



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Civil



VENTILAÇÃO MISTA EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

VITOR HUGO DE OLIVEIRA CLÉRIGO

(Licenciado em Engenharia Civil)

Trabalho Final de Mestrado para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil na
Área de Especialização de Edificações

Orientadores:

Doutor, João Carlos Godinho Viegas (Inv. Princ. LNEC)

Licenciado, Jorge Manuel Grandão Lopes (Eq. Prof. Adj. ISEL, Inv.Princ. LNEC)

Júri:

Presidente:

Mestre, Manuel Brazão de Castro Farinha, (Eq. Prof. Adj. ISEL)

Vogais:

Mestre, João Manuel Barrento da Costa (Eq. Prof. Adj. ISEL)

Doutor, João Carlos Godinho Viegas (Inv. Princ. LNEC)

Janeiro de 2015

À memória das minhas queridas avós

AGRADECIMENTOS

A dissertação aqui apresentada, foi elaborada no âmbito do Mestrado em Edificações, levado a efeito no Instituto Superior de Engenharia de Lisboa – Área Departamental de Engenharia Civil.

A orientação deste trabalho esteve sob a responsabilidade do Doutor Engenheiro João Carlos Godinho Viegas, Investigador Principal do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

Desejo exprimir os meus sinceros agradecimentos às seguintes pessoas, cujo apoio considero ter sido fundamental na concretização deste trabalho.

Ao Engenheiro João Carlos Godinho Viegas, sob cuja orientação decorreu a dissertação, pelo apoio e estímulo recebidos durante o desenvolvimento dos trabalhos, bem como pelas valiosas críticas e ensinamentos prestados.

Ao Professor Jorge Manuel Grandão Lopes, Co-orientador deste trabalho, pela disponibilidade demonstrada durante todo este trabalho.

A todos os meus amigos “sadinós” e de faculdade, aos quais devo uma parte deste trabalho, pela companhia permanente e indispensável que demonstraram e por todo o apoio através da sua amizade, compreensão e colaboração.

À Sara Pinto da Rocha, que foi um dos grandes “pilares” de apoio na realização deste trabalho, a ela lhe devo um enorme agradecimento pelo auxílio no trabalho e pelo tempo que disponibilizou para me ajudar e pelas horas que passou a apoiar-me, e a dar-me motivação em alturas mais complicadas.

Por fim, mas em primeiro plano, desejo exprimir um profundo reconhecimento aos meus pais, ao meu avô, às minhas avós e à minha irmã pelo apoio demonstrado e por toda a força e incentivo que me deram bem como aos exemplos de vida de cada um que me guiaram até esta etapa e guiarão em etapas futuras.

Aos meus pais agradeço ainda o facto de terem investido e acreditado sempre em mim. Sem eles nunca teria tido a hipótese de estar a terminar um curso superior e de ser o que sou hoje.

RESUMO

A qualidade do ar interior de edifícios é uma preocupação em crescendo na atual sociedade. Proporcionar um ambiente adequado à permanência de ocupantes é cada vez mais importante e para tal é necessário alterar, melhorar, desenvolver ideias/medidas capazes de oferecer um sistema de ventilação que cumpra os requisitos propostos pela regulamentação europeia e portuguesa. Um sistema de ventilação mista apresenta-se neste contexto, como uma solução viável capaz de preencher tais requisitos de ventilação.

O objetivo fundamental deste trabalho é o estabelecimento de regras de dimensionamento aplicadas em fogos de edifícios reais situados em Lisboa relativamente a esquemas de ventilação que pressuponham uma correta admissão/exaustão de ar através de uma ventilação mista que permita um ambiente confortável para os ocupantes.

O cálculo dos vários fluxos de ar será efetuado com um *software* que recorre a modelos assentes sobre redes multicompartimentos, o programa CONTAM. A origem e o caudal de ar que entra em cada divisão do edifício será analisada e comparada com as exigências da regulamentação portuguesa.

Através da análise de resultados, resultante da vasta campanha de simulações, será demonstrada a viabilidade do sistema de ventilação mista e estabelecer-se-á um conjunto de regras claras a cumprir por um projeto de ventilação de forma a satisfazer exigências normativas no que diz respeito à ventilação.

Palavras-chave: Qualidade do ar interior, ventilação natural, ventilação mecânica, ventilação mista, admissão, exaustão, requisitos de ventilação.

ABSTRACT

The indoor air quality of buildings is a growing concern in today's society. Providing an appropriate internal environment for residents and occupants is of vital importance. Creating such an environment requires changes, improvements as well as developing ideas and applying measures to provide a ventilation system that meet the requirements proposed by European and Portuguese legislation. A mixed ventilation system is presented in this context, as a viable solution capable of fulfilling such ventilation requirements.

The fundamental objective of this work is to establish design rules applied in real buildings, located in Lisbon, for ventilation schemes that involve a correct intake / exhaust air through a mixed ventilation.

The balancing of the air flows is performed with software that uses models based on multi chamber networks, CONTAM program. The source and the air flow entering each building division is analysed and compared to the requirements of the Portuguese regulations.

Applying the analysed results, the outcome of an extensive campaign, simulations will demonstrate the feasibility of the mixed ventilation system. In addition, a clear set of rules will be established, which can be followed in a ventilation design in order to meet regulatory requirements.

Keywords: indoor air quality, natural ventilation, mechanical ventilation, mixed ventilation, intake, exhaust, ventilation requirements.

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	ENQUADRAMENTO	1
1.2	OBJETIVOS DO TRABALHO.....	2
1.3	ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO	3
2	VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO	5
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	5
2.2	QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO.....	6
2.2.1	CRITÉRIOS DE QUALIDADE DO AR.....	8
2.2.2	FONTES DE POLUIÇÃO DO AR INTERIOR.....	10
2.3	MECANISMOS DE VENTILAÇÃO NATURAL.....	19
2.3.1	AÇÃO DO VENTO.....	20
2.3.2	GRADIENTE TÉRMICO.....	21
2.3.3	EFEITOS COMBINADOS	24
2.4	DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE VENTILAÇÃO.....	24
2.4.1	ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO NATURAL	25
2.4.2	VENTILAÇÃO MECÂNICA	30
2.4.3	VENTILAÇÃO MISTA E HÍBRIDA.....	31
2.4.4	ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO	32
2.5	LEGISLAÇÃO, NORMALIZAÇÃO E RECOMENDAÇÕES EXISTENTES EM PORTUGAL	38
3	METODOLOGIA	41
3.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	41
3.2	DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS.....	41
3.2.1	DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS UTILIZADOS COMO MODELO.....	41

3.3	REQUISITOS DE AR A ASSEGURAR EM CADA ESPAÇO	48
3.3.1	CAUDAL BASE	48
3.3.2	CAUDAL MÁXIMO	50
3.3.3	CAUDAIS PRECONIZADOS	51
3.4	COEFICIENTES DE PRESSÃO	61
3.5	PERMEABILIDADE AO AR DAS JANELAS E DAS PORTAS	66
3.5.1	DEFINIÇÃO DE CLASSES DE PERMEABILIDADE	67
3.5.2	JANELAS E PORTAS INTERIORES.....	70
3.5.3	PORTAS DE PATAMAR.....	74
3.6	CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO ADOTADO.....	75
3.6.1	DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA	75
3.6.2	IMPORTANCIA DOS DISPOSITIVOS DE ADMISSÃO DE AR NA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL	76
3.6.3	ABERTURAS DE ADMISSÃO DE AR.....	76
3.6.4	PASSAGENS DE AR INTERIORES.....	83
3.6.5	ABERTURAS DE EXAUSTÃO DE AR	83
3.7	FERRAMENTA DE CÁLCULO	83
3.8	REGRAS DE CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO ESTABELECIDAS PRELIMINARMENTE	84
3.8.1	OBJETIVOS FUNDAMENTAIS.....	84
3.8.2	PRINCIPIOS GERAIS DE CONCEÇÃO	84
3.9	METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO	86
4	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES.....	89
4.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	89
4.2	RELAÇÃO DE CAUDAIS.....	90

4.3	SITUAÇÕES DE DESCONFORTO.....	91
4.4	VENTILAÇÃO ASSEGURADA PELA PERMEABILIDADE AO AR DAS JANELAS	91
4.5	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 1.....	93
4.5.1	RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS	93
4.6	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 2.....	97
4.6.1	RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS	97
4.7	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 3	101
4.7.1	RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS	101
4.8	RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 4	106
4.8.1	RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS	106
5	CONCLUSÕES	111
5.1	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	111
5.2	CONCLUSÕES RELATIVAS À PERMEABILIDADE DE JANELAS E PORTAS	111
5.3	CONCLUSÕES RELATIVAS AOS COMPARTIMENTOS PRINCIPAIS.....	112
5.4	CONCLUSÕES RELATIVAS AOS COMPARTIMENTOS DE SERVIÇO	113
5.5	PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES PARA A CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA MISTO DE VENTILAÇÃO	114
5.5.1	PRINCÍPIOS GERAIS DOS SISTEMAS MISTOS.....	114
5.5.2	ADMISSÃO DE AR.....	115
5.5.3	EXAUSTÃO MECÂNICA DA COZINHA/I.S.....	115
5.5.4	PASSAGENS DE AR INTERIORES	115
5.5.5	ABERTURAS DE EXTRAÇÃO DE AR.....	116
5.5.6	TRAÇADO E CARACTERÍSTICAS DAS CONDUTAS	116
5.6	DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	116
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	119

ANEXOS.....	123
ANEXO I - COEFICIENTES DE PRESSÃO.....	123
ANEXO I.1 – COEFICIENTES DE PRESSÃO (<i>Fachada 1, 2 e 3</i>).....	123
ANEXO I.2 – COEFICIENTES DE PRESSÃO (<i>Fachada 4, 5, 6 e 7</i>).....	123
ANEXO II - CLASSE PERMEABILIDADE.....	123
ANEXO II.1 – CLASSE 1	123
ANEXO II.2 – CLASSE 4	123
ANEXO III – SIMULAÇÕES	123
ANEXO III.1 – LOTE 1.....	123
ANEXO III.2 – LOTE 2	123
ANEXO III.3 – LOTE3.....	123
ANEXO III.4 – LOTE 4.....	123

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Impacte da ventilação no ar poluído e exposição total ao ar, Adaptado de (Clausen, et al., 2003).....	5
Figura 2.2 Tempo despendido em média no interior/exterior, Adaptado de (Clausen, et al., 2003)	6
Figura 2.3 Radioatividade no interior de habitações devida ao radão, estudo do ITN (Torgal, 2013)	15
Figura 2.4 Fluxo de ar por ação do gradiente de temperaturas (Efeito chaminé)	22
Figura 2.5 Ventilação em fachada única ($W_{max} \approx 2,5H$) (Awbi, 2003)	25
Figura 2.6 Ventilação cruzada ($W_{max} \approx 5H$) (Awbi, 2003).....	26
Figura 2.7 Ventilação por tiragem térmica com configuração adjacente, configuração sobreposta e configuração acessória (Mansouri, et al., 2003).....	28
Figura 2.8 Ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar (DeKay M.; Brown G., 2014).....	28
Figura 2.9 Ventilação por tiragem térmica assistida por zonas de transição (Mansouri, et al., 2003)	29
Figura 2.10 Ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla (Ismail M.; Rahman A., 2012)	29
Figura 2.11 Extração mecânica (Soler & Palau, S.A, 2006).....	30
Figura 2.12 Sistema balanceado de insuflação e exaustão mecânica (Soler & Palau, S.A, 2006)	31
Figura 2.13 Ventilação por exaustão local (Awbi, 2003).....	33
Figura 2.14 Ventilação por varrimento (Cao, et al., 2013).....	33

Figura 2.15 Ventilação por deslocamento (Cao, et al., 2013)	34
Figura 2.16 Ventilação por mistura (Awbi, 2003)	34
Figura 3.1 Planta dos edifícios	43
Figura 3.2 Lote 1 (Planta e modelo)	44
Figura 3.3 Lote 2 (Planta e modelo).....	45
Figura 3.4 Lote 3 (Planta e modelo)	46
Figura 3.5 Lote 4 (Planta e modelo)	47
Figura 3.6 Modelo Lote 1 com caudais de admissão	54
Figura 3.7 Modelo Lote 2 com caudais de admissão	57
Figura 3.8 Modelo Lote 3 com caudais de admissão	59
Figura 3.9 Modelo Lote 4 com caudais de admissão.....	61
Figura 3.10 Numeração das fachadas	62
Figura 3.11 Localização das coordenadas nas fachadas 1, 2 e 3.....	62
Figura 3.12 Localização das coordenadas nas fachadas 4,5,6 e 7	63
Figura 3.13 Curva característica da fachada 1 no ponto 1 e zona de influência	64
Figura 3.14 Curva característica da fachada 3 nos pontos 27/31 e zona de influência	64
Figura 3.15 Curva característica da fachada 4 no ponto 10 e zona de influência	65
Figura 3.16 Curva característica da fachada 5 nos pontos 23/26 e zona de influência	65
Figura 3.17 Curva característica da fachada 6 no ponto 28 e zona de influência.....	66
Figura 3.18 Curva característica da fachada 7 nos pontos 2/5/8 e zona de influência	66

Figura 4.1 Estimativa da velocidade média do vento (todos os rumos), (Viegas, et al., 2013)	91
---	----

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Limiar de proteção para os poluentes físico-químicos (RECS, 2013).....	9
Tabela 2.2 Poluição provocada pelos ocupantes humanos (adaptado de (Amaral, 2008)).....	10
Tabela 2.3 Limites existentes e propostos pelas Instituições para habitações, adaptado (Torgal, 2013)	15
Tabela 2.4 Principais fontes dos diversos poluentes (adaptado de (Amaral, 2008)).	19
Tabela 3.1 Orientação do Vento e graus correspondentes	42
Tabela 3.2 Classes de exposição ao vento (adaptado de (Viegas, 2010))	43
Tabela 3.3 Caudais de base mínimos nos compartimentos principais	49
Tabela 3.4 Caudais de base mínimos nos compartimentos de serviço	49
Tabela 3.5 Taxa de ocupação de referência dos compartimentos principais por tipologia	49
Tabela 3.6 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3 do Lote 1.....	52
Tabela 3.7 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T4 do Lote 1.....	52
Tabela 3.8 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T2_Ft do Lote 2	54
Tabela 3.9 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T2_Dt do Lote 2.....	55

Tabela 3.10 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T2_Esq do Lote 2.....	55
Tabela 3.11 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3_Esq do Lote 3	57
Tabela 3.12 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3_Dt do Lote 3	58
Tabela 3.13 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3 do Lote 4	59
Tabela 3.14 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T4 do Lote 4	60
Tabela 3.15 Permeabilidades ao ar de referência a 100Pa e Pressões máximas de ensaio, relacionadas com a área total, para classes 1 a 4.....	68
Tabela 3.16 Permeabilidades ao ar de referência a 100Pa e Pressões máximas de ensaio, relacionadas com o comprimento das juntas móveis, para classes 1 a 4	69
Tabela 3.17 Elementos com respetivos comprimentos das juntas móveis, expoentes de escoamento e coeficientes de escoamento	73
Tabela 3.18 Comprimentos das juntas móveis laterais e superior, expoente de escoamento e coeficiente de escoamento	74
Tabela 3.19 Área da junta móvel inferior, expoente de escoamento e coeficiente de vazão	74
Tabela 3.20 Elementos com respetivas áreas, expoentes de escoamento e coeficientes de escoamento	74
Tabela 3.21 Fatores de rugosidade da conduta.....	81
Tabela 3.22 Diâmetro das condutas calculadas através de Darcy-Weisbach	82

Tabela 3.23 Simulação sequencial.....	87
Tabela 4.1 Caudal de ar novo em média (Janelas classe 1).....	92
Tabela 4.2 Caudal de ar novo em média (Janelas classe 4).....	92
Tabela 4.3 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 1.....	93
Tabela 4.4 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 1.....	94
Tabela 4.5 Relação de caudais nos quartos do Lote 1 referentes à ocorrência de vento forte.....	95
Tabela 4.6 Relação de caudais nas salas do Lote 1 referentes à ocorrência de vento forte.....	96
Tabela 4.7 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 2	97
Tabela 4.8 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 2	98
Tabela 4.9 Relação de caudais nos quartos do Lote 2 referentes à ocorrência de vento forte.....	99
Tabela 4.10 Relação de caudais nas salas do Lote 2 referentes à ocorrência de vento forte.....	100
Tabela 4.11 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 3	101
Tabela 4.12 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 3	103
Tabela 4.13 Relação de caudais nos quartos do Lote 3 referentes à ocorrência de vento forte.....	104
Tabela 4.14 Relação de caudais nas salas do Lote 3 referentes à ocorrência de vento forte.....	105
Tabela 4.15 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 4.....	106

