ventilação envolvidos em cada piso não apresentem diferenças relevantes entre si.

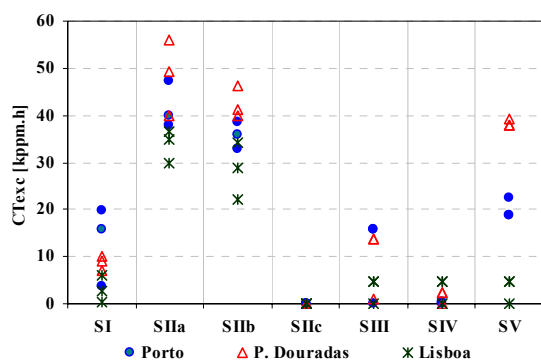


Figura 7-39 - Sala: Valores de CT_{exc} para os diferentes pisos do Porto, Penhas Douradas e Lisboa

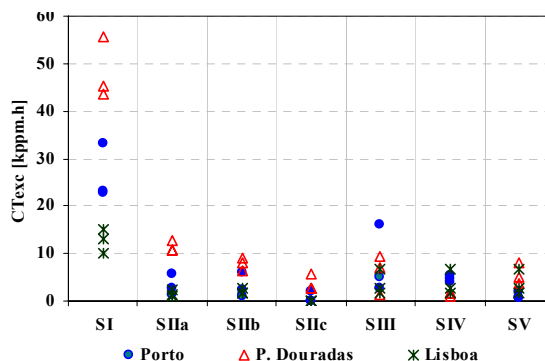


Figura 7-40 - Quarto 2: Valores de CT_{exc} para os diferentes pisos do Porto, Penhas Douradas e Lisboa

Na figura 7-41 apresentam-se os caudais médios de infiltrações dos três pisos para o Porto, Penhas Douradas e Lisboa.

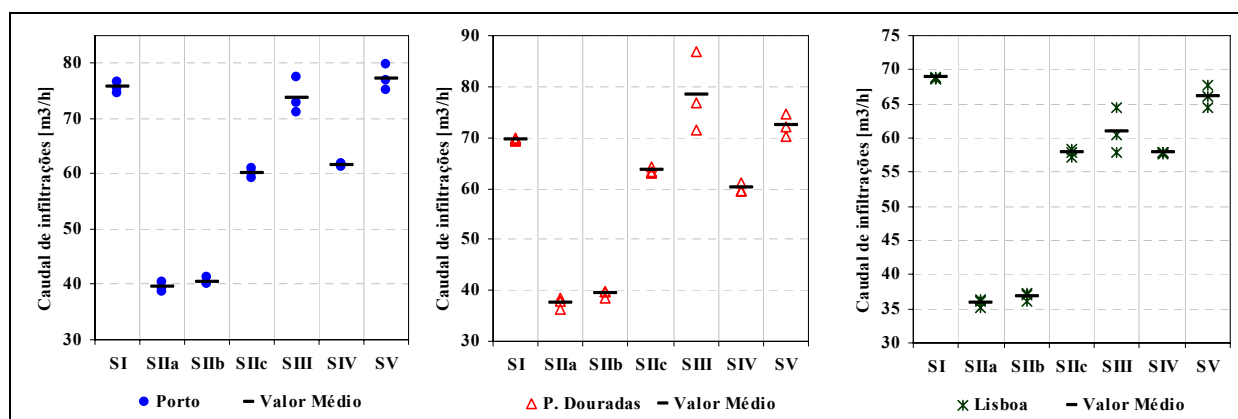


Figura 7-41 - Sala: Caudais médios de infiltrações para os diferentes pisos do Porto, Penhas Douradas e Lisboa

Uma vez que não existem diferenças significativas entre os resultados obtidos para cada piso apresentam-se, em seguida, os valores médios obtidos para todo o edifício.

No caso do edifício multifamiliar, o parâmetro CT_{exc} não ultrapassa o valor limite de 100 kppm.h, contrariamente ao que aconteceu para o edifício unifamiliar (figura 7-42). De forma semelhante ao que se observou na vivenda, o Quarto 1 apresenta o mesmo andamento, a nível de CT_{exc} , uma vez que é neste compartimento que existe maior ocupação nocturna.

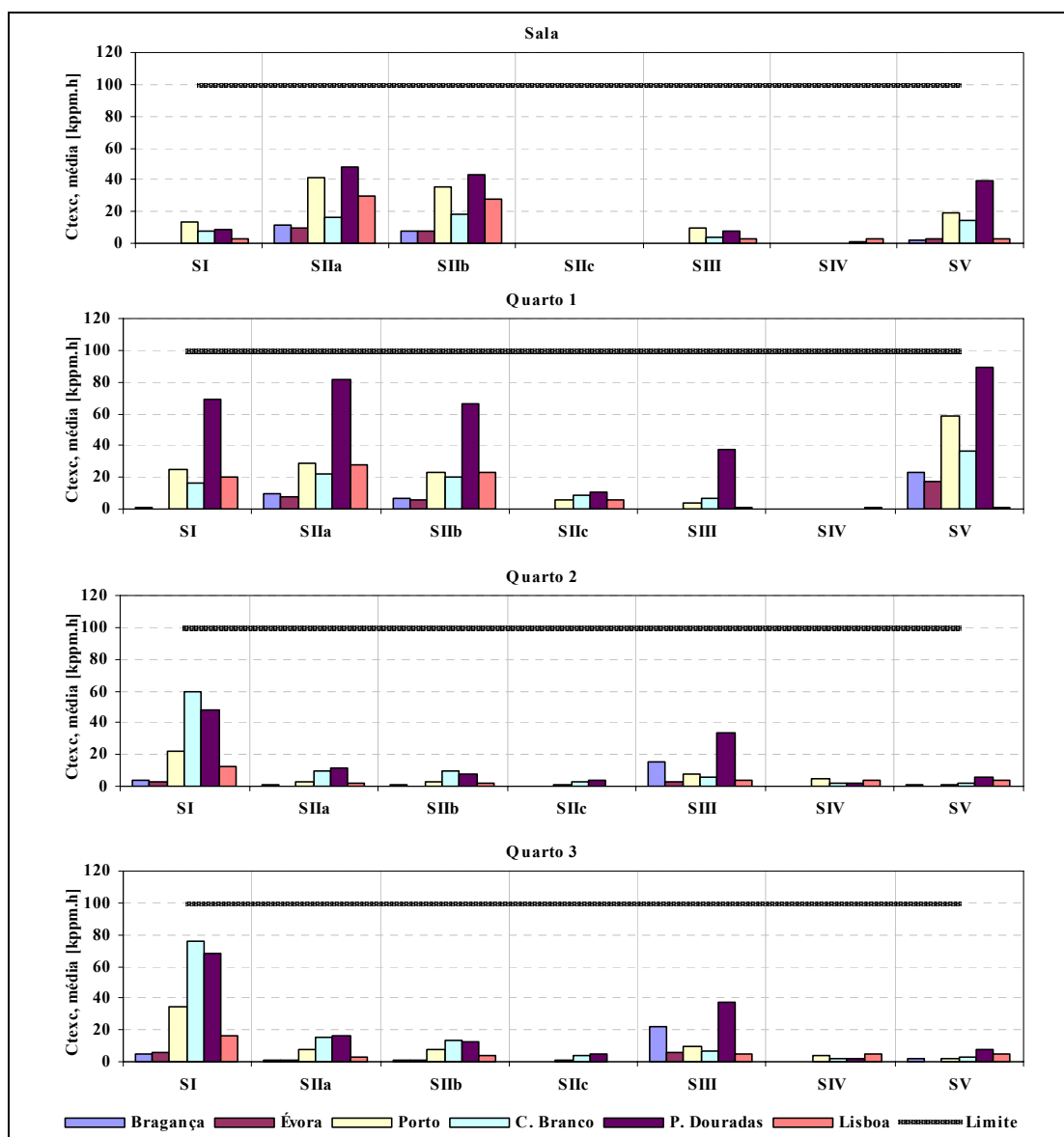


Figura 7-42 - Portugal: Valores médios de CT_{exc} no período ocupado da habitação multifamiliar

Os valores obtidos para a concentração de CO₂ estão relacionados com os caudais de ar que circulam do exterior para o interior do edifício (infiltrações), sendo os valores médios das infiltrações no edifício apresentados na tabela 7-9.

Tabela 7-9 - Edifício Multifamiliar: Média dos caudais médios de infiltrações no período ocupado

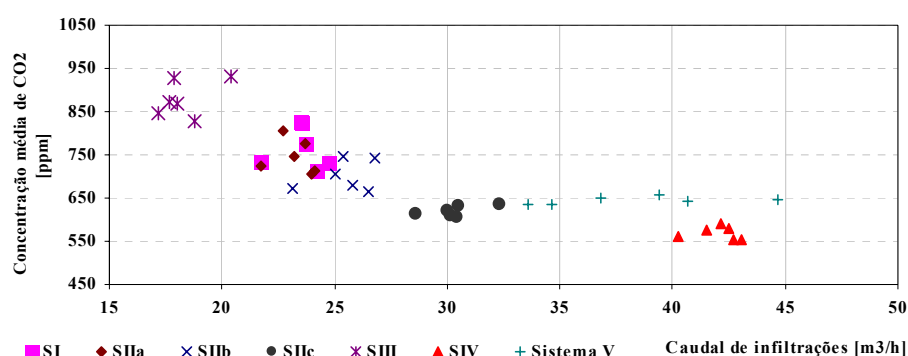
Sala							Quarto 1						
	Bragança	Castelo Branco	Évora	Lisboa	Penhas Douradas	Porto		Bragança	Castelo Branco	Évora	Lisboa	Penhas Douradas	Porto
SI	67,5	67,7	70,3	68,8	69,6	75,6	SI	37,0	37,1	39,2	38,1	38,8	42,6
SIla	34,6	34,5	36,7	35,8	37,5	39,5	SIla	24,8	24,5	27,1	26,2	27,2	29,4
SIlb	36,4	36,0	37,9	36,8	39,3	40,5	SIlb	26,6	26,4	28,2	27,4	28,5	30,2
SIlc	58,6	57,7	59,3	57,8	63,5	60,1	SIlc	34,1	34,1	35,2	34,7	35,6	36,4
SIll	64,2	61,8	68,6	60,9	78,4	73,8	SIll	27,6	26,0	28,1	26,7	34,8	31,6
SIV	56,3	56,1	58,9	57,8	60,1	61,6	SIV	44,0	43,9	45,3	44,8	45,9	47,1
SV	59,5	57,9	64,1	66,1	58,0	77,2	SV	35,7	34,8	37,2	38,3	41,6	43,8

Tabela 7-9 - Edifício Multifamiliar: Média dos caudais médios de infiltrações no período ocupado (cont.)

Quarto 2							Quarto 3						
	Bragança	Castelo Branco	Évora	Lisboa	Penhas Douradas	Porto		Bragança	Castelo Branco	Évora	Lisboa	Penhas Douradas	Porto
SI	23,6	20,2	23,7	24,8	22,5	21,7	SI	23,3	23,9	23,5	24,5	23,2	21,5
SIIa	23,7	24,0	23,2	24,1	22,7	21,7	SIIa	24,3	24,6	23,8	24,8	23,7	22,3
SIIb	26,8	26,5	25,1	25,8	25,4	23,2	SIIb	25,6	25,7	24,5	25,4	24,5	22,9
SIIc	30,5	30,4	30,0	30,2	32,3	28,6	SIIc	32,3	32,1	30,4	30,2	31,0	28,5
SIII	17,2	18,0	17,7	18,8	17,4	17,9	SIII	17,1	18,1	17,6	18,9	17,5	17,9
SIV	42,5	43,0	41,5	42,7	42,1	40,3	SIV	42,9	43,4	41,9	43,1	42,5	40,6
SV	33,6	34,7	40,7	36,8	44,7	39,4	SV	33,9	34,9	41,0	37,1	45,1	39,7

Os sistemas SIIa e SIIb apresentam caudais de infiltrações médios inferiores aos dos restantes sistemas e, como tal registam os valores mais elevados de CO₂, principalmente na Sala. Os Quartos 2 e 3 têm infiltrações com valores inferiores aos dos espaços orientados a Sul, o que se justifica pela sua orientação a Norte, ou seja, contrária à direcção do vento na maioria do tempo, como se pode verificar no Anexo II. Estes compartimentos encontram-se numa posição desfavorável à ocorrência de infiltrações, situação que conduz aos resultados apresentados no Anexo VI.

Analisando, em detalhe a tabela 7-9, seria de esperar que no Quarto 2 os maiores valores de CT_{exc} ocorressem para SIII e não para SI, como se apresenta na figura 7-42, uma vez que é para este sistema que ocorrem os menores caudais de infiltrações. No entanto, comparando os valores médios de CO₂ nos períodos de ocupação do edifício com os caudais médios de infiltrações no mesmo espaço de tempo, constata-se que, efectivamente, em termos médios, neste compartimento o nível de CO₂ atinge valores máximos para caudais de infiltrações mínimos.

Figura 7-43 - Quarto 2: Relação entre a concentração média de CO₂ e os caudais de infiltrações

Na figura 7-44 apresenta-se a concentração média de CO₂ para a Sala, em função dos caudais médios de infiltrações. Aos sistemas que dão origem a menores caudais médios (SIIa e

SIIf) estão associadas as mais elevadas concentrações de poluente, tal como se esperava.

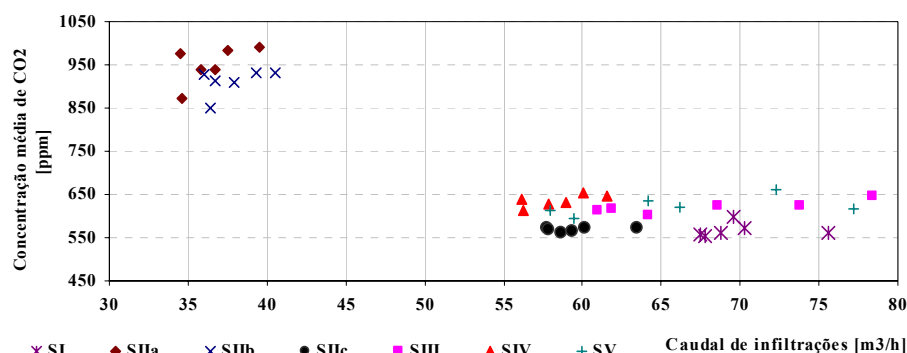


Figura 7-44 - Sala: Relação entre a concentração média de CO₂ e os caudais de infiltrações

Este facto é também evidenciado no parâmetro de ventilação efectiva, apresentado na figura 7-45 para o Quarto 2, em que o Sistema para o qual a ventilação é insuficiente com maior frequência é o Sistema III.

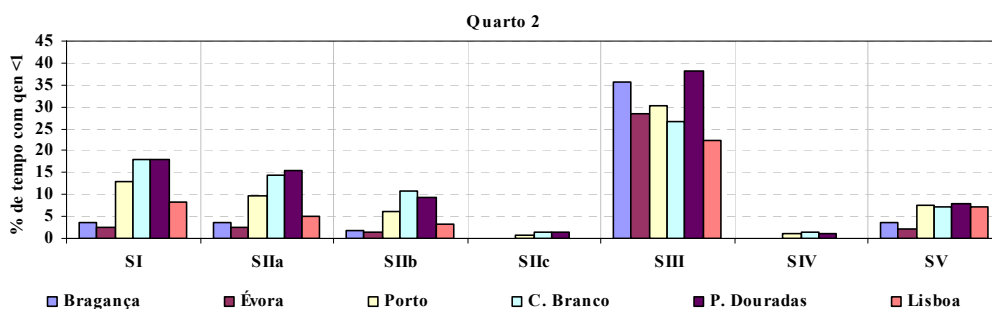


Figura 7-45 - Quarto 2: % do período ocupado em que a ventilação é insuficiente

O parâmetro CT_{exc} é superior para SI porque, apesar de, em média, os valores de CO₂ serem superiores para SIIf, as concentrações de CO₂, para o primeiro sistema atingem valores mais elevados (figura 7-46), para o caso do Porto. Na determinação deste parâmetro num dado instante, quanto maior for a concentração de CO₂ maior será o seu peso no valor final.

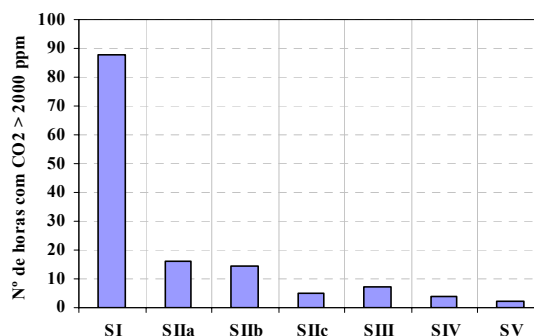


Figura 7-46 - Porto: N.º de horas com concentração de CO₂ > 2000 ppm no Quarto 2

Assim, ao contrário do que aconteceu com a habitação unifamiliar, o parâmetro CT_{exc} , neste caso, apenas indica que são atingidas concentrações de CO₂ mais elevadas, não sendo indicativos da média da concentração do poluente.

A humidade relativa (figura 7-47) é superior a 75 %, essencialmente em Castelo Branco e

Lisboa. O pior caso, para o Sistema III, ocorre na Cozinha e, no Sistema IIa e IIb, na Casa de Banho. Neste último espaço, e devido à estratégia de controlo do sistema, é para SI que se obtém os melhores resultados. Estes valores estão directamente relacionados com os caudais de ar extraídos dos espaços que se apresentam na tabela 7-10.

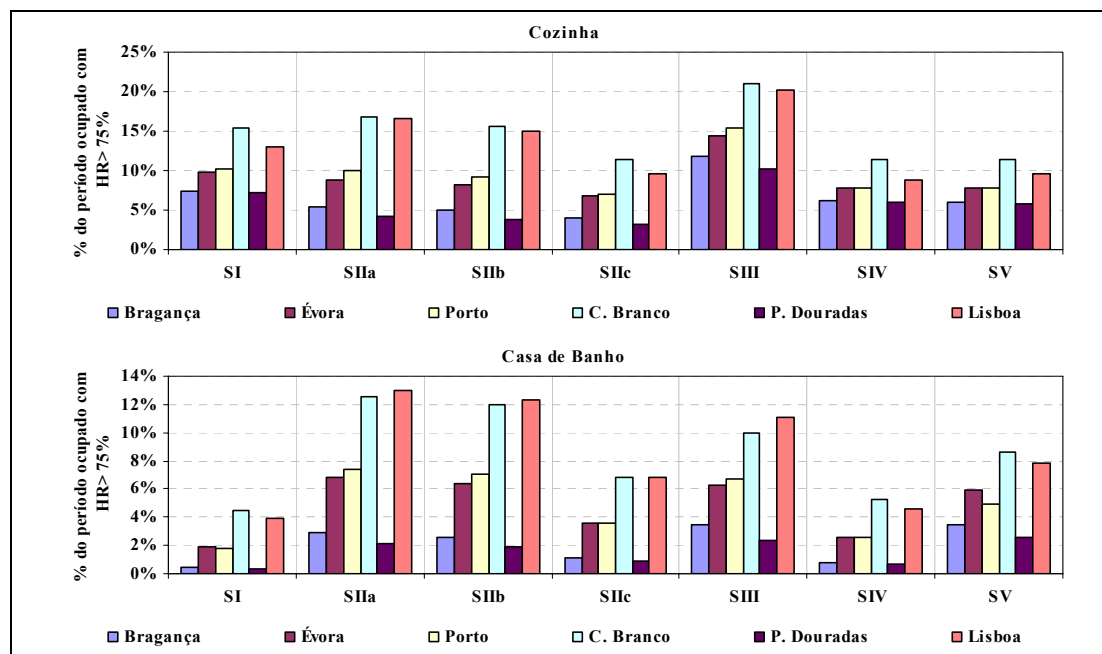


Figura 7-47 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com HR>75%

Os caudais médios da Cozinha são muito inferiores para o sistema SIII, enquanto que na Casa de Banho são os sistemas SIIa e SIIb que têm menores valores de extracção de ar.

Tabela 7-10 – Habitação Multifamiliar: Média dos caudais médios de extracção no período ocupado

	Bragança	Castelo Branco	Évora	Lisboa	Penhas Douradas	Porto
Cozinha						
Sistema I	59,9	57,6	60,0	57,7	52,1	43,5
Sistema IIa	77,9	77,4	78,0	78,3	77,8	77,4
Sistema IIb	80,4	81,5	80,6	80,5	82,1	80,5
Sistema IIc	106,9	105,8	106,8	103,4	112,1	102,7
Sistema III	44,3	46,2	47,6	46,4	47,5	49,3
Sistema IV	90,0	89,4	90,1	90,5	93,2	91,8
Sistema V	87,1	86,9	89,0	87,4	89,2	87,9
Casa de Banho						
Sistema I	91,7	96,5	92,1	96,0	102,1	118,2
Sistema IIa	29,6	30,1	30,3	31,2	30,0	30,5
Sistema IIb	31,3	32,3	31,7	31,8	32,0	32,1
Sistema IIc	44,7	44,1	45,1	43,6	46,8	43,3
Sistema III	47,9	51,8	51,8	52,7	53,1	57,5
Sistema IV	61,1	60,8	61,2	61,4	62,8	62,2
Sistema V	40,5	40,6	41,3	40,9	40,9	41,1

O período ocupado durante o qual a humidade absoluta é inferior a 5 g/kg está representado

na figura 7-48, para a Cozinha e para a Casa de Banho. Os valores apresentados são as médias dos resultados obtidos para os três pisos, uma vez que não se observam discrepâncias significativas. Verifica-se que, tal como aconteceu no caso da habitação unifamiliar, as localizações mais afectadas são Bragança e Penhas Douradas, devendo-se este facto à humidade absoluta exterior, como já foi explicado anteriormente (figura 7-36).

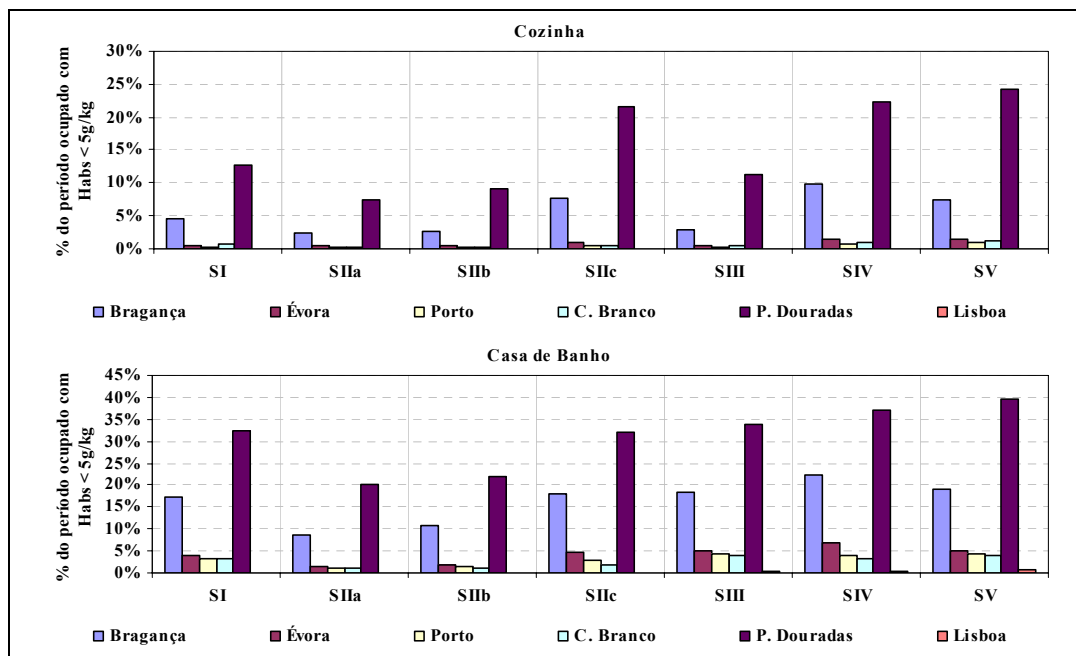


Figura 7-48 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com Habs<5g/kg

Neste parâmetro, que se traduz numa sensação de segura (SS) por parte dos ocupantes, são os sistemas actuais que apresentam piores resultados, seguidos pelo sistema SIIc. Estes três sistemas são os que apresentam maiores caudais médios de extracção, ou seja, uma quantidade superior de ar exterior a entrar no edifício.

7.3.1.3. Conforto Térmico

As temperaturas nos interiores dos espaços atingem valores mais elevados e com maior frequência para o Piso 1 e para a Sala (tabela 7-11) onde a temperatura interior é superior a 22 °C com alguma frequência. Como era de esperar, Lisboa apresenta as temperaturas interiores mais elevadas.

Tabela 7-11– Sala: Frequência de ocorrência de temperatura interior superior a 22 °C nos períodos com ocupação

	Bragança	Castelo Branco	Évora	Lisboa	Penhas Douradas	Porto
SI						
Piso 1	7%	7%	13%	18%	1%	6%
Piso 3	4%	3%	6%	8%	0%	2%
Piso 4	4%	4%	6%	11%	0%	3%
SIla						
Piso 1	10%	14%	22%	29%	2%	12%
Piso 3	7%	5%	9%	13%	0%	4%
Piso 4	6%	5%	9%	15%	1%	4%
SIlb						
Piso 1	10%	14%	21%	29%	2%	12%
Piso 3	7%	5%	9%	13%	0%	4%
Piso 4	6%	5%	8%	15%	1%	4%
SIlc						
Piso 1	8%	10%	17%	22%	1%	9%
Piso 3	5%	3%	7%	10%	0%	2%
Piso 4	5%	4%	7%	12%	1%	3%
SIH						
Piso 1	8%	9%	14%	19%	1%	7%
Piso 3	5%	3%	6%	9%	0%	2%
Piso 4	5%	4%	6%	12%	1%	3%
SIV						
Piso 1	8%	8%	13%	17%	1%	7%
Piso 3	4%	3%	6%	8%	0%	2%
Piso 4	4%	4%	6%	11%	1%	3%
SV						
Piso 1	7%	7%	12%	16%	1%	6%
Piso 3	4%	3%	6%	8%	0%	2%
Piso 4	4%	4%	5%	10%	1%	2%

Avaliando a percentagem de pessoas descontentes (PPD) nos compartimentos principais verifica-se que os períodos de tempo em que ocorre desconforto são reduzidos, verificando-se uma maior incidência nas Penhas Douradas e em Bragança, ou seja, climas mais severos. Esta constatação é reforçada pela figura 7-49, onde se avalia o PPD para valores superiores a 10 % de descontentes.

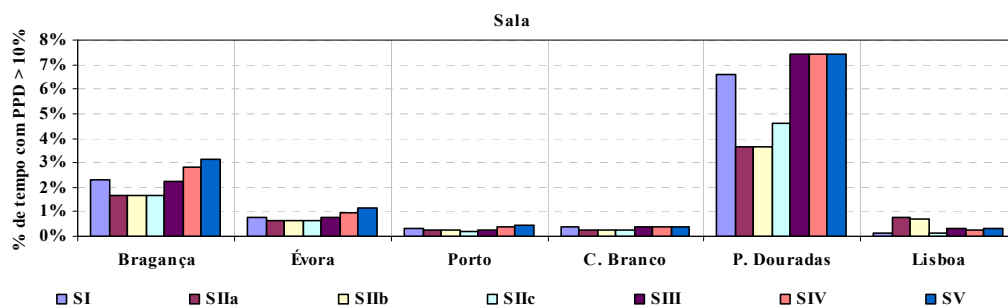


Figura 7-49 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado em que PPD > 10%

7.3.2. Avaliação do impacto dos sistemas inovativos a nível europeu

Apresenta-se neste subcapítulo os resultados considerados mais relevantes e representativos das catorze localizações seleccionadas para a Europa no caso da habitação multifamiliar.

7.3.2.1. Consumos Energéticos

Na figura 7-50 apresentam-se os resultados obtidos para as necessidades energéticas de aquecimento do Piso 1, Piso 3 e Piso 4 do edifício multifamiliar nas diferentes localizações Europeias.

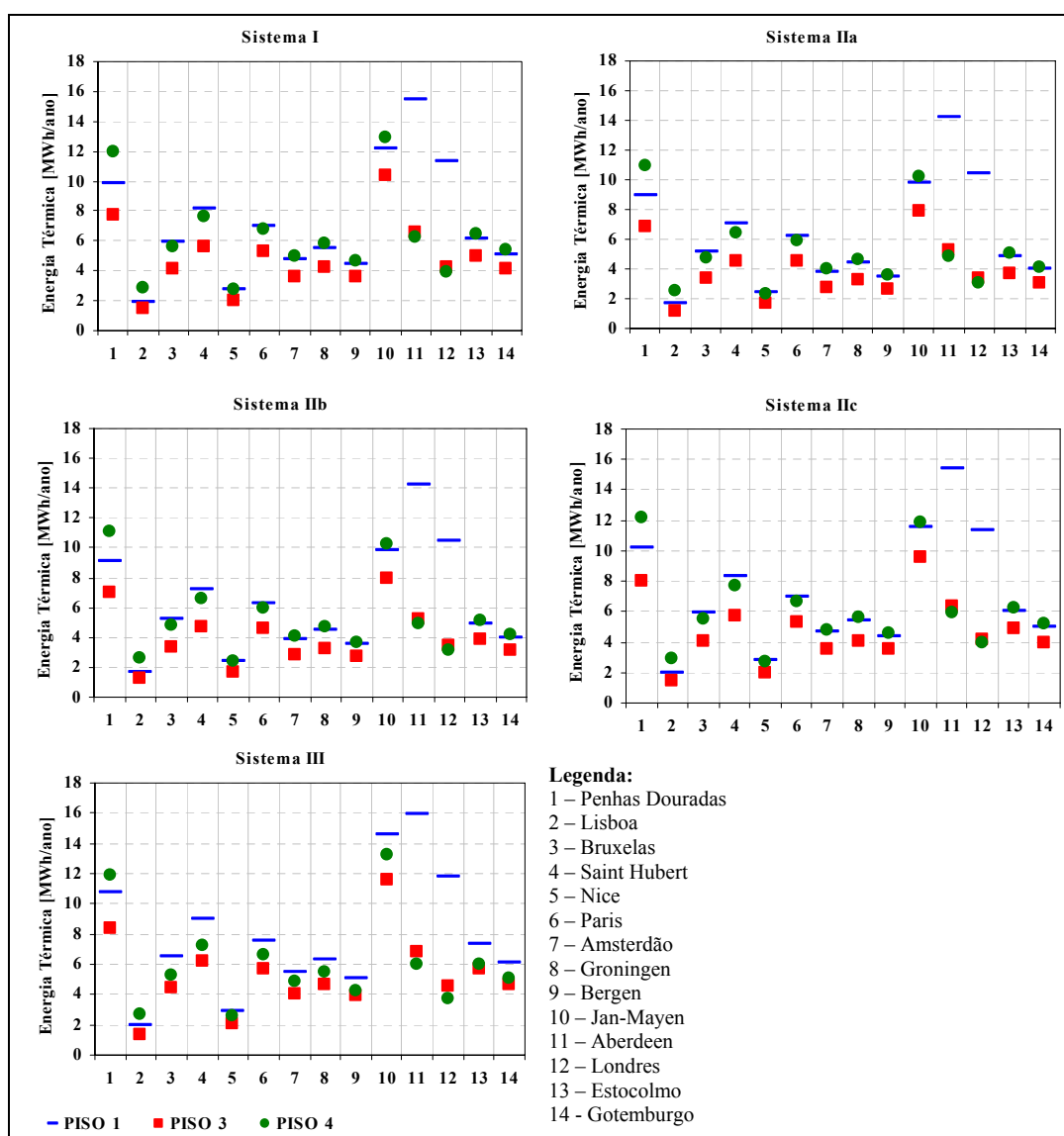


Figura 7-50 - Habitação Multifamiliar: Necessidades de aquecimento das diferentes localizações europeias

Evidencia-se, nestes resultados, uma forte dependência entre o valor do coeficiente global de transferência de calor (UA) e as necessidades energéticas de aquecimento. Analisando a figura 7-51, observa-se que, por exemplo, para as localizações do Reino Unido, devido ao valor reduzido da resistência térmica do pavimento, o UA do Piso 1 do edifício é muito elevado, traduzindo-se em necessidades energéticas mais elevadas para este piso.

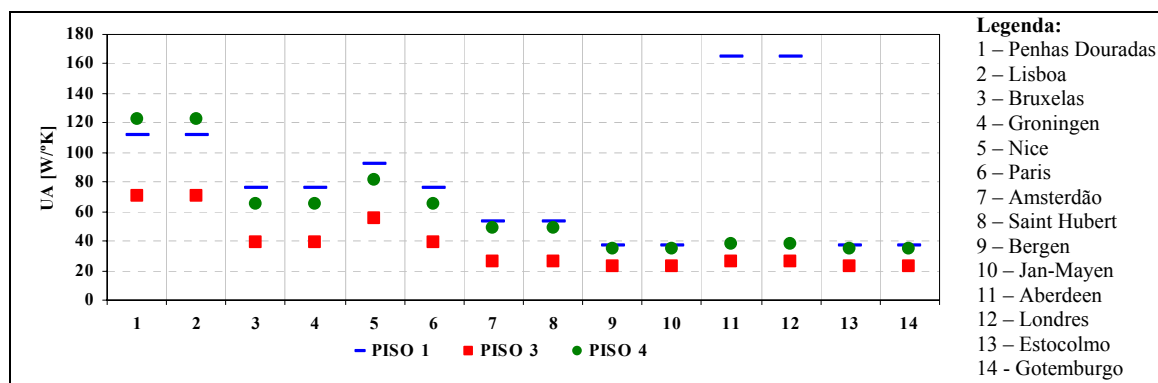


Figura 7-51 - Habitação Multifamiliar: Valor de UA em cada piso

O outro factor, na análise dos restantes casos, que está directamente relacionado com as variações das necessidades energéticas, são as perdas associadas à ventilação dos espaços, (tabela 7-12). O seu valor é aproximadamente constante entre pisos, e é mais elevado nas localizações que apresentam maiores GD.