Tabela 4.16 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 4.....	107
Tabela 4.17 Relação de caudais nos quartos do Lote 4 referentes à ocorrência de vento forte.....	108
Tabela 4.18 Relação de caudais nas salas do Lote 4 referentes à ocorrência de vento forte.....	109
Tabela 5.1 Relação de caudais nos quartos de todos os edifícios.....	112
Tabela 5.2 Relação de caudais nas salas de todos os edifícios	113
Tabela 5.3 Relação de caudais nas cozinhas de todos os edifícios.....	114

SIGLAS

QAI Qualidade do Ar Interior

COVs Compostos Orgânicos Voláteis

VMC Ventilação Mecânica Centralizada

NP Norma Portuguesa

ANSI American National Standards Institute

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

CEN European Committee for Standardization

EPA United States Environmental Protection Agency

EU European Union

ICRP International Commission on Radiological Protection

ISEL Instituto Superior de Engenharia de Lisboa

ISO International Organization for Standardization

ITN Instituto Tecnológico e Nuclear

LNEC Laboratório Nacional de Engenharia Civil

NIST National Institute of Standards and Technology

OMS Organização Mundial de Saúde

RCCTE Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RECS Regulamento de Desempenho dos Edifícios de Comércio e Serviços

REH Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação

RGEU Regulamento Geral das Edificações Urbanas

SCE Sistema de Certificação Energética dos Edifícios

SCIE Segurança Contra Incêndios em Edifícios

TNO Netherlands Organisation for Applied Scientific Research

SIMBOLOGIA

P_w	Pressão do vento sobre determinado ponto da superfície do edifício [Pa]
C_p	Coeficiente de pressão pela ação do vento [-]
ρ_0	Massa volúmica do ar à temperatura e pressão de referência, T_0 e p_0 [kg/m ³]
p	Pressão estática em determinado ponto da superfície [Pa]
p_0	Pressão estática de referência [Pa]
v	Velocidade do vento a determinada altura [m/s]
p_z	Pressão à altura z [Pa]
ρ	Massa volúmica do ar [kg/m ³]
v	Velocidade do escoamento [m/s]
g	Aceleração gravítica [m/s ²].
T	Temperatura [K ou °C]
\dot{m}	Caudal mássico do ar [kg/s]
C_d	Coeficiente de vazão [-]
ε_c	Eficácia da ventilação localizada para a remoção de poluentes [-]
$\bar{\varepsilon}_c$	Eficácia global da ventilação para a remoção dos poluentes [-]
c	Concentração do contaminante num determinado ponto [ppm]
\bar{c}	Concentração média na zona ocupada [ppm]
c_∞	Concentração de poluentes no ar novo em admissão [ppm]
c_e	Concentração de poluentes no ar removido [ppm]
\dot{m}_c	Taxa de descarga da fonte de poluição [kg/s ou m ³ /s]
\dot{m}_a	Taxa de admissão de ar exterior [kg/s ou m ³ /s]
c_o	Concentração inicial num determinado ponto [ppm]
c_t	Concentração no mesmo ponto após determinado tempo [ppm]
Q	Caudal volúmico/ Permeabilidade ao ar [m ³ /s ou l/s]

Vol	Volume [m^3]
n_{ocup}	Número de ocupantes [-]
L	Comprimento [m]
Q_{100}	Permeabilidade ao ar a uma pressão de ensaio de 100 Pa [$m^3/h \cdot m^2$ ou $m^3/h \cdot m$]
C	Coeficiente de escoamento [$m^3 \cdot s^{-1} \cdot Pa^{-n}$]
	Coeficiente de perda localizada [-]
ΔP	Diferença de pressão [Pa]
	Perda por atrito em termos de pressão total [Pa]
n	Expoente de escoamento [-]
A	Área [m^2]
f	Fração de fluxo inverso [-]
	Fator de atrito [-]
Dh	Diâmetro hidráulico [mm]
ε	Rugosidade absoluta da conduta [mm]
Re	Número de Reynolds [-]
ν	Viscosidade cinemática [m^2/s]

1 INTRODUÇÃO

1.1 ENQUADRAMENTO

Nos últimos anos houve uma crescente preocupação e exigência da sociedade relativamente à qualidade do ar interior dos edifícios. Nos edifícios de habitação, a sua utilização corrente compreende atividades de que resultam substâncias poluentes cuja remoção é necessária para que se possa considerar um ambiente apto à permanência dos ocupantes. A ventilação é o garante da qualidade do ar, na medida em que remove o ar viciado evitando assim problemas de saúde relacionados com a qualidade do ar, também é uma forma de evitar a proliferação de cheiros desagradáveis.

A ventilação de edifícios de habitação tem como princípio a admissão de ar novo do exterior, através dos compartimentos principais (quartos e salas), e a exaustão do ar interior viciado através dos compartimentos de serviço (cozinhas e instalações sanitárias). Este processo é possível pondo os espaços interiores em contacto com o exterior através de aberturas de ventilação por onde se faz a admissão de ar e a remoção do ar.

Existem dois modos distintos de ventilação. Quando esta é promovida apenas pela ação do vento e dos efeitos térmicos diz-se natural. Quando é promovida utilizando também meios mecânicos diz-se mecânica.

É importante salientar que as ações que promovem a ventilação natural não são muitas vezes passíveis de controlo direto. Devido a este facto é recomendável o recurso a processos de ventilação mecânica que, de algum modo, vêm complementar os sistemas de ventilação natural. Uma junção destes dois modos de ventilação (ventilação mista) permite conciliar as potencialidades de ambos os modos de ventilação tornando-se num sistema mais eficiente.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

Pretende-se com este trabalho demonstrar que é viável projetar um sistema de ventilação mista capaz de garantir a qualidade do ar no interior de um conjunto de edifícios de habitação.

Assim, é imprescindível compatibilizar todas as exigências no ato de projetar/construir edifícios de habitação. Para isso, considera-se essencial caracterizar o funcionamento de um sistema de ventilação misto (entradas de ar auto reguláveis nos quartos e salas, exaustão mecânica na cozinha e instalações sanitárias) que poderá contribuir para uma estratégia de ventilação mais adaptada à prática corrente em Portugal.

O presente trabalho pretende avaliar qual a melhor constituição de um sistema misto de ventilação e definir critérios a implementar, de modo a que as taxas de ventilação de cada espaço do edifício atinjam os valores recomendados. Para o efeito, neste trabalho recorreu-se a normas e à regulamentação portuguesa atualmente em vigor (ver capítulo 2.5).

A presente investigação tem como objetivos principais:

- Selecionar e otimizar um sistema misto de ventilação adaptado às condições climáticas de Portugal;
- Caracterizar os dispositivos usados no sistema de ventilação ensaiado, nomeadamente, grelhas de admissão de ar autorreguláveis e aparelhos de exaustão mecânica.

Em suma, este trabalho pretende demonstrar que é viável garantir os caudais recomendados para cada compartimento através de um sistema de ventilação mista tendo em conta aspetos que são necessários ter em consideração para que ocorra um funcionamento adequado às necessidades de utilização.

1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TRABALHO

A organização deste trabalho apresenta-se estruturada em capítulos:

- Capítulo 1, correspondente à introdução;
- Capítulo 2, pretende elencar os sistemas de ventilação e as exigências de qualidade do ar interior a que devem estar sujeitos os edifícios de habitação. Concretamente apresentam-se os critérios de qualidade do ar, os principais poluentes do ar interior, os mecanismos de ventilação natural, descrição dos sistemas de ventilação natural, mecânica ou mista e apresenta a legislação, normalização e recomendações existentes em Portugal;
- Capítulo 3, pretende apresentar a tipologia dos edifícios a estudar, as características da envolvente dos edifícios, as exigências de ventilação com base em recomendações que permitam admissão/ extração de ar coerentes e a especificação do método de implementação da ventilação mista;
- Capítulo 4, apresenta a análise da aplicação do sistema de ventilação misto e síntese dos resultados;
- Capítulo 5, apresenta as conclusões finais deste trabalho;

2 VENTILAÇÃO EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O objetivo da ventilação é providenciar e/ou contribuir para um ambiente saudável adequado ao espaço a ventilar. Um ambiente saudável deve dispor de uma adequada qualidade do ar e conforto térmico. Estes dois fatores devem ser considerados no dimensionamento de um sistema de ventilação para uma habitação ou edifício tendo em conta que são fundamentais para o conforto e bem-estar dos ocupantes.

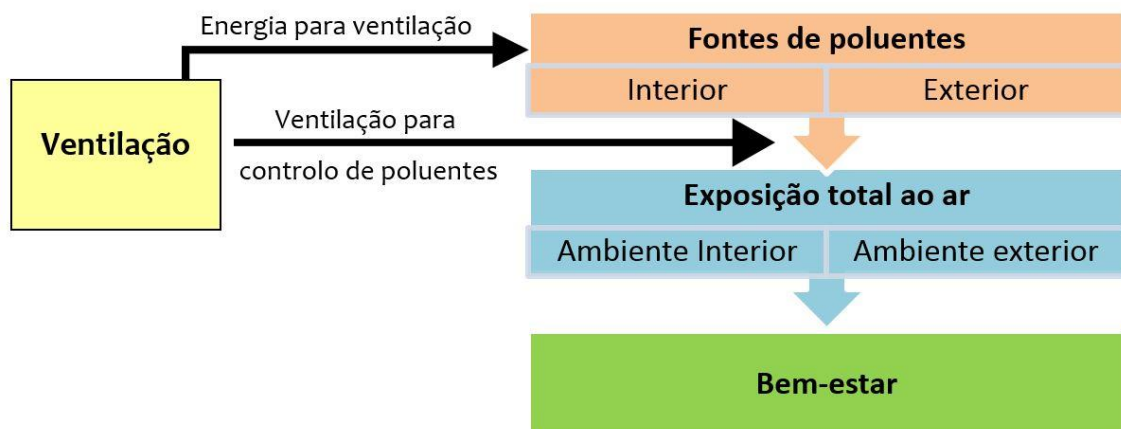


Figura 2.1 Impacte da ventilação no ar poluído e exposição total ao ar, Adaptado de (Clausen, et al., 2003)

Na sociedade atual onde o Homem passa a maior parte do seu tempo, cerca de 80-90% em espaços interiores de edifícios, é essencial que se satisfaçam as necessidades inerentes às funções vitais dos ocupantes (Sarbu, et al., 2013).

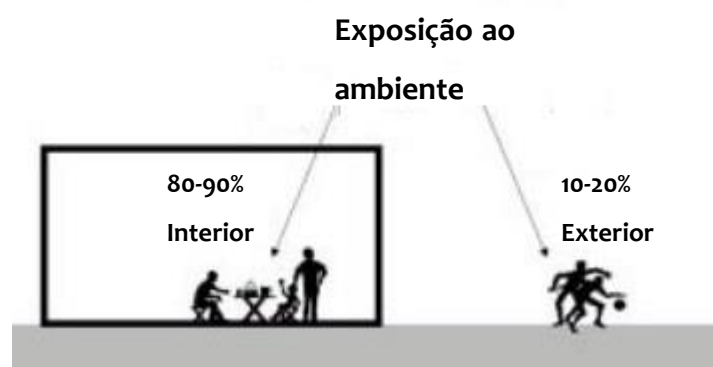


Figura 2.2 Tempo despendido em média no interior/exterior, Adaptado de (Clausen, et al., 2003)

O incremento dos custos da energia e a adoção de medidas de redução do seu consumo, com início na década de 70, tiveram como resultado algumas mudanças positivas, como a melhoria do comportamento térmico dos edifícios, ou negativas, como a insuficiente qualidade do ar interior especialmente em edifícios sem meios dedicados de ventilação. Neste sentido, com o passar dos anos, a temática da ventilação sofreu inúmeros desenvolvimentos quer ao nível de mecanismos de ventilação quer das medidas de eficiência energética.

Em resultado deste progresso, novas normas de ventilação, orientações e artigos científicos foram criados refletindo a importância da ventilação na qualidade do ar e ambiente interior.

2.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

Uma vez que 80-90% da nossa vida é passada em espaços interiores, nas últimas décadas tem-se verificado uma crescente preocupação da comunidade científica com a Qualidade do Ar Interior (QAI), devido aos efeitos que a mesma pode exercer sobre a saúde dos seres humanos.

A ANSI/ASHRAE Standard 62.1 – Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality (ASHRAE Standard 62.1, 2013) é a norma mais recente que pretende contribuir para melhorar a qualidade do ar interior nos edifícios através de medidas construtivas quer em edifícios novos, aplicando-se as medidas na fase de projeto, quer em edifícios já existentes melhorando determinados parâmetros.

Uma fraca QAI afeta diretamente as pessoas em três áreas:

- Conforto: odores, ar viciado.
- Efeitos agudos sobre a saúde: ardor nos olhos, problemas pulmonares.
- Efeitos crônicos sobre a saúde: podem demorar décadas a aparecer.

Estudos recentes alegam que um déficit na QAI torna o ambiente nos edifícios prejudicial à saúde e bem-estar dos ocupantes influenciando diretamente a produtividade (Sarbu, et al., 2013). Os principais fatores que provocam este déficit são a falta de ar novo no edifício e a deficiente exaustão do ar viciado e dos produtos da combustão. Para além de poluentes externos (Ex: emissão de gases pelos veículos) que são transportados para o interior do edifício pelas ventilações deficientes existem muitos outros poluentes presentes no ar interior. Algumas fontes de tais poluentes internos são:

- Internas: próprio edifício, mobiliário, ocupantes, equipamentos, etc. (sendo exemplos de poluentes o formaldeído e o ozono);
- Solo: metano, radão, etc.

Os problemas relacionados com a qualidade do ar interior têm vindo a aumentar nas últimas duas décadas devido a:

- Redução da permeabilidade ao ar da envolvente dos edifícios;
- Redução das taxas de ventilação de modo a reduzir o consumo de energia;
- Aumento do uso de material eletrónico;
- Materiais de construção e mobiliário com elevada emissão de poluentes;
- Falta de manutenção de equipamentos de ventilação.

Em suma, a QAI, deve ser assegurada com a finalidade de se evitar a concentração excessiva de poluentes perigosos que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes, mantendo, simultaneamente, um ambiente agradável.

2.2.1 CRITÉRIOS DE QUALIDADE DO AR

Ar fresco e agradável é um requisito básico para uma vida saudável. Estimula o trabalho e a atividade humana.

De um modo geral e desde que a qualidade do ar exterior seja aceitável, pode-se obter uma boa qualidade do ar interior recorrendo a uma adequada ventilação dos espaços. O dimensionamento e a implementação de sistemas de ventilação em edifícios de habitação deverão ter necessariamente em conta as fontes de poluição de forma a proceder à captação e evacuação para o exterior das substâncias poluentes, preferencialmente, junto da sua fonte, evitando assim a contaminação do ar interior.

A estratégia de ventilação, se for deficientemente definida e implementada, pode ser causadora de desconforto, devido, por exemplo, às correntes de ar.

A qualidade do ar interior deve ser assegurada com o propósito de se evitar que os poluentes perigosos atinjam concentrações que possam pôr em risco a saúde dos ocupantes mantendo, simultaneamente, um ambiente agradável. Assim, devem coexistir dois critérios: estabelecimento de valores limite para as substâncias poluentes em função do tempo de permanência dos ocupantes no ambiente contaminado (critério de saúde) e estabelecimento de critérios relacionados com os efeitos sensoriais causados pelas substâncias poluentes nos seres humanos (critério sensorial).

É importante a coexistência dos dois critérios, uma vez que há substâncias que só podem ser avaliadas por um deles.

Apresenta-se na Tabela 2.1 as concentrações máximas de referência de poluentes no interior dos edifícios de acordo com a legislação nacional,

Em princípio, ambos os critérios devem ser sempre verificados, a menos que as fontes de poluição claramente privilegiem uma das situações, bastando para isso a verificação de um critério para que o outro seja sempre considerado verificado.