Tabela 7-12 - Habitação Multifamiliar: Perdas energéticas associadas à ventilação do edifício [MWh/ano]

Piso 1						Piso 3					
Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH	Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH
Penhas Douradas	3,93	3,13	3,22	4,27	4,95	Penhas Douradas	3,67	2,81	2,95	3,95	4,33
Lisboa	1,54	1,22	1,27	1,59	1,54	Lisboa	1,46	1,14	1,18	1,49	1,41
Bruxelas	3,65	2,87	2,94	3,69	4,35	Bruxelas	3,44	2,64	2,71	3,45	3,86
Saint Hubert	4,84	3,80	3,94	5,08	5,80	Saint Hubert	4,57	3,50	3,64	4,73	5,22
Nice	1,63	1,27	1,31	1,64	1,78	Nice	1,53	1,17	1,21	1,54	1,59
Paris	3,42	2,64	2,69	3,43	4,04	Paris	3,24	2,45	2,50	3,21	3,67
Amsterdão	4,23	3,33	3,39	4,22	5,11	Amsterdão	4,00	3,08	3,13	3,92	4,51
Groningen	4,67	3,67	3,73	4,66	5,57	Groningen	4,43	3,40	3,46	4,35	4,94
Bergen	4,79	3,82	3,93	4,81	5,55	Bergen	4,50	3,56	3,60	4,49	4,95
Jan-Mayen	8,79	6,57	6,58	8,19	11,19	Jan-Mayen	8,36	6,13	6,15	7,70	9,71
Aberdeen	4,87	3,68	3,74	4,83	5,52	Aberdeen	4,78	3,53	3,59	4,64	5,12
Londres	3,81	2,95	3,03	3,88	4,40	Londres	3,69	2,80	2,88	3,70	4,06
Estocolmo	5,89	4,69	4,76	5,90	7,17	Estocolmo	5,54	4,31	4,42	5,50	6,31
Gotemburgo	5,19	4,12	4,18	5,18	6,27	Gotemburgo	4,90	3,80	3,87	4,84	5,54

Tabela 7-12 - Habitação Multifamiliar: Perdas energéticas associadas à ventilação do edifício [MWh/ano] (cont.)

Piso 4					
Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH
Penhas Douradas	3,63	2,71	2,87	3,87	3,67
Lisboa	1,38	1,06	1,10	1,41	1,21
Bruxelas	3,36	2,51	2,60	3,36	3,13
Saint Hubert	4,46	3,32	3,50	4,61	4,12
Nice	1,53	1,15	1,19	1,52	1,41
Paris	3,25	2,39	2,46	3,17	3,13
Amsterdão	3,92	2,95	3,01	3,80	3,84
Groningen	4,37	3,24	3,32	4,24	4,21
Bergen	4,38	3,35	3,44	4,36	4,04
Jan-Mayen	8,48	6,01	6,06	7,60	9,00
Aberdeen	4,88	3,53	3,59	4,63	4,69
Londres	3,71	2,77	2,87	3,70	3,50
Estocolmo	5,41	4,07	4,18	5,33	5,09
Gotemburgo	4,80	3,61	3,70	4,70	4,59

No entanto, devido às diferenças existentes nas envolventes entre pisos e localizações, a relação entre estas perdas e as necessidades de aquecimento não é directa. Note-se o caso de Estocolmo, que apesar de apresentar das maiores perdas por ventilação, devido à elevada qualidade da sua envolvente, representa dos consumidores de energia para aquecimento mais modestos, quando comparados com as restantes localizações.

Na tabela 7-13 encontram-se os valores médios de energia primária consumida no accionamento dos ventiladores que promovem a ventilação mecânica.

Tabela 7-13 - Habitação Multifamiliar: Consumos anuais médios de energia eléctrica para accionamento dos ventiladores [kWh/ano]

Piso 1					
Localização	SI	SIa	SIb	SIc	SIH
Penhas Douradas	39,81	27,50	31,48	32,91	20,47
Lisboa	39,92	27,70	31,56	32,69	37,27
Bruxelas	39,97	27,48	32,06	32,97	22,29
Saint Hubert	39,83	28,14	31,72	33,10	18,26
Nice	39,86	27,39	31,61	32,72	47,09
Paris	39,94	27,23	31,97	32,69	26,81
Amsterdão	39,83	27,50	32,28	32,88	21,85
Groningen	39,72	27,61	32,22	32,86	20,88
Bergen	39,75	27,42	32,28	33,02	18,46
Jan-Mayen	39,48	27,53	32,03	32,17	6,68
Aberdeen	39,72	27,89	32,19	32,74	18,07
Londres	39,94	27,31	31,97	32,97	21,54
Estocolmo	39,61	27,45	32,25	32,99	16,94
Gotemburgo	39,67	27,50	32,30	32,88	18,81

7.3.2.2. Qualidade do Ar Interior e Renovação de Ar

Os resultados obtidos para o parâmetro CT_{exc} , confirmam o que se verificou quando se analisou o caso português: os valores obtidos encontram-se, na grande generalidade dos casos abaixo do valor limite imposto. Não esquecer que este parâmetro, devido aos baixos valores de concentração de CO_2 , indica apenas os sistemas para os quais se registaram valores mais elevados do poluente, não estando, em todos os casos, relacionado com os caudais de infiltrações.

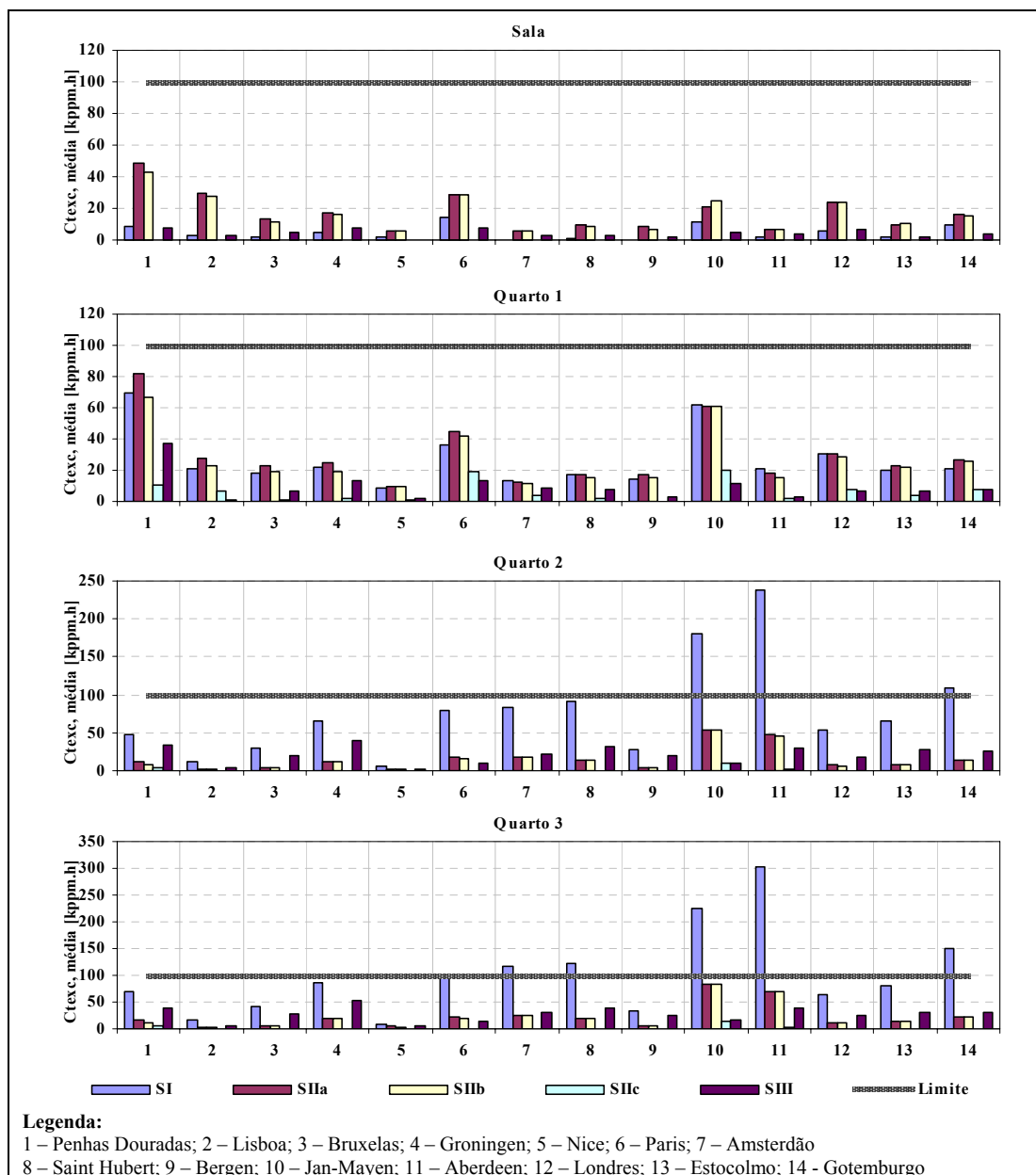


Figura 7-52 - Europa: Valores médios de CT_{exc} no período ocupado da habitação multifamiliar

Para avaliar a influência do caudal de infiltrações nas concentrações médias de CO₂ apresentada-se, na figura 7-53 e na figura 7-54, a relação entre os dois parâmetros para Amsterdão e Aberdeen, respectivamente, e para o Quarto 2.

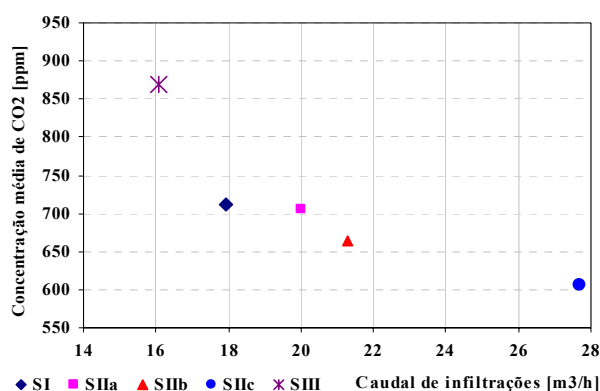


Figura 7-53 - Amsterdão: Relação entre o caudal de infiltrações médio e a concentração média de CO₂ no Quarto 2

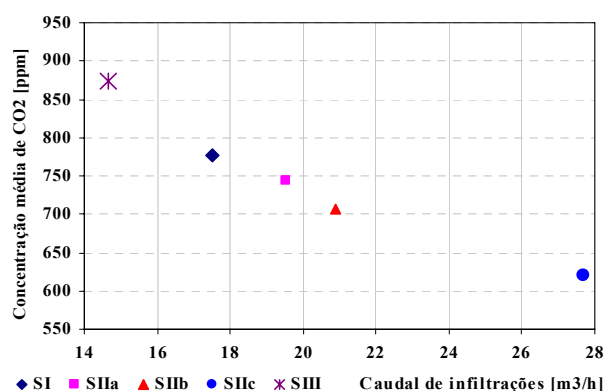


Figura 7-54 - Aberdeen: Relação entre o caudal de infiltrações médio e a concentração média de CO₂ no Quarto 2

O sistema que conduz a valores mais elevados de CO₂, no Quarto 2 e Quarto 3, é sistema SI. (figura 7-55). É para SI que se regista um maior número de horas com concentrações de CO₂ superiores a 2000 ppm.

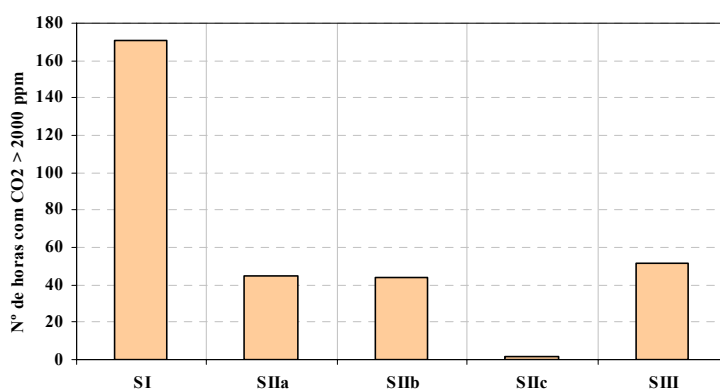


Figura 7-55 - Amsterdão: N.º de horas com CO₂ > 2000 ppm no Quarto 2

Os sistemas que conduzem a valores médios da taxa de ventilação mais elevados, confirmando os valores obtidos em Portugal, são os Sistemas I e III (figura 7-56).

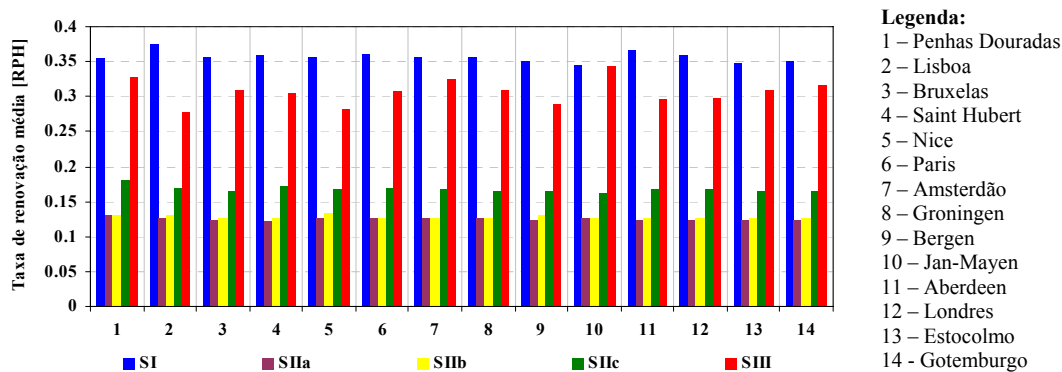


Figura 7-56 - Europa: Taxa de renovação média do ar no Piso 1 do edifício

Confirmando a tendência dos resultados obtidos em Portugal, a humidade relativa é superior a 75%, na Cozinha e Casa de Banho, embora, neste último compartimento, com pouca fre-

quência. No entanto, a frequência aumenta para os sistemas SIII e SIIa e SIIb.

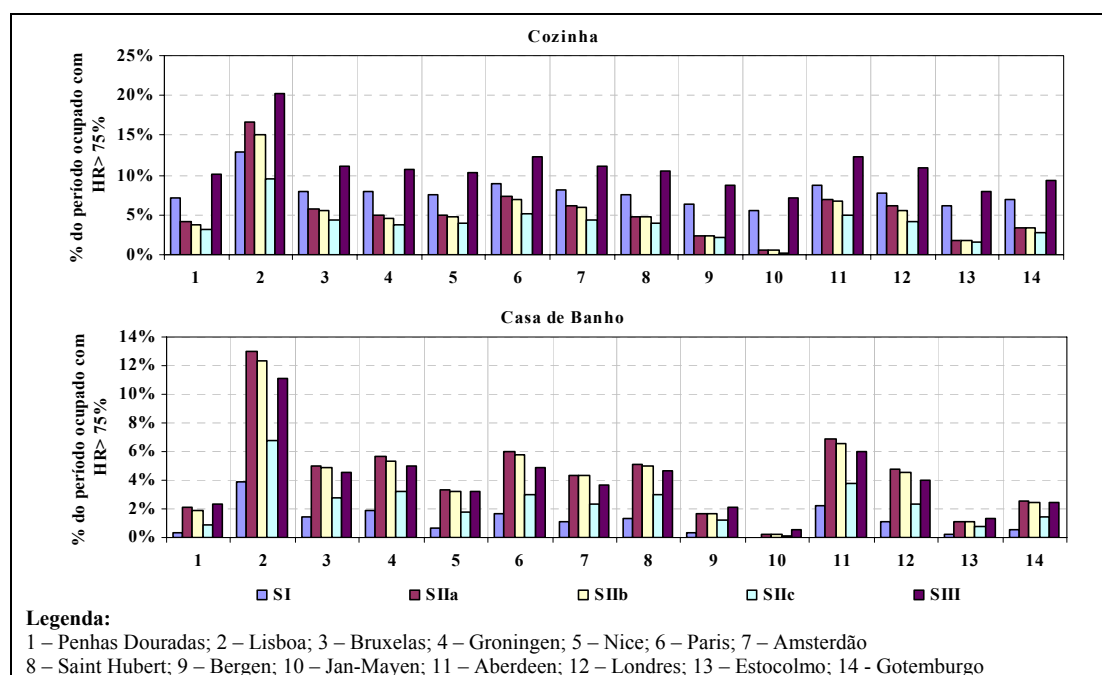


Figura 7-57 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com HR>75%

Associando estes resultados aos caudais de extracção destas zonas constata-se que os sistemas para os quais a extracção é menor têm HR superior (figura 7-58), como era expectável face à taxa de ventilação.

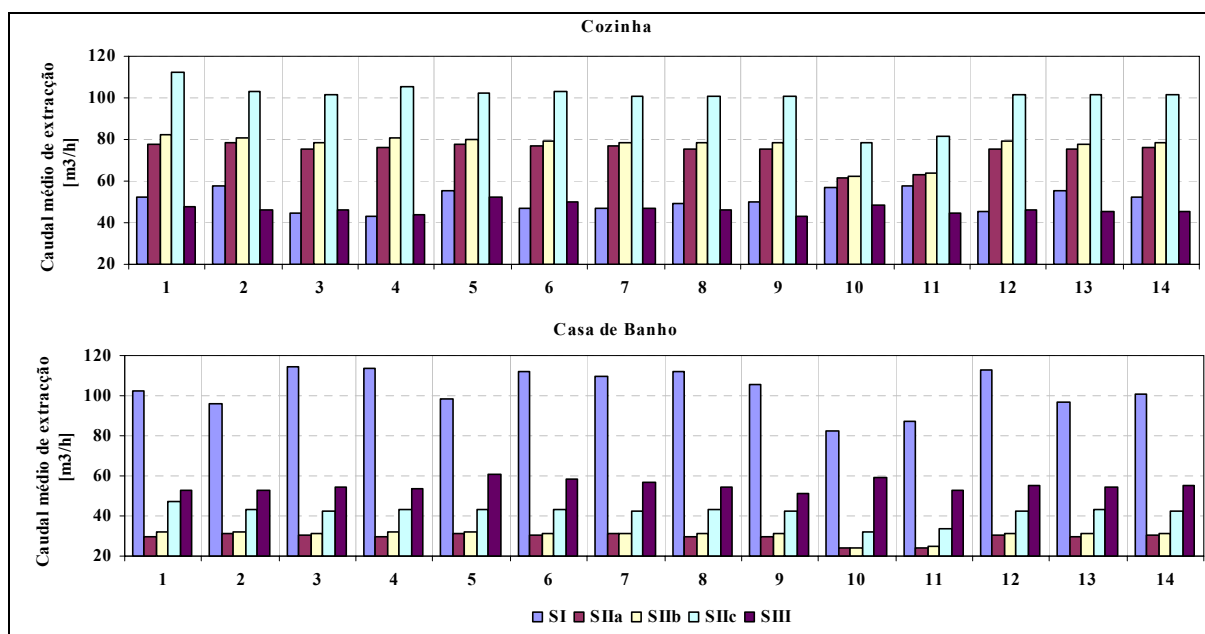


Figura 7-58 - Habitação Multifamiliar: Média dos caudais médios de extracção no período ocupado

No que diz respeito à frequência com que a humidade absoluta é inferior a 5 g/kg, o valor limite de 800 horas é ultrapassado, em algumas localidades (figura 7-59).

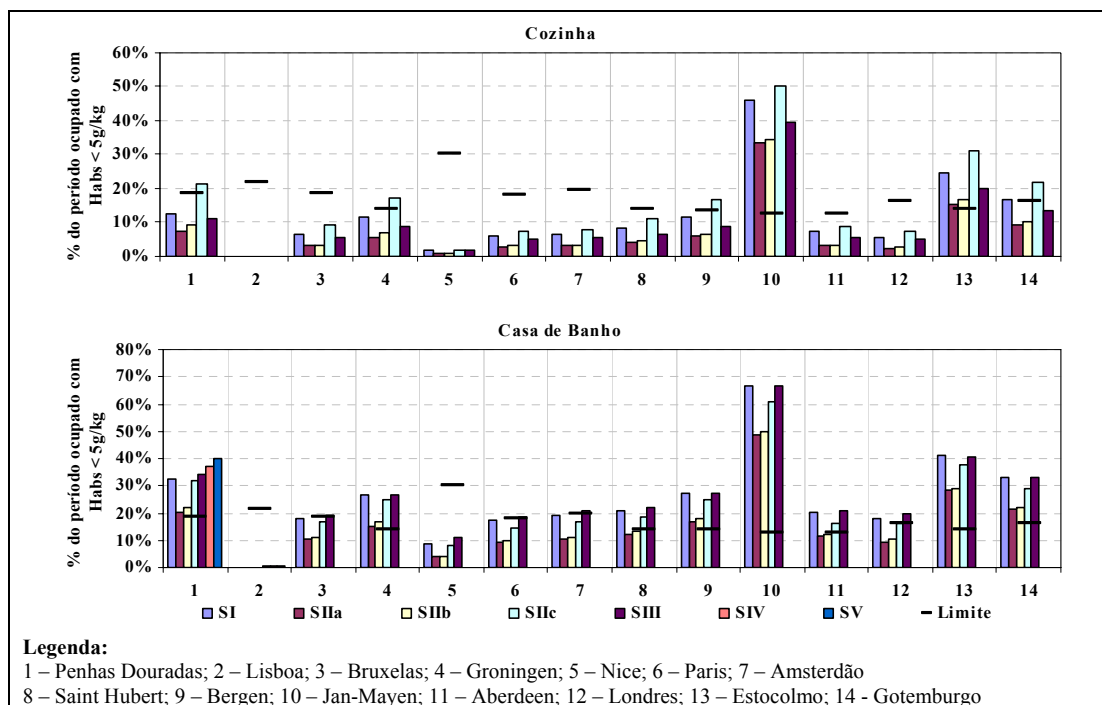


Figura 7-59 - Habitação Multifamiliar: Média da % do período ocupado com Habs<5 g/kg

7.3.2.3. Conforto Térmico

Na tabela 7-14 apresenta-se a percentagem do período de ocupação em que a temperatura interior da Sala é superior a 22 °C. Na mesma tabela incluem-se os três pisos em estudo, todos os sistemas inovativos e as diferentes localizações.

Tabela 7-14 – Sala: Frequência de ocorrência de temperatura interior superior a 22 °C nos períodos com ocupação

	SI			SIa			SIb		
	Piso 1	Piso 3	Piso 4	Piso 1	Piso 3	Piso 4	Piso 1	Piso 3	Piso 4
Penhas Douradas	1%	0%	0%	2%	0%	1%	2%	0%	1%
Lisboa	18%	8%	11%	29%	13%	15%	29%	13%	15%
Bruxelas	6%	3%	7%	12%	8%	12%	12%	8%	11%
Groningen	19%	10%	17%	31%	20%	27%	30%	19%	26%
Nice	7%	1%	7%	12%	2%	12%	12%	2%	12%
Paris	6%	3%	7%	11%	6%	11%	11%	6%	11%
Amsterdão	1%	0%	3%	6%	0%	6%	6%	0%	6%
Saint Hubert	11%	6%	11%	19%	13%	18%	19%	12%	18%
Bergen	22%	13%	19%	34%	29%	33%	33%	28%	33%
Jan-Mayen	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aberdeen	22%	0%	1%	34%	0%	4%	33%	0%	3%
Londres	0%	1%	12%	1%	6%	25%	1%	5%	25%
Estocolmo	21%	17%	23%	33%	29%	34%	33%	28%	34%
Gotemburgo	12%	7%	14%	29%	19%	26%	28%	18%	25%

Tabela 7-14 – Sala: Frequência de ocorrência de temperatura interior superior a 22 °C nos períodos com ocupação (cont.)

	SIIC			SIH		
	Piso 1	Piso 3	Piso 4	Piso 1	Piso 3	Piso 4
P enhas Douradas	1%	0%	1%	1%	0%	1%
Lisboa	22%	10%	12%	19%	9%	12%
Bruxelas	9%	5%	9%	7%	4%	8%
Groningen	24%	13%	21%	20%	11%	18%
Nice	10%	2%	10%	6%	1%	8%
Paris	8%	4%	8%	7%	3%	7%
Amsterdão	3%	0%	5%	1%	0%	3%
Saint Hubert	14%	8%	14%	12%	8%	13%
Bergen	28%	20%	28%	23%	16%	24%
Jan-Mayen	0%	0%	0%	0%	0%	0%
Aberdeen	28%	0%	2%	23%	0%	2%
Londres	1%	2%	17%	1%	2%	14%
Estocolmo	28%	22%	28%	22%	18%	25%
Gotemburgo	21%	12%	20%	12%	9%	15%

Verificam-se, na referida tabela, alterações nas temperaturas interiores entre os diferentes pisos, essencialmente em localizações cujo UA difere bastante entre apartamentos. Não se verificam diferenças de temperatura significativas entre os sistemas de ventilação utilizados, o que leva a concluir que este não é um factor preponderante no conforto térmico no interior de um edifício climatizado.

Com efeito, analisando a frequência com que o PPD é superior a 10 % (figura 7-60), observa-se que esta é superior nas localizações em que se verifica um maior sobreaquecimento (Estocolmo e Bergen).

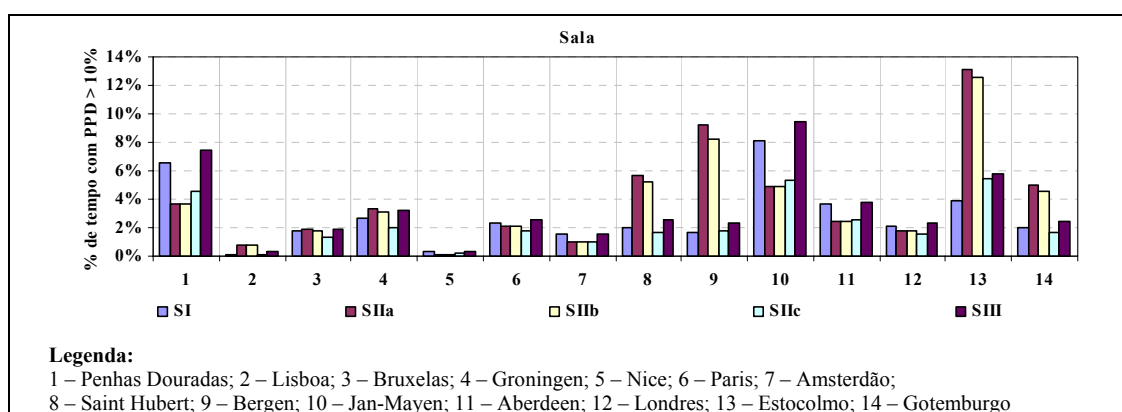


Figura 7-60 - Sala: % do período ocupado em que PPD>10%

7.3.3. Análise global do edifício multifamiliar

Analisando os resultados obtidos para os parâmetros relativos ao QAI verificou-se que estes não apresentam diferenças significativas entre pisos, razão pela qual se optou por apresentar, para estes parâmetros, os valores médios. Estes resultados não são de estranhar, uma vez que os sistemas são controlados com a mesma estratégia de controlo, ocupação e utilização do edifício, tendo como resultado taxas de ventilação semelhantes.

Verifica-se que as condições exteriores do vento (direcção e velocidade), que poderiam influenciar os caudais de ventilação do sistema de ventilação natural, são muito semelhantes. De acordo com a NP 1037-1, o projecto do sistema SIV é o mesmo em todas as localizações, embora este sistema seja o mais dependente das condições exteriores, em média não apresenta diferenças relevantes.

Avaliando os consumos energéticos para a estação de aquecimento do edifício verifica-se que os sistemas de ventilação que apresentam os valores mínimos são SIIa e SIIb, tal como ocorreu quando se analisou a habitação unifamiliar. As diferenças entre as necessidades energéticas destes sistemas e o sistema de ventilação natural SIV atingem, para as Penhas Douradas diferenças de 34 %.

Estes valores correspondem ao esperado, uma vez que, é exactamente nestes dois sistemas (SIIa e SIIb) que se verificam as menores perdas associadas à ventilação quando aplicado aos apartamentos, em oposição a SIV, onde estas perdas atingem os valores máximos.

Nesta análise, o consumo dos ventiladores foi também avaliado. O Sistema V, sistema actual, dá origem a consumos superiores de energia, o que é expectável, uma vez que a sua potência eléctrica é superior à dos restantes ventiladores utilizados nos outros sistemas e tem um funcionamento contínuo durante 16 horas a caudal constante. No entanto, note-se que, para SIIa, SIIb e SIIc os consumos energéticos obtidos neste caso são muito superiores aos que se obtiveram na habitação unifamiliar. Este facto deve-se a uma menor frequência de ocorrência de extracção natural na habitação multifamiliar relativamente à registada no caso unifamiliar (figura 7-61).

As considerações apresentadas no caso da habitação unifamiliar, relativamente ao comportamento dos sistemas no que diz respeito à ventilação natural, aplicam-se também neste caso, razão pela qual não serão aqui repetidas.

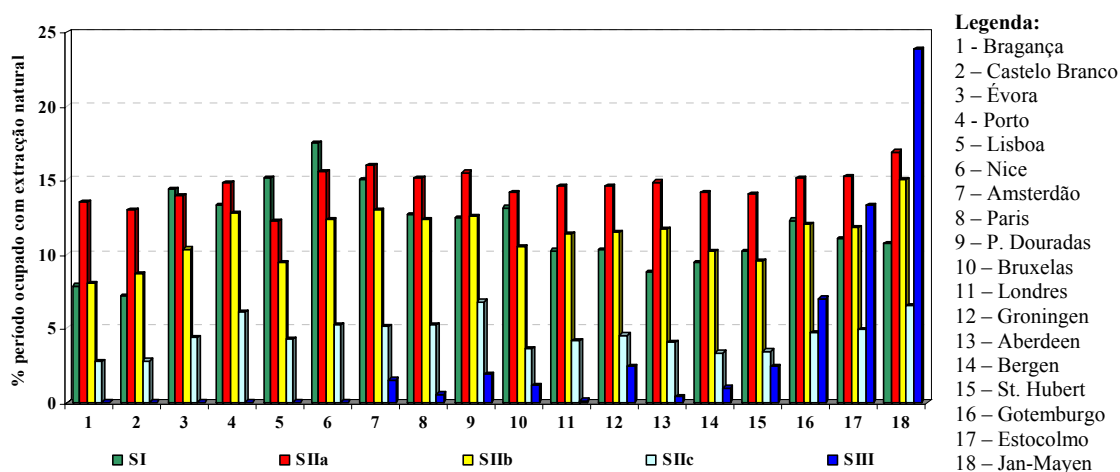


Figura 7-61 - % do período de aquecimento com ventilação natural (valores médios do edifício)

Em termos da QAI a avaliação, tal como anteriormente, baseou-se no nível de CO₂ nos compartimentos principais e nos níveis de humidade nos espaços onde existe produção de vapor de água.

Na concentração de CO₂ os resultados obtidos são satisfatórios, não sendo o limite imposto (100 kppm.h) ultrapassado em nenhum dos casos. Foram analisados os compartimentos principais do edifício dando-se ênfase a dois compartimentos situados em fachadas opostas: a Sala e o Quarto 2.

Na Sala, são os sistemas SIIa e SIIb que dão origem a concentrações médias mais elevadas (figura 7-44) e, a valores máximos mais altos (figura 7-42). No Quarto 2, a concentração de CO₂ é, em média, mais elevada para sistema SIII (figura 7-43), sendo no entanto, para SI que os valores máximos são atingidos (figura 7-46).

Avaliando os caudais de infiltrações médios verificados no edifício verifica-se que estes estão directamente relacionados com as concentrações médias de CO₂ dos espaços:

- SI e SIII têm, na Sala, valores de infiltrações mais elevados que nos restantes sistemas;
- SIIa e SIIb, os caudais médios na Sala são reduzidos, o que justifica a maior incidência de CO₂ (figura 7-42);
- nos quartos, são os sistemas actuais que dão origem a valores superiores de infiltrações, o que se traduz em reduzidas concentrações de poluente.

Ao contrário do que aconteceu na habitação unifamiliar, não há uma relação directa entre o parâmetro CT_{exc} e o caudal médio de infiltrações, devido às baixas concentrações globais de CO₂. Este parâmetro apenas é capaz de fornecer quais as situações em que as concentrações máximas registadas são elevadas.

No que diz respeito à humidade relativa, os seus valores na Cozinha, não são tão elevados como os que ocorreram na habitação unifamiliar, o que se justifica devido à menor produção de vapor de água num mesmo volume, uma vez que as dimensões das cozinhas dos dois edifícios são semelhantes.

É na Cozinha e para o caso do Sistema III que se verifica a maior frequência de ocorrência de $HR > 75\%$, porque apresenta os caudais médios de extracção mais reduzidos para este espaço (tabela 7-10).

Na Casa de Banho os melhores resultados são obtidos para o sistema SI, devido à sua estratégia de controlo que se baseia no nível de HR neste compartimento. A extracção do ar na Casa de Banho apresenta os menores valores para os sistemas SIIa e SIIb, que, consequentemente, têm níveis de HR superiores.

Para os sistemas actuais, a frequência de ocorrência de $HR > 75\%$ é relativamente baixa, quando comparado com os restantes sistemas, devido aos caudais de extracção médios serem mais elevados.

Verifica-se, deste modo, uma forte dependência entre os níveis de humidade relativa e os caudais de extracção dos espaços.

Tal como se apresentou no subcapítulo 7.2.3, existe uma relação entre a humidade absoluta exterior e os valores que se registam para este parâmetro nos espaços húmidos, uma vez que a sensação de secura ($H_{abs} < 5 \text{ g/kg}$) ocorre nas localizações onde valores desta ordem de grandeza se verificam com mais frequência no exterior (figura 7-36).

No entanto, verifica-se que o limite é ultrapassado em menos localizações para a habitação multifamiliar do que na tipologia unifamiliar. Este facto deve-se às menores taxas de renovação do ar que se verificam na primeira tipologia.

Note-se que, neste edifício não se verifica a discrepância de valores obtidos entre os Sistemas IIa e IIb e os restantes sistemas, como aconteceu no caso da habitação unifamiliar. O número de renovações de ar do espaço, para estes dois sistemas, (figura 7-62) mantém-se próximo dos obtidos para o caso da habitação unifamiliar, enquanto que o dos restantes sistemas foi drasticamente reduzido, sendo os maiores valores atingidos para o Sistema I seguido pelo Sistema IIc e IV.

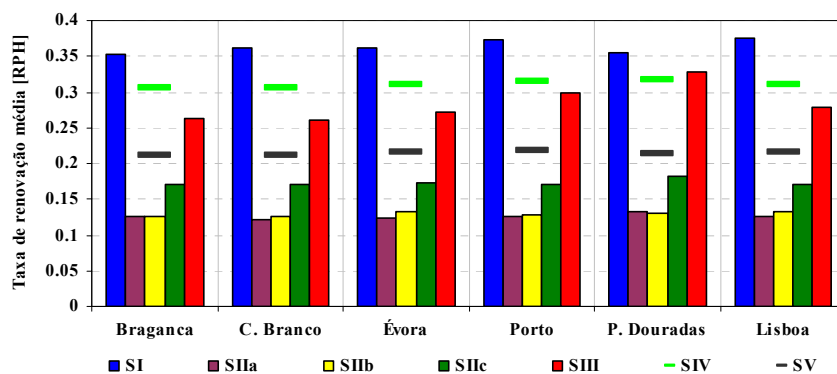


Figura 7-62 - Taxa de renovação média de ar no apartamento do Piso 1

Por fim, avaliando o conforto térmico através dos parâmetros temperatura interior e PPD, conclui-se que, em Portugal, as temperaturas no interior dos pisos é diferente, mas as diferenças são na ordem de 1 °C. Ocorrem períodos de sobreaquecimento mas, o desconforto (PPD >10 %) existe para as localizações com climas mais extremos e nos sistemas que têm associadas maiores necessidades de aquecimento. Tal observação leva a concluir que este desconforto corresponde a situações em que existe, nos ocupantes sensação de frio (figura 7-63).

Quando a análise é feita a nível Europeu (figura 7-64), ou seja, localizações cujos climas têm características mais extremas e em que as envolventes utilizadas são de elevada importância constata-se que, existem localizações (Bergen e Estocolmo) com situações de elevado sobreaquecimento, que conduz a situações de desconforto.

No entanto, em qualquer dos casos, não se evidencia elevada dependência entre o tipo de sistema de ventilação utilizado e as temperaturas registadas no interior dos apartamentos. Para este parâmetro, o factor mais importante são as temperaturas exteriores e o tipo de envolvente.

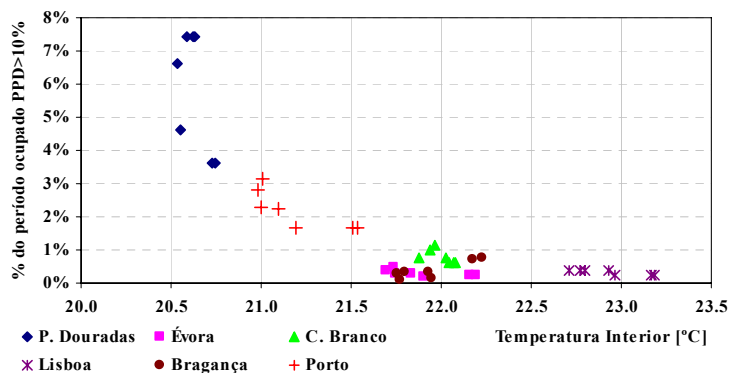


Figura 7-63 - Portugal: Relação entre o PPD e a temperatura máxima registada

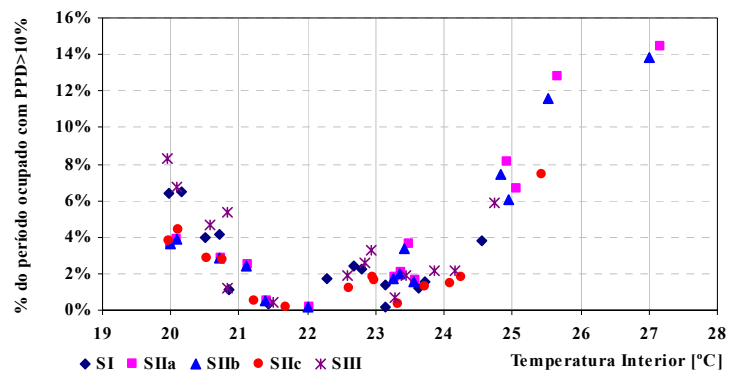


Figura 7-64 - Europa: Relação entre o PPD e a temperatura máxima registada na Sala do Piso 1

8. Conclusões

O trabalho efectuado nesta dissertação pretende ser um contributo para a redução dos consumos energéticos dos edificios residenciais (unifamiliares e multifamiliares) que estão directamente associados aos sistemas de ventilação dos mesmos.

O estudo foi efectuado incidindo nas zonas climáticas existentes em Portugal, de acordo com o RCCTE, tendo-se posteriormente estendido a sua análise a alguns países Europeus, seguindo a filosofia utilizada nos projectos Europeus RESHYVENT e AUDITAC.

Foram propostos três sistemas de ventilação com cinco estratégias de controlo diferentes e todos os sistemas de ventilação, são híbridos, procurando utilizar as melhores características da ventilação natural e da ventilação mecânica.

As diferenças entre os três sistemas baseiam-se nas características dos seus componentes, nomeadamente, ventiladores, grelhas de admissão e válvulas de extracção. As estratégias de controlo são distintas entre si e baseiam-se na utilização de sensores de temperatura, humidade e presença, detectores de CO₂ e uma unidade central de comando onde são implementados os diferentes algoritmos de controlo.

Optou-se, como meio de validar os resultados obtidos, por estudar dois sistemas de ventilação tipicamente utilizados em Portugal: um sistema de ventilação natural, de acordo com a norma NP 1037-1, e um outro sistema que utiliza extracção mecânica do ar nas zonas húmidas do edificio.

O estudo dos diferentes sistemas de ventilação e estratégias de controlo combinados com os edificios e em cada localização foi efectuado recorrendo a métodos de simulação dinâmica através do *software* TRNSYS associado ao COMIS.

8.1. Conclusões Gerais

8.1.1. Necessidades térmicas de aquecimento

As necessidades energéticas de aquecimento são fortemente dependentes de três factores:

- número de Graus-Dias de aquecimento (GD), que representam o efeito do clima e, consequentemente, a temperatura exterior em cada localização;
- valor do coeficiente global de transferência de calor (UA), que traduz as trocas de energia que ocorrem, por condução, através da envolvente do edificio;
- perdas de calor devidas à ventilação do edificio.

Habitação Unifamiliar

Em Portugal, e considerando que o UA é praticamente constante em todas as zonas climáticas do país, as maiores necessidades de aquecimento ocorrem nas Penhas Douradas, zona climática I3V1, à qual correspondem 3491 °C.dia de GD. É também nesta localização que se verifica um maior valor de perdas associadas à ventilação.

No extremo oposto encontra-se Lisboa, zona climática I1V2, que tendo apenas 1276 °C.dia de GD, apresenta, para qualquer um dos sistemas em causa, o menor valor de necessidades energéticas de aquecimento.

Sendo as características da envolvente comuns a todas as localizações, as perdas de energia associadas à ventilação são proporcionais às necessidades de aquecimento, obtendo-se o valor mais elevado nas Penhas Douradas, cerca de 60 % superior ao valor obtido em Lisboa.

Os sistemas de ventilação que conduzem a valores mais elevados de necessidades energéticas de aquecimento são os sistemas actuais, mais especificamente o sistema de ventilação natural (Sistema IV), pelo facto da taxa de renovação de ar média do edifício ser muito elevada (~0,95 RPH), quando comparada com a dos restantes sistemas. O sistema que conduz a menores consumos energéticos para aquecimento é o Sistema IIa sendo a diferença média para os sistemas actuais cerca de 28 %. A diferença entre o Sistema IIa e o Sistema IV chega a atingir valores de 33% para o caso de Lisboa.

Quando a análise se estende para aos diferentes países da Europa, sendo utilizada, para cada um deles, as envolventes típicas, ou seja, o valor de UA é variável entre localizações, verifica-se que:

- as Penhas Douradas ($UA = 186 \text{ W/}^\circ\text{K}$), apesar de não ser das localizações com clima mais severo, apresenta um dos valores mais elevados para as necessidades energéticas de aquecimento, comparáveis às de Aberdeen ($UA = 138 \text{ W/}^\circ\text{K}$) ou Jan-Mayen ($UA = 57 \text{ W/}^\circ\text{K}$), localizações com as condições climáticas mais rigorosas, o que leva facilmente a concluir que, as características da envolvente são determinantes no consumo energético de um edifício;
- Estocolmo e Gotemburgo, localizações com valores de GD muito elevados, apresentam, no entanto, necessidades energéticas de aquecimento inferiores à média europeia. Estes resultados devem-se à característica da envolvente que possui um coeficiente global de transferência de calor de $57 \text{ W/}^\circ\text{K}$, ou seja, extremamente baixo quando comparado com os restantes edifícios;

- as perdas energéticas associadas à ventilação ocorrem, também nas localizações em que as temperaturas exteriores são mais baixas, no entanto, ao contrário do que aconteceu quando se analisou apenas Portugal, estas perdas não são proporcionais às necessidades de aquecimento, dando uma vez mais ênfase à importância da envolvente;

Habitação Multifamiliar

À semelhança do que acontece para a habitação unifamiliar, os sistemas de ventilação que apresentam os valores mínimos de consumos energéticos para aquecimento são os Sistemas IIa e IIb. As diferenças entre as necessidades energéticas destes sistemas e o sistema de ventilação natural (SIV) (o maior consumidor de energia) atingem, para as Penhas Douradas valores da ordem dos 34 %. Estes valores correspondem ao que era esperado, uma vez que, é exactamente nestes dois sistemas (SIIa e SIIb) que se verificam as menores perdas associadas à ventilação para os apartamentos, em oposição ao sistema SIV, onde estas atingem os valores máximos.

As considerações feitas, anteriormente, relativas à importância das características da envolvente nas necessidades energéticas de aquecimento são válidas para este caso.

8.1.2. Consumo dos ventiladores associados aos sistemas de ventilação

O consumo dos ventiladores utilizados nos sistemas de ventilação é função de:

- da potência do ventilador, que varia em função dos sistemas de ventilação;
- do caudal de extracção de ar do interior do edifício, que, nos sistemas inovativos propostos é variável em cada intervalo de tempo e dependente das condições interiores;
- do período de tempo em que o ventilador se encontra ligado. Uma vez que os sistemas inovativos, aqui propostos, estão dotados da capacidade de efectuarem extracção por meios naturais. Para cada sistema de ventilação esta situação ocorre de acordo com diferentes situações. No Sistema V, sistema actualmente utilizado em Portugal, que utiliza dois ventiladores para efectuar a extracção de caudais constantes de ar dos compartimentos húmidos, os ventiladores estão ligados, sem interrupções, das 8 às 24 horas;

Para a situação em que apenas se analisam o caso português, verificou-se que:

- no Sistema I a extracção natural é mais frequente em Lisboa e no Porto. No entanto, não esquecer que, neste sistema apenas é permitido desligar o ventilador nos períodos não ocupados e quando a temperatura exterior é inferior a uma temperatura pré-programada na

UCC. O facto da temperatura ser superior para estas duas localizações justifica a maior utilização da extracção natural;

- os sistemas que apresentam períodos de tempo mais alargados com extracção a ser efectuada por meios naturais são os Sistemas IIa, IIb e IIc;
- o Sistema III, apenas efectua extracção natural para as Penhas Douradas, ou seja, no clima que apresenta temperaturas exteriores mais baixas, o que seria de esperar devido à estratégia de controlo deste sistema.

Os resultados obtidos para as localizações europeias estão de acordo com os apresentados anteriormente, concluindo-se que, os Sistemas IIa, IIb e IIc apresentam o maior potencial de extracção natural, essencialmente os dois primeiros sistemas. O Sistema I permite utilizar a extracção natural durante uma grande percentagem do período não ocupado, evitando deste modo a utilização de energia, quando o edifício não está ocupado e garantido uma renovação de ar mínima considerada higiénica. No caso do Sistema III, devido à sua estratégia de controlo, apenas ocorre extracção natural, quando a temperatura exterior é inferior a -5°C , razão pela qual é indicado para climas mais severos, onde estas temperaturas ocorram com mais frequência.

Neste aspecto de aproveitamento do potencial de ventilação natural é o Sistema II, com as suas diferentes estratégias, que apresenta melhor desempenho por não existir qualquer imposição de temperatura exterior, ao contrário do que acontece nos outros sistemas. É o próprio sistema de controlo que avalia se o caudal de extracção natural é suficiente para suprir as necessidades em cada intervalo de tempo.

Os resultados obtidos na habitação unifamiliar e multifamiliar são similares, verificando-se apenas que o potencial de extracção natural na primeira tipologia é superior, razão pela qual os consumos energéticos dos ventiladores são superiores nos apartamentos.

8.1.3. Qualidade do Ar Interior

A Qualidade do Ar no Interior do Edifício é avaliada utilizando dois indicadores: a concentração de CO_2 nos compartimentos principais (quartos e sala) e o nível de humidade nos compartimentos húmidos (cozinha e casas de banho).

Habitação Unifamiliar

Os sistemas de ventilação para os quais se verificam valores mais elevados de CO₂ são os Sistemas IIa e IIb, atingindo-se valores muito superiores aos limites impostos. Os restantes sistemas apresentam concentrações de CO₂ muito inferiores às destes sistemas, o que se deve às taxas de renovação de ar do edifício, que, para os dois primeiros sistemas é muito reduzida (em média cerca de 0,15 RPH), verificando-se que a ventilação é insuficiente durante elevados períodos de tempo. No entanto, ainda que os valores nos Sistemas I, IIc e III sejam inferiores ultrapassam, em alguns casos, os limites, essencialmente, no Quarto 1, onde se regista uma ocupação superior às dos restantes quartos, para caudais de insuflação semelhantes.

O sistema de ventilação para o qual as concentrações de CO₂ são inferiores aos limites impostos é o sistema de ventilação natural (SIV), em todas as localizações e compartimentos. Este sistema apresenta uma renovação de ar média de, aproximadamente, 0,95 RPH, o que justifica o facto de se verificarem baixas concentrações de CO₂.

O Quarto 3, devido à sua localização no edifício, tem a renovação de ar sempre garantida, uma vez que é o meio de ligação entre o ponto de extracção situado na Casa de Banho e o resto do edifício. Esta é a razão pela qual, este é o espaço que apresenta a ventilação insuficiente com menor frequência.

Genericamente, falar-se em concentração de CO₂ é sinónimo de taxa de ventilação efectiva.

A humidade nos compartimentos húmidos está associada à produção de vapor de água no seu interior e à eficácia do sistema de ventilação em removê-lo o mais rapidamente possível da zona onde foi produzido.

O Sistema I, está concebido para aumentar o seu caudal de extracção na Casa de Banho e Chuveiro sempre que a humidade relativa for superior a 75 %, no entanto, apresenta valores superiores a este, nestas zonas, durante um reduzido período de tempo. De uma forma geral, seria de esperar que, a humidade relativa nunca excedesse os 75 %, mas, note-se que, nos resultados apresentados se contabilizam os períodos em que o vapor de água está a ser produzido e que, quando a UCC assume a posição Ninguém em Casa (PNC), o caudal de extracção é reduzido para 36 m³/h (caudal total do edifício), caudal insuficiente para remover a humidade que possa ter ficado nas casas de banho e que só será totalmente removida quando o sistema assumir a posição Normal (PN). Este é, sem dúvida, um ponto desfavorável neste sistema inovativo, podendo ser corrigido ao permitir-se o funcionamento das posições forçadas mesmo que não exista ocupação.

Os Sistemas IIa, IIb e IIc dão aos ocupantes a possibilidade de actuar sobre o sistema sempre

que estiverem a utilizar os espaços, aumentando desta forma os caudais de extracção. O que se verifica é que o período de tempo em que esses caudais permanecem mais elevados nem sempre é suficiente para remover todo o vapor de água produzido e, nos Sistemas IIa e IIb, quando o sistema está em funcionamento normal, os caudais médios de extracção são baixos e incapazes de remover a humidade remanescente. Verifica-se portanto, que é para estes dois sistemas que ocorrem os piores resultados em termos de humidade relativa, com maior incidência na Cozinha.

O Sistema III, tendo sensores de humidade nas casas de banho e cozinha, apresenta valores aceitáveis para este parâmetro.

No Sistema IV e para a Cozinha, verifica-se uma humidade relativa superior a 75 % durante uma grande percentagem do período ocupado, apesar de os caudais médios de extracção serem dos mais elevados. Note-se, no entanto, que a extracção no sistema de ventilação natural é constante, enquanto que, nos sistemas inovativos o caudal aumenta quando é produzido vapor de água na Cozinha, removendo-o de forma mais eficaz. Por fim, de notar, que no Chuveiro, o Sistema IV apresenta valores de humidade relativa muito elevados, por razões de projecto, uma vez que, aplicando a norma NP 1037-1, os caudais de extracção projectados para este espaço são muito reduzidos devido às suas dimensões.

O Sistema V, dá origem a valores de humidade relativa elevados nas casas de banho, o que acontece devido ao seu baixo caudal de extracção nestes compartimentos, valores impostos pelo projecto. Este sistema tem ainda a desvantagem de apenas ligar a ventilação às 8 horas da manhã, altura na qual já pode ter ocorrido produção de vapor de água nas casas de banho.

Habitação Multifamiliar

Analisando os resultados obtidos para os parâmetros relativos QAI verificou-se que estes não apresentam diferenças significativas entre pisos, razão pela qual se optou por apresentar, para estes parâmetros, os valores médios dos edifícios. Estes resultados não são de estranhar, uma vez que os sistemas são controlados com a mesma estratégia de controlo e a ocupação e utilização do edifício, que imporá as necessidades de ventilação são semelhantes.

Na concentração de CO₂ os resultados obtidos são satisfatórios, não sendo o limite imposto (100 kppm.h) ultrapassado. Ao contrário do que aconteceu na habitação unifamiliar, não há uma relação directa entre o parâmetro CT_{exc} e o caudal médio de infiltrações. Porque devido às baixas concentrações globais de CO₂, este parâmetro apenas é capaz de fornecer quais as situações em que as concentrações máximas registadas são superiores.

Neste caso, optou-se por introduzir um novo parâmetro de análise, a concentração média de CO₂ durante o período de ocupação do edifício.

A Sala apresenta valores médios do poluente mais elevados e as concentrações máximas superiores para os sistemas de ventilação SIIa e SIIb. São também estes os sistemas que dispõem de menor caudal exterior para renovação do ar da Sala.

Nos Quartos orientados a Norte, os caudais de infiltrações são mais baixos para o Sistema III, razão pela qual, em termos médios as concentrações de CO₂ são mais elevadas. No entanto, assiste-se, nestes quartos a valores máximos mais elevados também para o Sistema I.

A humidade relativa registada nas cozinhas do edifício multifamiliar não atinge valores tão elevados como na habitação unifamiliar. Porque existe uma menor produção de vapor de água para o mesmo volume, uma vez que as dimensões das cozinhas dos dois edifícios são semelhantes.

O Sistema I é aquele que apresenta os melhores resultados na Casa de Banho, devido à sua estratégia de controlo que se baseia no nível de HR neste compartimento. Neste caso não é grave, o facto do sistema não admitir a posição forçada do ventilador quando não existe ocupação.

Os Sistemas IIa e IIb, tendo os menores caudais de extracção médios na Casa de Banho, apresentam a maior frequência de ocorrência de EHR.

O Sistema III, por ser aquele em que os caudais de extracção da Cozinha são menores, apresenta a maior frequência de ocorrência de HR > 75%.

Para os sistemas actuais (SIV e SV), a frequência de ocorrência de HR > 75% é baixa, relativamente aos restantes sistemas, devido aos caudais de extracção médios serem mais elevados.

A sensação de secura (Habs < 5 g/kg) ocorre, fundamentalmente, em localizações com humidades absolutas exteriores baixas, como é o caso de Bragança e Penhas Douradas, verificando-se este facto em ambas as tipologias estudadas.

8.1.4. Conforto térmico

O Conforto Térmico dos ocupantes é avaliado em função da temperatura interior dos quartos e sala e com o índice PPD nos mesmos espaços.

Ao avaliar as temperaturas de bolbo seco no interior dos espaços verificou-se que, não se evidencia uma elevada dependência entre o tipo de sistema de ventilação utilizado e as tempera-

turas registadas no interior dos apartamentos. Para este parâmetro, os factores mais importante são as temperaturas exteriores e o tipo de envolvente (UA), ou seja, este é um parâmetro fortemente dependente do local de implantação do edifício, assistindo-se a situações de sobreaquecimento dos espaços, em localizações com valores de UA muito baixos, e que se traduzem, no desconforto dos ocupantes.

8.2. Conclusões gerais relativas aos sistemas de ventilação

Os sistemas de ventilação actuais conduzem aos maiores valores de consumos energéticos para manter as condições de conforto no edifício. Estes valores superiores verificam-se independentemente da tipologia em estudo sendo justificados devido às maiores perdas de energia associadas à ventilação do edifício. No entanto, e focando, em primeiro lugar, o Sistema IV, é nas fracções autónomas que utilizam esta forma de ventilação que os níveis de CO₂ apresentam valores mais reduzidos, não se atingindo elevadas concentrações. Já no Sistema V, devido ao horário de funcionamento da ventilação mecânica, ocorrem, fundamentalmente nos espaços com ocupação nocturna significativa, concentrações elevadas do referido poluente.

Nas cozinhas da habitação unifamiliar, em geral, a frequência com que se verificam elevados valores de humidade relativa (EHR) é elevada, o que acontece devido à incapacidade de remoção instantânea do vapor de água quando este é produzido. Este facto deve-se à não existência de um aumento do caudal de extracção quando a cozinha está a ser utilizada.

Como resultado dos baixos caudais de projecto para as casas de banho, quer no Sistema IV, quer no Sistema V, assistem-se a frequências de EHR elevadas.

Ou seja, associado aos elevados consumos energéticos para o aquecimento do edifício, verificam-se valores de humidade relativa elevados em alguns compartimentos das fracções autónomas que podem causar desconforto nos ocupantes. No entanto, o sistema de ventilação natural (SIV) obtém resultados excelentes no que diz respeito à QAI dos espaços habitáveis, ou seja, quartos e salas. Este sistema evidencia a relação entre elevados consumos associados à ventilação e excelente QAI.

Os sistemas de ventilação híbridos inovativos têm, sem excepção, consumos inferiores de energia para o aquecimento dos edifícios. As diferenças nos resultados obtidos chegam a atingir em alguns casos os 34 %. Também quando se analisa o consumo dos ventiladores utilizados na extracção mecânica, as diferenças, relativamente a SV são significativas. Este facto resulta de menores potências de accionamento, ou seja ventiladores mais sofisticados, meno-

res caudais médios debitados, devido à variação que ocorre nas necessidades de ar novo durante o dia, e tempos de funcionamento mais reduzidos. Uma vez que uma das potencialidades dos sistemas inovativos é a de permitir a ocorrência de extracção natural.

Dos sistemas híbridos estudados há dois que conduzem a consumos energéticos (aquecimento) reduzidos são: os *Sistema IIa* e o *Sistema IIb*. A redução dos consumos energéticos relativamente aos restantes sistemas é resultado directo das reduzidas taxas de renovação de ar que lhe estão associadas e que se justificam por dois motivos:

- no sistema SIIa, o caudal de ar novo por ocupante é constante (7 l/s) e dependente de um horário pré-programado, esta situação dá origem a caudais médios reduzidos e não permite um controlo do nível de poluentes nos espaços;
- no sistema SIIb, existe o mesmo horário de ocupação pré-programado, sendo os caudais de insuflação função do nível de CO₂ detectados na conduta principal de extracção. Este método revelou-se pouco eficaz, porque o valor lido na conduta não reflecte os valores que localmente são observados, uma vez que a leitura resulta de uma média dos valores observados em todo o edifício, ocorrendo portanto uma diluição do CO₂.

Esta situação, que ocorre no Sistema IIb, conduz a concentrações elevadas de CO₂ nos compartimentos habitáveis, porque não só ocorre a diluição do poluente como, se verifica um atraso no tempo de resposta do sistema. O que leva a que o caudal de insuflação não seja incrementado. O posicionamento deste sensor de CO₂ não é portanto o mais adequado quando se pretende controlar a QAI nos diferentes compartimentos principais da habitação.

Estes dois sistemas apresentam também, maior frequência de EHR nas cozinhas, apesar da estratégia de controlo do Sistema II contemplar o aumento do caudal de extracção nos espaços húmidos quando estes estão a ser utilizados. Verifica-se no entanto, que o período de tempo em que esses caudais permanecem elevados nem sempre são suficientes para remover todo o vapor de água produzido e tornam-se ineficazes, na remoção da humidade remanescente. Neste caso, seria aconselhável aumentar o período de tempo em que os caudais permanecem mais elevados, independentemente, de não existir ocupação no edifício.

A grande vantagem destes dois sistemas está relacionada com a capacidade de utilizar ventilação natural. Uma vez que as suas necessidades de ar novo são inferiores às dos restantes sistemas, atinge mais facilmente os caudais de extracção por meios naturais, reduzindo deste modo, substancialmente, os consumos energéticos associados ao ventilador.

O *Sistema I*, ao ser controlado em função do nível de humidade relativa nas casas de banho, permite que nestes espaços as frequências de EHR não sejam elevadas. No entanto, uma vez

que a sua estratégia de controlo impõe que, sempre que não há ocupação o caudal de extracção seja reduzido para um valor mínimo de 10 l/s. Há casos em que, durante este período não ocupado, a humidade permanece dentro dos espaços só sendo removida na totalidade quando os ocupantes retornam a casa. Este é um detalhe da estratégia de controlo facilmente alterável e que poderá permitir a obtenção de melhores resultados.

Devido à sua elevada taxa de renovação de ar, os caudais médios de insuflação nos quartos e salas são elevados o que garante uma QAI aceitável, nestes espaços.

No entanto, associada a esta RPH mais elevada estão as maiores perdas de energia por ventilação e, em consequência um consumo superior no período de aquecimento. Este é o sistema inovativo que conduz a maiores valores de necessidades energéticas de aquecimento e, também de ventilação mecânica. O aumento da ventilação deve-se à estratégia de controlo associada à ventilação natural, que:

- em primeiro lugar, só é permitida nos períodos não ocupados do edifício, ou seja, nos períodos em que a temperatura exterior é mais elevada e em que no interior do edifício não é imposto qualquer *setpoint* de temperatura, afectando, negativamente, desta forma, o efeito de chaminé.
- em segundo lugar, só ocorre ventilação natural se a temperatura exterior for inferior a um valor pré-programado na UCC, sendo esse valor diferente para cada localização e calculado de acordo com o definido no RESHYVENT. Note-se que, este critério, para a determinação das condições em que é possível efectuar extracção natural, pode por vezes conduzir a situações em que se mostra pouco eficaz e pouco coerente, uma vez que:
 - a extracção natural apenas é permitida nas alturas em que o edifício se encontra desocupado e, coincidindo estas com o período em que as temperaturas no exterior são mais elevadas, será mais difícil atingir a condição $T_e < T_{\text{efeito de chaminé}}$. Ou seja, será de prever que a extracção natural se verifique com maior frequência nas localizações para as quais as temperaturas pré-programadas são mais elevadas;
 - não é contabilizado apenas o efeito do gradiente de temperaturas entre o interior e o exterior do edifício, mas também o efeito do gradiente de pressões provocado pela acção do vento, podendo surgir situações em que, a extracção natural seria suficiente para garantir as necessidades de ar novo apesar de a temperatura exterior não ser inferior à pré-programada;
 - podem ocorrer situações em que, numa dada localização, para uma dada diferença de temperatura entre o interior e o exterior do edifício, é permitida a extracção natural e para

outra localização, para um ΔT superior não é.

No caso do *Sistema III* também não é feito um aproveitamento das potencialidades de extracção natural, uma vez que esta, apenas é permitida se a temperatura exterior for inferior a $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Esta imposição conduz a que, este sistema seja utilizado em climas frios, nos quais se verificou, efectivamente, uma maior incidência da ventilação natural. Apesar disto, devido às particularidades do ventilador utilizado neste sistema, os consumos energéticos que lhe estão associados são inferiores ao do Sistema I.

Este sistema de ventilação origina taxas de renovação de ar elevadas e, consequentemente elevados consumos energéticos para aquecimento. Os resultados obtidos neste sistema de ventilação, quando se analisa a QAI dos quartos e salas, são satisfatórios, sendo função dos caudais de insuflação que sendo controlados por sensores de presença, são ajustados rapidamente em função da ocupação. A frequência de EHR nas cozinhas e casas de banho são também aceitáveis uma vez mais em consequência de caudais de extracção médios elevados, uma vez que o controlo destes é função do nível de humidade relativa existente nestes espaços.

Por fim, o *Sistema IIc*, que utiliza a mesma estratégia de controlo, no que diz respeito à ventilação natural, e o mesmo ventilador dos sistemas de ventilação SIIa e SIIb. O que se verifica é que para este sistema o consumo energético para a ventilação mecânica é superior, uma vez que as necessidades de ar novo são também mais elevadas.

Este último sistema, ao efectuar o controlo do CO_2 directamente nos espaços em que este é produzido, permite actuar de imediato na zona afectada, quando se detecta que as concentrações do poluente estão a aumentar. Este sistema conduz a QAI excelentes e a insuflações de ar apenas nos locais onde são efectivamente necessárias. Ou seja, tem consumos energéticos para aquecimento superiores aos dos dois sistemas anteriores, mas, como não apresenta elevadas taxas de renovação de ar, encontra-se, no que diz respeito aos consumos de aquecimento e ventilação mecânica, melhor posicionado que os restantes sistemas. A sua única desvantagem relativamente a estes dois sistemas está associada às elevadas humidades relativas que se atingem, uma vez que os caudais médios são inferiores aos destes casos. No entanto, os valores obtidos para SIIa e SIIb, nunca são atingidos, pelo que, se houver um incremento dos caudais de extracção nos períodos de utilização dos espaços húmidos o problema possa desaparecer.

8.2.1. Sistema com melhor relação Consumo Energético/ QAI

A relação entre as necessidades térmicas de aquecimento e a qualidade do ar interior apresenta-se genericamente difícil, uma vez que, na maioria dos casos, têm efeitos contrários. Neste trabalho foi frequente verificar-se, sistematicamente, reduções dos consumos com degradação da QAI. O sistema de ventilação ideal será aquele que consegue uma melhor optimização destes dois parâmetros.

De todos os sistemas analisados, o que conduz a uma situação, globalmente, mais favorável é o Sistema IIc. Com este sistema obtém-se uma QAI excelente, uma vez que os caudais de ventilação envolvidos são controlados em função das necessidades efectivas de cada espaço e a UCC responde de forma quase imediata à libertação de poluentes nos compartimentos principais, ou seja, Quartos e Salas. Este controlo estreito dos caudais conduz a consumos energéticos de aquecimento inferiores aos dos sistemas SI e SIII, excluindo-se desta comparação os sistemas SIIa e SIIb, porque os baixos consumos energéticos para aquecimento são obtidos à custa do sacrifício da QAI.

Com este trabalho demonstrou-se que é possível utilizar, em edifícios residenciais, sistemas híbridos, conjugando as vantagens dos sistemas de ventilação mecânica e dos sistemas de ventilação natural, com sucesso significativo.

Estes sistemas permitem obter índices de QAI bastante aceitáveis com reduções significativas dos consumos energéticos, tanto a nível do aquecimento como da ventilação do edifício. Dependendo do tipo de estratégia de controlo destes sistemas híbridos é possível optimizar as taxas de ventilação e a qualidade do ar interior.

8.3. Sugestões para Trabalhos Futuros

Na sequência do trabalho efectuado no decorrer desta dissertação foi possível traçar algumas linhas condutoras de trabalhos futuros. Entre elas, ressaltam:

- o estudo dos sistemas tipicamente utilizados em cada um dos países europeus estudados, à semelhança do que se fez para Portugal. Deste modo, seria possível avaliar até que ponto os sistemas inovativos aqui propostos são vantajosos quando aplicados nestes países, uma vez que, sobretudo nos países do Norte da Europa existe já alguma sofisticação nos sistemas de ventilação que se instalam nos edifícios;
- analisar o período relativo ao Verão, avaliando a eficácia dos sistemas propostos, podendo

a análise ser feita em duas situações: uma em que o edifício não possui qualquer tipo de sistema de climatização que promova o arrefecimento e a outra com o edifício climatizado;

- análise prática das propostas mais eficientes para validação dos modelos apresentados;
- elaboração de métodos expeditos que permitam dimensionar sistemas de ventilação que utilizam sistemas híbridos;
- verificar a optimização do Sistema I, incluindo a sua estratégia de controlo que permita reduzir os teores de humidade relativa que se atingem em algumas situações. Trata-se de um sistema a explorar nas suas vertentes de controlo.