Tabela 2.1 Limiar de proteção para os poluentes físico-químicos (RECS, 2013)

Poluentes	Unidades	Limiar de proteção
Partículas em suspensão (PM_{10})	$[\mu g / m^3]$	50
Partículas em suspensão ($PM_{2,5}$)	$[\mu g / m^3]$	25
Dióxido de carbono	$[\mu g / m^3]$	2250
Monóxido de carbono	$[mg / m^3]$	10
Formaldeído	$[\mu g / m^3]$	100
Compostos orgânicos voláteis totais (COVs)	$[\mu g / m^3]$	600
Bactérias	$[UFC / m^3]$	(a)
Fungos	$[UFC / m^3]$	500 ^(b)
Legionella	$[UFC / l]$	100 ^(c)
Radão (d)	$[Bq / m^3]$	400

Notas:

a: Concentração de bactérias totais no interior inferior à concentração no exterior, acrescida de $350 UFC / m^3$;

b: Mistura de espécies: concentração inferior ou igual a $500 UFC / m^3$;

c: Exceto no caso da pesquisa de torres de arrefecimento em que deve verificar-se uma concentração inferior a $1000 UFC / l$;

d: pesquisa obrigatória em zonas graníticas, nomeadamente, nos distritos de Braga, Vila Real, Porto, Guarda, Viseu e Castelo Branco;

2.2.2 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR INTERIOR

2.2.2.1 PRINCIPAIS POLUENTES NO INTERIOR DAS HABITAÇÕES

A densidade de ocupação e de equipamentos e os materiais integrados na construção estão na origem da elevada taxa de poluentes no interior dos edifícios modernos. Por esta razão, a qualidade do ar interior é, na generalidade dos casos, significativamente inferior à qualidade do ar exterior e, com frequência, também inferior ao desejável.

Uma má qualidade do ar interior pode originar efeitos imediatos (odores desagradáveis), efeitos a curto prazo (irritações e infeções ao nível das vias respiratórias, da pele, dos olhos) e até efeitos a médio/longo prazo. Entre os principais poluentes encontram-se o monóxido de carbono, o dióxido de carbono, o formaldeído, os compostos orgânicos voláteis e o vapor de água.

2.2.2.2 ATIVIDADE HUMANA

Os dois principais bioefluentes resultantes do processo de respiração humana são: o dióxido de carbono e o vapor de água. A produção destes dois compostos depende do nível de atividade metabólica. Diversas atividades domésticas geram também quantidades de vapor de água e dióxido de carbono.

Na Tabela 2.2 é indicada a produção de vapor de água e a libertação de dióxido de carbono provocada pelos ocupantes para diferentes níveis de atividade.

Tabela 2.2 Poluição provocada pelos ocupantes humanos (adaptado de (Amaral, 2008))

Ocupantes	Vapor de água [g/h]	Dióxido de carbono [l/h]
Repouso	40	14,4
Trabalho leve	50	23,0 – 46,1
Trabalho moderado	50	23,0 – 46,1
Trabalho pesado	50	69,1 – 93,6
Fumador (média)	50	6

Humidade/Vapor de água

O vapor de água é um constituinte do ar respirado pelos seres humanos, funcionando como elemento lubrificante das mucosas. A concentração de vapor de água no interior pode influenciar o conforto dos ocupantes. Em excesso provoca a ocorrência de condensações e consequentes impactes na degradação da construção e no desenvolvimento de fungos e de bolores prejudiciais aos ocupantes.

Humidades relativas baixas estão associadas a sintomas de irritação nos olhos, nariz e garganta, podendo ainda causar hemorragias nasais e aumento da eletricidade estática. Outra consequência associada a valores baixos de humidade relativa é o aumento da probabilidade de infeções respiratórias resultante do enfraquecimento do nível de defesa proporcionado pelas membranas mucosas.

Humidades relativas altas podem originar desconforto reduzindo a eficácia da transpiração através da pele e causando o desenvolvimento de bolores e ácaros causadores de alergias, irritações e, em casos mais graves, asma.

Valores de humidade relativa entre 50% a 70% são considerados adequados.

Considerando espaços interiores naturalmente ventilados, o nível de humidade relativa no interior é fortemente influenciado pela temperatura interior e humidade relativa do exterior. O teor de humidade no interior depende também do nível de atividade metabólica dos ocupantes. Outros elementos do mobiliário interior, tais como tapetes, cortinas, móveis e livros podem absorver bastante humidade num espaço interior em espaços com humidades relativas elevadas, promovendo assim o crescimento microbiano.

O Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios (RCCTE, 2006), atualmente substituído REH (REH, 2013), recomendava uma humidade relativa interior de 50% para a estação de arrefecimento. A norma europeia (EN 15251:2007) recomenda que não se ultrapasse o valor absoluto de humidade de 12g/kg de ar seco e a ASHRAE recomenda uma humidade relativa máxima de 60% (ASHRAE Standard 55, 2013).

Dióxido de carbono

A combustão dos aparelhos tipo A¹ e B² e o fumo do tabaco produzem dióxido de carbono. O processo metabólico dos ocupantes também produz dióxido de carbono. O dióxido de carbono é incolor e inodoro, sendo em termos de quantidade, o mais importante dos bioefluentes humanos, com uma taxa de emissão proporcional ao metabolismo (ISO 8996:2004).

Possui reduzida toxicidade nas concentrações em que geralmente está presente nos espaços interiores. No que respeita a valores limite, uma vez que o dióxido de carbono não é considerado um gás tóxico, a Organização Mundial de Saúde não define um valor limite para a concentração deste gás no interior de edifícios não industriais. Alguns investigadores indicam que concentrações de dióxido de carbono superiores a 1000 ppm têm influência na perceção da qualidade do ar, sendo tido como um ambiente “pesado”.

Para efeito de conforto no que diz respeito aos odores dos bioefluentes humanos, a ASHRAE recomenda um valor limite de dióxido de carbono de 700 ppm acima do valor registado no exterior (ASHRAE Standard 62.1, 2013). Na legislação portuguesa o valor de referência definido para a concentração máxima interior é de 2250 mg/m³ (RECS, 2013).

Monóxido de carbono

O monóxido de carbono (CO) é um gás inodoro, insípido e incolor, resultante da combustão, em especial quando esta ocorre em situação redutora (ambiente pouco rico em oxigénio). Como exemplos de fontes de CO temos os aparelhos a gás, as “braseiras”, o tabaco e os automóveis. Em concentrações extremamente baixas, o CO provoca dores de cabeça e sonolência e à medida que a concentração vai

¹ Aparelho tipo A – Aparelho concebido para não ser ligado a uma conduta ou a um dispositivo de evacuação dos produtos da combustão para o exterior do local onde ele está instalado.

² Aparelho tipo B – Aparelho concebido para ser ligado a uma conduta de evacuação dos produtos da combustão para o exterior do local onde ele está instalado. O ar de combustão é captado diretamente no local.

aumentado os sintomas passam a incluir problemas de concentração, visão e náuseas e, em casos limites, pode levar à morte, uma vez que se reduz o oxigénio do sangue para níveis insuficientes, pelo facto de a hemoglobina ter maior afinidade com o monóxido de carbono.

2.2.2.3 MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Diversas substâncias poluentes podem ser libertadas no interior dos edifícios pelos materiais de construção. As substâncias que têm requerido mais atenção são os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e particularmente o formaldeído (HCHO).

Compostos Orgânicos Voláteis

As principais fontes de compostos orgânicos voláteis (COVs) são os materiais utilizados no revestimento interior dos edifícios, respetivos componentes e mobiliário, tais como, aglomerados de madeira, colas, solventes e tintas; para além destes são também fontes de compostos orgânicos voláteis os produtos de limpeza e o tabaco. Os compostos orgânicos voláteis afetam o sistema respiratório, causando irritações na pele e nos olhos e mesmo náuseas, dores de cabeça, perturbações do sistema nervoso central e periférico e, em doses elevadas, pode provocar cancro. São exemplos de COVs comuns em ambientes interiores a acetona, o benzeno, o fenol e o tolueno.

Os COVs detetáveis num edifício podem consistir em centenas de diferentes compostos tornando a sua análise e avaliação de riscos e o estabelecimento de limites de exposição uma tarefa complicada.

Entre os COVs distingue-se o grupo denominado por hidrocarbonetos aromáticos (Ex: benzeno e tolueno).

Formaldeído

O formaldeído (HCHO) é um gás incolor com um odor forte, pelo que é facilmente detetado pelo homem. No interior dos edifícios são as resinas utilizadas nos aglomerados de madeira e a combustão (cigarros, aparelhos de aquecimento e

confeção de alimentos) as principais fontes. Os sintomas associados à exposição ao formaldeído incluem irritação oftalmológica, dores de cabeça, náuseas, sensação de fadiga, etc. É o poluente que ocorre com maior frequência nas atmosferas interiores em concentrações capazes de provocar irritação sensorial nos olhos e no aparelho respiratório. A concentração limite de detecção olfativa é de $0,06 \text{ mg/m}^3$ e o limiar de concentração de formaldeído que origina uma irritação sensorial é de aproximadamente $0,1 \text{ ppm}$.

2.2.2.4 OUTROS POLUENTES

Radão

O radão (Rn) é um gás inodoro, insípido e incolor, que existindo naturalmente no solo, é facilmente introduzido nos edifícios, quer por efeito de difusão, quer por depressão dos ambientes interiores provocada por sistema de ventilação ou por efeito de chaminé.

É um gás radioativo carcinogéneo responsável pelo incremento da incidência de casos de cancro nos pulmões em populações expostas.

No passado considerou-se que somente as concentrações de radão no interior dos edifícios acima de $400 \text{ [Bq/m}^3\text{]}$ (em que 1 Bq corresponde a uma desintegração nuclear por segundo), poderiam ser motivo para preocupação, contudo estudos recentes parecem indicar que esse limite está longe de se poder considerar parâmetro de segurança. A OMS recomendou em 2009 um valor bastante mais baixo, não deixando no entanto de referir que não existe nenhuma concentração que possa considerar-se de risco nulo (Torgal, 2013).

Na Tabela 2.3, indicam-se os limites existentes e propostos pelas seguintes instituições: a *International Commissioning on Radiological Protection* (ICRP), a Organização Mundial de Saúde (OMS) e a União Europeia (EU).

Tabela 2.3 Limites existentes e propostos pelas Instituições para habitações, adaptado (Torgal, 2013)

Instituição	Limites (Bq/m ³)	
	Existentes	Propostos
ICRP	≤ 600	≤ 300
OMS	250	100
UE	400	≤ 300

Atendendo à elevada quantidade de rochas graníticas existentes em Portugal isso significa que o radão se apresenta no nosso país como um problema de risco elevado.

Em Portugal a vigilância radiológica é uma das obrigações legais do Instituto Tecnológico e Nuclear (ITN). Em Setembro de 2005, esta instituição deu conta que estudos, no âmbito da vigilância radiológica, já efetuados em 4200 habitações permitiam concluir que 60% das concentrações de radão se situavam abaixo de 50 Bq/m³ e somente 2,60% das habitações apresentavam concentrações acima de 400 Bq/m³, Figura 2.3.

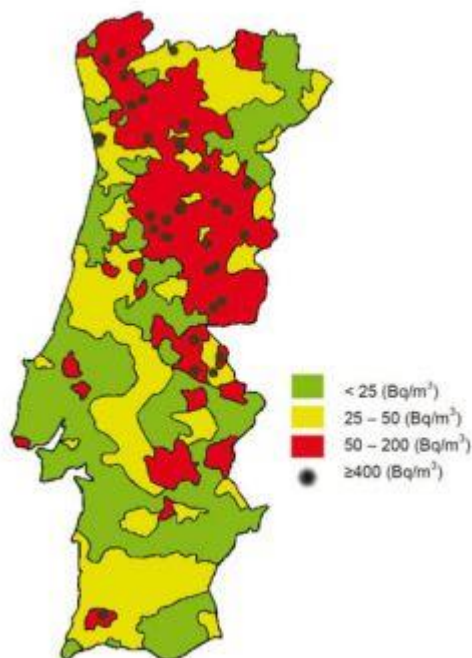


Figura 2.3 Radioatividade no interior de habitações devida ao radão, estudo do ITN (Torgal, 2013)

Assegurar um caudal de ventilação mínimo no interior das habitações é uma forma de reduzir a concentração do radão no interior das habitações.

Partículas

As partículas dos ambientes interiores podem ter diâmetros compreendidos entre 0,001 e 100 μm . Podem ter vários tamanhos e formas e serem constituídas por centenas de diferentes compostos químicos e biológicos. Podem ainda funcionar como transporte de organismos vivos como vírus (0,003 a 0,06 μm), fungos (2 a 10 μm) e bactérias (0,4 a 5 μm). As partículas cujo diâmetro é menor que 10 μm (PM_{10}) denominam-se por torácicas e são normalmente retidas no nariz e traqueia, podendo entrar nos pulmões penetrando em qualquer parte deste órgão, dependendo da sua dimensão. A Norma Portuguesa (NP 1796:2014) efetua uma discriminação taxonómica das partículas em suspensão, para valores de diâmetro aerodinâmico até 10 μm .

Designam-se por partículas respiráveis ou finas ($\text{PM}_{2,5}$) as partículas que, devido à sua pequeníssima dimensão, podem penetrar profundamente no nosso sistema respiratório. Estas partículas podem ter proveniência do fumo do tabaco (0,01 a 1 μm), dos produtos da combustão ou do ar exterior. Refira-se que no ar, 99% do número de partículas tem diâmetro inferior a 1 μm (Pinto, et al., 2007).

A composição química e a forma geométrica destas partículas é muito variável pelo que os seus efeitos sobre o organismo humano são muito diversos. No entanto, quanto mais pequenas as partículas, mais os efeitos são adversos para a saúde.

Em média, em ambientes interiores sem fumo do tabaco, metade da exposição a partículas finas depende da combinação de vários fatores, tais como: condições ambientais, materiais de construção, tipo de ventilação, sistemas de ar condicionado e taxas de ventilação. Metade da exposição interior a partículas finas tem a sua origem no exterior, sendo as principais fontes geradoras a poluição automóvel e os setores industriais que fazem uso de processos de combustão, principalmente quando a matéria-prima é o carvão.

A penetração das partículas exteriores no ambiente interior ocorre pela utilização normal do espaço. Nomeadamente devido à abertura de janelas, portas e por frinchas.

Não há uma indicação clara de que as partículas em suspensão no ar atmosférico possam ser percecionadas pelas pessoas, mesmo tratando-se de partículas com uma forma geométrica mais espinhosa com glucanos, aldeídos ou ftalatos (Wolkoff, 2013). Não é também claro qual o nível de consequências que podem ter ao nível dos pulmões de uma pessoa saudável. Exposições a curto prazo podem provocar sintomas como falta de ar, irritação ocular e pulmonar, náuseas, tonturas e reações alérgicas (EPA, 2014). Alguns efeitos inflamatórios foram também observados entre asmáticos.

Ozono

O ozono está presente no ar exterior, mas a sua concentração depende da altitude e do clima. O ozono também é produzido no ar interior através de aparelhos electroestáticos e de máquinas de escritório tais como as fotocopiadoras e impressoras laser. O ozono é considerado um dos mais tóxicos poluentes regulados no ar interior. Tem efeitos adversos, agudos e crónicos no ser humano se se encontrar em concentrações elevadas.

Pensa-se que cause significantes mudanças fisiológicas e patológicas tanto em animais como em humanos à exposição em concentrações que se encontram dentro dos limites encontrados em ar interior poluído.

Pesquisas realizadas em animais e humanos voluntários em laboratório com condições controladas mostraram significativas alterações nos pulmões quando expostos a concentração em volta de 0,1-0,4ppm ($\approx 200 - 800 \mu\text{g m}^{-3}$) para 1-2h (Awbi, 2003).

A Organização Mundial de Saúde (OMS) recomenda um máximo de $100 \mu\text{g m}^{-3}$ ou 0,05 ppm para 8h de exposição e a ASHRAE Standard 62.1 – Ventilation for

Acceptable Indoor Air Quality (ASHRAE Standard 62.1, 2013) sugere os mesmos limites para exposição contínua.

Microorganismos

As quatro maiores categorias de microorganismos que ocorrem em ambientes interiores de habitações são: bactérias, ácaros, microorganismos provenientes de animais de estimação e fungos. Estes microorganismos podem provocar, nomeadamente, manifestações de alergia tipo rinites e asma. Os fungos e bactérias implicados em manifestações de alergia geralmente vivem alimentando-se de matéria orgânica em ambientes húmidos.

A maior parte dos fungos responsáveis por problemas no interior dos edifícios pertence a um grupo normalmente designado por bolor (fungo com estrutura de filamentos e reprodução através de esporos). A água que favorece o seu desenvolvimento normalmente provém da condensação superficial ou intersticial.

As bactérias são muito mais simples que os fungos, geralmente requerem mais água para crescer, e frequentemente crescem em líquidos ou periodicamente em superfícies húmidas. O crescimento de populações de bactérias até concentrações excessivas é geralmente associado a medidas inadequadas de manutenção de locais onde a água é retida ou se encontra estagnada. Um dos exemplos mais estudado é a *Legionella*, fonte de infeções e causadora de pneumonia.