Anexo I – Dados Climáticos

Localização: Aberdeen

Latitude: 57,12 °N

Longitude: 2,13 °W

Altitude: 65 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 4442 °C.dia

Duração da estação de aquecimento: 12 meses

Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 7,42 °C

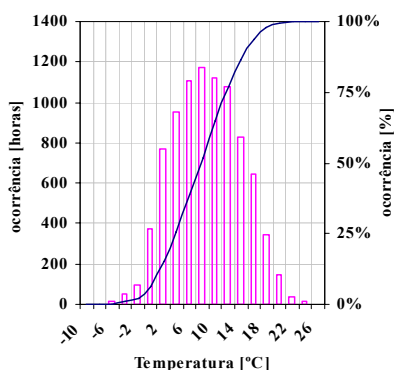


Figura AI - 1 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Aberdeen

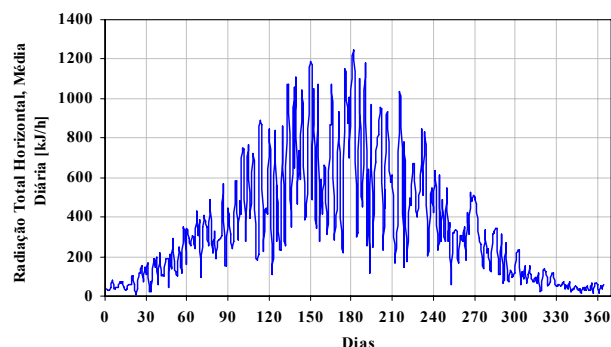


Figura AI - 2 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Aberdeen

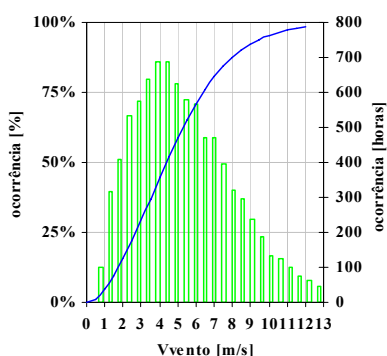


Figura AI - 3 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Aberdeen

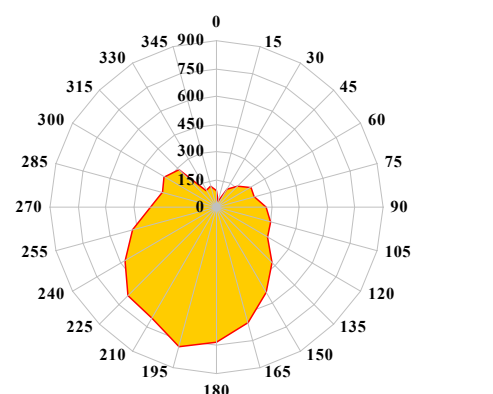


Figura AI - 4 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento para em Aberdeen

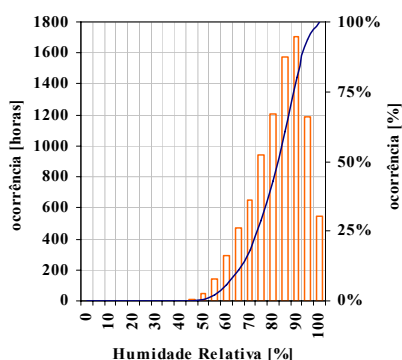


Figura AI - 5 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Aberdeen

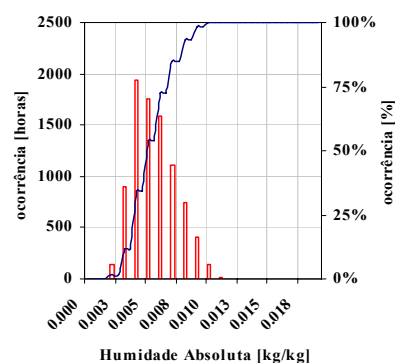


Figura AI - 6 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Aberdeen

Localização: Amsterdão
Latitude: 52,17 °N
Longitude: 4,47 °E
Altitude: 2 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 3286 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 7,7 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 8,90 °C

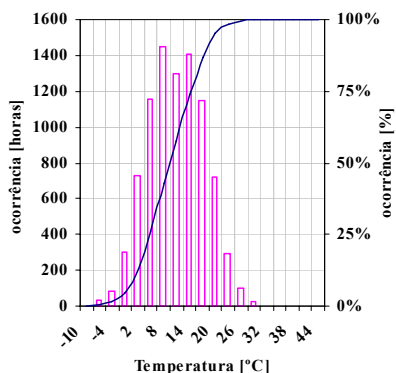


Figura AI - 7 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Amsterdão

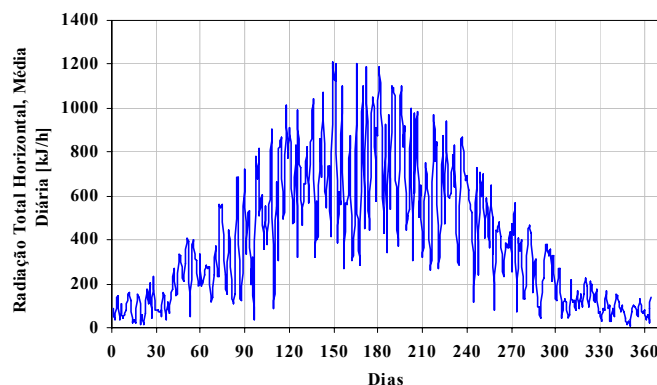


Figura AI - 8 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Amsterdão

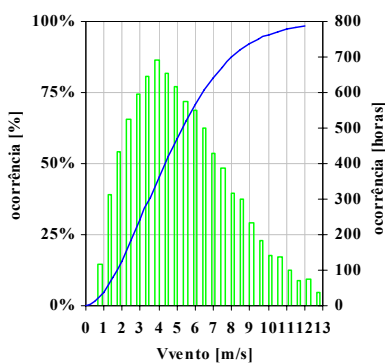


Figura AI - 9 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Amsterdão

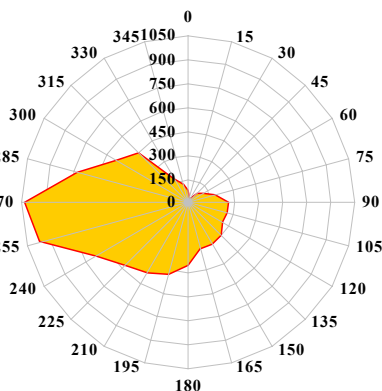


Figura AI - 10 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Amsterdão

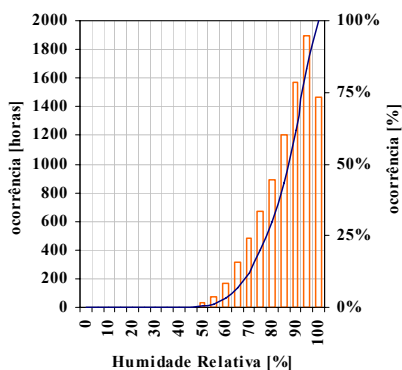


Figura AI - 11 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Amsterdão

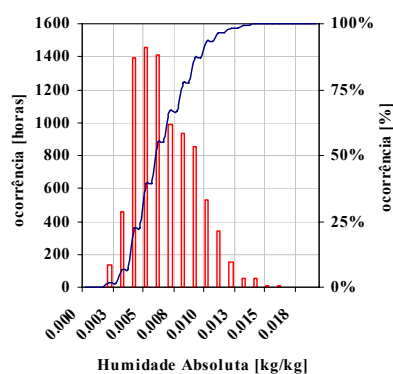


Figura AI - 12 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Amsterdão

Localização: Bergen
Latitude: 60,17 °N
Longitude: 5,13 °E
Altitude: 50 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 4476 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 11 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 7,58 °C

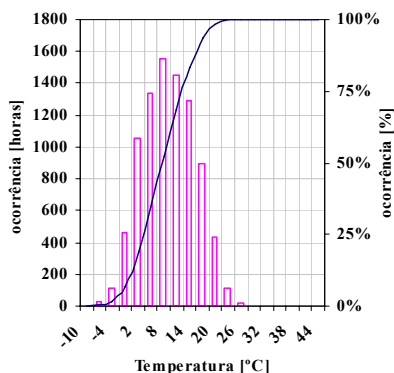


Figura AI - 13 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Bergen

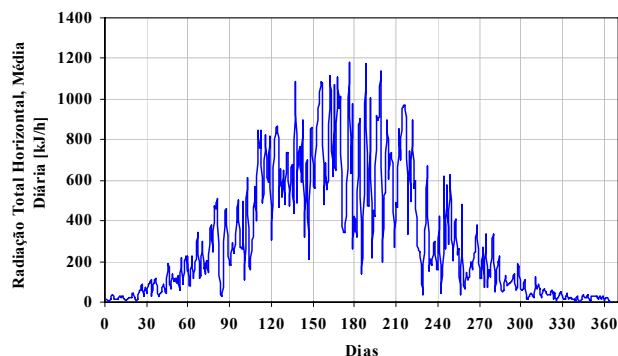


Figura AI - 14 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Bergen

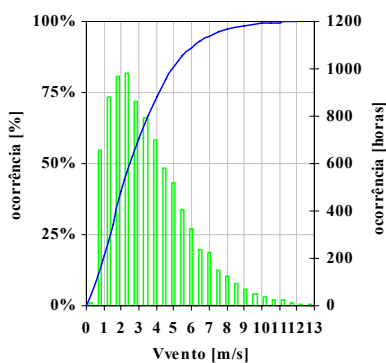


Figura AI - 15 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Bergen

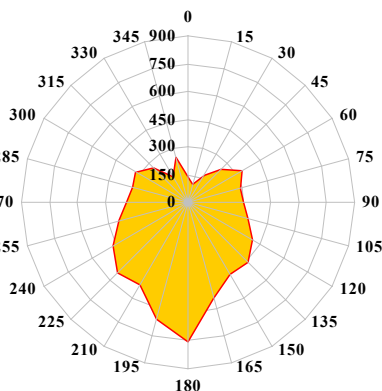


Figura AI - 16 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Bergen

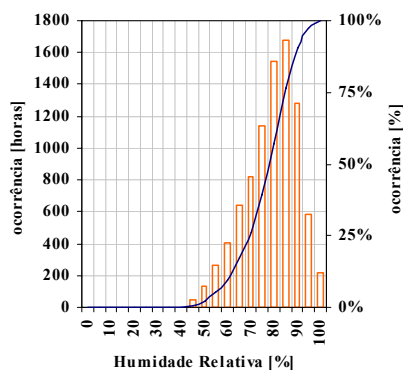


Figura AI - 17 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Bergen

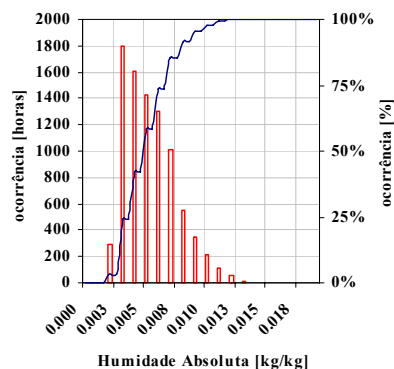


Figura AI - 18 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Bergen

Localização: Bragança
 Latitude: 41,49 °N
 Longitude: 6,45 °W
 Altitude: 691 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 2766 °C.dia
 Duração da estação de aquecimento: 7,6 meses
 Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 13,94 °C

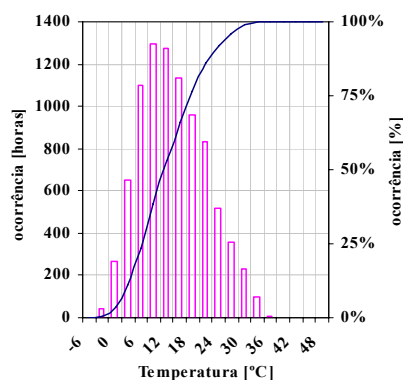


Figura AI - 19 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Bragança

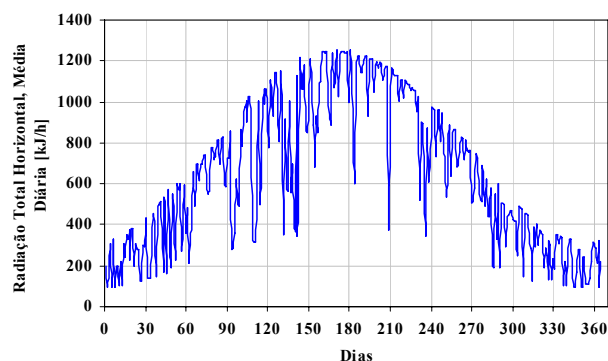


Figura AI - 20 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Bragança

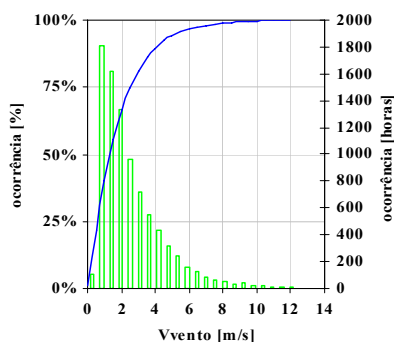


Figura AI - 21 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Bragança

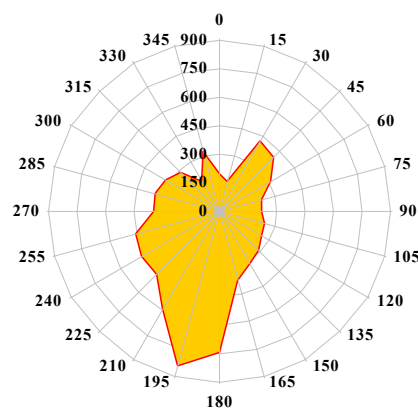


Figura AI - 22 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento para Bragança

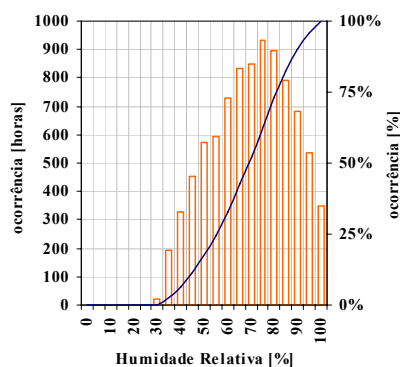


Figura AI - 23 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Bragança

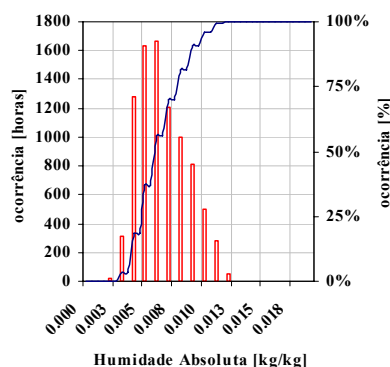


Figura AI - 24 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Bragança

Localização: Bruxelas
Latitude: 50,54 °N
Longitude: 4,32 °E
Altitude: 58 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 3796 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 8,7 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 9,65 °C

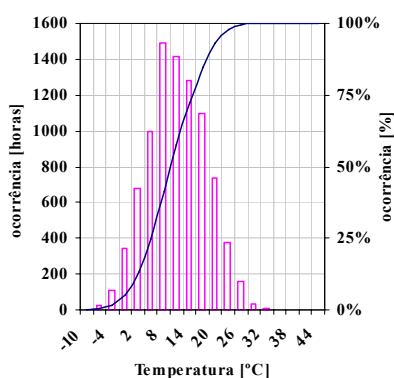


Figura AI - 25 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Bruxelas

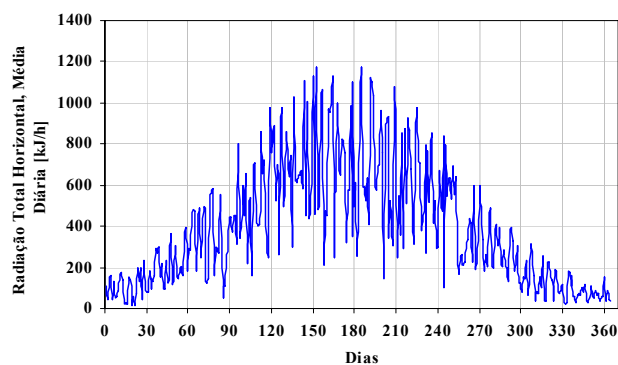


Figura AI - 26 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Bruxelas

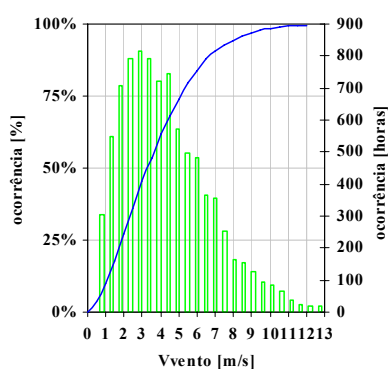


Figura AI - 27 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Bruxelas

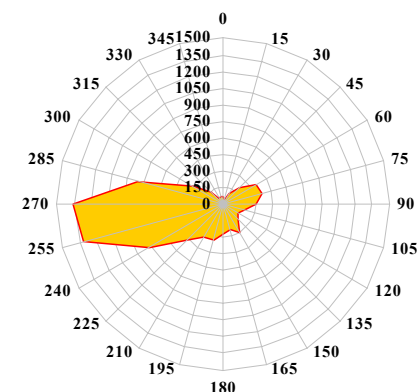


Figura AI - 28 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento para em Bruxelas

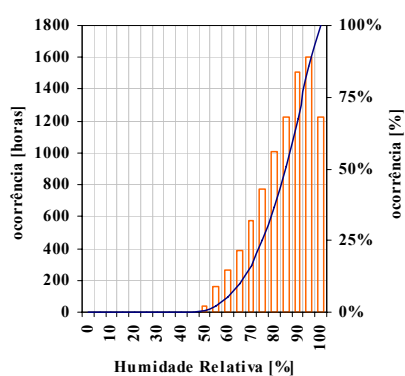


Figura AI - 29 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Bruxelas

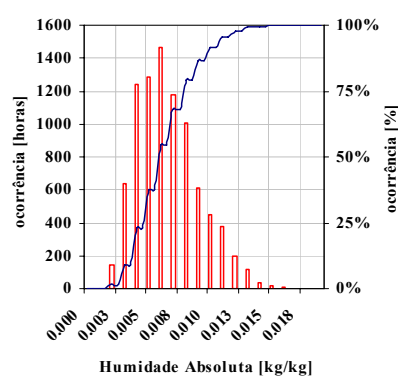


Figura AI - 30 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Bruxelas

Localização: Castelo Branco

Latitude: 39,50 °N

Longitude: 7,29 °W

Altitude: 348 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 2037 °C.dia

Duração da estação de aquecimento: 7 meses

Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 13,3 °C

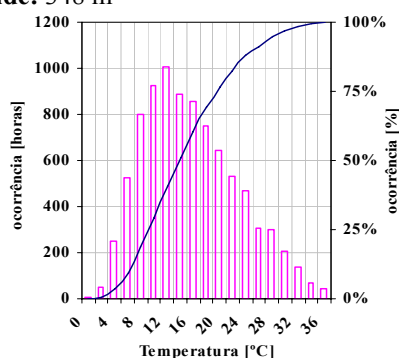


Figura AI - 31 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Castelo Branco

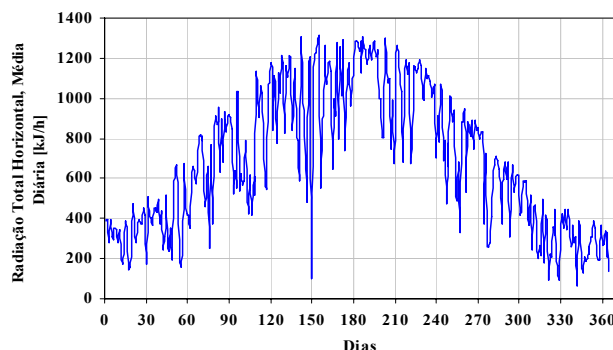


Figura AI - 32 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Castelo Branco

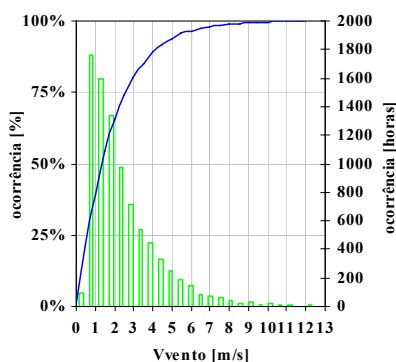


Figura AI - 33 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Castelo Branco

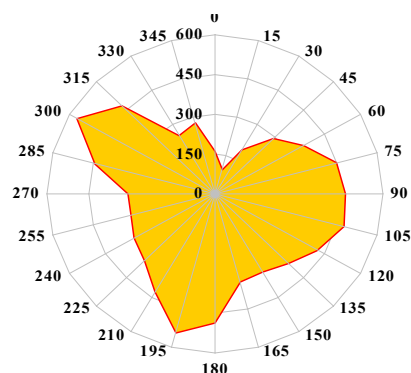


Figura AI - 34 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento para em Castelo Branco

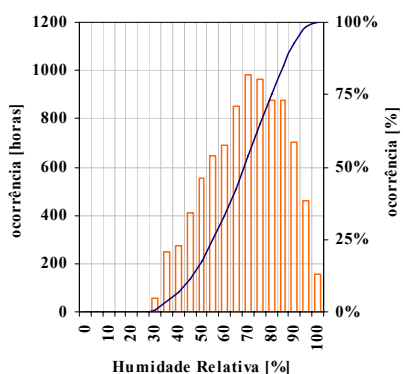


Figura AI - 35 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Castelo Branco

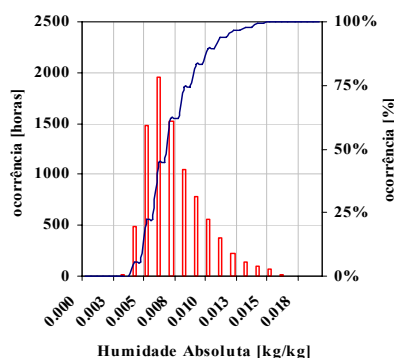


Figura AI - 36 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Castelo Branco

Localização: Estocolmo
Latitude: 59,39 °N
Longitude: 17,57 °E
Altitude: 61 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 5388 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 9,7 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 10,02 °C

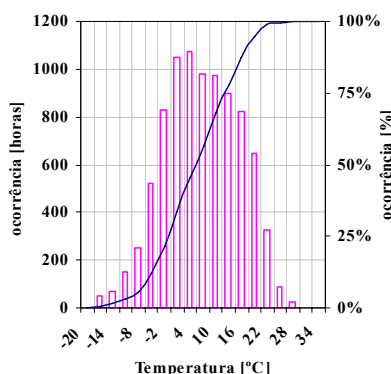


Figura AI - 37 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Estocolmo

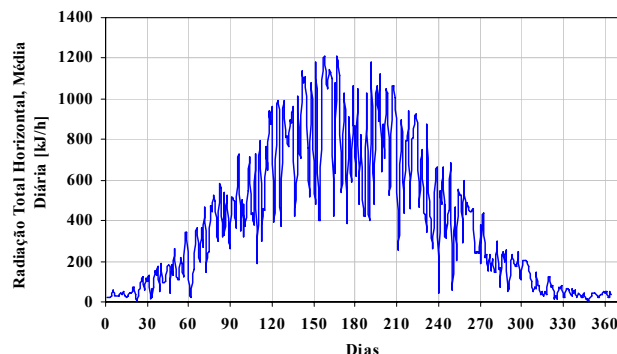


Figura AI - 38 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Estocolmo

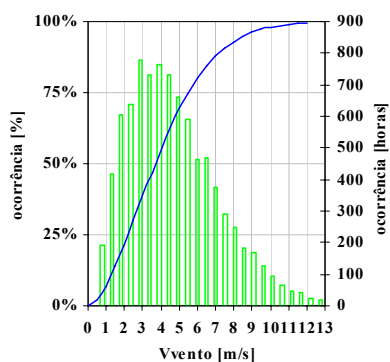


Figura AI - 39 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Estocolmo

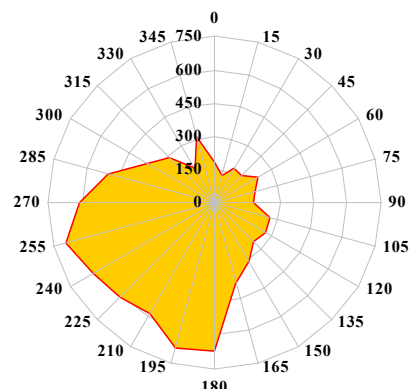


Figura AI - 40 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Estocolmo

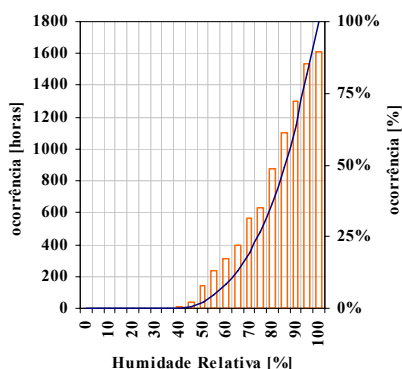


Figura AI - 41 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Estocolmo

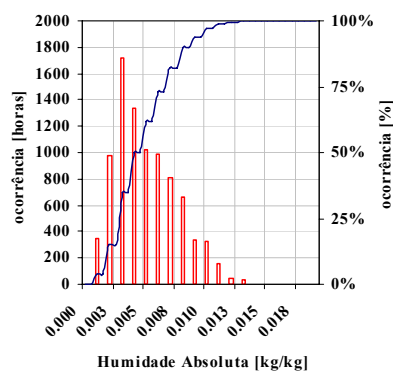


Figura AI - 42 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Estocolmo

Localização: Évora
 Latitude: 38,34 °N
 Longitude: 7,54 °W
 Altitude: 321 m

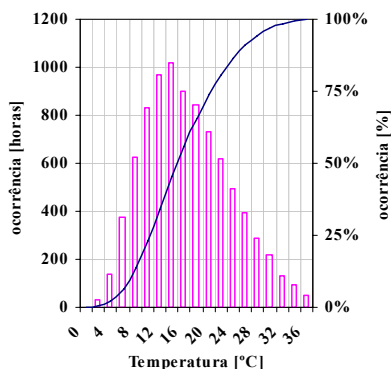


Figura AI - 43 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Évora

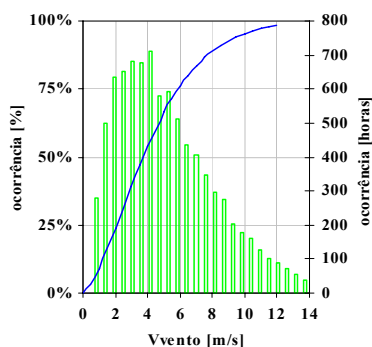


Figura AI - 45 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Évora

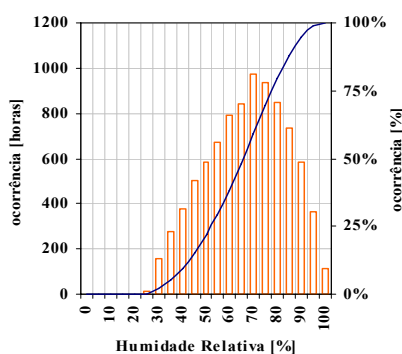


Figura AI - 47 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Évora

Número de graus – dias (base de 20 °C): 1665 °C.dia
 Duração da estação de aquecimento: 6,3 meses
 Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 16,03 °C

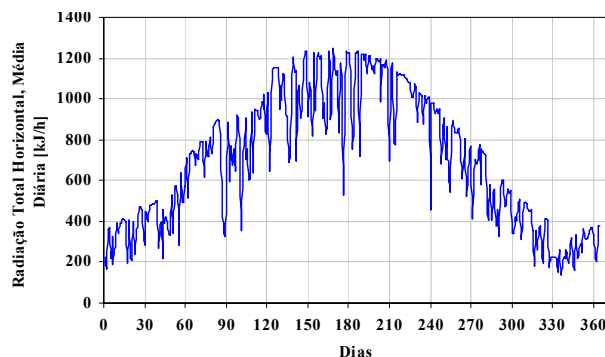


Figura AI - 44 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Évora

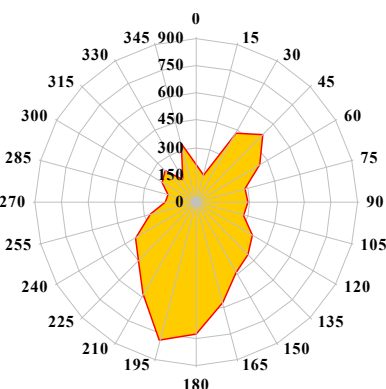


Figura AI - 46 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento para em Évora

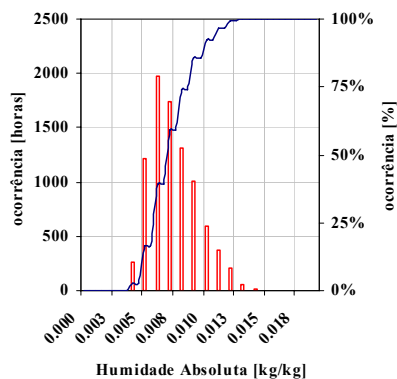


Figura AI - 48 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Évora

Localização: Gotemburgo
Latitude: 57,40 °N
Longitude: 12,18 °E
Altitude: 169 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 4721 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 9,3 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 8,99 °C

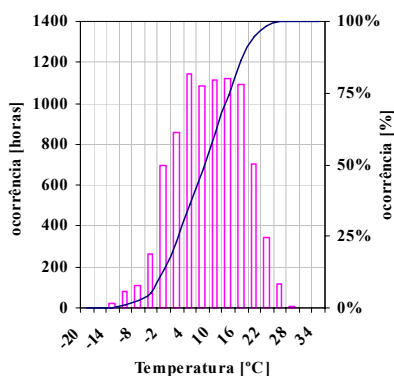


Figura AI - 49 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Gotemburgo

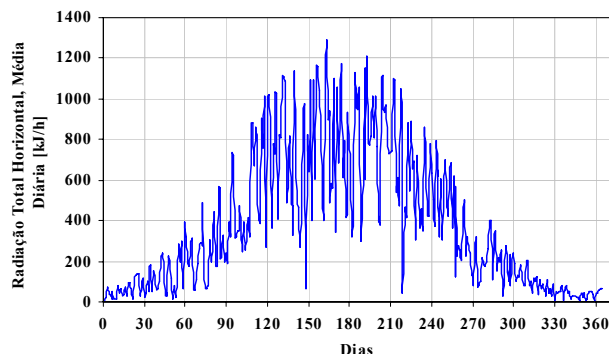


Figura AI - 50 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Gotemburgo

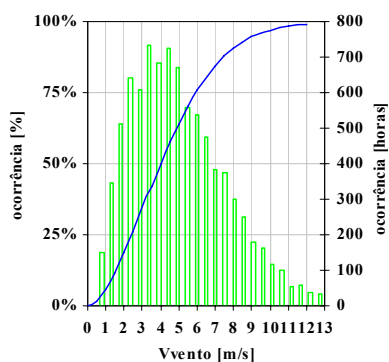


Figura AI - 51 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Gotemburgo

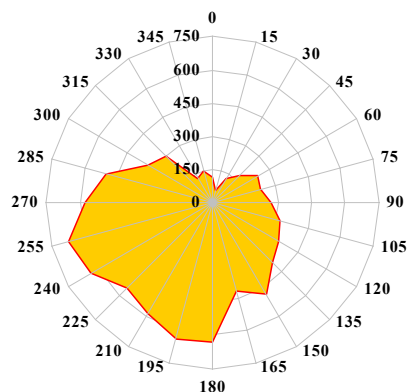


Figura AI - 52 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Gotemburgo

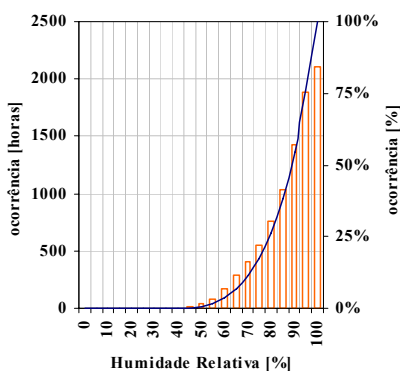


Figura AI - 53 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Gotemburgo

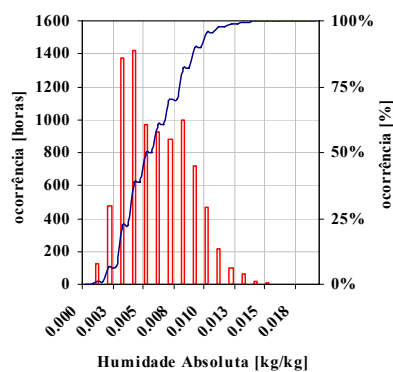


Figura AI - 54 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Gotemburgo

Localização: Jan-Mayen
Latitude: 70,56°N
Longitude: 8,4 °E
Altitude: 10 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 7789 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 12 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 5,40 °C

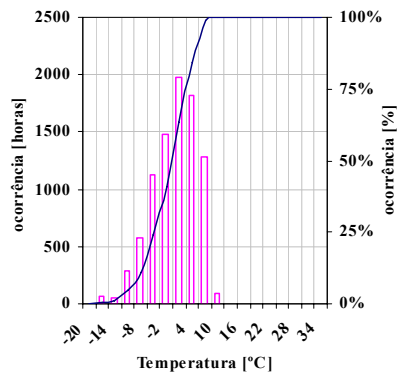


Figura AI - 55 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Jan-Mayen

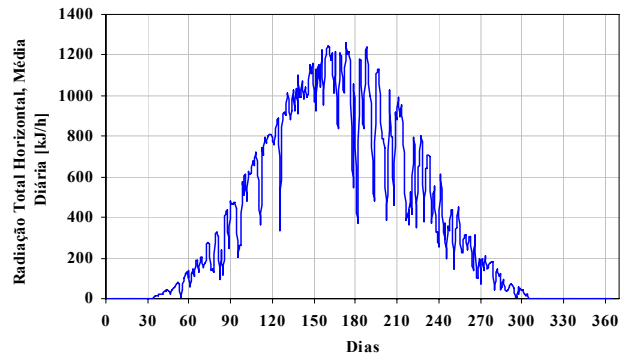


Figura AI - 56 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Jan-Mayen

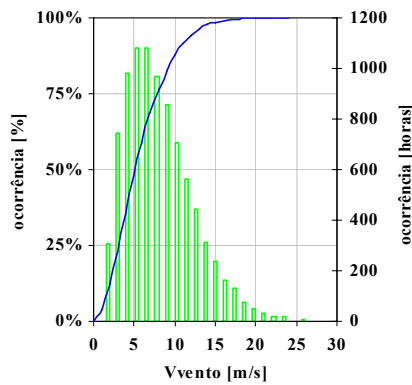


Figura AI - 57 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Jan-Mayen

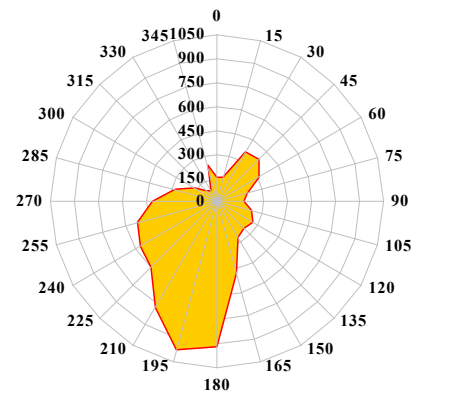


Figura AI - 58 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Jan-Mayen

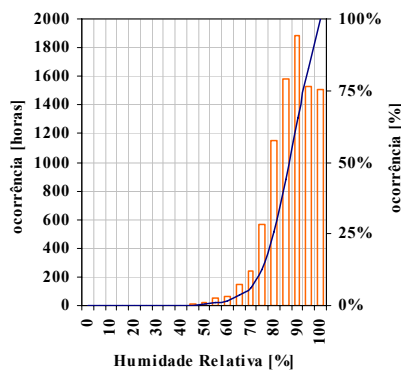


Figura AI - 59 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Jan-Mayen

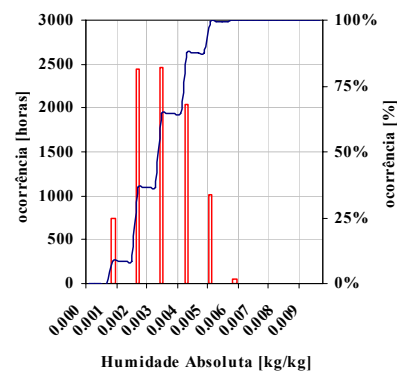


Figura AI - 60 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Jan-Mayen

Localização: Lisboa
Latitude: 38,43 °N
Longitude: 9,09 °W
Altitude: 77 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 1276 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 6 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 9,55 °C

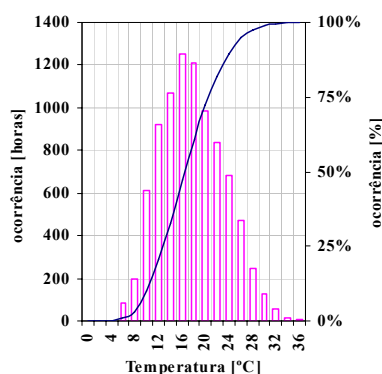


Figura AI - 61 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Lisboa

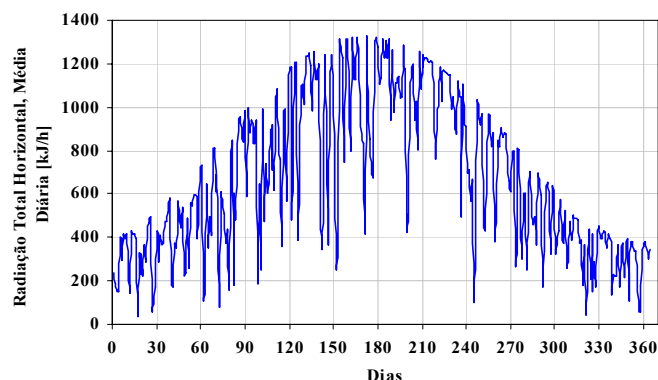


Figura AI - 62 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Lisboa

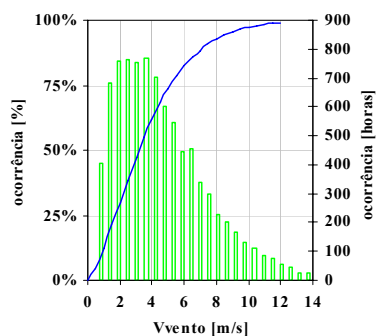


Figura AI - 63 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Lisboa

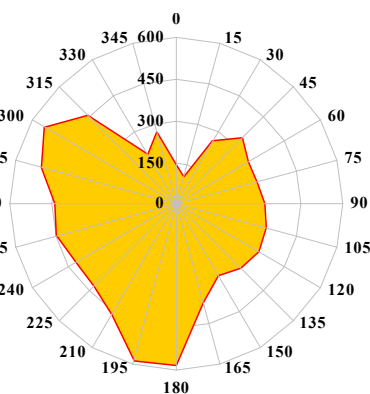


Figura AI - 64 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Lisboa

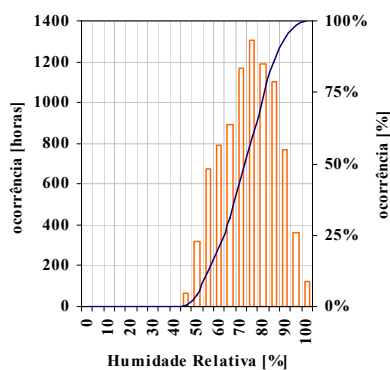


Figura AI - 65 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Lisboa

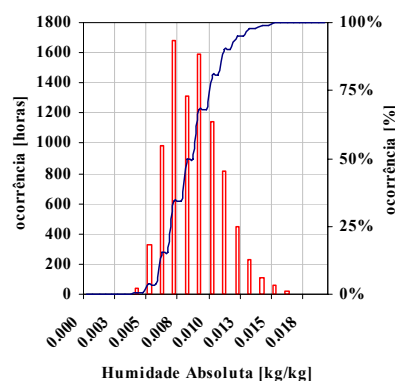


Figura AI - 66 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Lisboa

Localização: Londres
Latitude: 51,90 °N
Longitude: 0°
Altitude: 62 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 3836 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 9,3 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 9,53 °C

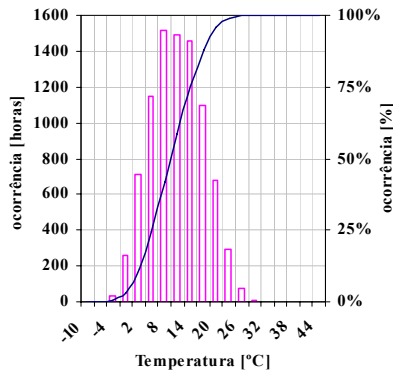


Figura AI - 67 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Londres

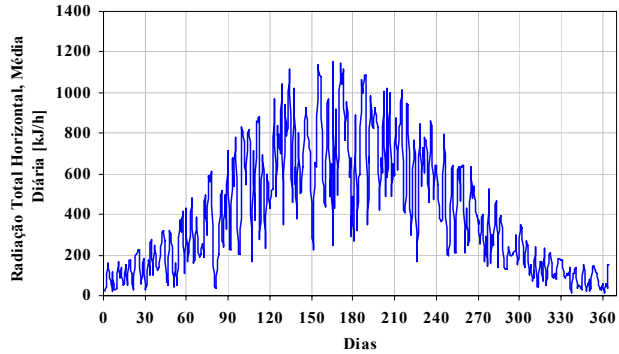


Figura AI - 68 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Londres

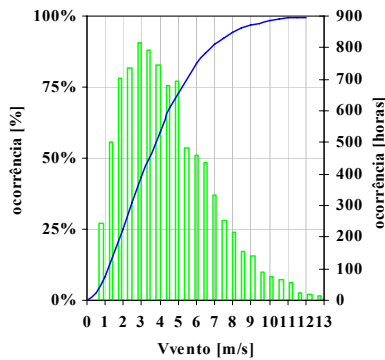


Figura AI - 69 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Londres

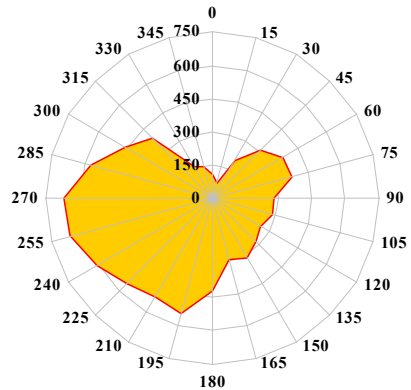


Figura AI - 70 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Londres

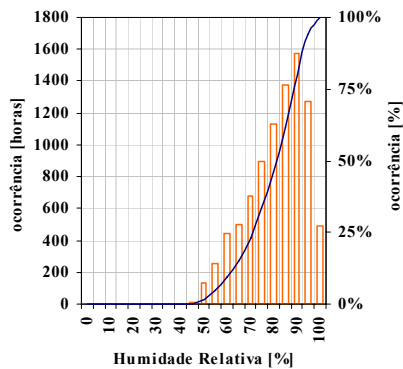


Figura AI - 71 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Londres

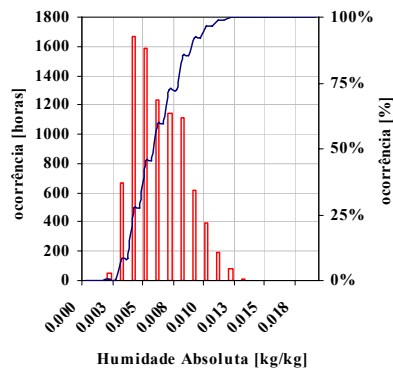


Figura AI - 72 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Londres

Localização: Nice
Latitude: 43,67 °N
Longitude: 7,2 °E
Altitude: 5 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 1914 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 6 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 7,14 °C

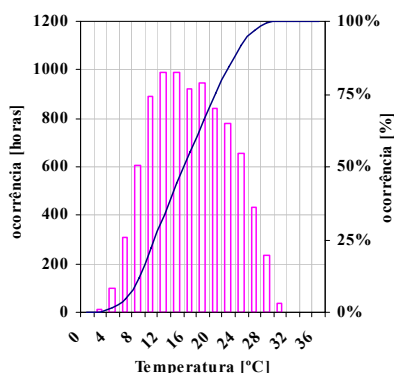


Figura AI - 73 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Nice

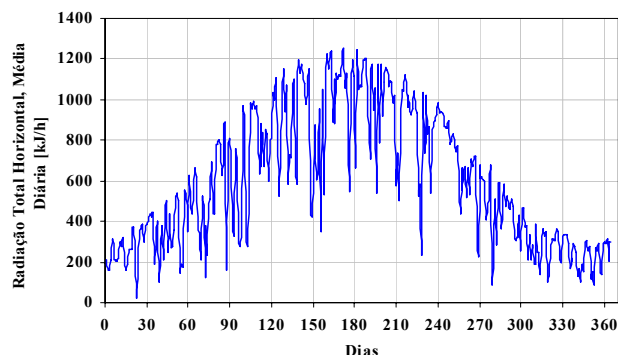


Figura AI - 74 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Nice

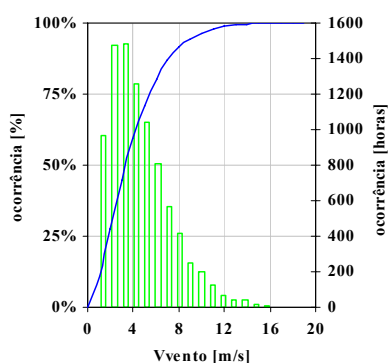


Figura AI - 75 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Nice

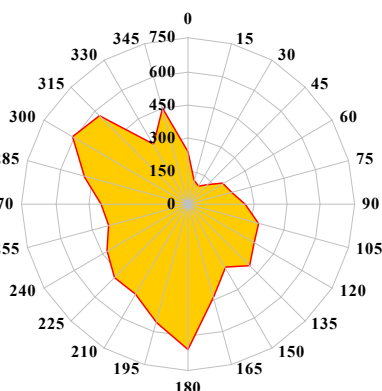


Figura AI - 76 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Nice

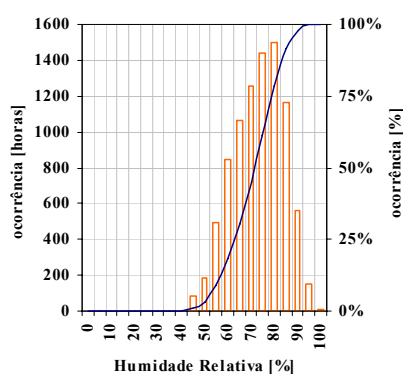


Figura AI - 77 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Nice

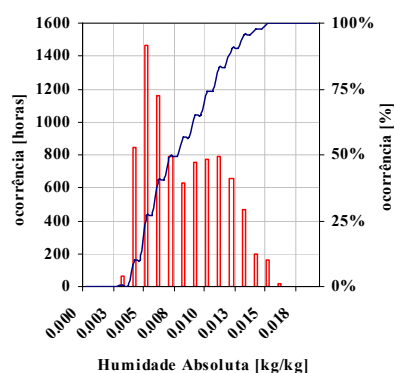


Figura AI - 78 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Nice

Localização: Paris
 Latitude: 48,43 °N
 Longitude: 2,24 °E
 Altitude: 96 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 3359 °C.dia
 Duração da estação de aquecimento: 8,3 meses
 Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 10,60 °C

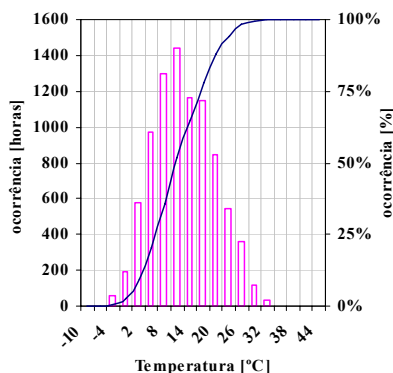


Figura AI - 79 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Paris

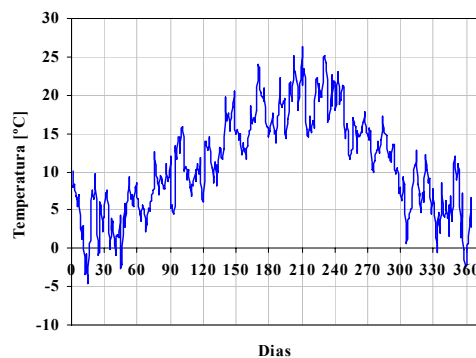


Figura AI - 80 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Paris

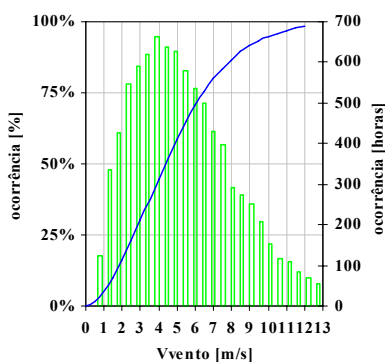


Figura AI - 81 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Paris

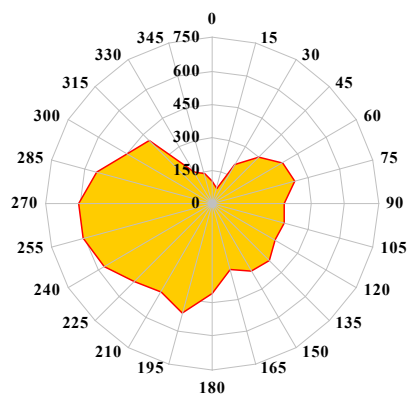


Figura AI - 82 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Paris

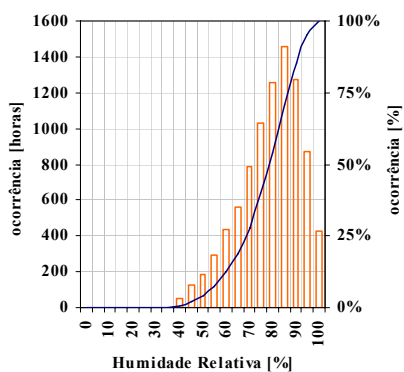


Figura AI - 83 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Paris

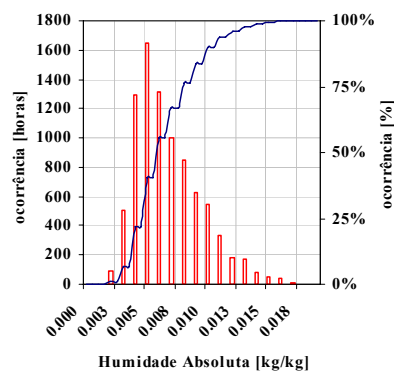


Figura AI - 84 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Paris

Localização: Penhas Douradas
Latitude: 40,25 °N
Longitude: 7,33 °W
Altitude: 1380 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 3491 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 8 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 13,40 °C

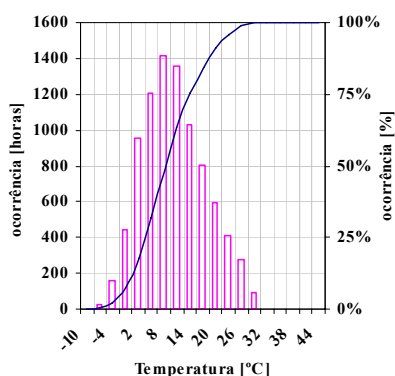


Figura AI - 85 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior nas Penhas Douradas

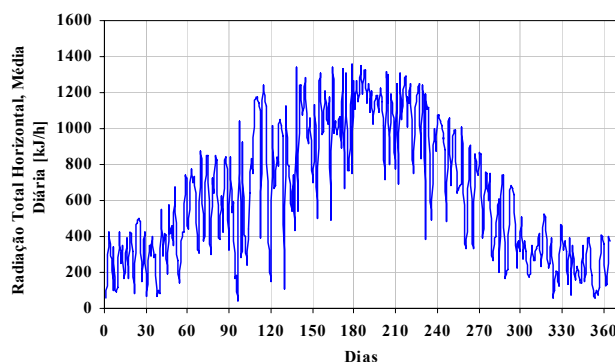


Figura AI - 86 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para as Penhas Douradas

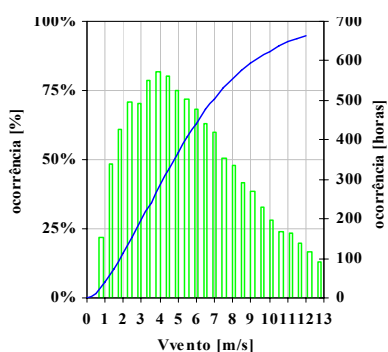


Figura AI - 87 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento nas Penhas Douradas

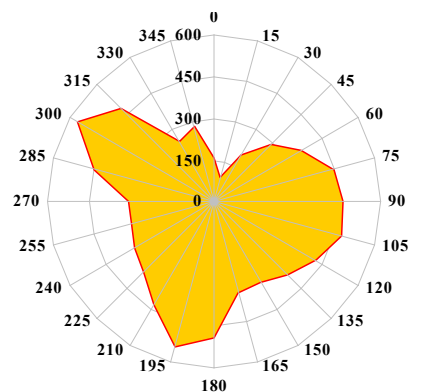


Figura AI - 88 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento nas Penhas Douradas

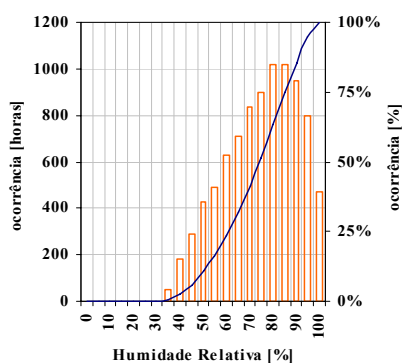


Figura AI - 89 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa nas Penhas Douradas

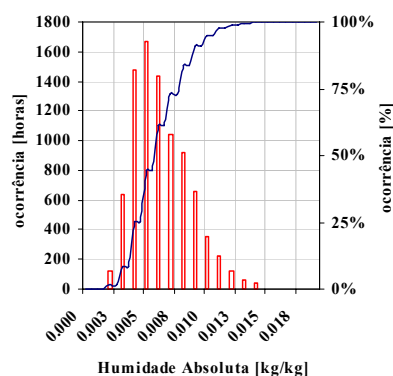


Figura AI - 90 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta nas Penhas Douradas

Localização: Porto
Latitude: 41,13 °N
Longitude: 8,60 °W
Altitude: 100 m

Número de graus – dias (base de 20 °C): 1830 °C.dia
Duração da estação de aquecimento: 7 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 8,88 °C

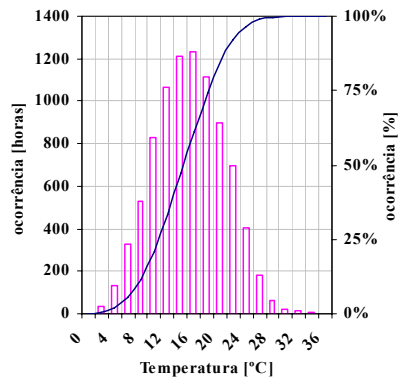


Figura AI - 91 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior no Porto

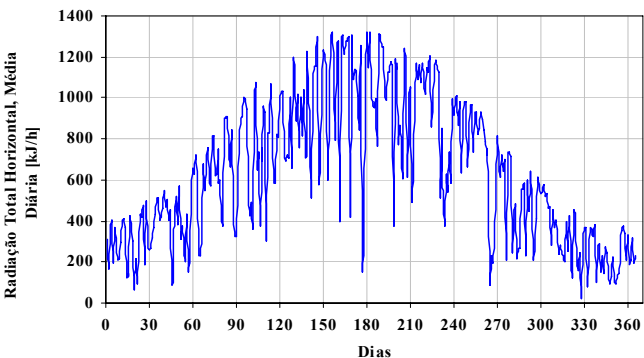


Figura AI - 92 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para o Porto

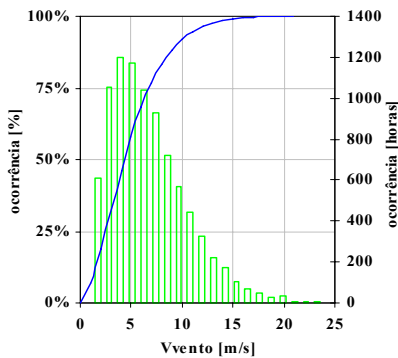


Figura AI - 93 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento no Porto

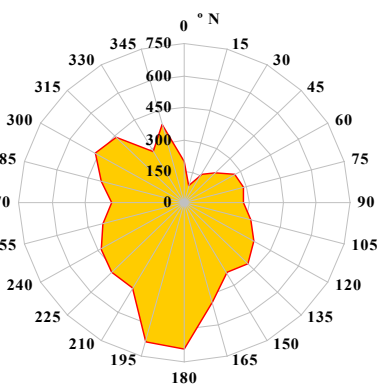


Figura AI - 94 - Número de horas de ocorrência da direcção do vento para o Porto

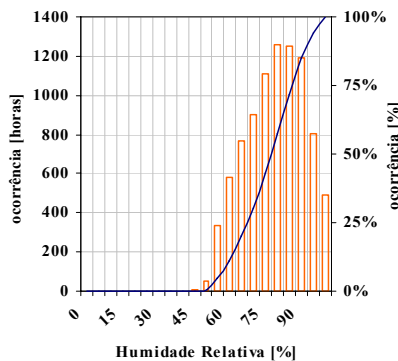


Figura AI - 95 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa no Porto

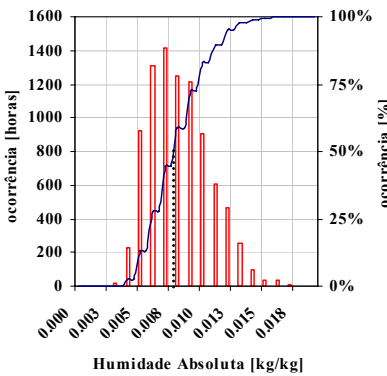


Figura AI - 96 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta no Porto

Localização: Saint-Hubert

Número de graus – dias (base de 20 °C): 4629 °C.dia

Latitude: 50,1 °N
Longitude: 5,24 °E
Altitude: 557 m

Duração da estação de aquecimento: 9,7 meses
Amplitude Térmica Diária do mês mais quente: 8,05 °C

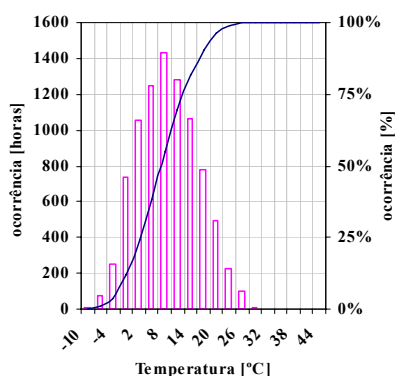


Figura AI - 97 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de temperatura exterior em Saint-Hubert

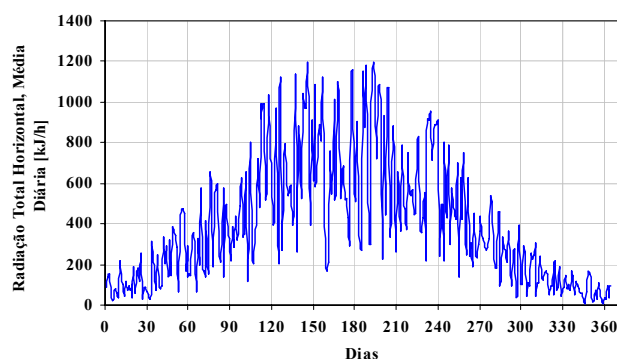


Figura AI - 98 – Radiação Solar Total Horizontal – Valores médios diários para Saint-Hubert

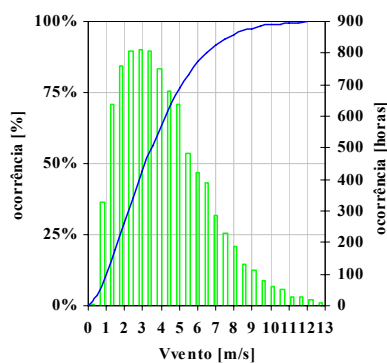


Figura AI - 99 - Probabilidade de ocorrência e número de horas da velocidade do vento em Saint-Hubert

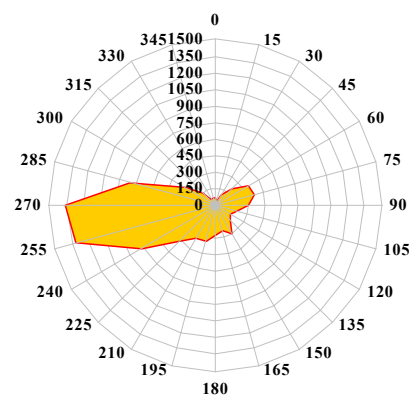


Figura AI - 100 - Número de horas de ocorrência da direção do vento para em Saint-Hubert

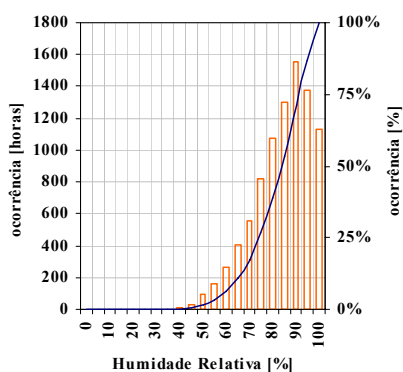


Figura AI - 101 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade relativa em Saint-Hubert

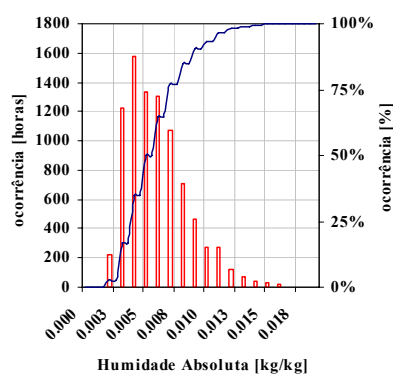


Figura AI - 102 - Número de horas e probabilidade de ocorrência de humidade absoluta em Saint-Hubert

Anexo II – Distribuição dos ocupantes

Habitação Unifamiliar

		Cozinha	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4
Segunda a Sexta	Homem		6-7;18-23	23-6			
	Mulher	7-8;17-18	6-7;18-23	23-6			
	Criança, 19 anos		7-8;18-19				19-7
	Criança, 16 anos		7-8;18-20			17-18;20-7	
	Criança, 13 anos		7-8;18-21		17-18;21-7		
Sábado e Domingo	Homem		8-10;13-24	24-8			
	Mulher	9-12;17-18	8-9;12-13 15-17;18-24	24-8			
	Criança, 19 anos		12-13				2-12;13-17
	Criança, 16 anos		11-12;17-19 23-24			12-15;19-20 24-11	
	Criança, 13 anos		10-12;15-16 18-24		16-18;24-10		

Habitação Multifamiliar

		Cozinha	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3
Segunda a Sexta	Homem		6-7;18-23	23-6		
	Mulher	7-8;12-13 17-18	6-7;18-23	23-6		
	Criança, 13 anos		7-8;18-21		17-18;21-7	
	Criança, 10 anos		7-8 18-20			17-18;20-7
Sábado e Domingo	Homem		8-10;13-24	24-8		
	Mulher	9-11;17-18	8-9;11-12 15-17;18-24	24-8		
	Criança, 13 anos		10-12;18-24		15-18;24-10	
	Criança, 10 anos		8-10;13-14 17-21			14-17;21-8

Anexo III – Sistema I

Determinação da temperatura $T_{\text{efeito de chaminé}}$

De acordo com o critério definido no projecto RESHYVENT [40], é necessário conhecer a temperatura máxima exterior a partir da qual o caudal de extracção natural é inferior a $36 \text{ m}^3/\text{h}$. Para conhecer este valor, que deve ser avaliado para cada localização efectua-se uma simulação do sistema de ventilação SI, na qual, o ventilador está permanentemente desligado. Posteriormente, relacionando a temperatura exterior com o caudal de extracção total do edifício determina-se qual a temperatura que se procura.

De referir que, este caudal de extracção será não só função do gradiente de temperaturas entre o interior e o exterior do edifício mas também do gradiente de pressões provocado pelo efeito do vento.

$T_{\text{efeito de chaminé}} [^{\circ}\text{C}]$: Temperatura exterior, para cada localização, a partir da qual a extracção é natural (no caso da habitação multifamiliar apresenta-se o valor médio das temperaturas obtidas para cada piso)

Localização	Habitação Unifamiliar	Habitação Multifamiliar
Bragança	9,2	7,00
Castelo Branco	9,4	9,18
Évora	11,8	13,93
Lisboa	16,0	15,39
Penhas Douradas	5,6	7,65
Porto	14,3	13,45
Aberdeen	7,5	7,19
Amsterdão	9,4	8,74
Bergen	7,2	6,28
Bruxelas	9,5	8,55
Estocolmo	5,6	4,38
Gotemburgo	6,5	6,16
Groningen	8,4	7,76
Jan-Mayen	-1,1	-1,36
Londres	9,0	8,30
Nice	14,5	14,31
Paris	10,5	9,94
Saint Hubert	9,3	6,23

Type 200 – Subrotina de controlo do Sistema I

```
C*****
*****
```

```

SUBROUTINE
TYPE200(TIME,XIN,OUT,T,DTDT,PAR,INFO,ICNTRL,*)
C      Algoritmo de controlo para o Sistema I
C      Vivenda com extracção mecânica e insuflação natural
C      Desenvolvido por: Petra Vaquero (Dezembro de 2005)
C*****
*****
C      Ctime: Tempo parcial para o controlo da operação
C      Counter: Variável auxiliar para iniciar o controlador
C      OCC: Ocupação total
C      GQ1: Parâmetro para a posição da grelha de insuflação do
Quarto 1
C      GQ2: Parâmetro para a posição da grelha de insuflação do
Quarto 2
C      GQ3: Parâmetro para a posição da grelha de insuflação do
Quarto 3
C      GQ4: Parâmetro para a posição da grelha de insuflação do
Quarto 4
C      GSL: Parâmetro para a posição da grelha de insuflação da
Sala
C      HDAY: Hora do dia
C      NPEOP: Numero de pessoas
C      TEXT: Temperatura exterior
C      TIMESTEP: Timestep
C      TNVENT: Temperatura a partir da qual o ventilador desliga
C      RHB: Humidade relativa na casa de banho
C      RHC: Humidade relativa no chuveiro
C      VK: Válvula de extracção da Cozinha
C      VB: Válvula de extracção da Casa de Banho
C      VC: Válvula de extracção do Chuveiro
C      VW: Válvula de extracção do WCS
C      FAN: Fan mode
C
C      INPUTS
C      |      1      OCC
C
C      |      2      TEXT
C
C      |      3      RHB
C
C      |      4      RHC
C
C      OUTPUTS
C      |      1      GSL
C      |      2      GQ1
C      |      3      GQ2
C      |      4      GQ3
C      |      5      GQ4
C      |      6      VK
C      |      7      VB
C      |      8      VC
C      |      9      VW
C      |     10      FAN
C      |     11      Ctime
C      |     12      HDAY
COMMON /LUNITS/ LUR,LUW,IFORM,LUK
DIMENSION XIN(5),Par(3),Out(12),INFO(15)
DOUBLEPRECISION Xin,Out
REAL T,DTDT,Par
INTEGER Info,Icntrl
INFO(6)=10
INFO(9)=2
CALL TYPECK(1,INFO,4,3,0)
counter=counter+1
TIMESTEP=PAR(1)
TNVENT=PAR(2)
NPEOP=PAR(3)
SELECTCASE (NPEOP)
CASE(2)
NPEOP1=1
CASE(4)
NPEOP1=2
ENDSELECT
IF (counter.eq.3) THEN
ctime=-TIMESTEP
ENDIF
IF (ctime.eq.0.25) THEN
ctime=0
ENDIF
```

```

Ctime=Ctime+TIMESTEP

OCC=XIN(1)
TEXT=XIN(2)
RHB=XIN(3)
RHC=XIN(4)
HDAY=(TIME/24-INT(TIME/24))*24
IF (Ctime.EQ.0.25.or.Ctime.EQ.0) THEN
IF (OCC.LT.1) THEN
!Função: Ninguém em Casa
GSL=1
GQ1=0.5
GQ2=0.5
GQ3=0.5
GQ4=0.5
VK=0.53
VB=0.38
VC=0.33
VW=0.12
FAN=0.15

ELSE
IF (RHB.GT.75) THEN
!Função: Posição Forçada 1
IF (HDAY.GT.7..AND.HDAY.LT.23) THEN
!DIA
GSL=1
GQ1=0.5
GQ2=0.5
GQ3=0.5
GQ4=0.5
VK=0
VB=1
VC=1
VW=0
FAN=1

ELSE
!NIGHT
GSL=0.5
GQ1=1
GQ2=1
GQ3=1
GQ4=1
VK=0
VB=1
VC=1
VW=0
FAN=1

ENDIF
ELSEIF (RHC.GT.75) THEN
!Função: Posição Forçada 2
IF (HDAY.GT.7..AND.HDAY.LT.23) THEN
!DIA
GSL=1
GQ1=0.5
GQ2=0.5
GQ3=0.5
GQ4=0.5
VK=0
VB=0
VC=1
VW=0
FAN=1

ELSE
!NOITE
GSL=0.5
GQ1=1
GQ2=1
GQ3=1
GQ4=1
VK=0
VB=0
VC=1
VW=0
FAN=1

ENDIF
ELSE
!Função: Posição Normal
IF (HDAY.GT.7..AND.HDAY.LT.23) THEN
!DIA
GSL=1
GQ1=0.5
GQ2=0.5
GQ3=0.5
```