Os poluentes apresentados anteriormente representam uma pequena parte daqueles que se podem encontrar em ambientes interiores. Na Tabela 2.4 apresentam-se as fontes dos diversos poluentes.

Tabela 2.4 Principais fontes dos diversos poluentes (adaptado de (Amaral, 2008))

Poluente	Fonte de poluição interior
Dióxido de carbono (CO ₂)	Processo de combustão e humanos
Monóxido de carbono (CO)	Combustão incompleta e fumo do tabaco
Compostos Orgânicos Voláteis	Produtos da combustão, solventes e produtos de limpeza
Formaldeído (HCHO)	Isolantes térmicos, colas, derivados da madeira e fumo do tabaco
Radão (Rn)	Terreno ou rochas por baixo do edifício e materiais de construção
Ozono (O ₃)	Fotocopiadoras e impressoras laser
Organismos viáveis ^(a)	Humanos, animais de estimação, insetos, plantas, fungos e ar condicionado

Nota:

a: os microorganismos têm que se manter viáveis para provocar infeções, no entanto, microrganismos não viáveis podem provocar reações alérgicas.

2.3 MECANISMOS DE VENTILAÇÃO NATURAL

A ventilação natural de edifícios ocorre como resultado da diferença de pressão entre o interior e o exterior promovida pela ação do vento e pelo gradiente de temperaturas ou da ação conjunta de ambos, quando não existem dispositivos de ventilação forçada. A ventilação natural está dependente destas duas ações. A ação provocada pela diferença de temperatura é mais notória numa situação de Inverno, no restante ano a ação a considerar é a do vento. A ventilação natural não é um processo que garanta a renovação do ar no interior do edifício em qualquer instante tendo em conta que estas duas ações têm uma grande variabilidade e muitas vezes são imprevisíveis, o que torna a previsão e controlo dos fluxos de ventilação num processo extremamente difícil e sensível.

Para que o desempenho da ventilação natural seja realista deverá prever-se aberturas, nas fachadas quer através da envolvente do edifício quer através dos

limites internos dos diversos espaços funcionando em permanente. Estas aberturas poderão, em algumas situações estar providas de dispositivos de regulação que permitam o controlo das taxas de ventilação de acordo com as exigências impostas.

2.3.1 AÇÃO DO VENTO

O vento é a componente de maior influência nos mecanismos de ventilação natural. Para o presente trabalho, o aspeto mais relevante é a velocidade e o rumo do vento que incide sobre a superfície dos edifícios e o seu efeito na ventilação natural.

A ventilação de uma habitação é afetada pela distribuição da pressão em torno da sua envolvente exterior, nomeadamente das aberturas presentes.

A pressão do vento sobre uma superfície, neste caso fachadas e cobertura dos edifícios, é dada pela expressão:

$$P_w = 0.5 \times C_p \times \rho_0 \times v^2 \quad (2.1)$$

Sendo:

P_w : pressão do vento sobre determinado ponto da superfície do edifício [Pa];

C_p : coeficiente de pressão pela ação do vento [-];

ρ_0 : massa volúmica do ar à temperatura e pressão de referência, T_0 e p_0 [kg/m³];

v : velocidade do vento à cota considerada [m/s].

A ação do vento, diretamente incidente sobre uma superfície, como as fachadas de um edifício, é expressa por coeficientes de pressão positivo, ou seja, a pressão criada é superior à pressão estática do vento em resultado do impacto e desvio na superfície. Ao contrário, os coeficientes negativos exprimem as pressões negativas junto à superfície da fachada oposta à direção do vento, ou seja, a pressão é inferior à pressão estática do vento devido aos vórtices gerados pelas arestas vivas formadas

pela fachada. O coeficiente de pressão pela ação do vento é determinado pela expressão:

$$C_p = \frac{p - p_0}{0.5 \rho_0 v^2} \quad (2.2)$$

Sendo:

C_p : Coeficiente de pressão pela ação do vento [-];

p : pressão estática em determinado ponto da superfície [Pa];

p_0 : pressão estática de referência [Pa];

ρ_0 : massa volúmica do ar à temperatura e pressão de referência, T_0 e p_0 [kg/m³];

v : velocidade do vento a determinada altura [m/s].

Nos diversos regulamentos e normas, são usualmente definidos valores de C_p para edifícios isolados, de planta retangular, em função da altura do edifício, do nível de proteção do edifício ao vento e da inclinação da cobertura.

2.3.2 GRADIENTE TÉRMICO

O fluxo de ar que ocorre devido ao gradiente térmico, conhecido por efeito chaminé, consiste na circulação de massas de ar, gerado pela diferença de temperatura de dois espaços e consequente diferença de densidade do ar nesses espaços. A menor densidade do ar quente permite a sua ascensão com a seguinte substituição por outra massa de ar de maior densidade, devido à diferença de pressão estática. Nas habitações, parte da ventilação resulta deste fenómeno, tendo esta maior expressão com o aumento da diferença térmica e da distância das aberturas. A ação térmica só poderá promover uma ventilação eficaz quando a temperatura média no interior do edifício apresentar, em relação à temperatura exterior, $\Delta T > 8^\circ$. (NP 1037-1:2002).

Considerando a pressão estática ao nível do pavimento de determinada zona, P_0 , a pressão que se verifica a determinada altura z , P_z , em consequência do gradiente de temperatura, será dada pela equação de Bernoulli.

$$P_z = P_0 - \frac{1}{2} \rho v^2 - \rho g z \quad (2.3)$$

Em que:

p_z : Pressão à altura z [Pa];

p_0 : Pressão da zona ao nível do pavimento [Pa];

ρ : Massa volúmica do ar à temperatura interior [kg/m³];

v : Velocidade do escoamento [m/s];

g : Aceleração gravítica [m/s²].

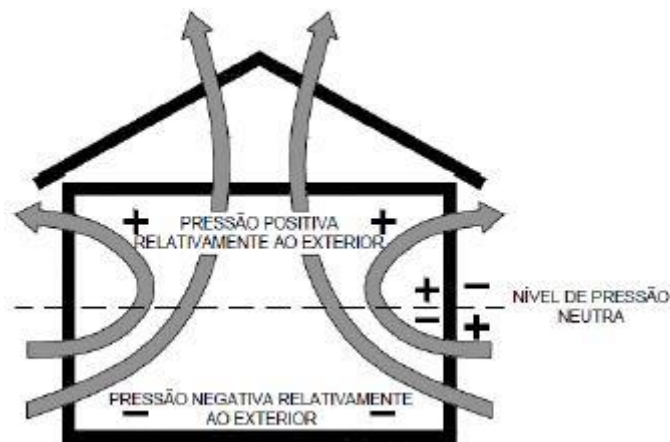


Figura 2.4 Fluxo de ar por ação do gradiente de temperaturas (Efeito chaminé)

Considerando apenas a ação do gradiente da temperatura, o termo correspondente à componente cinética pode ser desprezado, visto o valor da velocidade ser muito reduzido.

Assumindo que o ar se comporta como um gás perfeito, a massa volúmica à temperatura T pode ser calculada através da equação (2.4), em que ρ_0 e T_0

representam a massa volúmica e temperatura de referência do ar, $1,29 \text{ kg/m}^3$ e $273,15 \text{ K}$, respetivamente.

$$\rho = \rho_0 \frac{T_0}{T} \quad (2.4)$$

Quando aparecem duas zonas adjacentes e isotérmicas, ligadas por uma abertura, caso de uma porta ou janela, a diferença de pressão verificada entre ambas à altura z será:

$$\Delta p_z = p_{1,0} - p_{2,0} + (\rho_1 - \rho_2)gz \quad (2.5)$$

Onde $p_{1,0}$ e $p_{2,0}$ representam a pressão ao nível do pavimento para cada uma das zonas 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:

- Escoamento permanente de um fluído 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.

A equação de Bernoulli simplificada, equação (2.3), combinada com a equação dos gases perfeitos (2.4) dá origem à equação (2.6), que representa a diferença de pressão entre duas aberturas separadas por uma distancia vertical h , em que T_i e T_e são a temperatura interior e exterior, respetivamente.

$$\Delta p_z = \rho_1 \cdot A \cdot C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_e}{T_i + T_e}} \quad (2.6)$$

Na ausência de vento e sempre que $T_i > T_e$, o ar entra no edifício pelas aberturas inferiores saindo pelas superiores, ou o contrário $T_i < T_e$. Quando as aberturas tiverem a mesma área, o caudal mássico do ar, \dot{m} , será:

$$\dot{m} = \rho_i \cdot A \cdot C_d \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot h \cdot \frac{T_i - T_e}{T_i + T_e}} \quad (2.7)$$

Sendo C_d o coeficiente de vazão associado a cada abertura.

2.3.3 EFEITOS COMBINADOS

O efeito combinado do vento e do gradiente térmico determina o comportamento dos caudais de ventilação através das aberturas na envolvente do edifício. Estes efeitos podem ter ação conjunta, aumentando o caudal de ventilação, ou ação oposta, reduzindo o caudal de ventilação e, eventualmente anular a ventilação através das aberturas. Os processos de ventilação natural estão inteiramente dependentes do delicado balanço destas duas ações.

2.4 DESCRIÇÃO DOS TIPOS DE VENTILAÇÃO

Existem quatro tipos de sistemas de ventilação para a renovação do ar interior, a referir, a ventilação natural, a ventilação mecânica, a ventilação mista e a ventilação híbrida, estes dois últimos consistem na associação equilibrada dos sistemas de ventilação natural e mecânica.

A utilização corrente das habitações inclui atividades de que resultam substâncias poluentes cuja remoção é necessária para a existência de um ambiente adequado à permanência dos ocupantes.

Para que o ambiente seja quer adequado à permanência das pessoas quer à realização das diversas atividades, nomeadamente garantindo o comburente necessário à realização de combustões completas, é necessário proceder à exaustão dos poluentes e à admissão de ar não contaminado do exterior através de sistemas de ventilação adequados que tenham em consideração as diferenças tipológicas e construtivas entre edifícios de habitação bem como o conforto dos ocupantes.

2.4.1 ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO NATURAL

As diversas estratégias de ventilação natural só funcionam se tivermos em conta determinados fatores como o espaço envolvente do edifício, mecanismos de ventilação, características arquitetónicas e construtivas e clima.

2.4.1.1 VENTILAÇÃO EM FACHADA ÚNICA

A ventilação em fachada única é a forma mais simples de ventilação natural através de uma ou várias aberturas instaladas numa única fachada que permitem a admissão e exaustão de ar. Se for uma única abertura a admissão e exaustão de ar ocorrem na mesma abertura, se existirem várias aberturas a admissão de ar será feita numa abertura e a exaustão noutra, quando se situam a cotas diferentes, por diferença de temperatura. Preferencialmente estas janelas deverão ser colocadas na fachada exposta aos ventos dominantes do local onde o edifício está inserido, neste caso a ação turbulenta do vento gera localmente diferenças de pressão que podem promover ventilação.

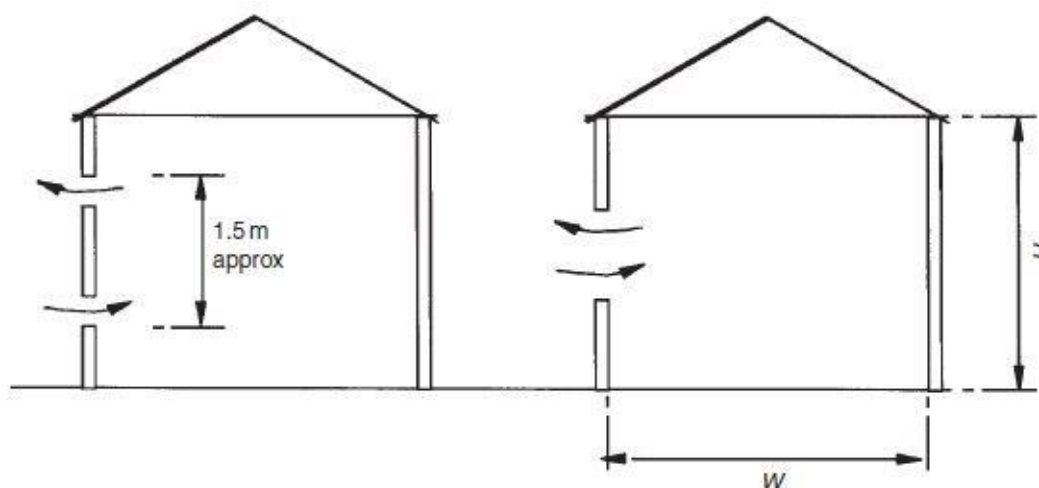


Figura 2.5 Ventilação em fachada única ($W_{max} \approx 2,5H$) (Awbi, 2003)

2.4.1.2 VENTILAÇÃO CRUZADA

Na ventilação cruzada, as aberturas são normalmente colocadas em fachadas opostas estabelecendo a ventilação do compartimento, ou compartimentos, entre fachada de admissão e a de exaustão. Uma das fachadas deve estar exposta aos

ventos dominantes. O posicionamento distinto e distanciado entre fachadas permite gerar um diferencial de pressões proporcionando a ventilação natural. Este tipo de ventilação apenas é garantido nas situações onde o circuito de ar seja contínuo, ou seja, sem obstruções no espaço interior para livre passagem de ar entre fachadas. Nesse sentido os elementos de comunicação entre os diversos compartimentos (por exemplo, portas interiores), devem apresentar permeabilidade ao ar mesmo quando encerrados, através de aberturas como folgas inferiores ou grelhas.

Uma variante a esta configuração é a ventilação cruzada por torres de vento. Consiste num sistema onde existe uma torre ao nível da cobertura que recolhe o ar impulsionado pelo vento, direccionando-o para os níveis inferiores, de modo a permitir a ventilação cruzada.

Outra variante é a ventilação cruzada através de condutas que permite a renovação do ar em compartimentos interiores onde não é possível a comunicação direta com o exterior ou sem exposição a ventos predominantes. Esta estratégia envolve pressões muito reduzidas, apresentando alguns impedimentos na sua implementação, em particular, nos edifícios multifamiliares, pela necessidade de condutas de grande secção.

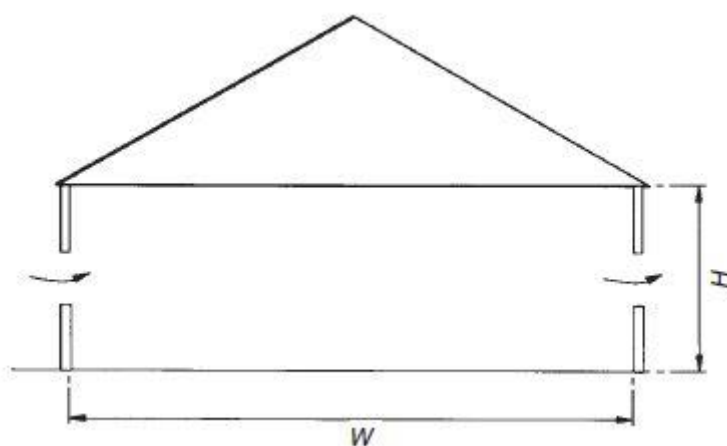


Figura 2.6 Ventilação cruzada ($W_{max} \approx 5H$) (Awbi, 2003)

2.4.1.3 VENTILAÇÃO POR TIRAGEM TÉRMICA

Neste tipo de sistema, a evacuação do ar é realizada através de condutas verticais, que tiram partido das diferenças de temperatura entre o interior e o exterior da habitação.

Relativamente à admissão de ar, esta pode ser realizada através de aberturas nas fachadas ou por intermédio de tubagens.

Para que este sistema funcione eficientemente, evitando assim os refluxos, que são os movimentos do ar através das condutas no sentido descendente, é necessário que:

- A altura de tiragem seja considerável, elevadas alturas provocam menores refluxos;
- A localização do extremo superior das condutas deve situar-se, sempre, acima do ponto mais alto da cobertura, num determinado valor;
- O tipo e configuração do dispositivo a colocar nesse extremo superior das condutas é essencial para se criarem, sempre que haja vento, depressões, que escoem sempre o ar para nível superior;
- Bom isolamento térmico das condutas e boa inercia térmica dos seus elementos construtivos, de modo a que estas se mantenham a temperaturas elevadas. As chaminés solares poderão ser uma solução a ter em consideração.

Estes sistemas de tiragem térmica podem ter várias variantes: configuração adjacente onde cada compartimento é ventilado individualmente; configuração sobreposta onde todos os compartimentos estão parcialmente sobrepostos no entanto cada um tem ventilação independente e configuração acessória onde todos os compartimentos estão completamente sobrepostos existindo uma conduta coletiva de evacuação.

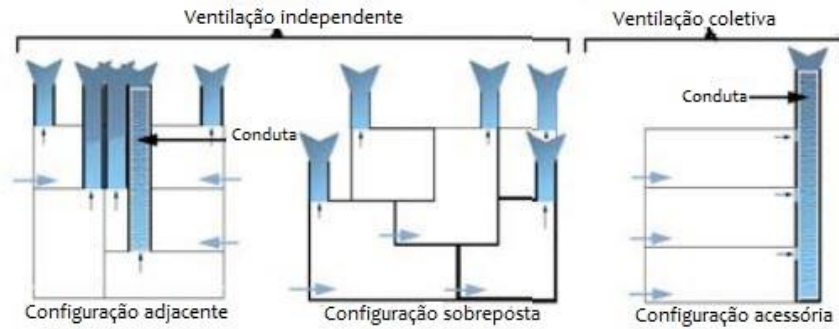


Figura 2.7 Ventilação por tiragem térmica com configuração adjacente, configuração sobreposta e configuração acessória (Mansouri, et al., 2003)

A ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar tem como ideia chave o uso de materiais construtivos com grande absorção da radiação solar de modo a tornar a conduta de evacuação mais quente que o ambiente favorecendo assim o efeito de tiragem térmica.

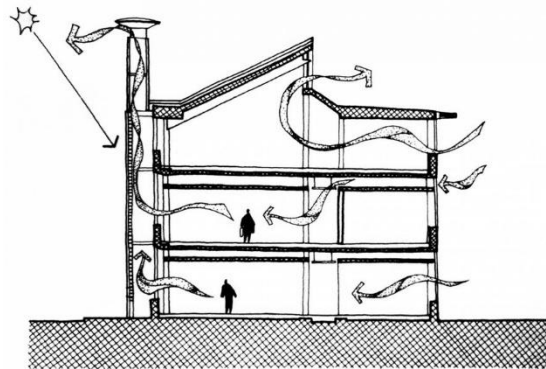


Figura 2.8 Ventilação por tiragem térmica assistida por chaminé solar (DeKay M.; Brown G., 2014)

A ventilação por tiragem térmica assistida pode realizar-se por zonas de transição, que consistem em compartimentos ou espaços interiores com menor exigência de ventilação tanto pela natureza do seu uso como pelo seu próprio uso, sejam por exemplo caixas de escadas e átrios. A separação entre estes e os espaços com exigências de ventilação permite gerar um gradiente térmico e de pressão necessário no fenómeno de ventilação.

Consoante a comunicação entre as zonas de transição são definidas variantes nesta configuração tais como, zonas de transição distanciadas que não apresentam qualquer comunicação entre elas, zonas de transição adjacentes que apresentam

comunicações indiretas entre si ou zonas de transição sobrepostas que apresentam comunicações diretas entre si.

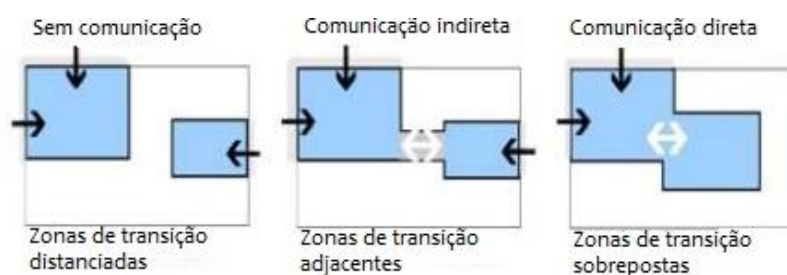


Figura 2.9 Ventilação por tiragem térmica assistida por zonas de transição (Mansouri, et al., 2003)

A ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla integra uma espécie de chaminé solar, só que em toda a extensão da fachada. As fachadas duplas são constituídas por duas superfícies envidraçadas cujo afastamento entre as duas superfícies é, usualmente, de 0,60 m, criando uma caixa-de-ar ventilada de grande dimensão propiciando a circulação de ar através do efeito de chaminé. Este efeito é gerado pelo gradiente de temperatura e de pressão resultante da radiação solar incidente sobre a caixa-de-ar (potenciado pelo efeito de estufa gerado pelo vidro), estabelecendo assim a base do sistema de ventilação.

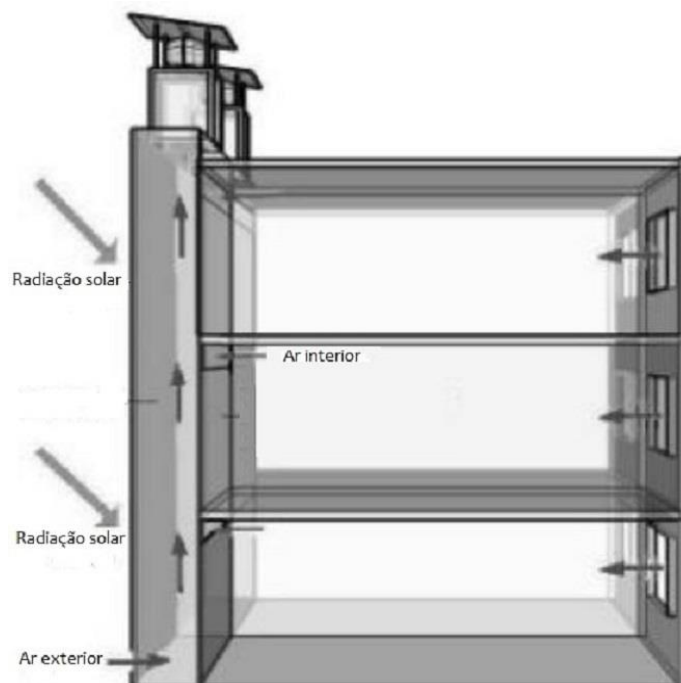


Figura 2.10 Ventilação por tiragem térmica assistida por fachada dupla (Ismail M.; Rahman A., 2012)

2.4.2 VENTILAÇÃO MECÂNICA

Nas situações em que os sistemas de ventilação natural se tornam insatisfatórios impõe-se o uso de sistemas de ventilação mecânica. Estes sistemas mecânicos poderão em muitos casos ser integrados com sistemas de ventilação natural, designando-se ventilação híbrida.

Apresenta-se, de seguida, os tipos mais correntes de sistemas de ventilação mecânica.

2.4.2.1 EXTRAÇÃO MECÂNICA

Neste sistema, só a extração do ar é diretamente executada por ventiladores. A extração mecânica provoca pressões negativas no interior do edifício, que originam a admissão de ar fresco através de aberturas ou frinchas dispostas na fachada ou por condutas em contato com o ar exterior.



Figura 2.11 Extração mecânica (Soler & Palau, S.A, 2006)

2.4.2.2 INSUFLAÇÃO MECÂNICA

Neste sistema, só a insuflação do ar é diretamente executada por ventiladores. Esta insuflação provoca pressões positivas através de aberturas, frinchas ou condutas. Face à extração mecânica, tem a desvantagem de originar que o ar húmido, que existe no interior dos edifícios, seja sujeito a um escoamento forçado, que pode potenciar a migração de humidade nos vários materiais contribuindo para a sua degradação. Como vantagem deste sistema, aponta-se a possibilidade de pré aquecimento e filtragem do ar insuflado.

2.4.2.3 SISTEMAS EQUILIBRADOS DE INSUFLAÇÃO E EXAUSTÃO MECÂNICA

Estes sistemas, integram um sistema independente de insuflação e extração. Normalmente o sistema de insuflação tem uma capacidade de cerca de 90% a 95% da capacidade do sistema de exaustão. Tal, provoca uma leve depressão do edifício, que previne e minimiza a migração de humidade nos elementos construtivos e demais materiais localizados no interior dos fogos. A insuflação é feita nos compartimentos principais e a exaustão nos compartimentos de serviço. Normalmente, estes sistemas integram um recuperador de calor, de modo a que o ar quente que é extraído, pré-aqueça o ar insuflado.

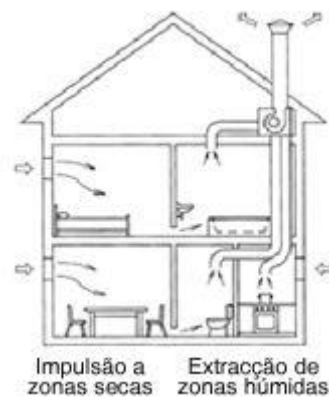


Figura 2.12 Sistema balanceado de insuflação e exaustão mecânica (Soler & Palau, S.A, 2006)

2.4.3 VENTILAÇÃO MISTA E HÍBRIDA

Os sistemas de ventilação mistos e mais recentemente os sistemas de ventilação híbridos, consistem na combinação das propriedades dos sistemas de ventilação natural e mecânica de modo a obter-se um bom desempenho conjunto superando-se os problemas associados aos sistemas de ventilação natural. Nestes sistemas deve ressaltar a utilização integral das condições naturais de ventilação, complementada com a componente mecânica apenas em situações em que a ventilação natural não assegura os caudais pretendidos.

Nos sistemas de ventilação mistos, a renovação do ar geral e permanente é assegurada pela ventilação cruzada, sendo os poluentes gerados nos compartimentos de serviço (cozinha e instalação sanitária) removidos pelo

acionamento de ventiladores individuais de extração de ar. Deste modo é possível a exaustão do ar interior para o exterior, assim como a extração quase instantânea dos poluentes gerados nos compartimentos de serviço, minimizando problemas de QAI ou a ocorrência de condensações. Neste caso, as condutas de evacuação de ar nas cozinhas e instalações sanitárias são dimensionadas para a extração de ar. A ativação dos ventiladores por parte dos ocupantes coincide com o uso dos compartimentos de serviço. Nos restantes períodos (de não funcionamento dos ventiladores), os ventiladores obstruem a conduta de evacuação de ar contribuindo de forma reduzida para a ventilação natural da habitação. Este tipo de sistema é utilizado maioritariamente em habitações.

A ventilação híbrida, constitui um sistema recente e no qual é acionado automaticamente um ventilador mecânico de baixa pressão e baixa potência, sempre que as ações naturais sejam diminutas para assegurar os caudais pretendidos.

2.4.4 ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO

2.4.4.1 TIPOS DE ESTRATÉGIAS DE VENTILAÇÃO

Existem vários tipos de estratégias de ventilação, sendo as principais: ventilação por exaustão local (VEL)³, ventilação por varrimento (VV)⁴; ventilação por deslocamento (VD)⁵ e ventilação por mistura (VM)⁶

Ventilação por exaustão local

É um sistema de ventilação com uma extração eficaz em compartimentos onde possam ser identificadas as fontes de poluentes. Normalmente um ventilador de exaustão é colocado acima da fonte para remover a contaminação antes que se propague pelo ambiente interior.

³ “Local exhaust ventilation (LEV)” na literatura anglo-saxónica.

⁴ “Piston ventilation (PiV)” na literatura anglo-saxónica.

⁵ “Displacement ventilation (DV)” na literatura anglo-saxónica.

⁶ “Mixing ventilation (MV)” na literatura anglo-saxónica.

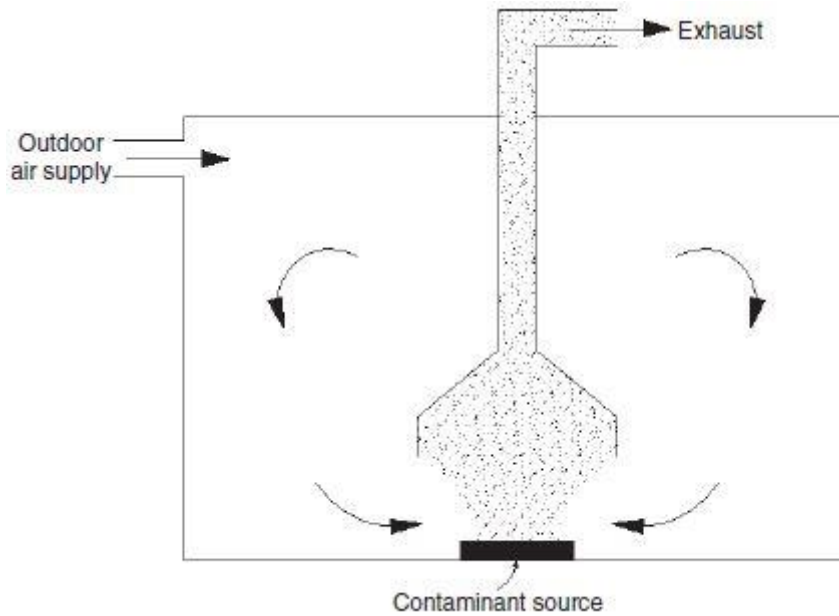


Figura 2.13 Ventilação por exaustão local (Awbi, 2003)

Ventilação por varrimento

O ar é fornecido verticalmente ou horizontalmente em todo o compartimento a baixa velocidade para criar um fluxo tipo “pistão”. É um modo eficaz de remoção de poluentes a partir do ambiente mas requer uma taxa de renovação de ar elevada. Assim, este método não deverá ser utilizado em habitações.

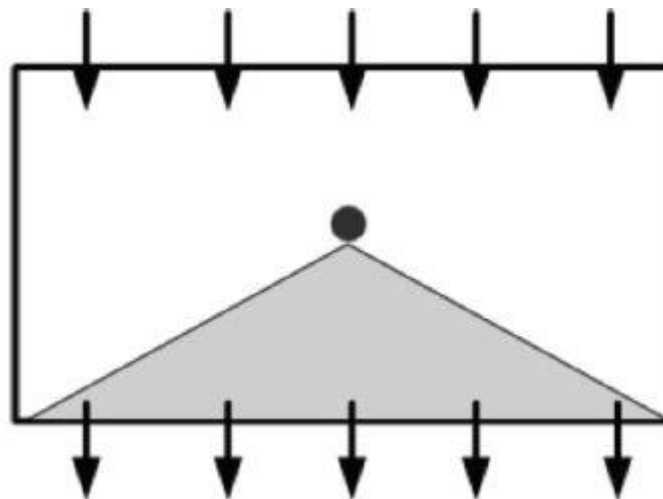


Figura 2.14 Ventilação por varrimento (Cao, et al., 2013)

Ventilação por deslocamento

É um sistema baseado no princípio do deslocamento do ar contaminado no ambiente interior. É um método baseado nas diferenças de temperatura. O ar frio é fornecido a baixa velocidade perto do chão criando assim uma circulação de ar ascendente que vai aquecendo através de fontes de calor no compartimento.

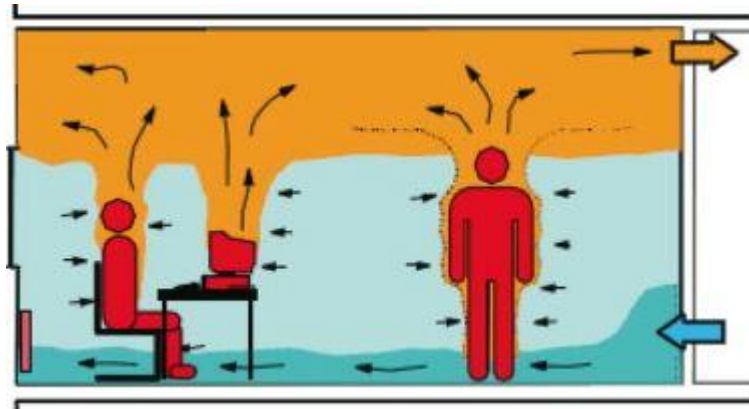


Figura 2.15 Ventilação por deslocamento (Cao, et al., 2013)

Ventilação por mistura

É um sistema que tem como princípio diluir o ar interior contaminado através da mistura de ar novo com o ar viciado reduzindo-se as concentrações de poluentes.

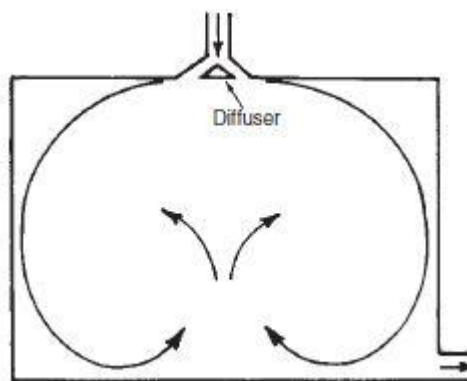


Figura 2.16 Ventilação por mistura (Awbi, 2003)

2.4.4.2 EFICÁCIA DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO

De acordo com (Cao, et al., 2013) existem cinco indicadores que permitem avaliar o desempenho de um sistema de ventilação. São eles a taxa de renovação de ar, remoção de poluentes, remoção de calor, exposição e distribuição de ar.