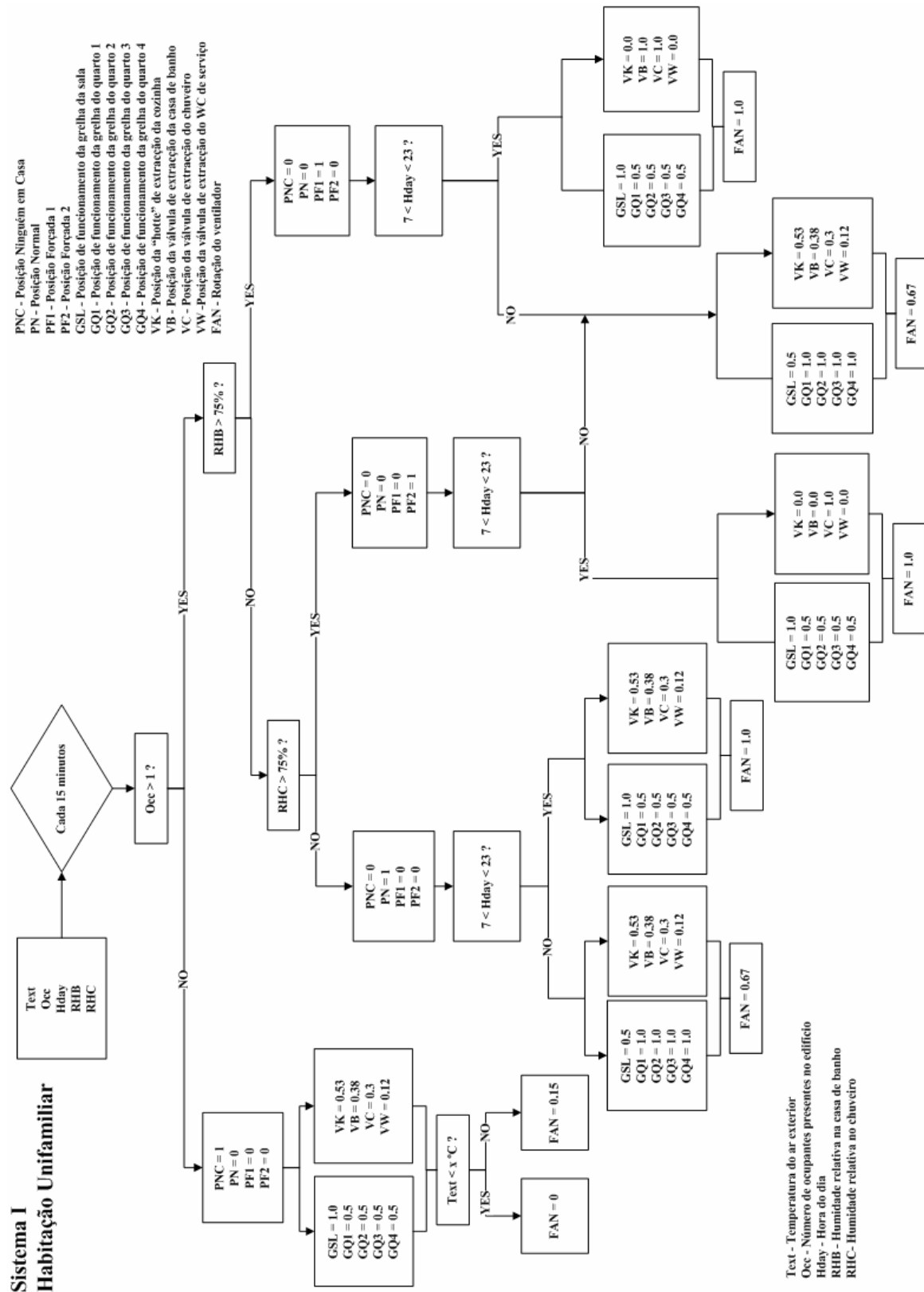
```

                                GQ4=0.5
                                VK=0.53
                                VB=0.38
                                VC=0.33
                                VW=0.12
                                FAN=1.0
ELSE
    !NOITE
                                GSL=0.5
                                GQ1=1
                                GQ2=1
                                GQ3=1
                                GQ4=1
                                VK=0.53
                                VB=0.38
                                VC=0.33
                                VW=0.12
                                FAN=0.67
ENDIF
ENDIF
ENDIF

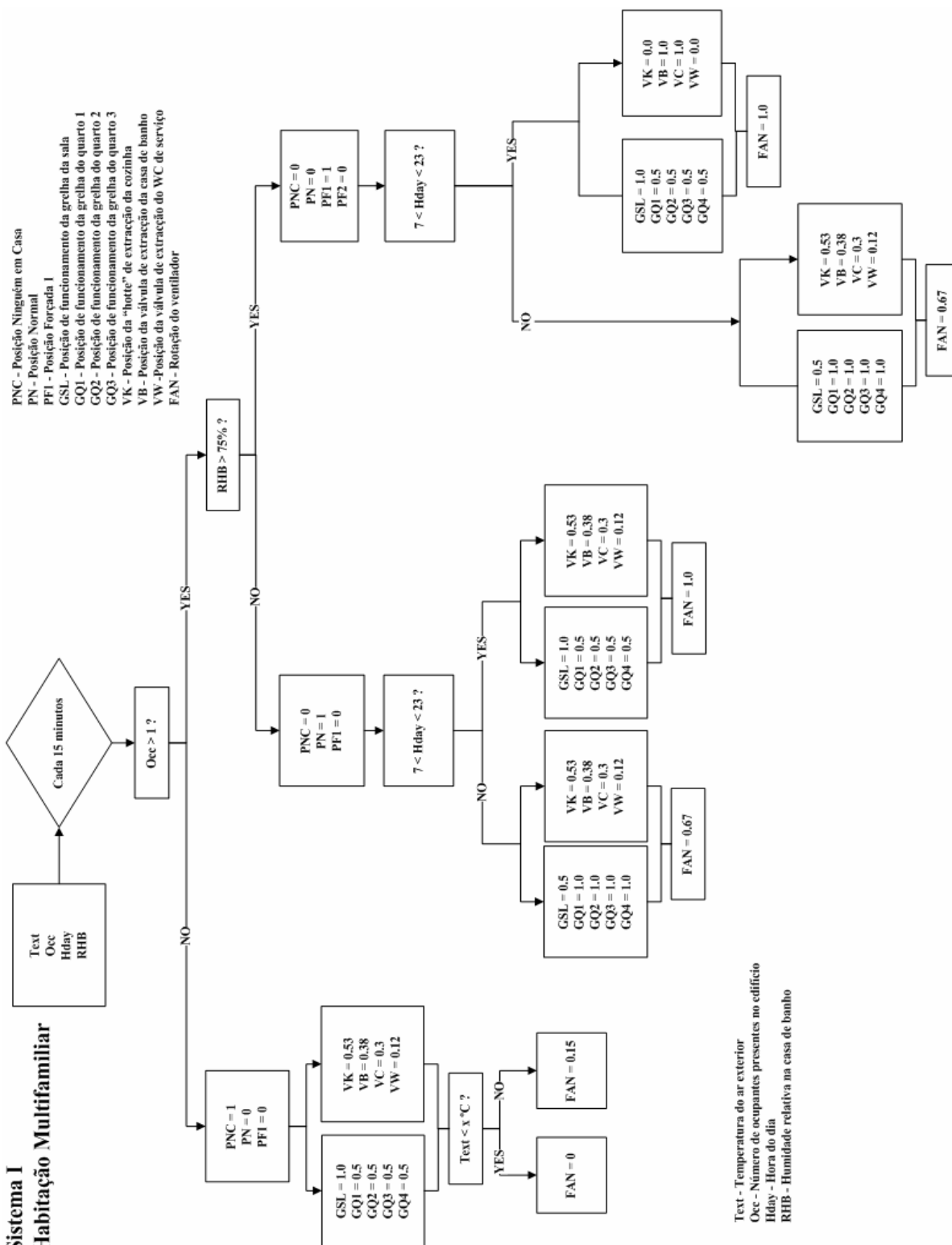
                                IF (TEXT.LT.TNVENT.AND.OCC.LT.1) THEN
                                    FAN=0
                                ENDIF
                                ENDIF

1000    OUT(1)=GSL
        OUT(2)=GQ1
        OUT(3)=GQ2
        OUT(4)=GQ3
        OUT(5)=GQ4
        OUT(6)=VK
        OUT(7)=VB
        OUT(8)=VC
        OUT(9)=VW
        OUT(10)=FAN
        OUT(11)=Ctime
        OUT(12)=HDAY

RETURN 1
END
```



Sistema I Habitação Multifamiliar



Anexo IV – Sistema II

Type 201 – Subrotina de controlo do Sistema II

C*****

SUBROUTINE			
TYPE201(TIME,XIN,OUT,T,DTDT,PAR,INFO,ICNTRL,*)	c	1	Typctr
C Algoritmo de controlo para Sistema II (estratégia a, b e c)			
C Vivenda com extracção mecânica e insuflação natural	c	2	frat(1) – Living
C Este algoritmo diz respeito a três estratégias de controlo distintas, baseadas com a presença de ocupantes e concentração de CO2	c	3	frat(2) - Bed1
C Desenvolvido por: Fevereiro 2005 - Petra Vaquero			
C*****	c	4	frat(3) - Bed2

c Variáveis (unidades: Caudal - l/s; Tempo - s)	c	5	frat(4) - Bed3
c acexhf: Caudal de ar devido às condições naturais			
c BAT,KIT,CHV: Parâmetro de inicialização ou término da função manual	c	6	frat(5) - Bed4
c CO2: Concentração de CO2 na conduta principal de extracção	c	7	Exhflw
c CO2i: Concentração de CO2 nas diferentes zonas	c		Xin
c COat: Concentração de CO2 nas diferentes zonas em cada passo de tempo	c	1	Bat
c Ctime: Tempo parcial(para o controlo automático)			
c CtmeM?: Tempo parcial (para o controlo manual)	c	2	Kit
(K:cozinha; B:casa de banho; C:chuveiro)			
c Cvent: Parâmetro do ventilador	c	3	acexhf
c In: ocupação das zonas, soma total do nº de pessoas presentes em cada 1/4 hora	c	4	IN(1)
c Fan: Estado do ventilador (ON: Fan=1; OFF: Fan=0)			
c flwrte: Caudal total a resultar da posição das grelhas de insuflação	c	5	IN(2)
c frate: Capacidade instalada de insuflação	c	6	IN(3)
c Exhflw: Capacidade instalada de extracção			
c Exhoff: Caudal de ar ao qual o ventilador desliga	c	7	IN(4)
c Exv??? : Posição das válvulas de extracção			
c Hour: Nº de 1/4 de hora de uma hora em que as grelhas vão estar abertas	c	8	IN(5)
c Manual: Modo de funcionamento do sistema (Manual mode: Manual=1; Automatic mode:Manual=0)	c	9	CO2
c Mfair: Caudal mínimo de ar novo por pessoa	c	10	CO2i(1)
c MinPst: Parâmetro para a determinação da ordem de abertura das grelhas	c	11	CO2i(2)
c Tstep: Passo de Tempo (timestep)			
c Psti: Posição das grelhas	c	12	CO2i(3)
c Typctr: 0: Estratégia a			
c 1: Estratégia b	c	13	CO2i(4)
c 2: Estratégia c			
c Parameters	c	14	CO2i(5)
	c	15	Chv
	c		Out

c	1	Cvent	19	flwrte	IN(1)=Xin(4)
					IN(2)=Xin(5)
c	2	Exvkit	20	Hour	IN(3)=Xin(6)
					IN(4)=Xin(7)
c	3	Exvbat	21	Nqi(1)	IN(5)=Xin(8)
					CO2=Xin(9)
c	4	Exvwc	22	Nqi(2)	CO2i(1)=Xin(10)
					CO2i(2)=Xin(11)
c	5	Psti(1)	23	Nqi(3)	CO2i(3)=Xin(12)
					CO2i(4)=Xin(13)
c	6	Psti(2)	24	Nqi(4)	CO2i(5)=Xin(14)
					CHV=Xin(15)
c	7	Psti(3)	25	Nqi(5)	tstep=0.0625
					c-----
c	8	Psti(4)	26	CO2	*A1-----o
c	9	Psti(5)	27	CO2at(1)	If (((BAT+KIT+CHV).GT.0).and.manual.eq.0) then
c	10	Psti(6)	28	CO2at(2)	manual=1
c	11	Ctime	29	CO2at(3)	Exvwc=0.
c	12	Bat	30	CO2at(4)	Elseif (((BAT+KIT+CHV).eq.0.and.manual.eq.1) then
c	13	Kit	31	CO2at(5)	manual=0
c	14	acexhf	32	IN(1)	CtmeMK=0.
c	15	manual	33	IN(2)	CtmeMB=0.
c	16	CtmeMK	34	IN(3)	CtmeMC=0.
c	17	CtmeMB	35	IN(4)	Exvkit=1.
c	18	fan	36	IN(5)	Exvbat=1.
c			37	Counter	Exvwc=1.
c			38	Exvchv	Exvchv=1.
c			39	CtmeMC	fan=0.
c			40	Mfair	*A1.1-----o
	Common /Inputs/BAT,KIT,CHV,IN				c Redefine a posição das grelhas quando não existe intervenção
	Common /Grilles/Mfair,Prm(6),Psti(6),frat(5),NQi,IntP				manual
	Common /Par/ fan,manual,Ctime,cvent,hour,flwrte,tstep				Select case (Typctr)
	common /CCO2/CO2,CO2i(5),CO2at(5)				Case (0,1)
	Dimension Xin(50), Par(7), Out(40),INFO(15)				Call AutPst !Posição automática
	Doubleprecision Xin,Out				das relhas (estratégias a e b)
	Real				Case(2)
	IntP(5),BAT1,BAT2,CHV1,CHV2,Mfair,NQi(5),IN(5),T,DTDT,Par,hour				Do q=1,5
	Integer manual,kit,bat,chv,Typctr,Info,Icntrl				Psti(q)=0.
					CO2at(q)=0.
c					If (q.eq.1) then
	INFO(6)=40				Psti(6)=0.
	INFO(9)=2				Endif
	CALL TYPECK(1,INFO,15,7,0)				Enddo
c	Definir o tipo de controlo				End select
	Typctr=Par(1)				*A1.1-----
c					
c	Capacidade instalada de insuflação: 0.9 (l/s/m2) at 1 Pa				flwrte=(Psti(1)+Psti(6))*frat(1)+Psti(2)*frat(2)+Psti(3)*frat(
	frat(1)=Par(2) !Sala				3)+Psti(4)*frat(4)+Psti(5)*frat(5)
	frat(2)=Par(3) !Quarto 1				Endif
	frat(3)=Par(4) !Quarto 2				*A1-----
	frat(4)=Par(5) !Quarto 3				counter=counter+1 !Inicialização
	frat(5)=Par(6) !Quarto 4				if (counter.eq.3) then
c	Capacidade instalada de extracção				ctime=-0.0625
	Exhflw=Par(7)				endif
c	Válvula de extracção da Cozinha				
	BAT=Xin(1)				if (counter.eq.1) then
	KIT=Xin(2)				Exvkit=1.
	acexhf=Xin(3)				Exvbat=1.

```

Exvwc=1.
Exvchv=1.
endif

Ctime=Ctime+tstep
ICO2=int(CO2)
*B1-----
If(Time.Gt.0.95.and.Time.Lt.1.1.or.Ctime.GE.0.25) then
**B1.1-----
Define_type_of_control: Selectcase (Typctr)
Case(0,1)
***B1.1.1-----
De-
fine_time_or_1sensor_control:Selectcase(Typctr)
Case (0)
Mfair=7.
Case (1)
Define_freshair_level: Select case
(ICO2)
Case (:400)
Mfair=4.
Case (401:500)
Mfair=5.
Case (501:600)
Mfair=6.
Case (601:800)
Mfair=7.
Case (801:900)
Mfair=8.
Case (901:1000)
Mfair=9.
Case (1001:1100)
Mfair=10.
Case (1101:1200)
Mfair=11.
Case (1201:1300)
Mfair=12.
Case (1301:1400)
Mfair=13.
Case (1401:)
Mfair=14.
End select Define_freshair_level
End select Define_time_or_1sensor_control
***B1.1.1-----
***B1.1.2-----
If (manual.eq.0) then
Do k=1,5
If (NQi(k).eq.0.) then
Psti(k)=0.
If (k.eq.1) then
Psti(6)=0.
Endif
Endif
Endif
Enddo
Endif

Exvwc=1.
Exvchv=1.
endif

Ctime=Ctime+tstep
ICO2=int(CO2)
*B1-----
If(Time.Gt.0.95.and.Time.Lt.1.1.or.Ctime.GE.0.25) then
**B1.1-----
Define_type_of_control: Selectcase (Typctr)
Case(0,1)
***B1.1.1-----
De-
fine_time_or_1sensor_control:Selectcase(Typctr)
Case (0)
Mfair=7.
Case (1)
Define_freshair_level: Select case
(ICO2)
Case (:400)
Mfair=4.
Case (401:500)
Mfair=5.
Case (501:600)
Mfair=6.
Case (601:800)
Mfair=7.
Case (801:900)
Mfair=8.
Case (901:1000)
Mfair=9.
Case (1001:1100)
Mfair=10.
Case (1101:1200)
Mfair=11.
Case (1201:1300)
Mfair=12.
Case (1301:1400)
Mfair=13.
Case (1401:)
Mfair=14.
End select Define_freshair_level
End select Define_time_or_1sensor_control
***B1.1.1-----
***B1.1.2-----
If (manual.eq.0) then
Do k=1,5
If (NQi(k).eq.0.) then
Psti(k)=0.
If (k.eq.1) then
Psti(6)=0.
Endif
Endif
Endif
Enddo
Endif

***B1.1.2-----
***B1.1.3-----
If (Ctime.eq.0.25+tstep.or.Time.Gt.1.and.Time.Lt.1.1) then
If (acexhf.LT.flwrte)
fan=1.
Ex-
hoff=acexhf
Endif
Ctime=0.0625
Do m=1,5
If (NQi(m).gt.0.) then
Endif
Enddo
If (Hour.GT.0.) then
Hour=Hour-1.
endif
Goto 125
Endif
***B1.1.3-----
***B1.1.4-----
If (hour.eq.0.) then
c
Define a posição das grelhas de
insuflação
Call AutPst
****B1.1.4.1-----
c Define o número de quartos de hora em que as grelhas estão abertas
Do n=1,5
If
(Psti(n).eq.0.) then
IntP(n)=0.
Goto 100
Endif
If (n.eq.1)
then
If (IN(1)/4*Mfair.LT.18.) then
IntP(n)=IN(1)*Mfair/(Psti(1)*frat(1))
else
IntP(n)=(IN(1)/2)*Mfair/(Psti(1)*frat(1))
Endif
IntP(n)=IN(n)*Mfair/(Psti(n)*frat(n))
100
NQi(n)=Numqrt (IntP(n))
Enddo

```

***B1.1.4.1-----	Hour=4.	If (fan.eq.1.) then
Endif		Cvent= flwrte/Exhflw
***B1.1.4-----		else
**B1.1-----cont.		Cvent=0.
Case(2)		Endif
***B1.1.5-----		If (manual.eq.1) then
If (Ctime.eq.0.25+tstep .or. Time.Gt.1.and. Time.Lt.1.1) then		Call Mcontrol
If (acexhf.LT.flwrte) then		(BAT1,BAT2,CHV1,CHV2,Exhflw,Exvkit,Exvbat,
fan=1.		.Exvchv,CtmeMK,CtmeMB,CtmeMC,Typctr)
Exhoff=acexhf		Endif
Endif		c-----
Ctime=0.0625		c Definição dos outputs
Goto 122		200 Out(1)=cvent
Endif		Out(2)=Exvkit
***B1.1.5-----		Out(3)=Exvbat
***B1.1.6-----		Out(4)=Exvwc
Do p=1,5		Out(5)=Psti(1)
If (CO2i(p).GT.800.and.CO2i(p).GT.CO2at(p))		Out(6)=Psti(2)
then		Out(7)=Psti(3)
Psti(p)=Pinman(Psti(p))		Out(8)=Psti(4)
If (p.eq.1) then		Out(9)=Psti(5)
MinPst=min(Psti(1),Psti(6))		Out(10)=Psti(6)
If (Psti(1).eq.MinPst)		Out(11)=Ctime
then		Out(12)=BAT
Psti(1)=Pinman(Psti(1))		Out(13)=KIT
Else		Out(14)=acexhf
Psti(6)=Pinman(Psti(6))		Out(15)=manual
Endif		Out(16)=CtmeMK
Endif		Out(17)=CtmeMB
If (CO2i(p).LT.600.) then		Out(18)=fan
Psti(p)=0.		Out(19)=flwrte
If (p.eq.1) then		Out(20)=Hour
Psti(6)=0.		Out(21)=Nqi(1)
Endif		Out(22)=Nqi(2)
Endif		Out(23)=Nqi(3)
CO2at(p)=CO2i(p)		Out(24)=Nqi(4)
Enddo		Out(25)=Nqi(5)
***B1.1.6-----		Out(26)=CO2
122 Endselect Define_type_of_control		Out(27)=CO2at(1)
**B1.1-----		Out(28)=CO2at(2)
flwrte=(Psti(1)+Psti(6))*frat(1)+Psti(2)*frat(2)+Psti(3)*frat(		Out(29)=CO2at(3)
3)+Psti(4)*frat(4)+Psti(5)*frat(5)		Out(30)=CO2at(4)
Endif		Out(31)=CO2at(5)
*B1-----		Out(32)=IN(1)
125 If (flwrte.LT.10.) then		Out(33)=IN(2)
flwrte=10.		Out(34)=IN(3)
Endif		Out(35)=IN(4)
If (flwrte.LT.Exhoff .and. fan.eq.1.) then		Out(36)=IN(5)
fan=0.		Out(37)=counter
Exhoff=0.		Out(38)=Exvchv
Endif		Out(39)=CtmeMC
		Out(40)=Mfair
		Return 1
		End

		C Função que define a posição das grelhas em modo automático
		Function Position (Parameter_P)

```

Position=2.
If (parameter_P.eq.0.) then
    Position=0.
elseif (parameter_P.LE.0.7) then
    Position=0.7
elseif (parameter_P.LE.1.) then
    Position=1.
elseif (parameter_P.LT.1.5) then
    Position=1.5
Endif
End
*****
*****
C      Subroutine que define a posição das grelhas em modo auto-
mático

Subroutine AutPst
Common /Inputs/ BAT,KIT,In
Common /Grilles/ Mfair,Prm(6),Psti(6),frat(5),NQi,IntP
Real Mfair,In(5),NQi(5),IntP(5)
Do I=1,5
    Prm(i)=In(i)*Mfair/(4*frat(i))
    Psti(i)=Position(Prm(i))
    If (I.eq.1) then
        If (IN(1)/4*Mfair.LT.18.) then

Prm(1)=IN(1)*Mfair/(4.*frat(1))

Prm(6)=0.

        else

Prm(1)=(IN(1)/2)*Mfair/(4.*frat(1))

Prm(6)=Prm(1)

        endif
        Psti(1)=Position(Prm(1))
        Psti(6)=Position(Prm(6))
    Endif
Enddo
End
*****
*****
C      Subrotina para o controlo Manual
Subroutine Mcontrol
(BAT1,BAT2,CHV1,CHV2,Exhflw,Exvkit,Exvbat,
.Exvchv,CtmeMK,CtmeMB,CtmeMC,Typctr)
Common /Inputs/ BAT,KIT,CHV,IN
Common /Grilles/Mfair,Prm(6),Psti(6),frat(5),NQi,IntP
Common /Par/ fan>manual,Ctime,cvent,hour,flwrte,tstep
Real BAT1,BAT2,CHV1,CHV2,IN(5),NQi(5),IntP(5)
Integer manual,kit,bat,chv,Typctr
Exvbat=1.
Exvkit=1.
Exvchv=1.
If (Bat.GT.0) then
    CtmeMB=CtmeMB+tstep
Endif
If (Kit.GT.0) then
    CtmeMK=CtmeMK+tstep
Endif

If (Chv.GT.0) then
    CtmeMC=CtmeMC+tstep
Endif
If (Bat.GT.0.and.CtmeMB.LT.0.5.and.Chv.EQ.0) then
    BAT1=1.
    BAT2=0.
    CHV1=0.
    CHV2=0.
    Exvkit=0.35
    Exvchv=0.
    Exvbat=0.46
    elseif
(Bat.GT.0.and.CtmeMB.LT.0.5.and.Chv.GT.0.and.CtmeMC.LT.0.5) then
    BAT1=1.
    BAT2=0.
    CHV1=1.
    CHV2=0.
    Exvkit=0.225
    Exvchv=0.30
    Exvbat=0.32
    elseif
(Bat.eq.0.and.Chv.GT.0.and.CtmeMC.LT.0.5) then
    BAT1=0.
    BAT2=0.
    CHV1=1.
    CHV2=0.
    Exvkit=0.43
    Exvchv=0.5
    Exvbat=0.
    elseif (Bat.eq.0.and.Chv.GT.0.and.CtmeMC.GE.0.5) then
    BAT1=0.
    BAT2=0.
    CHV1=0.
    CHV2=1.
    Exvkit=0.64
    Exvchv=0.47
    Exvbat=0.
    elseif
(Bat.GT.0.and.CtmeMB.GE.0.5.and.Chv.GT.0.and.CtmeMC.GE.0.5) then
    BAT1=0.
    BAT2=1.
    CHV1=0.
    CHV2=1.
    Exvkit=0.26
    Exvchv=0.25
    Exvbat=0.26
    elseif
(Bat.GT.0.and.CtmeMB.GE.0.5.and.Chv.EQ.0) then
    BAT1=0.
    BAT2=1.
    CHV1=0.
    CHV2=0.
    Exvkit=0.27
    Exvchv=0.
    Exvbat=0.27
    elseif
(Bat.GT.0.and.CtmeMB.GE.0.5.and.Chv.GT.0.and.CtmeMC.LT.0.5) then
    BAT1=0.

```

```

        BAT2=1.
    CHV1=1.
        CHV2=0.
        Exvkit=0.175
    Exvchv=0.24
    Exvbat=0.183
        elseif
    (Bat.GT.0.and.CtmeMB.LT.0.5.and.Chv.GT.0.and.CtmeMC.GE.0.5) then
        BAT1=1.
        BAT2=0.
    CHV1=0.
        CHV2=1.
        Exvkit=0.26
    Exvchv=0.24
    Exvbat=0.35
        elseif (Bat.eq.0) then
        BAT1=0.
        BAT2=0.
        Exvbat=0.
        CtmeMB=0.
    elseif (Chv.eq.0) then
        CHV1=0.
        CHV2=0.
        Exvchv=0.
        CtmeMC=0.
    endif
    If (Kit.eq.0) then
        Exvkit=0.
        CtmeMK=0.
    Endif
    If (Chv.eq.0) then
        CHV1=0.
        CHV2=0.
        Exvchv=0.
        CtmeMC=0.
    Endif
    flwrte=56.*(KIT+BAT1+CHV1)+42.*(BAT2+CHV2)
    cvent=flwrte/Exhflw
        Select case (Typctr)
        Case (0,1)
            Call AutPst
        Case (2)
            End select
        Call adjman(flwrte) !Ajuste das grelhas em
modo Manual
        If (CtmeMK.eq.1.0625) then
            CtmeMK=0.
        Endif
        If (CtmeMB.eq.1.0625) then
            CtmeMB=0.
        Endif
        If (CtmeMC.eq.1.0625) then
            CtmeMC=0.
        Endif
    End
    *****
    *****
C        Subrotina para o ajuste das grelhas em modo Manual

```

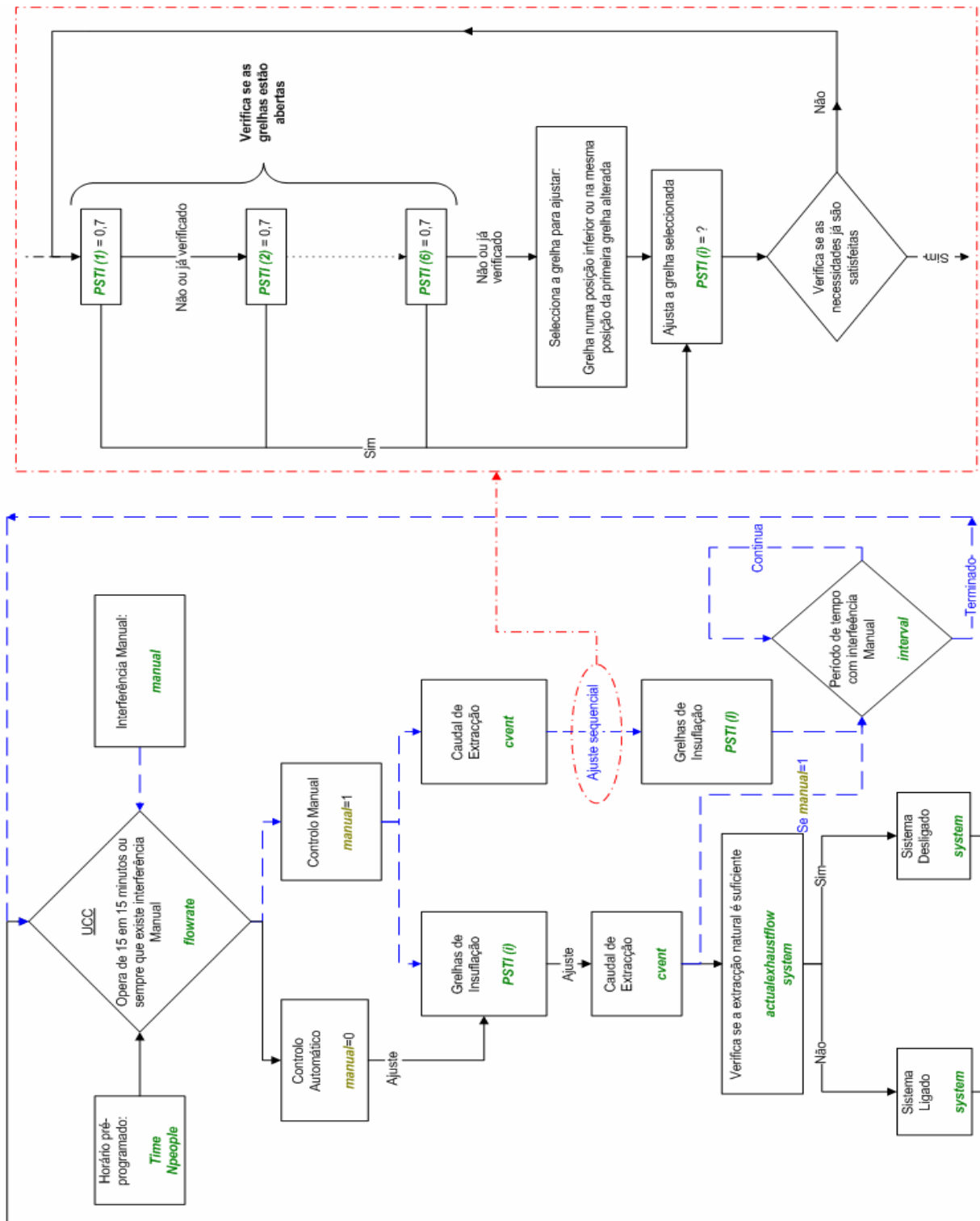
```

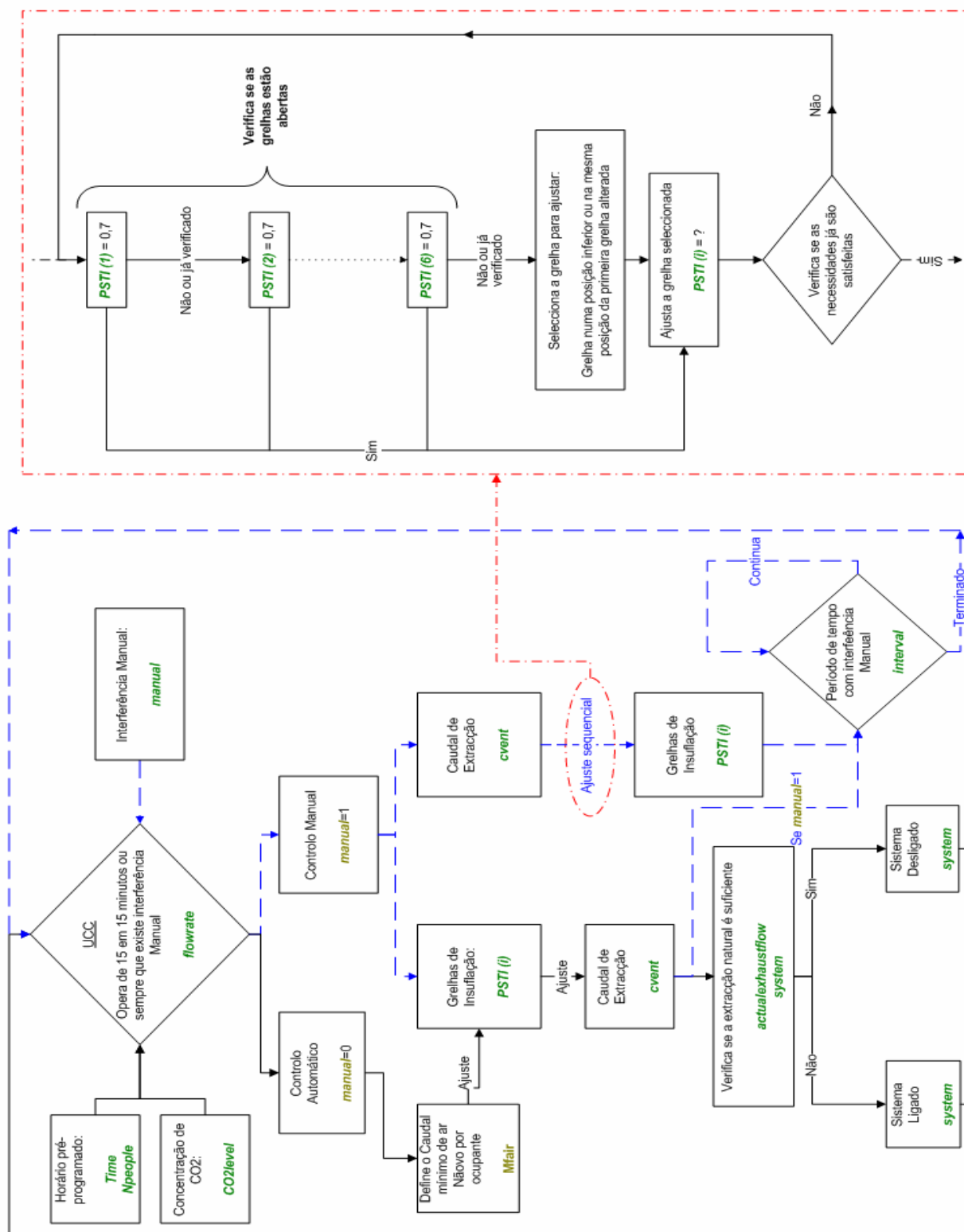
Subroutine adjman(flwrte)
Common /Grilles/Mfair,Prm(6),Psti(6),frat(5),NQI,IntP
real Nflwrt,MinPst,minturn,Mfair,NQi(5),IntP(5)
Dimension Turni(6),TurniM(6)
Turn=1.
Do j=1,6
        Turni(j)=0.
Enddo
Nflwrt=0.
Nflwrt=(Psti(1)+Psti(6))*frat(1)+Psti(2)*frat(2)+Psti(3)*frat(
3)+Psti(4)*frat(4)+Psti(5)*frat(5)
Do while (Nflwrt.LT.flwrte)
Do i=1,6
        If (Psti(i).eq.0.7.and.Turni(i).eq.0) then
            Psti(i)=Pinman(Psti(i))
            Turni(i)=Turn
            Turn=turn+1.
            goto 600
        Endif
Enddo
MinPst=Min(Psti(1),Psti(2),Psti(3),Psti(4),Psti(5),Psti(6))
Do m=1,6
        TurniM(m)=1000.
Enddo
Do n=1,6
        If (Psti(n).eq.MinPst) then
            TurniM(n)=Turni(n)
        Endif
Enddo
Min-
turn=Min(TurniM(1),TurniM(2),TurniM(3),TurniM(4),TurniM(5),Turni
M(6))
Do l=1,6
        If (Psti(l).eq.MinPst.and.Turni(l).eq.minturn)
then
            Psti(l)=Pinman(Psti(l))
            Turni(l)=Turn
            Turn=turn+1.
            goto 600
        Endif
Enddo
600
Nflwrt=(Psti(1)+Psti(6))*frat(1)+Psti(2)*frat(2)+Psti(3)*frat(
3)+Psti(4)*frat(4)+Psti(5)*frat(5)
Enddo
End
*****
*****
Function Pinman(Position)
If (position.eq.0) then
    Pinman=0.7
elseif (position.eq.0.7) then
    Pinman=1.
elseif (position.GE.1. .and. position .NE. 2.) then
    Pinman=Position+0.5
else
    Pinman=2.
endif