A eficácia dos sistemas de ventilação reflete-se no suprimento de ar para um determinado ponto de um compartimento. Enquanto a eficácia da ventilação na remoção de poluentes é expressa relativamente à eficiência com que o contaminante é removido na zona ocupada ou na zona de respiração. Além disso, a eficiência de ventilação para remoção de calor é definida demonstrando-se como o calor será removido pelo fluxo de ventilação.

O sistema de distribuição de ar tem uma grande influência em vários parâmetros como conforto térmico, qualidade do ar interior, a eficiência energética. O desempenho de diferentes sistemas de ventilação será determinado pelas suas funções específicas que podem ser avaliados por diferentes índices.

Selecionar o método de ventilação mais eficiente e eficaz é difícil devido à diferente utilização de cada espaço, ganhos de calor, os poluentes e dimensões do espaço. A menos que estes parâmetros sejam especificados em fases de concepção dos sistemas, estes podem ser insatisfatórios por insuficientes informações. Além disso as interações dinâmicas entre a distribuição do fluxo de ar e a ação dos ocupantes são menosprezadas, por exemplo, o movimento dos ocupantes e a presença de fontes de calor em diferentes condições.

O projeto de distribuição do fluxo de ar deve levar em conta não só o limite de velocidade do ar de admissão, mas também deve ter em conta a interação entre a pluma térmica e o fluxo de ar de admissão.

A maioria dos estudos apenas relata o desempenho de um sistema de ventilação tendo em conta uma única perspectiva, ou seja, a eficácia da ventilação, conforto térmico, qualidade do ar interior e eficiência energética. Mais estudos são necessários para identificar a melhor solução para o fornecimento de ar novo para a

zona ocupada ou zona pessoal, especialmente na conceção de um espaço especialmente designado para uma determinada tarefa.

Este artigo determina que a eficácia da ventilação depende da função do sistema de ventilação. As quatro principais funções são: remoção dos poluentes, renovação do ar, remoção de calor e proteção do ocupante. Dentro destas tarefas a proteção dos ocupantes de contaminantes e outros perigos ou condições desconfortáveis deve ser o principal objetivo. A combinação de diferentes tipos de ventilação, como VD e VM, VPi e VD, pode ter um desempenho mais satisfatório do que se fosse apenas usado um método.

2.4.4.3 AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DA VENTILAÇÃO

A eficácia da ventilação localizada, expressa o desempenho do sistema de ventilação em diferentes pontos do mesmo compartimento. Também pode ser expressa como uma eficácia relativa local, como uma média ou como uma eficácia relativa global para toda a zona ocupada.

A eficácia da ventilação localizada para a remoção dos poluentes, \mathcal{E}_c , é expressa por:

$$\mathcal{E}_c = \frac{(c_e - c_\infty)}{(c_p - c_\infty)} \quad (2.8)$$

A eficácia global da ventilação para a remoção dos poluentes, $\bar{\mathcal{E}}_c$, é expressa por:

$$\bar{\mathcal{E}}_c = \frac{(c_e - c_\infty)}{(\bar{c} - c_\infty)} \quad (2.9)$$

Em que:

c : concentração do contaminante num determinado ponto [ppm];

\bar{c} : concentração média na zona ocupada [ppm];

c_∞ : concentração de poluentes no ar novo em admissão [ppm];

C_e : concentração de poluentes no ar removido [ppm].

Para situações estacionárias, a concentração na exaustão, C_e , é obtida através da expressão:

$$C_e = \frac{\dot{m}_c}{\dot{m}_a} \quad (2.10)$$

Em que:

\dot{m}_c : taxa de descarga da fonte de poluição [kg/s ou m³/s];

\dot{m}_a : taxa de admissão de ar exterior [kg/s ou m³/s].

A eficácia da remoção de poluentes dada pela expressão (2.8) é um valor relativo, ou seja, representa uma razão entre um valor num determinado ponto em relação a outro ponto diferente.

A capacidade de um sistema de ventilação reduzir a concentração de poluentes com o tempo é obtida pela seguinte expressão referente à eficácia absoluta da ventilação:

$$\varepsilon_a = \frac{(C_o - C_t)}{(C_o - C_\infty)} \quad (2.11)$$

Em que:

C_o : concentração inicial num determinado ponto [ppm];

C_t : concentração no mesmo ponto após determinado tempo [ppm].

A eficácia relativa da remoção de poluentes através da ventilação reflete a dispersão dos poluentes mas não tem em conta os níveis de concentração absoluta ou alterações nas concentrações iniciais.

O valor de ε_c é sempre positivo e pode ser menor, igual ou maior que um dependendo da posição no compartimento ou do método de ventilação usado. No entanto, a eficiência da ventilação absoluta, ε_a , representa a mudança na concentração como resultado da alteração da taxa de ventilação e é sempre inferior à unidade.

Para superar o efeito da diluição imperfeita de ar exterior poluído no interior do compartimento é requerida uma taxa de renovação de ar maior.

O valor de $\bar{\varepsilon}_c$ depende do sistema de ventilação usado no compartimento.

2.5 LEGISLAÇÃO, NORMALIZAÇÃO E RECOMENDAÇÕES EXISTENTES EM PORTUGAL

Em Portugal, a legislação, normalização e recomendações sobre ventilação mais relevantes são as seguintes:

- Regulamento Geral das Edificações Urbanas (RGEU, 1951);
- Recomendações Técnicas para Habitação Social (Despacho 41/MES/85, 1985);
- Norma Portuguesa NP 1037-1: Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 1: Edifícios de Habitação, Ventilação Natural, de 2002 (NP 1037-1:2002);
- Norma Portuguesa NP 1037-2: Ventilação e Evacuação dos Produtos da Combustão dos Locais com Aparelhos a Gás. Parte 2: Edifícios de Habitação. Ventilação Mecânica Centralizada (VMC) de fluxo simples, de 2009 (NP 1037-2:2009);
- CEN/TR 14788:2006 (Ventilação de Edifícios - Conceção e dimensionamento de sistemas de ventilação residenciais) (CEN/TR 14788:2006). Este relatório técnico especifica recomendações para o desempenho e projeto de sistemas de ventilação que servem edifícios de habitação unifamiliares e multifamiliares;

- NP EN 13141: Ventilação para edifícios – Ensaio de desempenho dos componentes/produtos para ventilação de edifícios de habitação (NP EN 13141):
 - Parte 1:2004, Dispositivos de passagem de ar montados no exterior e no interior;
 - Parte 2:2010, Aberturas de admissão de ar e aberturas de extração de ar;
 - Parte 3:2004, Exaustores de cozinha para utilização doméstica;
 - Parte 4:2011, Ventiladores usados em sistemas de ventilação residencial;
 - Parte 5:2004, Dispositivos de saída nas coberturas;
 - Parte 6:2004, Kits para sistemas de ventilação por exaustão para habitações unifamiliares;
 - Parte 7:2010, Ensaio de desempenho das unidades de admissão e de exaustão mecânicas (incluindo a recuperação de calor) para os sistemas de ventilação mecânicos destinados a habitações unifamiliares;
 - Parte 8:2014, Ensaio de desempenho de unidades de admissão e de exaustão mecânicas (incluindo a recuperação de calor) para sistemas de ventilação mecânica destinados a um quarto individual;
 - Parte 9:2008, Dispositivo de admissão de ar hidro regulável;
 - Parte 10:2008, Dispositivo de exaustão de ar hidro regulável.
- NP EN 13142:2013, Ventilação para edifícios – Componentes/ Produtos para Ventilação Residencial – Características de performance obrigatórias e opcionais (NP EN 13142:2013);
- NP EN 14134:2004, Ventilação para Edifícios – Teste de performance e verificações da instalação de sistemas de ventilação destinados a habitações (NP EN 14134:2004);
- NP EN 15665:2009, Ventilação para Edifícios – Determinar os critérios de desempenho para sistemas de ventilação destinados a habitações (NP EN 15665:2009);

- Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios (SCIE: DL 220/08, de 12 de Novembro) (SCIE, 2008). Dando seguimento às disposições deste DL surge a Portaria n.º 1532/08 que regulamenta as condições técnicas gerais e específicas).

Este regulamento, mais concretamente, tem implicações diretas em projetos de ventilação relativamente às instalações técnicas (segurança contra incêndio das instalações de ventilação e de escape de efluentes de combustão) e equipamentos e sistemas de segurança (sistemas de ventilação e de controlo de fumo e respetivos comandos);

- Regulamento do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios (SCE: DL 118/13, de 20 de Agosto) (SCE, 2013), que integra o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH, Portaria n.º 349-B/2013) (REH, 2013), e o Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços (RECS, Portaria n.º 349-D/2013) (RECS, 2013). O novo SCE transpõe a Diretiva 2010/31/EU, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 19 de Maio, e assenta numa autonomização clara entre o regime aplicável aos edifícios de habitação e o regime aplicável aos edifícios de comércio e serviços.

Tendo em conta o (SCE, 2013) foi desenvolvido um método de cálculo que permite avaliar o desempenho dos sistemas de ventilação no contexto da regulamentação do desempenho térmico e energético dos edifícios e da verificação do requisito mínimo de ventilação. Este método de cálculo encontra-se definido na Portaria n.º 349-B/2013, no Despacho n.º 15793-E/2013 (Regras de simplificação a utilizar nos edifícios sujeitos a grandes intervenções, bem como existentes.), no Despacho n.º 15793-I/2013 (Necessidades nominais anuais de energia útil – Fórmula de cálculo.) e no Despacho n.º 15793-K/2013 (Parâmetros térmicos). Permite obter taxas de renovação de ar da fração na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento, a taxa de renovação de ar do edifício de referência, o consumo de energia dos ventiladores, o efeito de recuperação de calor na estação de aquecimento e na estação de arrefecimento.

3 METODOLOGIA

3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O principal objetivo deste trabalho é demonstrar a viabilidade de um sistema de ventilação mista projetado de modo a garantir a qualidade do ar interior.

Para definir os critérios de dimensionamento a usar neste sistema começou-se por identificar os caudais recomendados para cada compartimento.

Para o efeito, neste trabalho recorreu-se a normas e à legislação Portuguesa em vigor, nomeadamente à NP 1037-2:2009 “Ventilação e evacuação dos produtos da combustão locais com aparelhos a gás. Parte 2: Edifícios de habitação. Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples” onde se preconizam os caudais a adotar.

Contudo não é objetivo desta dissertação, obedecer escrupulosamente às recomendações da norma, mas sim apresentar uma série de recomendações que poderão levar à conceção mais adequada de sistemas de ventilação mista.

3.2 DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS

3.2.1 DESCRIÇÃO DOS EDIFÍCIOS UTILIZADOS COMO MODELO

A descrição que se segue apresenta as características gerais dos edifícios utilizados nas simulações. No entanto efetuaram-se algumas alterações às características dos edifícios, nomeadamente ao nível da geometria. Estes edifícios têm uma distribuição dos espaços que é corrente em Portugal, pelo que se considera que são representativos de uma parte significativa do parque edificado.

Os edifícios situam-se em Lisboa (Figura 3.1). Trata-se de um conjunto de 4 edifícios de habitação, cada um com 8 pisos que conjuntamente apresentam um formato em L. Os prédios possuem cobertura em terraço.

Os edifícios apresentam fachadas com diferentes orientações, este facto foi tido em conta aquando das variadas simulações de cada fogo.

Tabela 3.1 Orientação do Vento e graus correspondentes

Orientação do Vento	Graus
N	0°
E	90°
S	180°
O	270°

3.2.1.1 DEFINIÇÃO DA CLASSE DE EXPOSIÇÃO AO VENTO

Segundo a NP 1037-1:2002, para quantificar a exposição ao vento dos edifícios, é necessário proceder à identificação dos seguintes parâmetros:

- Zonamento do território. Considera-se que as condições integram a Zona B, que inclui os arquipélagos dos Açores e da Madeira e as regiões do continente situadas em faixa costeira com 5 km de largura ou a altitudes superiores a 600m;
- Rugosidade aerodinâmica. Este parâmetro condiciona o perfil de velocidade do vento e relaciona-se com a quantidade e dimensão dos obstáculos, à circulação do vento, que rodeiam o edifício em estudo. Nas simulações efetuadas considerou-se a rugosidade aerodinâmica tipo I que segundo a Norma 1037-1 se atribui a locais situados no interior de zonas urbanas em que predominem os edifícios de médio e grande porte;
- Altura acima do solo. Para efeitos deste estudo consideraram-se apenas as admissões de ar cuja altura acima do solo não excede 80 m. Para locais mais altos, a determinação da ação do vento requer estudos mais detalhados. Consideram-se três situações inicialmente. A primeira corresponde aos fogos do 1º piso (altura das aberturas = 3,1 m), no segundo caso aos fogos do 4º piso (altura das aberturas = 11,2 m) e no terceiro caso aos fogos do 8º piso (altura das aberturas = 22 m). Posteriormente foi considerada a altura do edifício em geral, neste caso 25 m.

Quer isto dizer que, o mesmo edificado, poderá possuir diferentes aberturas de admissão de ar com diferentes classes de exposição ao vento, conforme descrito na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 Classes de exposição ao vento (adaptado de (Viegas, 2010))

Altura acima do solo	Região B		
	I	II	III
<10 m	Exp 1	Exp 2	Exp 3
10 m a 18 m	Exp 2	Exp 3	Exp 4
18 m a 28 m	Exp 2	Exp 3	Exp 4

3.2.1.2 CARATERISTICAS GEOMÉTRICAS E AMBIENTAIS DO FOGO

A planta dos edifícios, objeto das simulações apresenta-se na Figura 3.1.

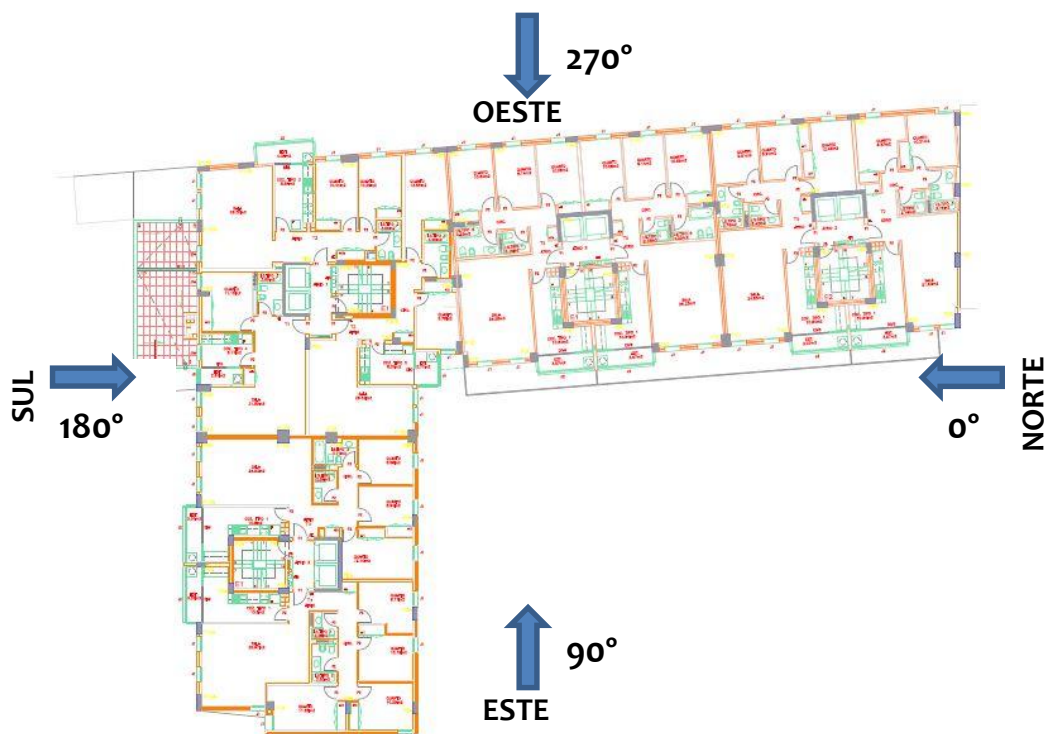


Figura 3.1 Planta dos edifícios

Trata-se de um conjunto de quatro edifícios, Lote 1, Lote 2, Lote 3 e Lote 4, em que cada fogo apresenta um pé-direito de 2,4 m. A tipologia varia entre T2, T3 e T4.

O lote 1 apresenta duas tipologias de fogos, T3 e T4.

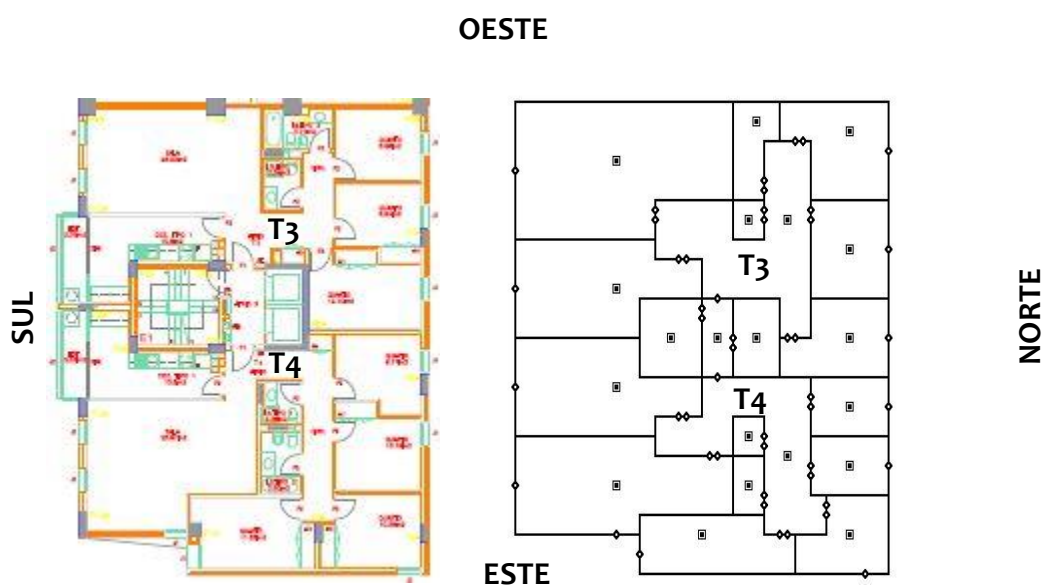


Figura 3.2 Lote 1 (Planta e modelo)

O T3 apresenta:

- Duas casas de banho comuns – Área útil = 3,71 m² e 2,64 m²;
- Quarto de casal – Área útil = 8,98 m²;
- Dois quartos individuais – Área útil = 8,94 m² e 12,10 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 9,20 m²;
- Cozinha – Área útil = 13,91 m²;
- Sala comum – Área útil = 26,53 m²;

O T4 apresenta:

- Duas casas de banho comuns – Área útil = 3,60 m² e 2,28 m²;
- Quarto de casal – Área útil = 9,17 m²;
- Três quartos individuais – Área útil = 10,19 m², 10,29 m², 11,68 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 11,10 m²;
- Cozinha – Área útil = 13,91 m²;
- Sala comum – Área útil = 28,97 m²;

O Lote 2 apresenta três fogos, ambos T2.

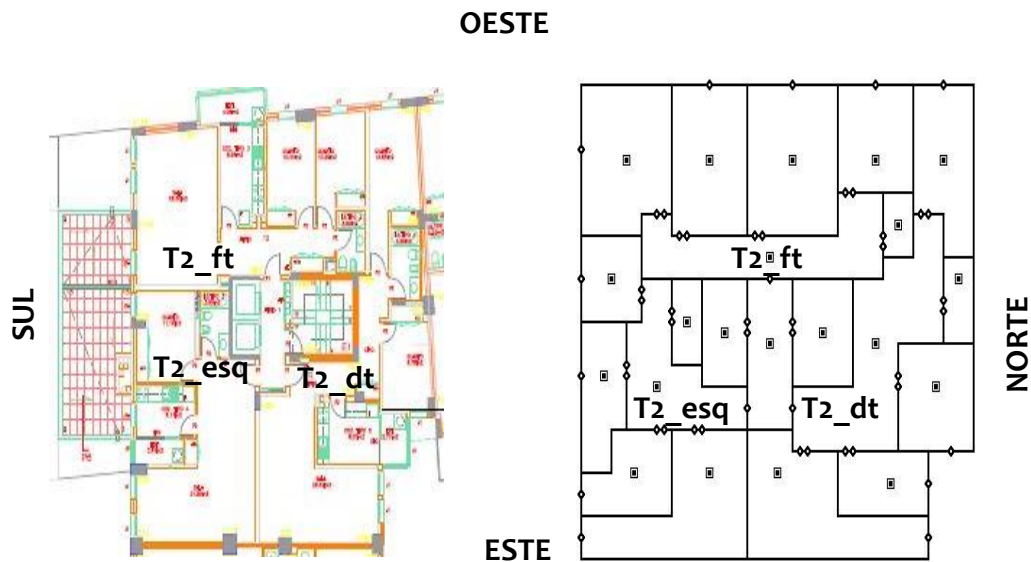


Figura 3.3 Lote 2 (Planta e modelo)

O T2_ft apresenta:

- Casa de banho comum – Área útil = 3,60 m²
- Quarto de casal – Área útil = 10,29 m²;
- Quarto individual – Área útil = 10,44 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 9,25 m²;
- Cozinha – Área útil = 12,92 m²;
- Sala comum – Área útil = 22,45m²;

O T2_esq apresenta:

- Casa de banho comum – Área útil = 2,2 m²
- Quarto de casal – Área útil = 12,22 m²;
- Quarto individual – Área útil = 10,00 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 5,85 m²;
- Cozinha – Área útil = 10,87 m²;
- Sala comum – Área útil = 34,94 m²;

O T2_dt apresenta:

- Casa de banho comum – Área útil = 4,2 m²
- Quarto de casal – Área útil = 13,55 m²;

- Quarto individual – Área útil = 9,78 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 10,20 m²;
- Cozinha – Área útil = 10,84 m²;
- Sala comum – Área útil = 26,52 m²;

O Lote 3 apresenta dois fogos, ambos T3.

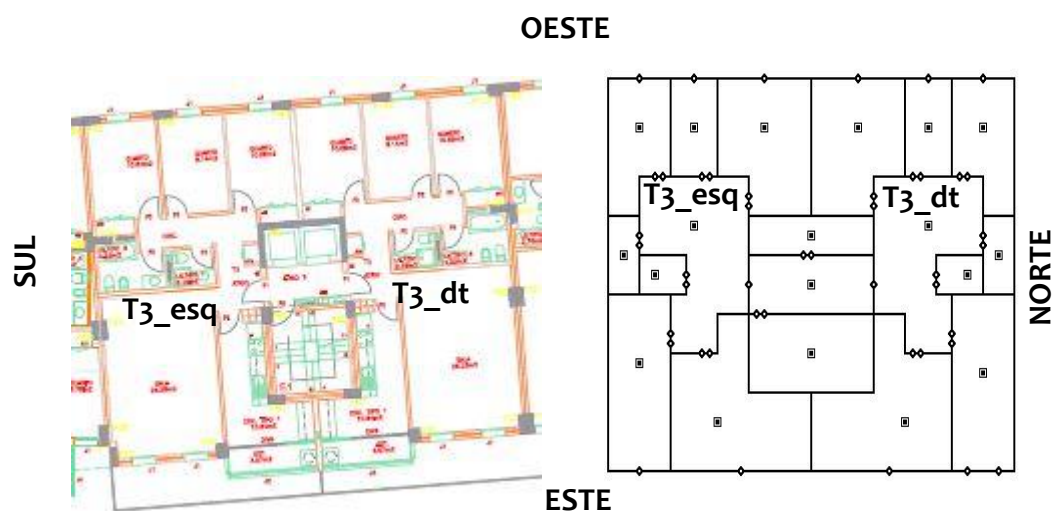


Figura 3.4 Lote 3 (Planta e modelo)

O T3_esq apresenta:

- Duas casas de banho comuns – Área útil = 4,23 m² e 2,19 m²;
- Quarto de casal – Área útil = 10,64 m²;
- Dois quartos individuais – Área útil = 10,08 m² e 9,14 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 8,70 m²;
- Cozinha – Área útil = 13,91 m²;
- Sala comum – Área útil = 26,28 m²;

O T3_dt apresenta:

- Duas casas de banho comuns – Área útil = 4,23 m² e 2,19 m²;
- Quarto de casal – Área útil = 10,59 m²;
- Dois quartos individuais – Área útil = 10,08 m² e 9,14 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 8,70 m²;

- Cozinha – Área útil = 13,91 m²;
- Sala comum – Área útil = 26,33 m²;

O Lote 4 apresenta dois fogos, T3 e T2.

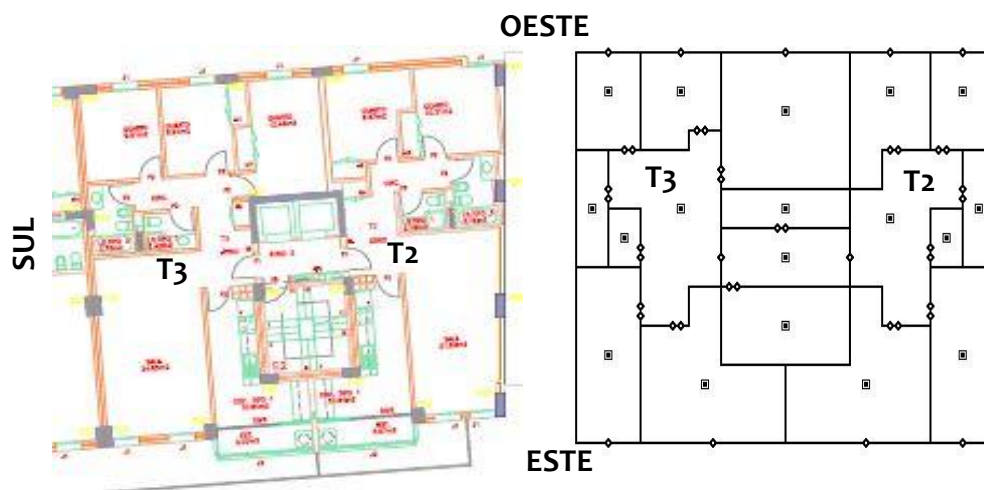


Figura 3.5 Lote 4 (Planta e modelo)

O T3 apresenta:

- Duas casas de banho comuns – Área útil = 3,76 m² e 2,42 m²;
- Quarto de casal – Área útil = 12,48 m²;
- Dois quartos individuais – Área útil = 9,01 m² e 8,91 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 8,62 m²;
- Cozinha – Área útil = 13,91 m²;
- Sala comum – Área útil = 24,85 m²;

O T2 apresenta:

- Duas casas de banho comuns – Área útil = 3,76 m² e 2,19 m²;
- Quarto de casal – Área útil = 9,67 m²;
- Quarto individual – Área útil = 10,31 m²;
- Hall de entrada/acesso aos quartos – Área útil = 8,55 m²;
- Cozinha – Área útil = 13,91 m²;
- Sala comum – Área útil = 21,67 m²;

Relativamente às condições ambientais dos fogos, a temperatura considerada nas simulações é sempre de 20° C, inclusive nas áreas comuns.

3.3 REQUISITOS DE AR A ASSEGURAR EM CADA ESPAÇO

Para definir as taxas de ventilação recomendadas para cada espaço interior seguiu-se a NP 1037-2:2009.

Tendo em conta a área de pavimento de cada espaço e o número máximo de ocupantes obtiveram-se caudais de ar novo a garantir em cada compartimento.

3.3.1 CAUDAL BASE

Para promover a qualidade do ar interior nos compartimentos principais deve ser admitido o caudal de ar novo mínimo resultante do cálculo através das expressões que constam na Tabela 3.3, para os quartos e para as salas em função de serem ou não especificados materiais de construção classificados com baixa emissão de poluentes para o ar interior. Os caudais de base mínimos nos compartimentos de serviço são calculados com as expressões que constam na Tabela 3.4.

Nestas expressões de cálculo dos caudais base mínimos as variáveis V_{ol} e n_{ocup} representam o volume interior do compartimento [m^3] e o número de ocupantes de cada compartimento, (Tabela 3.5.).

Para efeitos de cálculo deve ser considerada a taxa de ocupação correspondente a dois ocupantes num quarto e um ocupante por quarto adicional, (Tabela 3.5.).

A taxa de ocupação da sala corresponde à soma dos ocupantes de cada quarto, (Tabela 3.5.).

São considerados materiais com baixa emissão de poluentes os que satisfazem aos limites máximo de emissão, para o nível “low polluting”, especificados no Anexo C da norma (EN 15251:2007).

Tabela 3.3 Caudais de base mínimos nos compartimentos principais

Materiais não classificados com baixa emissão de poluentes para o ar interior	Materiais classificados com baixa emissão de poluentes para o ar interior
$Q_{quarto} (l/s) = \text{Max.}(Vol / 3,6; 5 \times n_{ocup})$ <p style="text-align: center;">(3.1)</p>	$Q_{quarto} (l/s) = \text{Max.}(0,5 \times Vol / 3,6; 5 \times n_{ocup})$ <p style="text-align: center;">(3.2)</p>
$Q_{sala} (l/s) = \text{Max.}(Vol / 3,6; 6 \times n_{ocup})$ <p style="text-align: center;">(3.3)</p>	$Q_{sala} (l/s) = \text{Max.}(0,5 \times Vol / 3,6; 6 \times n_{ocup})$ <p style="text-align: center;">(3.4)</p>

Neste caso foram considerados materiais classificados com baixa emissão de poluentes para o ar interior.

Tabela 3.4 Caudais de base mínimos nos compartimentos de serviço

Instalação sanitária com caudal constante	Cozinha
$Q_{instalação\ sanitária} (l/s) = \text{Max.}(4 \times Vol / 3,6; 8,3)$ <p style="text-align: center;">(3.5)</p>	$Q_{cozinha} (l/s) = 2 \times Vol / 3,6$ <p style="text-align: center;">(3.6)</p>

Tabela 3.5 Taxa de ocupação de referência dos compartimentos principais por tipologia

Tipologia	Sala	Quarto 1	Quarto 2	Quarto 3	Quarto 4	Quarto 5
T0	2	-	-	-	-	-
T1	2	2	-	-	-	-
T2	3	2	1	-	-	-
T3	4	2	1	1	-	-
T4	5	2	1	1	1	-
T5	6	2	1	1	1	1

Nas instalações sanitárias com extração de um caudal de ar constante considera-se como caudal mínimo o valor de quatro renovações por hora ou 8,3 l/s, podendo ser limitado a 25 l/s no caso de instalações sanitárias de grandes dimensões.

Nas cozinhas, considera-se como caudal mínimo o correspondente a duas renovações por hora, de forma a assegurar a redução de 60% da concentração dos poluentes ao fim de 30 minutos.

Caso os caudais totais a extrair nos compartimentos de serviço sejam diferentes dos caudais totais a admitir nos compartimentos principais (no fogo, ou em cada setor de ventilação), o menor desses valores deve ser corrigido, incrementando a admissão de ar nos compartimentos principais ou a extração nos compartimentos de serviço.

3.3.2 CAUDAL MÁXIMO

Na cozinha o caudal máximo a extrair deve ser o valor máximo correspondentes à adequada evacuação dos produtos de cocção dos alimentos e do funcionamento dos aparelhos a gás eventualmente existentes nesse espaço.

O caudal a extrair na hote da cozinha não deve ser inferior ao maior dos dois valores obtidos considerando uma extração de 50l/s ou 60l/s (metro de largura do fogão).

Nos locais onde existam aparelhos a gás tipo B₁₁ (excetuando caldeiras), o caudal de ar para esse aparelho ($Q_{\text{aparelho a gás}}$) não deve ser inferior ao produto 1.2 x Q_n (l/s). Nos locais onde estão instaladas caldeiras, o caudal a considerar para esse aparelho não deve ser inferior ao produto 1.4 x Q_n (l/s). Q_n é a potência útil nominal do aparelho a gás [kW].

Deste modo, na ausência de aparelhos a gás tipo B₁₁, o caudal a extrair na cozinha não deve ser inferior ao valor obtido pela expressão:

$$Q_{\text{cozinha}} (l/s) = \text{Max.} (2 \times \text{Vol} / 3,6; 50; 60 \times L_{\text{fogão}}) \quad (3.7)$$

Quando existam aparelhos a gás do tipo B₁₁, deve ser adotada a expressão:

$$Q_{cozinha} (l/s) = \text{Max.} (2 \times Vol / 3,6; 50 + Q_{aparelho\ a\ gás}; 60 \times L_{fogão} + Q_{aparelho\ a\ gás}) \quad (3.8)$$

Estes valores de caudal de ventilação correspondem ao caudal típico necessário para assegurar o bom funcionamento do fogão (aparelho a gás do tipo A) e de produção de água quente (aparelho a gás do tipo B₁₁), caso existam outros aparelhos a gás que requeiram ar da instalação de ventilação, esse caudal específico deve ser acrescido aos valores atrás referidos, admitindo que esses aparelhos possam estar em funcionamento simultâneo.