```

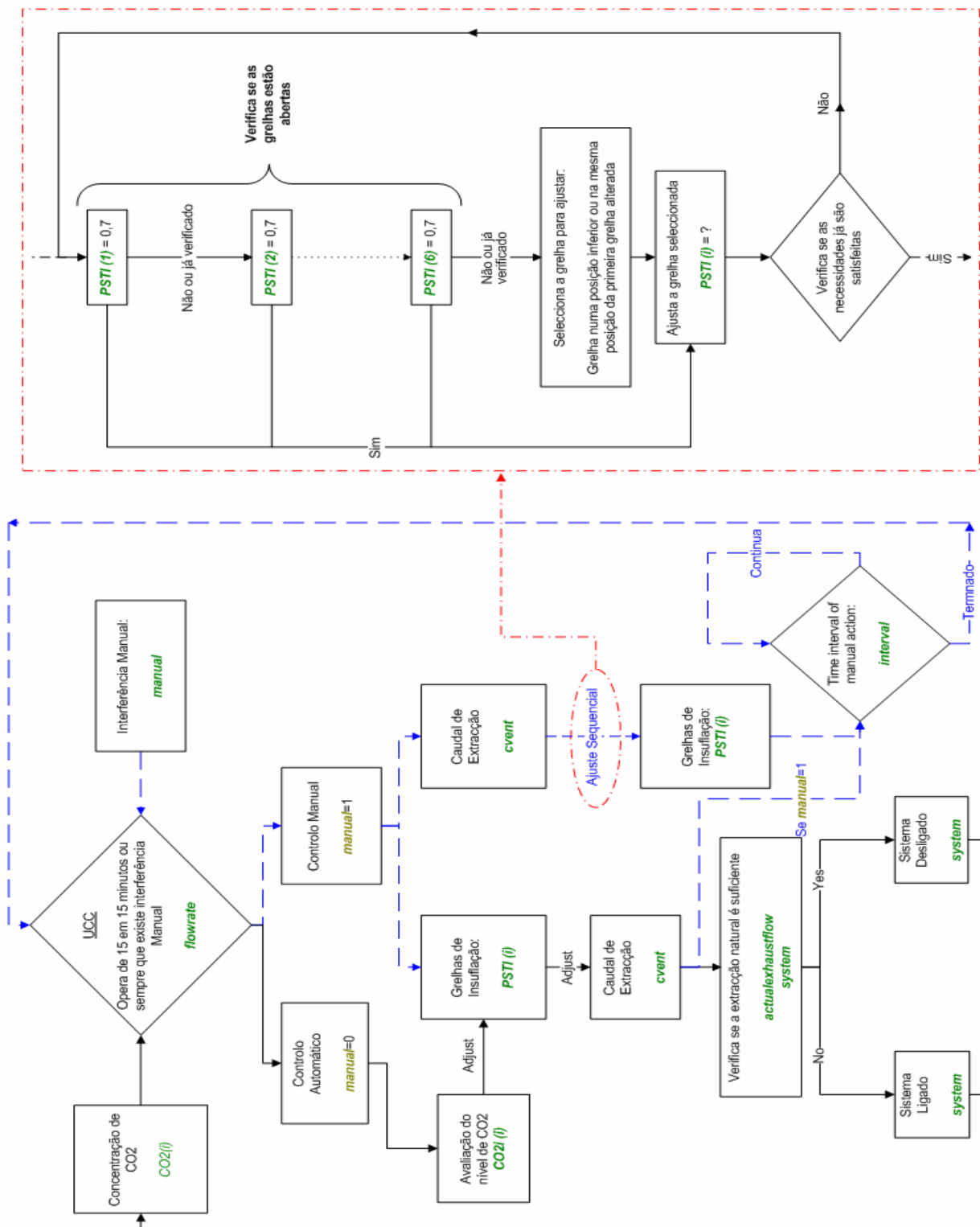
```
end function
*****
*****
c  Função que define o nº de 1/4 horas em que as grelhas estão abertas
  Function Numqrt (parameter_H)
    Numqrt=4
    If (parameter_H.eq.0.) then
      Numqrt=0
    elseif (parameter_H.LE.1.) then
      Numqrt=1
    elseif (parameter_H.LE.2.) then
      Numqrt=2
    elseif (parameter_H.LT.3.) then
      Numqrt=3
    Endif
  End
```

Estratégia de controlo a:



Estratégia de controlo **b**:

Estratégia de controlo c:



Anexo V – Sistema III

Type 202 – Subrotina de controlo do Sistema III

C*****

**			C	7	RHS	Shower
	SUBROUTINE					
	TYPE202(TIME,XIN,OUT,T,DTDT,PAR,INFO,ICNTRL,*)					
C		Algoritmo de controlo para o sistema de ventilação III	C	8	RHB	Bath
C		Vivenda com extracção mecânica e insuflação natural	C	9	RHK	Kitchen
C		Desenvolvido por: Petra Vaquero				
C		Maio 2006	C	10	Manual(1)	Bed 1
	C*****					
**			C	11	Manual(2)	Bed 2
C		Ctime: Partial time (automatic only operates every 10 min)				
C		Ctimepr: parcial time for presence parameters	C	12	Manual(3)	Bed 3
C		CtimeM: parcial time for griles manual control				
C		Cvnt0, Cvnt1, Cvnt4, Cvnt16: Parameter for fan control	C	13	Manual(4)	Bed 4
C		DeltaP: Calculated potential extracting depression				
C		DeltaPin: Potential indoor depression	C	14	Manual(5)	Toilet
C		Ductloss: Estimated pressure loss in ducts				
C		Manual: input signal for griles manual override (0:automatic mode; 1:Minimum; 2:Maximum)	C	15	Not used	
C		Pmov: Number of movements	C	16	Manual(7)	Shower
C		Powfan: Fan power				
C		PR(i): Presence detectors in bedrooms and toilet	C	17	Manual(8)	Bath
C		Qmax(i): Maximum airflow				
C		Qmin: Minimum airflow (10 m3/h)	C	18	Manual(9)	Kitchen
C		Qmin1: Minimum airflow (7 m3/h)				
C		QQmax: Maximum airflow when fan can't extract target airflow	C	19	Manual(10)	Liv 1
C		Qtarg(i): Targeted airflow	C	20	Manual(11)	Liv 2
C		Qtargl(i): Targeted airflow for Living griles				
C		QtargT: Max from total airflows	C	21	Manual(12)	Liv 3
C		QTinlet: Total calculated inlet airflow				
C		QTexh: Total calculated exhaust airflow	C	22	Tavout	Average out
C		RHB,RHS,RHK: Relative Humidity in Bathroom, shower and kitchen	C	23	Tin	Interior
C		S (i): Parameters for griles control				
C		Sl (i): Parameters for Living griles control	C	24	Tout	Out
C		Tavout:outside temperature average				
C		Tin: Temperature before fan	C	OUTPUTS		
C		Tout: Temperature after fan				
C		INPUTS	C	1	Powfan	
C	1	PR(1)	Bed 1	C	2	S(1)
C	2	PR(2)	Bed 2	C	3	S(2)
C	3	PR(3)	Bed 3	C	4	S(3)
C	4	PR(4)	Bed 4	C	5	S(4)
C	5	PR(5)	Toilet	C	6	S(5)
C	6	PMOV	Living	C	7	S(7)

C	8	S(8)		ENDIF
C	9	S(9)		ENDDO
C	10	SL(1)		IF (Xin(10).GT.50 .AND. Xin(1).GT.0) THEN
C	11	SL(2)		Manual(1)=1.
C	12	SL(3)		ENDIF
C	13	Cvnt0		DO rr=10,12
C	14	Cvnt1		IF (Xin(rr+9).GT.110.AND. Xin(6).GT.0)
C	15	Cvnt4	THEN	
C	16	Cvnt16		Manual(rr)=1.
C				ENDIF
	COMMON /LUNITS/	LUR,LUW,IFORM,LUK		ENDDO
	COMMON /SIM/TIME0,	TFINAL,DELT,IWARN		DO ss=1,12
	DIMENSION			IF (Manual(ss).NE.0) THEN
	XIN(25),Par(0),Out(30),Qmax(9),PR(5),Qtarg(9),			CtimeM(ss)=CtimeM(ss)+DELT
	.Qtargl(3),S(9),Sl(3),Ctimepr(5),Manual(12),CtimeM(12),INFO(15)			
	DOUBLEPRECISION Xin,Out,ductloss			ENDIF
	REAL T,DTDT,Par,VAR1			IF (CtimeM(ss).GE.4) THEN
	INTEGER Info,Icntrl,pmov,Powfan			Manual(ss)=0
	INFO(6)=30			CtimeM(ss)=-DELT
	INFO(9)=2			ENDIF
	CALL TYPECK(1,INFO,24,0,0)			ENDDO
C	Caudais alvo de cada zona		C	Mantém o sinal de presença durante 20 minutos
	Qmax(1)=40. !Quarto 1			DO t=1,5
	Qmax(2)=20. !Quarto 2			IF (PR(t).GE.1) THEN
	Qmax(3)=20. !Quarto 3			Ctimepr(t)=Ctimepr(t)+DELT
	Qmax(4)=20. !Quarto 4			ELSE
	Qmax(5)=25. !WCS			PR(t)=XIN(t)
	Qmax(6)=100. !Sala			
	Qmax(7)=70. !Chuveiro			ENDIF
	Qmax(8)=70. !CBAnho			IF (Ctimepr(t).GE.0.375) THEN
	Qmax(9)=70. !Cozinha			PR(t)=XIN(t)
	QQmax=1000			Ctimepr(t)=-DELT
	Qmin=10.			ENDIF
	Qmin1=7.			ENDDO
	IF (INFO(8).LT.2) THEN		C-----	
	Cvnt0=1.			Pmov=XIN(6)
	Cvnt1=0.			RHS=XIN(7)
	Cvnt4=0.			RHB=XIN(8)
	Cvnt16=0.			RHK=XIN(9)
	S(7)=1.			Tavout=XIN(22)
				Tin=XIN(23)
				Tout=XIN(24)
				Ctime=Ctime+DELT
	ENDIF			
	IF (INFO(8).EQ.3) THEN			
	ctimepr=-DELT			*A1-----OO
				IF (Ctime.GE.0.1875) THEN
				Ctime=0.
				Cvnt0=0.
				Cvnt1=0.
				Cvnt4=0.
				Cvnt16=0.
	ENDDO			
	ENDIF		C	Condições exteriores
				IF (Tavout.GE.20.) THEN
				IF (Tout.GE.18.) THEN
				IF ((Tin-
C	Fecha as grelhas se o caudal de insuflação for superior a X			Tout.GE.2..AND.Powfan.LT.16).OR.(Tin-Tout.GE.1.
m3/h e for detectada presença no espaço				.AND.Powfan.EQ.16)) THEN
DO r=2,4				
IF (Xin(r+9).GT.30 .AND. Xin(r).GT.0) THEN				!Free cooling
Manual(r)=1.				Powfan=16

	Cvnt16=1.	RHS.LT.39.) THEN	
	DO ll=1,9		Qtarg(7)=10.
			ELSEIF (RHS.GE.39. .and.
Qtarg(ll)=QQmax		RHS.LT.48.) THEN	
	ENDDO		Qtarg(7)=20.
			ELSEIF (RHS.GE.48. .and.
Qtargl(1)=10*NINT(0.5+Qtarg(6)/30)		RHS.LT.58.) THEN	
			Qtarg(7)=30.
Qtargl(2)=10*INT(0.5+(Qtarg(6)-Qtargl(1))/20)			ELSEIF (RHS.GE.58. .and.
	Qtargl(3)=Qtarg(6)-	RHS.LT.67.) THEN	
Qtargl(1)-Qtargl(2)			Qtarg(7)=40.
	GOTO 150		ELSEIF (RHS.GE.67. .and.
	ENDIF	RHS.LT.76.) THEN	
	ENDIF		Qtarg(7)=50.
ENDIF			ELSEIF (RHS.GE.76. .and.
IF (Tout.LT.-5.) THEN		RHS.LT.85.) THEN	
	Powfan=0		Qtarg(7)=60.
	Cvnt0=1.		ELSEIF (RHS.GE.85. .and.
ELSEIF (Tout.LT.10.) THEN		RHS.<=100.) THEN	
	Powfan=1		Qtarg(7)=70.
	Cvnt1=1.	ENDIF	
ELSE		C	Caudal de extracção na casa de banho
	Powfan=4		IF (RHB.GE.0..and. RHB.LT.29.) THEN
	Cvnt4=1.		Qtarg(8)=7.
ENDIF			ELSEIF (RHB.GE.29. .and.
C	AVALIA AS NECESSIDADES	RHB.LT.39.) THEN	
C	Quartos e WCS		Qtarg(8)=10.
	DO l=1,5		ELSEIF (RHB.GE.39. .and.
	IF (PR(l).GE.1.) THEN	RHB.LT.48.) THEN	
			Qtarg(8)=20.
	Qtarg(l)=Qmax(l)		ELSEIF (RHB.GE.48. .and.
	ELSE		
	Qtarg(l)=Qmin	RHB.LT.58.) THEN	
	ENDIF		Qtarg(8)=30.
	ENDDO		ELSEIF (RHB.GE.58. .and.
c	Sala	RHB.LT.67.) THEN	
c	Necessidades de insuflação na sala - até 5 ocupantes		Qtarg(8)=40.
	IF (pmov.GE.0 .and. pmov.LT.1) THEN		ELSEIF (RHB.GE.67. .and.
			Qtarg(8)=50.
	Qtarg(6)=10.	RHB.LT.76.) THEN	
	ELSEIF (pmov.GE.1 .and.		ELSEIF (RHB.GE.76. .and.
pmov.LT.15) THEN			Qtarg(8)=60.
	Qtarg(6)=20.	RHB.LT.85.) THEN	
	ELSEIF (pmov.GE.15 .and.		ELSEIF (RHB.GE.85. .and.
pmov.LT.30) THEN			Qtarg(8)=70.
	Qtarg(6)=40.	RHB.<=100.) THEN	
	ELSEIF (pmov.GE.30 .and.		
pmov.LT.45) THEN		ENDIF	
	Qtarg(6)=60.	C	Caudal de extracção na cozinha
	ELSEIF (pmov.GE.45.and.		IF (RHK.GE.0. .and. RHK.LT.29.) THEN
pmov.LT.60) THEN			Qtarg(9)=7.
	Qtarg(6)=80.		ELSEIF (RHK.GE.29. .and.
	ELSEIF (pmov.GE.60) THEN	RHK.LT.39.) THEN	
	Qtarg(6)=100.		Qtarg(9)=10.
	ENDIF		ELSEIF (RHK.GE.39. .and.
C	Chuveiro, casa de banho e cozinha	RHK.LT.48.) THEN	
C	Caudal de extracção no chuveiro		Qtarg(9)=20.
	IF (RHS.GE.0. .and. RHS.LT.29.) THEN		ELSEIF (RHK.GE.48. .and.
			Qtarg(7)=7.
	Qtarg(7)=7.	RHK.LT.58.) THEN	
	ELSEIF (RHS.GE.29. .and.		Qtarg(9)=30.

```

ELSEIF (RHK.GE.58. .and.
RHK.LT.67.) THEN
    Qtarg(9)=40.
ELSEIF (RHK.GE.67. .and.
RHK.LT.76.) THEN
    Qtarg(9)=50.
ELSEIF (RHK.GE.76. .and.
RHK.LT.85.) THEN
    Qtarg(9)=60.
ELSEIF (RHK.GE.85. .and.
RHK.<=100.) THEN
    Qtarg(9)=70.
ENDIF
QTinlet=Qtarg(1)+Qtarg(2)+Qtarg(3)+Qtarg(4)+Qtarg(6)
QTexh=Qtarg(5)+Qtarg(7)+Qtarg(8)+Qtarg(9)
QtargT=MAX(QTinlet,QTexh)
**A1.1-----OO

C      Potencial de depressão para extracção
SELECTCASE (Powfan)
CASE (0)
    DeltaP=6*9.8*1.21*(273./(273+Tout)-
273./(273+Tin))
CASE (1)
    IF (QtargT.Lt.100.) THEN
        DeltaP=8.52e-5*QtargT**2-2.6e-
4*QtargT-3.3
    ELSE
        DeltaP=3.816667e-8*QtargT**3-
5.03e-5*QtargT**2+2.204833e-2
        *QtargT-4.214
    ENDIF
CASE (4)
    DeltaP=5.85199e-10*QtargT**4-5.62504e-
7*QtargT**3+1.76772e-4*QtargT**2-5.18626e-3*QtargT-7.9103
ENDSELECT
**A1.1-----XX
Ductloss=-9.8*QtargT**2)*((3*(100.**(-2)+120.**(-
2))**(-0.5))**(-2)+(5.*80.)*(-2))
**A1.2-----OO
IF (ABS(DeltaP).GE.ABS(Ductloss)) THEN
**A1.2.1-----OO
c      Potencial de depressão interior
IF ((DeltaP+9.8*(QtargT*4.34e-3)**2).GT.-3)
THEN
    DeltaPin=DeltaP+9.8*(QtargT*4.34e-3)**2
    Qtarg(9)=76.8*(ABS(DeltaP-
DeltaPin)*0.10204082)**(0.5)
    Qtarg(8)=Qtarg(9)
    Qtarg(5)=Qtarg(9)
    Qtarg(7)=Qtarg(9)
ELSE
    DeltaPin=-3
ENDIF
**A1.2.1-----XX
1111
QTinlet=Qtarg(1)+Qtarg(2)+Qtarg(3)+Qtarg(4)+Qtarg(6)
QTexh=Qtarg(5)+Qtarg(7)+Qtarg(8)+Qtarg(9)
**A1.2.2-----OO
C      A diferença entre as nec. de extracção e de insuflação é
superior a 5 m3/h?
IF (ABS(QTinlet-QTexh).GT.5) THEN
****A1.2.2.1-----OO
C      Balanço de caudais
IF (QTinlet.GT.QTexh) THEN
C      Ajuste das válvulas de extracção
jj=0
Qexit=(100.**(-2)+120.**(-2))**(-
0.5)*(ABS(DeltaP-DeltaPin)*0.10204082)**(0.5)
Qexit1=(93.75**(-2)+120.**(-
2))**(-0.5)*(ABS(DeltaP-DeltaPin)*0.10204082)**(0.5)
****A1.2.2.1.1-----OO
DO
    jj=jj+1
    IF (jj.GT.100) THEN
        GOTO
500
    ENDIF
*****A1.2.2.1.1.1-----OO
DO j=9,5,-1
    IF (j.EQ.6) THEN
        GOTO 50
    ENDIF
    IF (Qtarg(j).LT.Qexit1)
THEN
        Qtarg(j)=Qtarg(j)+(12.5**(-2)+120.**(-2))**(-
0.5)*(ABS(DeltaP-DeltaPin)*0.10204082)**(0.5)
    ELSE
        Qtarg(j)=Qexit
    ENDIF
50
    QTexh=Qtarg(5)+Qtarg(7)+Qtarg(8)+Qtarg(9)
    IF((QTinlet-
QTexh).LT.5.) THEN
        EXIT
    ENDIF
    ENDDO
*****A1.2.2.1.1.1-----XX
IF((QTinlet-QTexh).LT.5.) THEN
    EXIT
ENDIF
ENDIF
IF
(Qtarg(5).EQ.Qtarg(7).EQ.Qtarg(8).EQ.Qtarg(9).EQ.Qexit) THEN
    EXIT
ENDIF
ENDDO
****A1.2.2.1.1-----XX
ELSE
C      Ajuste das grelhas de insuflação

```

```

Qtargl(1)=10*NINT(0.5+Qtarg(6)/30)
Qtargl(2)=10*INT(0.5+(Qtarg(6)-
Qtargl(1))/20)
Qtargl(3)=Qtarg(6)-Qtargl(1)-
Qtargl(2)
i=0
Qexit=80*(ABS(DeltaPin)*0.10204082)**(0.5)
Qexit1=75*(ABS(DeltaPin)*0.10204082)**(0.5)
jjj=0
*****A1.2.2.1.2-----OO
DO
    jjj=jjj+1
    IF (jjj.GT.100) THEN
        GOTO
510
    ENDIF
    IF (i.LT.3) THEN
        i=i+1
    ELSE
        i=1
    ENDIF
    IF
        (Qtargl(i).LT.Qexit1)THEN
        Qtargl(i)=Qtargl(i)+10.*(ABS(DeltaPin)*0.10204082)
        *(0.5)
    ELSE
        Qtargl(i)=Qexit
    ENDIF

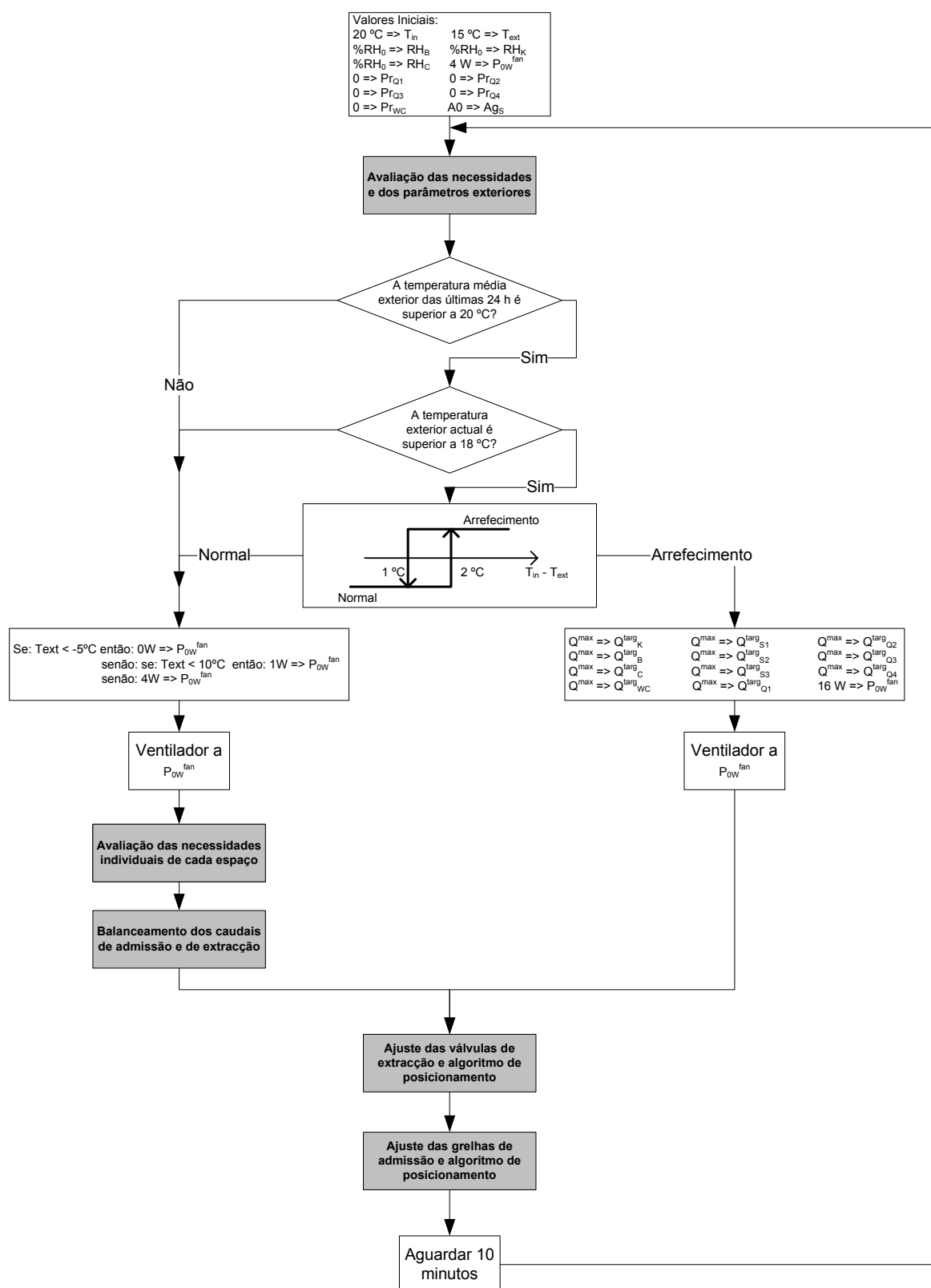
Qtarg(6)=Qtargl(1)+Qtargl(2)+Qtargl(3)
Qtinlet=Qtarg(1)+Qtarg(2)+Qtarg(3)+Qtarg(4)+Qtarg(6)
IF ((QTexh-
Qtinlet).LT.5.) THEN
    EXIT
ENDIF
*****A1.2.2.1.2.1-----OO
DO H=1,4
    IF
        (Qtarg(H).LT.Qexit1)THEN
        Qtarg(H)=Qtarg(H)+10*(ABS(DeltaPin)*0.10204082)
        *(0.5)
    ELSE
        Qtarg(H)=Qexit
    ENDIF
    Qtin-
let=Qtarg(1)+Qtarg(2)+Qtarg(3)+Qtarg(4)+Qtarg(6)
IF ((QTexh-
Qtinlet).LT.5.) THEN
    EXIT
ENDIF

ENDDO
*****A1.2.2.1.2.1-----XX
IF ((QTexh-
Qtinlet).LT.5.) THEN
    EXIT
ENDIF
IF
    (Qtarg(1).EQ.Qtarg(2).EQ.Qtarg(3).EQ.Qtarg(4).EQ.
    Qtargl(1).EQ.Qtargl(2).EQ.Qtargl(3).EQ.Qexit) THEN
    EXIT
ENDIF
ENDIF
ENDDO
*****A1.2.2.1.2-----XX
ENDIF
***A1.2.2.1-----XX
ENDIF
***A1.2.2-----XX
ELSE
    DO l=1,9
        Qtarg(l)=QQmax
    ENDDO
    Qtargl(1)=10*NINT(0.5+Qtarg(6)/30)
    Qtargl(2)=10*INT(0.5+(Qtarg(6)-Qtargl(1))/20)
    Qtargl(3)=Qtarg(6)-Qtargl(1)-Qtargl(2)
    ENDIF
**A1.2-----XX
C    Algoritmo de abertura das válvulas de extracção
150 DO k=9,5,-1
        IF (k.EQ.6) THEN
            GOTO 200
        ENDIF
        IF (Qtarg(k).EQ.QQmax)THEN
            S(k)=8.
        ELSE
            Part1=ABS(DeltaP-
            DeltaPin)/(9.8*Qtarg(k)**2)-120.**(-2)
            IF (Part1.LE.0) THEN
                S(k)=8.
            ELSE
                S(k)=MIN(8.,1+AINT((ABS(DeltaP-
                DeltaPin)/(9.8*Qtarg(k)**2)-120.**(-2))**(-0.5)/12.5))
            ENDIF
        ENDIF
200
    ENDDO
C    Algoritmo de abertura das válvulas de insuflação
C    Quartos
DO m=1,4
    IF (Qtarg(m).EQ.QQmax)THEN
        S(m)=8.
    ELSE
        S(m)=MIN(8.,1+(AINT((Qtarg(m)/(ABS(DeltaPin)*0.10204
        082)**(0.5))/10)))
    ENDIF

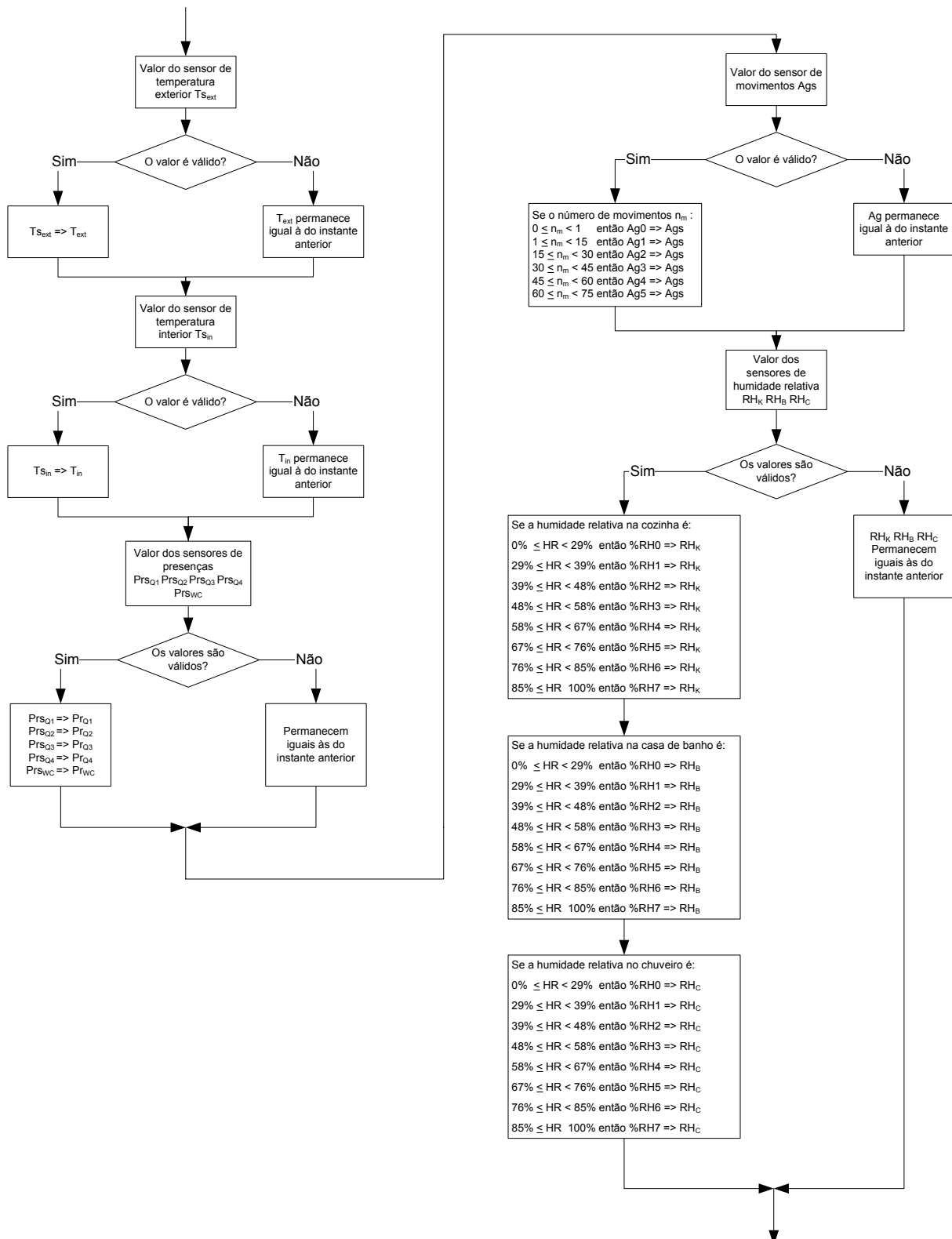
```

	ENDIF	ENDDO	
	ENDDO	*C1-----XX	
C	Sala	OUT(1)=Powfan	
	DO o=1,3	OUT(2)=S(1)	
	IF (Qtargl(o).GE.100.)THEN	OUT(3)=S(2)	
	SI(o)=8.	OUT(4)=S(3)	
	ELSE	OUT(5)=S(4)	
		OUT(6)=S(5)	
	SI(o)=MIN(8.,1+(AINT(((Qtargl(o)/(ABS(DeltaPin)*0.10204	OUT(7)=S(7)	
082)**(0.5)/10)))		OUT(8)=S(8)	
	ENDIF	OUT(9)=S(9)	
	ENDDO	OUT(10)=SI(1)	
	ENDIF	OUT(11)=SI(2)	
*A1-----XX		OUT(12)=SI(3)	
C	Ler o sinal manual e reagir	OUT(13)=Cvnt0	
C	Grelhas de extracção	OUT(14)=Cvnt1	
	DO kk=9,5,-1	OUT(15)=Cvnt4	
	IF (kk.EQ.6) THEN	OUT(16)=Cvnt16	
	GOTO 300	OUT(17)=Manual(1)	
		OUT(18)=Manual(2)	
	ENDIF	OUT(19)=Manual(3)	
		OUT(20)=Manual(4)	
	IF (Manual(kk).EQ.2)THEN	OUT(21)=Manual(5)	
		OUT(22)=Manual(7)	
	S(kk)=8.	OUT(23)=Manual(8)	
		OUT(24)=Manual(9)	
	ELSEIF (Manual(kk).EQ.1)THEN	OUT(25)=Manual(10)	
		OUT(26)=Manual(11)	
	S(kk)=1.	OUT(27)=Manual(12)	
300	ENDIF	RETURN 1	
	ENDDO	500 WRITE(LUW,501) INFO(1),INFO(2)	
*B1-----XX		501 FORMAT(/,1X,'***** ERROR *****',8X,'TRNSYS ERROR #	
C	Grelhas de insuflação	','1X,	
	DO mm=1,4	.'UNIT ',I3,' TYPE ',I3,/1X,	
	IF (Manual(mm).EQ.2)THEN	.'Exhaust balancing did not converged')	
	S(mm)=8.	CALL MYSTOP(1)	
	ELSEIF (Manual(mm).EQ.1) THEN	RETURN 1	
	S(mm)=1.	510 WRITE(LUW,511) INFO(1),INFO(2)	
	ENDIF	511 FORMAT(/,1X,'***** ERROR *****',8X,'TRNSYS ERROR #	
	ENDDO	','1X,	
	DO oo=1,3	.'UNIT ',I3,' TYPE ',I3,/1X,	
	IF (Manual(oo+9).EQ.2)THEN	.'Inlet balancing did not converged')	
	SI(oo)=8.	CALL MYSTOP(1)	
	ELSEIF (Manual(oo+9).EQ.1) THEN	RETURN 1	
	SI(oo)=1.	END	
	ENDIF		

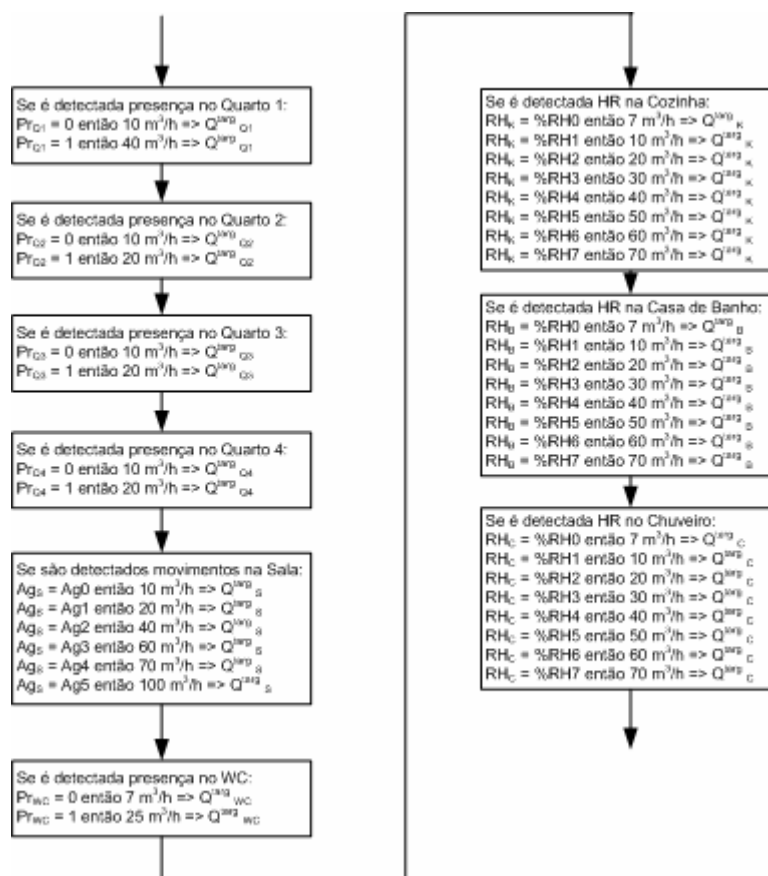
Algoritmo Geral:



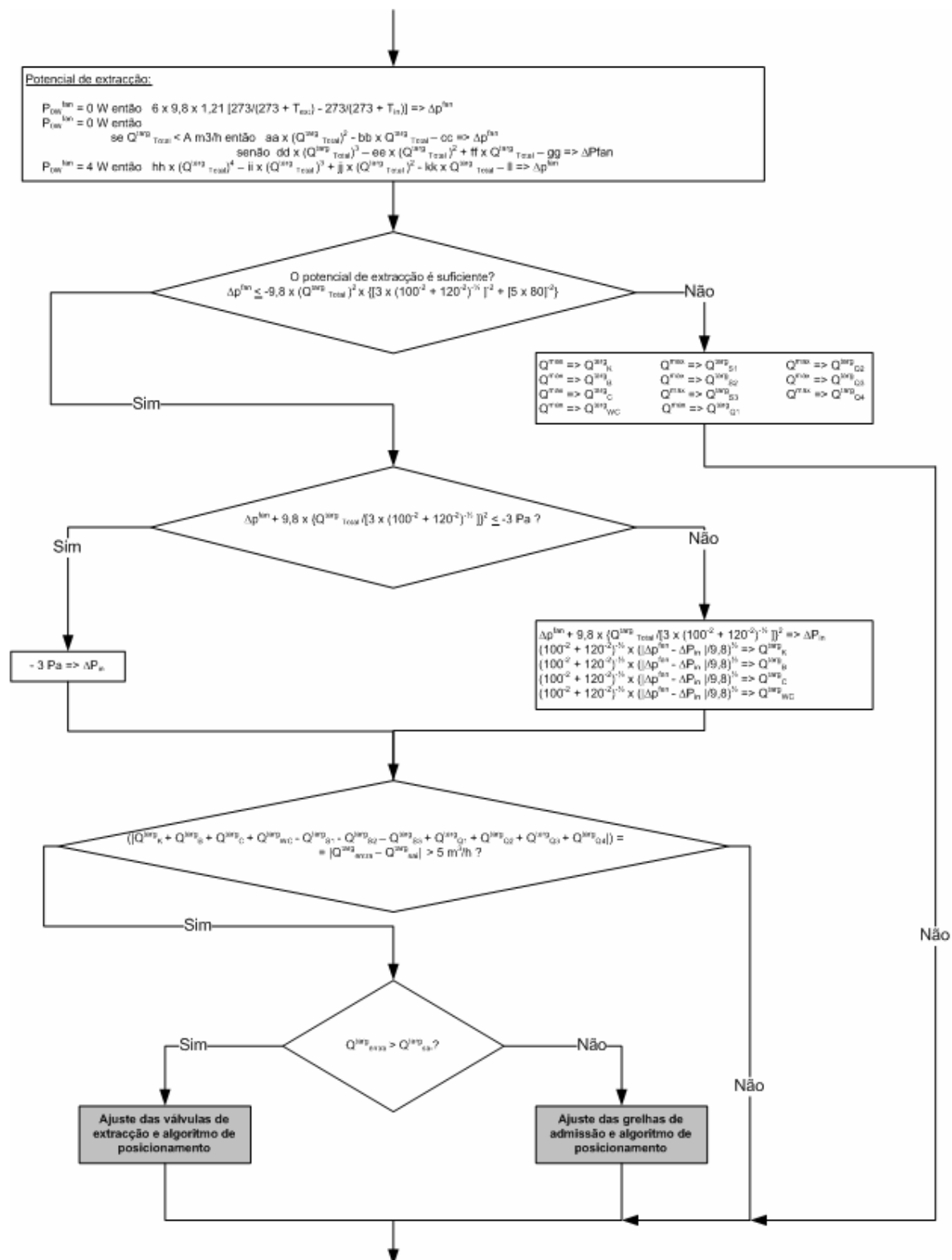
Avaliação das necessidades e dos parâmetros exteriores:

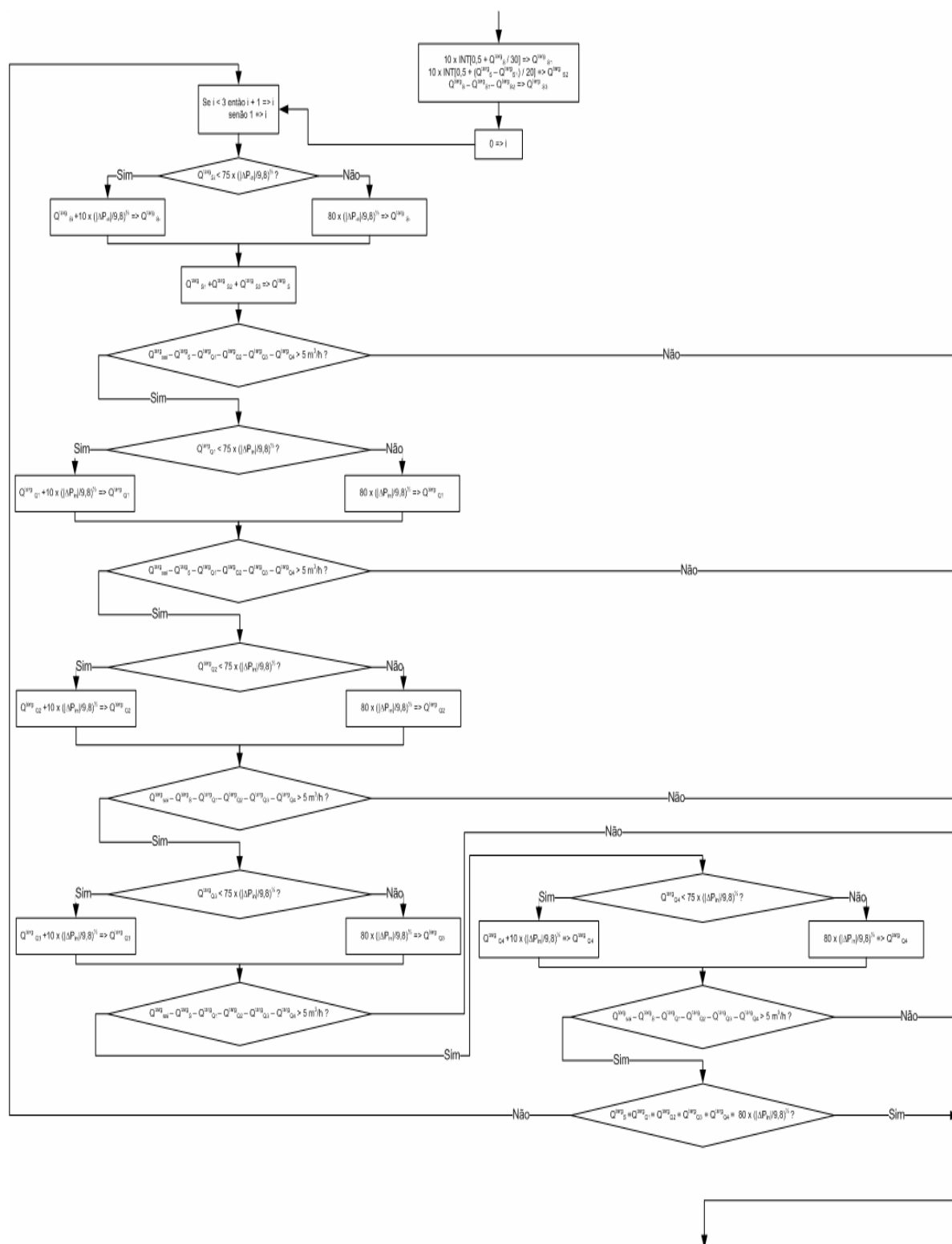


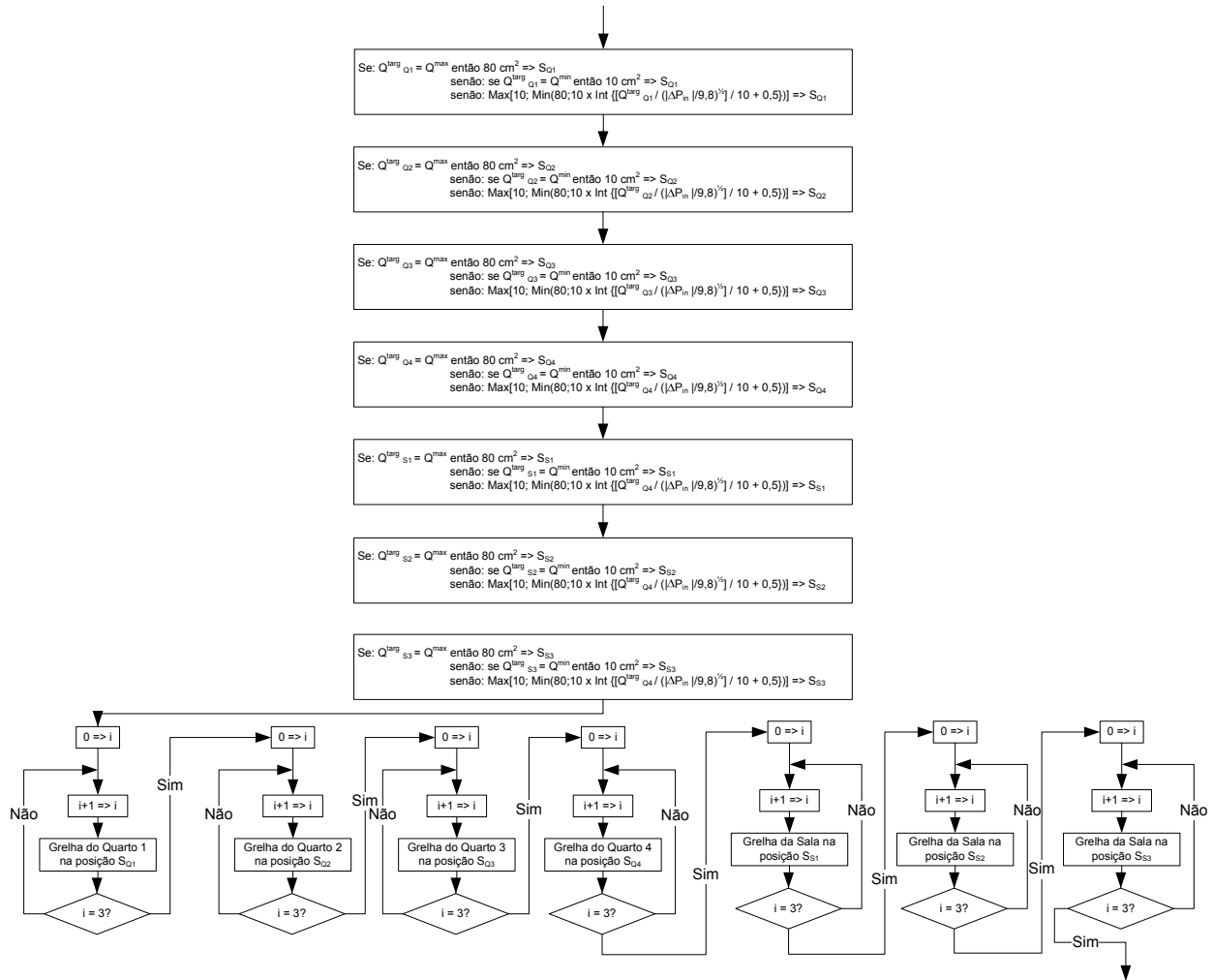
Avaliação das necessidades individuais de cada espaço:



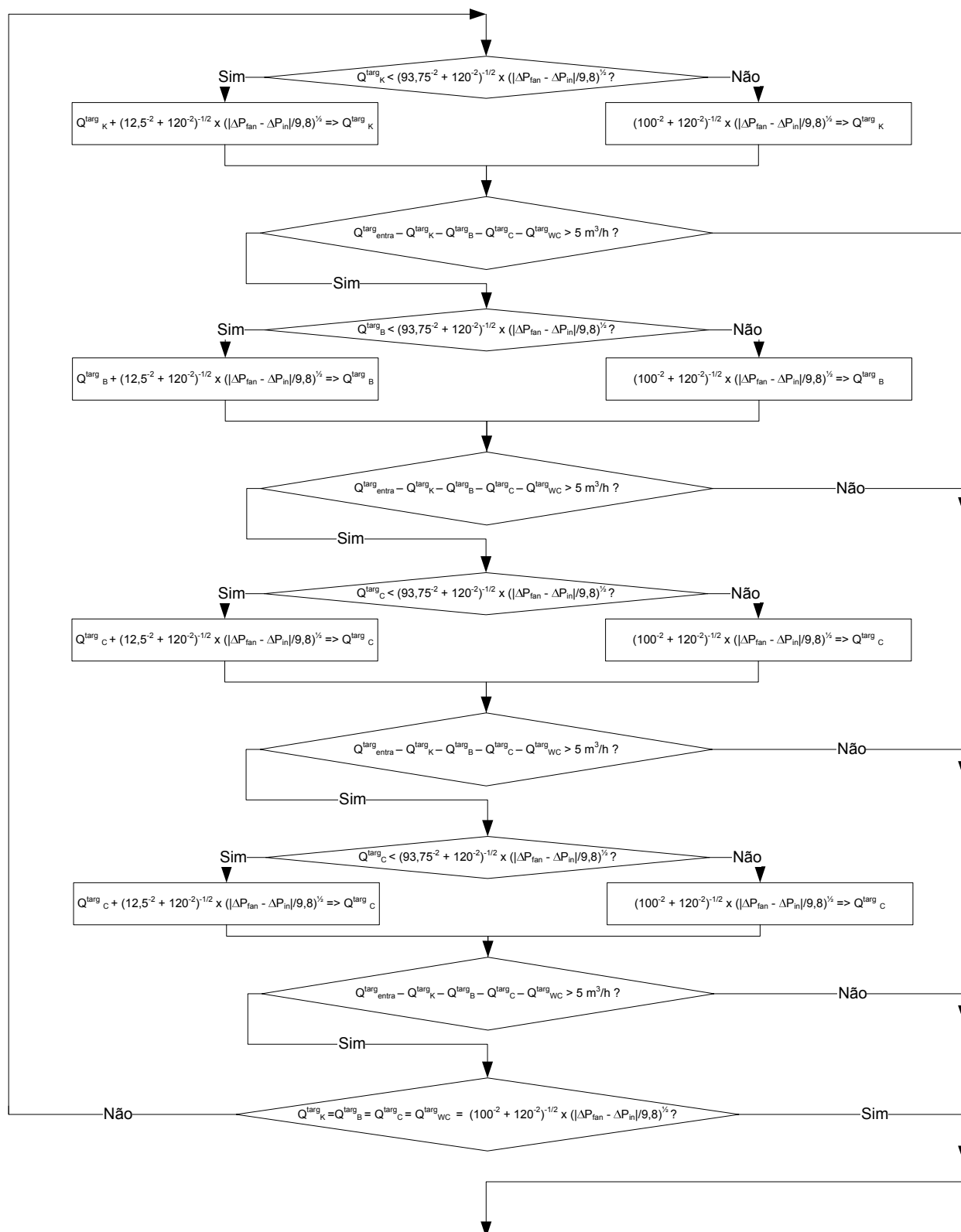
Balanceamento dos caudais de admissão e de extracção:

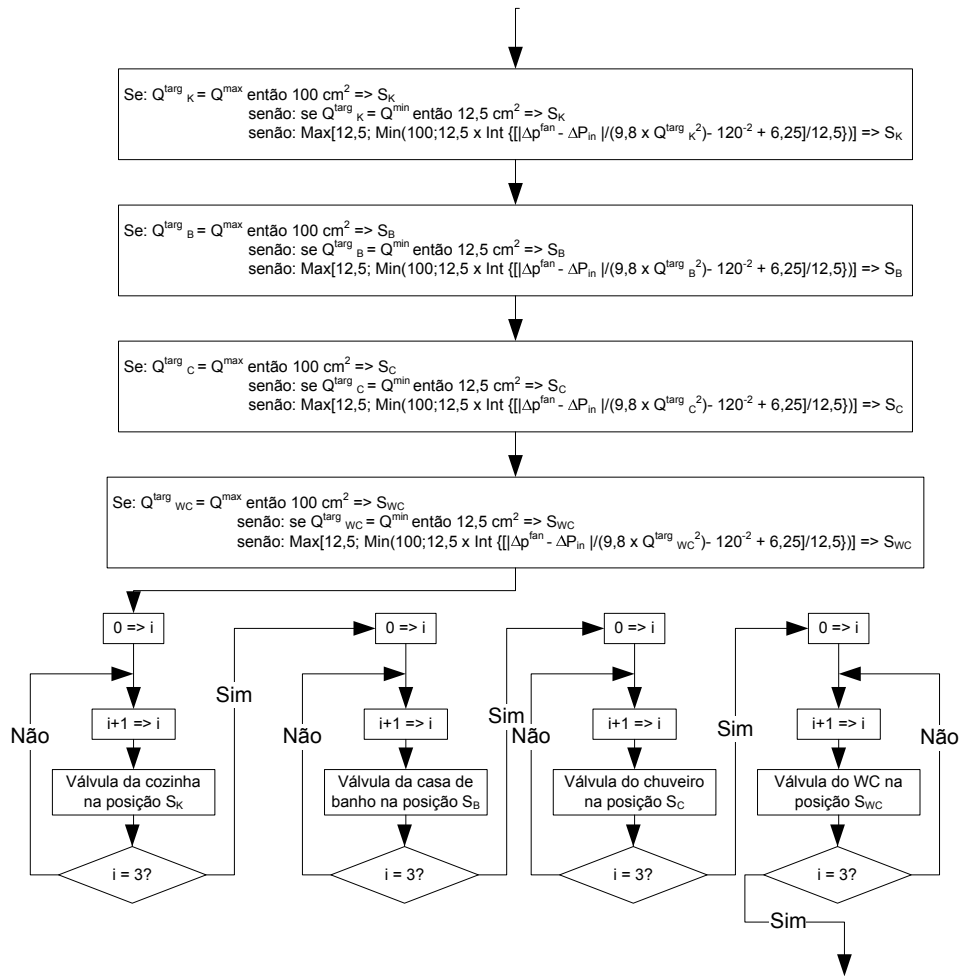






Ajuste das válvulas de extracção e algoritmo de posicionamento:





Anexo VI – Ventilação na simulação

Neste anexo apresentam-se, para a habitação unifamiliar estudada, os caudais de ventilação obtidos ao longo de uma semana simulada. Esta análise é feita para Bragança utilizando um dos sistemas inovativos (SI) e o sistema de ventilação natural (SIV). Pretende-se comprovar a existência de uma relação entre o comportamento de um sistema de ventilação e as condições climáticas exteriores e disposição dos diferentes compartimentos no edifício.

As infiltrações num edifício são dependentes do diferencial de pressões provocado pela acção do ventilador e, tal como referido no Capítulo 2, são, também, dependentes da velocidade e direcção do vento.

Na figura, à direita, encontra-se um esquema com a localização dos Quartos 1 e 3, que possuem orientações Sul e Norte, respectivamente. Na mesma figura apresentam-se as direcções do vento que provocarão infiltrações de ar em cada um dos espaços, de acordo com os coeficientes de pressão (C_p) apresentados em 5.1.5.

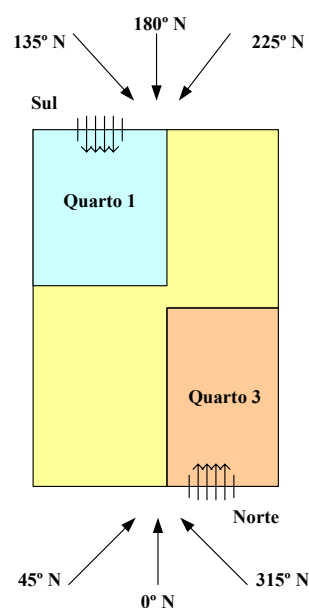


Figura A VI - 1 - Localização dos Quartos 1 e 3 e direcções do vento que conduzem a infiltrações em cada um dos espaços

Nas figuras seguintes apresenta-se a evolução da direcção do vento e dos caudais de infiltrações, para o período de uma semana, nos Quartos 1 e 3, respectivamente. Esta análise foi feita para Bragança, considerando o sistema inovativo SI, e o sistema de ventilação natural SIV. Como se pode verificar, quando o vento tem uma direcção coincidente com o quadrante favorável ocorrem infiltrações num determinado espaço, tendo como resultante um aumento do caudal nesse espaço. Como consequência dá-se, em simultâneo, uma diminuição do caudal de ventilação na fachada oposta.

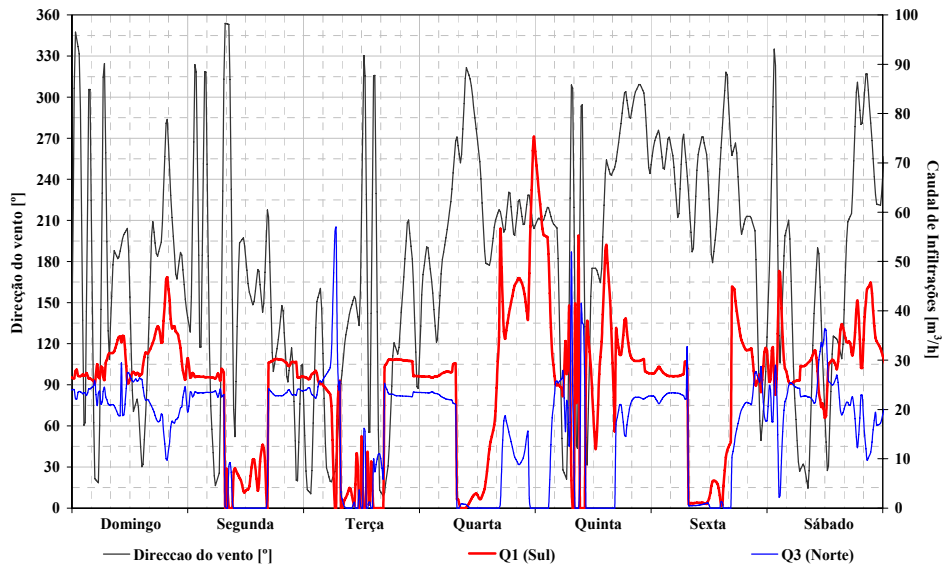


Figura A VI - 2 - Bragança: Caudal de Infiltrações nas diferentes fachadas do edifício (SI)

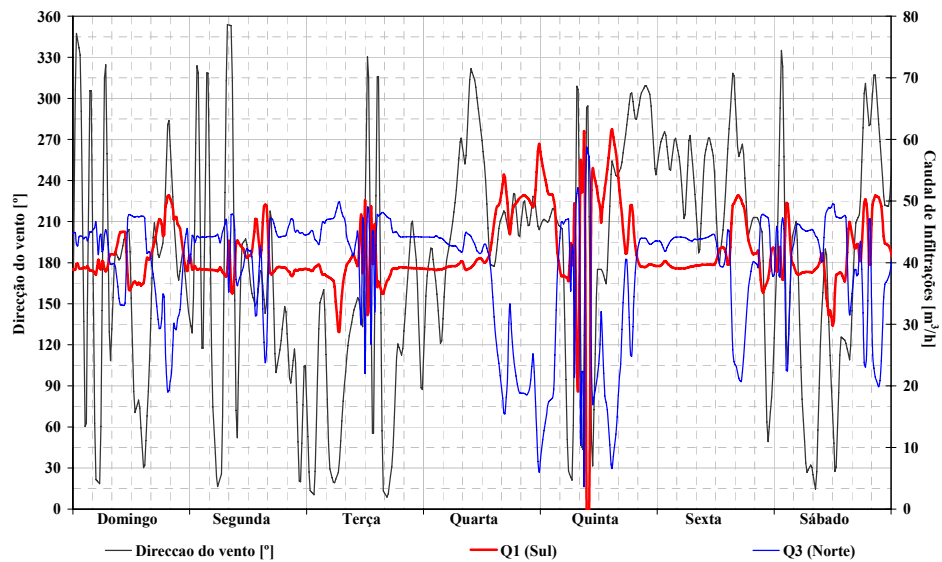


Figura A VI - 3 - Bragança: Caudal de Infiltrações nas diferentes fachadas do edifício (SIV)

Se, aos efeitos já apresentados, se adicionar o efeito do Δp provocado pela velocidade do vento, reforçam-se as diferenças observadas nos caudais de infiltrações.

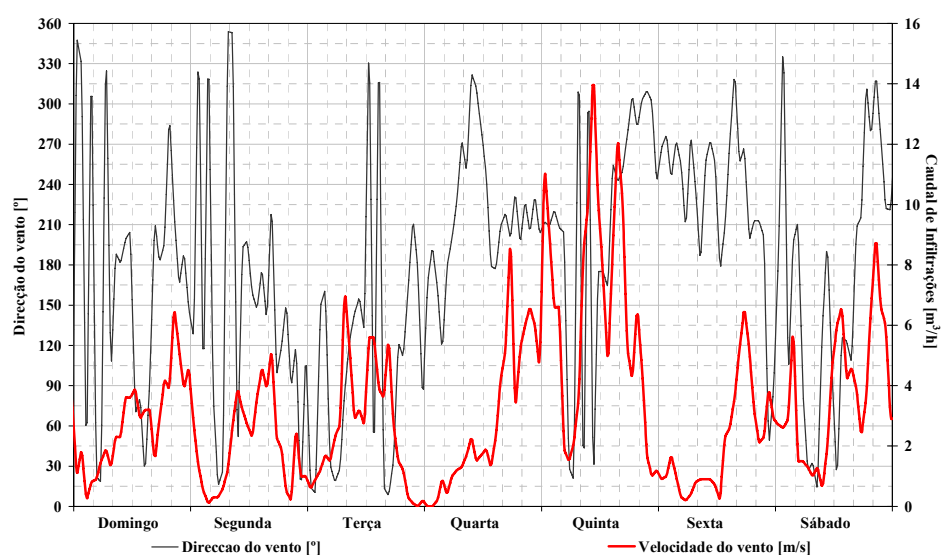


Figura A VI - 4 - Bragança: Velocidade e Direcção do Vento durante uma semana

Bibliografia

1. *ASHRAE Standard 62.1-2004: Ventilation for Acceptable Indoor Quality*. 2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
2. *ASHRAE Standard 62.1-1973: Ventilation for Acceptable Indoor Quality*. 1973, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
3. Concannon, P., *Technical Note 57 - Residential Ventilation*. 2002, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC): Belgium, Brussels.
4. Orme, M., *Technical Note 44 - Numerical Data for Air Infiltration and Natural Ventilation Calculations*. 1998, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC): Brussels, Belgium.
5. Grosso, M., *Pressure Distribution Around Buildings: A Parametrical Model*. 1992, Energy and Buildings - Volume 18.
6. Santamouris, M., *Natural Ventilation in Buildings - A Design Handbook*, F. Allard, Editor. 1998, James & James: London, United Kingdom.
7. White, F.M., *Mecânica dos Fluidos*. 2004, McGrawHill: London, United Kingdom.
8. Patankar, S.V., *Numerical Heat Transfer and Heat Flow, 1ª Edição*. 1980, McGraw-Hill: New York, United States of America (USA).
9. Afonso, C., *Uma metodologia para a caracterização de fluxos de ar multizona em edifícios*. 1989, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP): Porto, Portugal.
10. FranceAir, *Guia de Soluções de Aerólrica de Climatização Edição 2003/2004*. 2003.
11. Schild, P.G., *RESHYVENT: State of the art of low-energy residential ventilation*. 2002, Norwegian Building Research Institute (NBI): Norway.
12. Gonçalves, H., *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, J.M. Graça, Editor. 2004, Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI): Lisboa, Portugal.
13. AERECO, *Ventilation Principles*. 2005.
14. Heiselberg, P., *HYBVENT: Principles of Hybrid Ventilation*. 2002, Hybrid Ventilation Center - Aalborg University: Aalborg, Denmark.
15. *ASHRAE Fundamentals: Chapter 8 - Thermal Comfort*. 2005, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
16. *NP 1037: Aparelhos Termodomésticos a gás - Instalação, evacuação dos produtos de combustão e ventilação*. 1974, Instituto Português da Qualidade (IPQ): Lisboa, Portugal.

17. NP 1037-1: *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás - Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural*. 2002, Instituto Português da Qualidade (IPQ): Lisboa, Portugal.
18. *Directivas Comuns UEATc para a Homologação de Janelas (Tradução 641)*, M.d.O.P.-L.N.d.E.C. (LNEC), Editor. 1976: Lisboa, Portugal.
19. *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) - Decreto Lei nº 40/90 de 6 de Fevereiro*. 1990, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal.
20. *Regulamento das Características do Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE) - Decreto Lei nº 80/2006 de 4 de Abril*. 2006, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal.
21. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) - Decreto Lei nº 118/98 de 7 de Maio*. 1998, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal.
22. *Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização dos Edifícios (RSECE) - Decreto Lei nº 79/2006 de 4 de Abril*. 2006, Ministério das Obras Públicas Transportes e Comunicações (MOPTC): Portugal.
23. Hensen, J.L.M., *On the Thermal Interaction of Building Structure and Heating and Ventilating System*. 1991, Technische Universiteit Eindhoven: Eindhoven, Netherlands.
24. *VisuaDOE 3.0 Program Documentation*. 2001, ELEY Associates: United States of America (USA).
25. *User Guide: Getting Started with EnergyPlus*. 2005, Department of Energy (DOE): United State of America (USA).
26. *TRNSYS - A Transient System Simulation Program*. 2000, Solar Energy Laboratory: Wisconsin - Madison, United States of America (USA).
27. Feustel, H., *Technical Note 29 - Fundamentals of the Multizone Airflow Model*, A. Raynor-Hoosen, Editor. 1990, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC): Bruxelas, Bélgica.
28. Crawley, D., *Contrasting the Capabilities of Building Energy Performance Simulation Programs*, J.W. Han, Editor. 2005, University of Strathclyde, University of Wisconsin and Department of Energy (DOE): United States of America (USA).
29. Leal, V., *Qualidade de Dados Climáticos Sintéticos para Simulação de Comportamento Térmico de Edifícios*, E. Maldonado, Editor. 2000, Proceedings of IX Congresso Ibérico de Energia Solar, III Jornadas Técnicas sobre Biomassa: Córdoba, Espanha.

30. Areas, A.C., *The Classification of Climates*. Monthly Weather Review, 1942. Volume 70.
31. *Making the modern world - The Koppen Classification*. 2005.
32. Doreer, V., *Technical Note 59 - Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings*, A. Weber, Editor. 2005, Air Infiltration and Ventilation Center (AIVC): Bruxelas, Bélgica.
33. *EnergyPlus*. 2005.
34. *MeteoNorm*. 2005, METEOTEST: Bern, Switzerland.
35. Ferreira, M., *Caudais de ventilação recomendados para Edifícios Residenciais - Impacto ao Nível do conforto térmico e do consumo de energia para aquecimento*. 2004, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP): Porto, Portugal.
36. Doreer, V., *RESHYVENT: Description of reference buildings and ventilation systems*, A. Weber, Editor. 2004, EMPA - Swiss Federation Laboratories for Materials Testing and Research: Dubendorf, Switzerland.
37. Alexandre, J.L., *EIE-AUDITAC: Successful case study in Audit, Archway House - Cardiff*, P. Vaquero, Editor. 2006, Instituto de Engenharia Mecânica e Gestão Industrial (INEGI): Porto, Portugal.
38. Alexandre, J.L., *RESHYVENT: IC5 ventilation system*, P. Vaquero, Editor. 2005, Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC): Porto, Portugal.
39. Alexandre, J.L., *RESHYVENT: IC3 ventilation system*, P. Vaquero, Editor. 2005, Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC): Porto, Portugal.
40. Alexandre, J.L., *RESHYVENT: IC1 ventilation system*, P. Vaquero, Editor. 2005, Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC): Porto, Portugal.
41. Alexandre, J.L., *RESHYVENT: IC2 ventilation system*, P. Vaquero, Editor. 2005, Instituto de Engenharia Mecânica (IDMEC): Porto, Portugal.
42. Manson, L.-G., *IEA ECBCS Annex 27 Handbook - Evaluation and demonstration of domestic ventilation systems*. 2002.
43. *ASHRAE Fundamentals: Chapter 35 - Duct design*. 2005, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
44. Doreer, V., *Parameter for the performance assesement of hybrid ventilation systems*, A. Weber, Editor. 2004, EMPA - Swiss Federation Laboratories for Materials Testing and Research: Dubendorf, Switzerland.
45. *ISO 7730:2005 - Moderate thermal environments- Determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal confort*. 2005.
46. Awbi, H.B., *Ventilation of Buildings*. 1991, E & FN SPON: London, United Kingdom.

47. Briggs, R.S., *Climate Classification for Building Energy Codes and Standards*, R.G. Lucas, Editor. 2002, Pacific NW National Laboratory.
48. Feustel, H., *COMIS 3.1 - User's Guide*, B. Smith, Editor. 2001, EMPA - Swiss Federation Laboratories for Materials Testing and Research: Dübendorf, Switzerland.
49. Vaquero, P., *COMIS 3.1 - Um guia para principiantes*. 2004, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP): Porto, Portugal.
50. Santos, C.P.d., *Temperaturas Exteriores de projecto e Números de Graus-Dias*, 2ª Edição, J.V.d. Paiva, Editor. 1995, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) e Instituto de Meteorologia (IM): Lisboa, Portugal.
51. Santos, C.P.d., *ITE 28: Coeficientes de transmissão térmica de elementos da envolvente de edifícios*, J.V.d. Paiva, Editor. 2001, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC): Lisboa, Portugal.
52. Viegas, J., *Ventilação natural em edifícios de habitação*. 1991, Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC): Lisboa, Portugal.
53. Warren, P., *Annex 30: Bringing Simulation to Application*. 2002, International Energy Agency (IEA): United Kingdom.
54. Bourgeois, D., *Hybrid Ventilation of Canadian Non-Domestic Buildings: A procedure for assessing IAQ, comfort and Energy Conservation*, A. Potvin, Editor. 2000, Roomvent 2000, Elsevier Science Ltd.: Quebec, Canada.
55. Nordquist, B., *A Dynamic Model for Single-Sided Ventilation*, L. Jensen, Editor. 2000, Roomvent 2000, Elsevier Science, Ltd.: Lund, Sweden.
56. Yoshino, H., *Experimental Analysis of a Hybrid Ventilation System*, J. Liu, Editor. 2000, Roomvent 2000, Elsevier Science Ltd.: Japão.
57. Dougan, D.S., *CO₂-Based Demand Control Ventilation - Do the risks outweigh potential rewards?*, L. Damiano, Editor. 2004, ASHRAE Journal: United States of America (USA).
58. Sherman, M., *Indoor Air Quality for Residential Buildings*. 1999, ASHRAE Journal: United States of America (USA).
59. Stanke, D., *Ventilation through the years: A perspective*. 1999, ASHRAE Journal: United States of America (USA).
60. *ASHRAE Standard 55-2004: Thermal Environment Conditions for Human Occupancy*. 2004, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
61. Millet, J.-R., *EC-RESHYVENT project (WP7): Ventilation control strategies*, A. Husaunndee, Editor. 2004, Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (CSTB).

62. Schild, P.G., *EC-RESHYVENT project (WPI): State-of-the-art of low-energy residential ventilation*. 2002, Norwegian Building Research Institute (NBI).
63. *ASHRAE Fundamentals: Chapter 27 - Ventilation and Infiltration*. 2005, American Society of Heating, Refrigeration and Air Conditioning Engineers (ASHRAE).
64. Turner, W.A., *Ventilation*, D.W. Bearg, Editor. 1995, Hanley & Belfus, Inc.: Harrison, United States of America.
65. Seppanen, O.A., *Summary of human responses to ventilation*, W.J. Fisk, Editor. 2004, Lawrence Berkley National Laboratory (LBNL): United States of America (USA).
66. Emmerich, S.J., *State-of-the-Art review of CO2 Demand Controlled Ventilation Technology and Application*, A.K. Persily, Editor. 2001, National Institute of Standards and Technology (NIST): Boulder, United States of America (USA).
67. Warren, P., *Bringing Simulation to Application*. 2002, FaberMaunsell, Ltd.: Hertfordshire, United Kingdom.