Quando for adotada uma extração de caudal variável nas instalações sanitárias, preconiza-se que seja assegurado durante 20 minutos o caudal de ponta definido na expressão seguinte, podendo ser limitado a 50 l/s no caso de instalações sanitárias de grande dimensão.

$$Q_{instalação\ sanitária} (l/s) = \text{Max.} (4 \times Vol / 3,6; 12,5) \quad (3.9)$$

3.3.3 CAUDAIS PRECONIZADOS

Todos os caudais preconizados [l/s] têm como base as expressões anteriormente referidas.

Ficou definido que os caudais preconizados a usar no dimensionamento do sistema de ventilação relativamente aos compartimentos de serviço seriam os caudais máximos, com os ventiladores ativos, uma vez que durante essas simulações se pressupõem que estes compartimentos se encontram em utilização. As instalações sanitárias, uma vez que são interiores e que os ventiladores obturam as condutas de exaustão, não têm ventilação significativa quando os ventiladores estão inativos. Neste caso não é possível assegurar o requisito de caudal de base.

É de salientar que, nesta aplicação, os caudais base nos compartimentos principais dependem apenas do número de ocupantes, relegando para segundo plano o volume de cada compartimento. Nos caudais máximos, usados nos compartimentos de serviço, não foram consideradas caldeiras, ou seja, o caudal de ar para o aparelho

a gás considerado não será inferior ao produto $1.2 \times Q_n$ (l/s). A potência útil nominal do aparelho a gás é de 23kW.

3.3.3.1 CAUDAIS LOTE 1

Na Tabela 3.6 e na Tabela 3.7 apresentam-se os caudais referentes a cada tipo de compartimento do Lote 1.

Tabela 3.6 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3 do Lote 1

Compartimentos	Principais			Serviço			
	Quarto individual	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.	I.S.
Volume [m³]	21,55	21,46	21,55	63,67	33,38	8,90	6,34
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	5,00	10,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	6,00	12,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	1,00	1,01	2,00	1,36	8,37	5,06	7,09

Tabela 3.7 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T4 do Lote 1

Compartimentos	Principais				Serviço			
	Quarto individual	Quarto individual	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.	I.S.
Volume [m³]	28,03	24,67	24,46	22,01	69,53	33,38	8,64	5,47
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	5,00	5,00	10,00	30,00	77,60	12,50	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	6,00	6,00	12,00	30,00	77,60	12,50	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	0,77	0,87	0,88	1,96	1,55	8,37	5,20	8,23

De acordo com a geometria do Lote1, na Figura 3.2 podemos observar uma divisão do Lote 1 em que a parte esquerda corresponde ao fogo T3 e a parte direita ao fogo T4.

No fogo T3, ocorre um equilíbrio de caudais de admissão entre fachadas opostas incrementando-se 1 [l/s] em cada quarto simples e 2 [l/s] no quarto duplo de modo a perfazer um total de 24 [l/s] igualando o caudal admitido na sala, equilibrando-se assim os caudais de ar novo em admissão. Os incrementos efetuados nos quartos não alteram excessivamente a ventilação do compartimento visto tratarem-se de incrementos muito baixos. O caudal de projeto da sala não sofreu qualquer incremento e relativamente à cozinha o caudal de projeto está diretamente relacionado com o caudal de ar do aparelho a gás.

No fogo T4, não era possível apresentar um equilíbrio de caudais de admissão entre fachadas opostas. Neste caso o incremento de caudais nos quartos orientados a Norte já não seria aconselhável por se tratar de um aumento significativo em cada compartimento. Como solução foi introduzida uma conduta de diâmetro 100 mm (Tabela 3.22), encontra-se a azul na Figura 3.2, que permitiu admitir o caudal em falta para se atingir o equilíbrio, neste caso uma conduta que permitiu uma entrada de ar de 12 [l/s]. Após a introdução da conduta os caudais de admissão encontram-se equilibrados perfazendo um total de 36 [l/s].

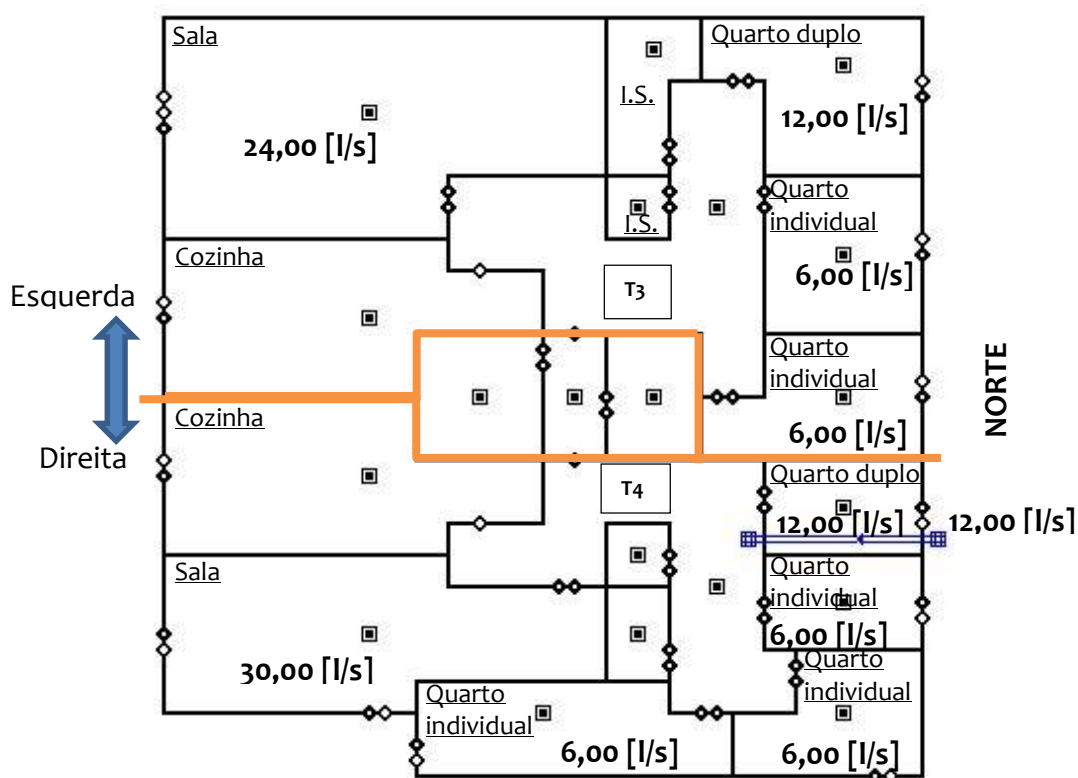


Figura 3.6 Modelo Lote 1 com caudais de admissão

3.3.3.2 CAUDAIS LOTE 2

Na Tabela 3.8, na Tabela 3.9 e na Tabela 3.10 apresentam-se os caudais referentes a cada tipo de compartimento do Lote 2.

Tabela 3.8 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T2_Ft do Lote 2

Compartimentos	Principais			Serviço	
	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.
Volume [m³]	25,06	24,70	53,88	31,01	8,64
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	10,00	18,00	77,6	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	12,00	18,00	77,6	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h ⁻¹]	0,86	1,75	1,20	9,01	5,42

Tabela 3.9 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T2_Dt do Lote 2

Compartimentos	Principais		Serviço		
	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.
Volume [m³]	23,47	32,52	63,65	26,02	10,08
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	10,00	18,00	77,60	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	12,00	18,00	77,60	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	0,92	1,33	1,02	10,74	4,46

Tabela 3.10 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T2_Esq do Lote 2

Compartimentos	Principais		Serviço		
	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.
Volume [m³]	24,00	29,34	83,86	26,09	5,28
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	10,00	18,00	77,60	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	12,00	18,00	77,60	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	0,90	1,47	0,77	10,71	8,52

De acordo com a geometria do Lote 2, na Figura 3.7, podemos observar uma divisão do Lote 2 em três frações correspondentes aos fogos T2_Ft na parte superior, T2_Esq na parte esquerda e T2_Dt na parte direita.

No fogo T2_Ft não ocorre um equilíbrio de caudais de admissão entre fachadas opostas porque todo o fogo se encontra orientado numa só direção à exceção da Sala, porém não permite a ocorrência de uma ventilação cruzada capaz de proporcionar caudais em admissão que renovem o ar interior dos compartimentos.

Com o intuito de equilibrar os caudais de admissão foi introduzida uma conduta de diâmetro 200 mm (Tabela 3.22) que permitiu introduzir um caudal de ar novo de 36 [l/s] (representado a azul na Figura 3.7).

No quarto simples foi incrementado 1 [l/s] e no quarto duplo 2 [l/s] de modo a perfazer um total de 36 [l/s], inclui o caudal de projeto de 18 [l/s] da sala que não sofreu qualquer incremento.

Na cozinha o caudal de projeto depende inteiramente do caudal associado ao aparelho a gás.

No fogo T2_Esq podemos constatar que todas as aberturas se encontram apenas presentes na fachada orientada a 180°. Tal facto não permite uma ventilação cruzada pelo que será notório um claro défice na ventilação dos compartimentos. Foi introduzida uma conduta de diâmetro 200 mm (Tabela 3.22) que permitiu satisfazer um caudal de 36 [l/s] de modo a ocorrer um equilíbrio de caudais de admissão (representado a azul na Figura 3.7).

No fogo T2_Dt também foi introduzida uma conduta de diâmetro 150 mm (Tabela 3.22) capaz de equilibrar os caudais de admissão. Esta conduta fornece um caudal de 14 [l/s], (representado a azul na Figura 3.7).

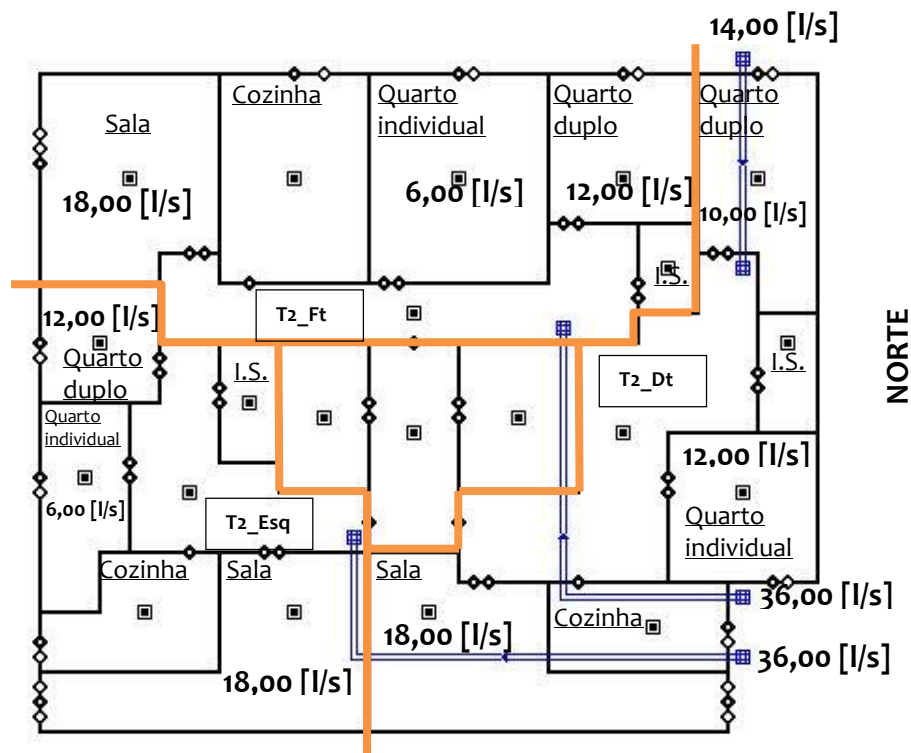


Figura 3.7 Modelo Lote 2 com caudais de admissão

3.3.3.3 CAUDAIS LOTE 3

Na Tabela 3.11 e na Tabela 3.12 apresentam-se os caudais referentes a cada tipo de compartimento do Lote 3.

Tabela 3.11 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3_Esq do Lote 3

Compartimentos	Principais			Serviço			
	Quarto individual	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.	I.S.
Volume [m ³]	24,19	21,94	25,54	63,07	33,38	10,15	5,26
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	5,00	10,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	6,00	12,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h ⁻¹]	0,89	0,98	1,69	1,37	8,37	4,43	8,55

Tabela 3.12 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T₃_Dt do Lote 3

Compartimentos	Principais			Serviço			
	Quarto individual	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.	I.S.
Volume [m³]	24,19	21,94	25,42	63,19	33,38	10,15	5,26
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	5,00	10,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	6,00	12,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	0,89	0,98	2,00	1,37	8,37	4,43	8,55

De acordo com a geometria do Lote 3, Figura 3.8, ambos os fogos apresentam um equilíbrio de admissão de caudais entre fachadas opostas incrementando-se 1 [l/s] em cada quarto simples e 2 [l/s] no quarto duplo de modo a perfazer um total de 24 [l/s] equilibrando-se assim os caudais de ar novo em admissão, os incrementos efetuados nos quartos não alteram significativamente a ventilação de cada compartimento visto tratarem-se de incrementos muito baixos.

O caudal de projeto da sala não sofreu qualquer incremento e relativamente à cozinha, o caudal de projeto está diretamente relacionado com o caudal de ar do aparelho a gás.

Não foi necessária a introdução de condutas nos fogos porque ocorre uma ventilação cruzada entre fachadas opostas, pelo que a 2ª fase não se aplica no Lote 3.

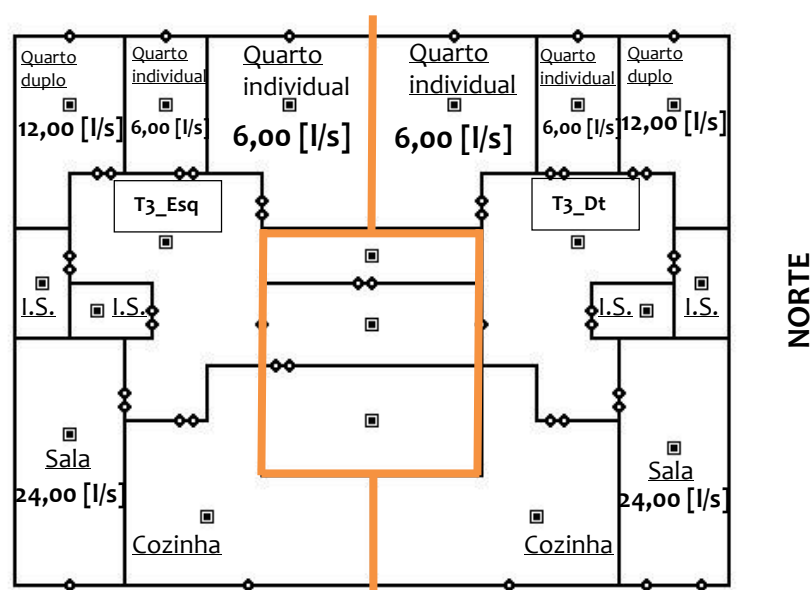


Figura 3.8 Modelo Lote 3 com caudais de admissão

3.3.3.4 CAUDAIS LOTE 4

Na Tabela 3.13 e na Tabela 3.14 apresentam-se os caudais referentes a cada tipo de compartimento do Lote 4.

Tabela 3.13 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T3 do Lote 4

Compartimentos	Principais			Serviço			
	Quarto individual	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.	I.S.
Volume [m³]	21,62	21,38	29,95	59,64	33,38	9,02	5,81
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	5,00	10,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	6,00	12,00	24,00	77,60	12,50	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	1,00	1,01	1,44	1,45	8,37	4,99	7,75

Tabela 3.14 Caudais base/máximo, caudais de projeto e taxas de ventilação referentes ao T4 do Lote 4

Compartimentos	Principais				Serviço	
	Quarto individual	Quarto duplo	Sala	Cozinha	I.S.	I.S.
Volume [m³]	24,74	23,21	52,01	33,38	9,02	5,26
Caudal base/máximo [l/s]	5,00	10,00	18,00	77,60	12,50	12,50
Caudal de projeto [l/s]	6,00	12,00	18,00	77,60	12,50	12,50
Taxa de ventilação de projeto [h⁻¹]	0,87	1,86	1,25	8,37	4,99	8,56

De acordo com a geometria do Lote 4, Figura 3.9, ambos os fogos apresentam um equilíbrio de admissão de caudais entre fachadas opostas incrementando-se 1 [l/s] em cada quarto simples e 2 [l/s] no quarto duplo de modo a perfazer um total de 18 [l/s] para o T3 e de 24 [l/s] para o T4 equilibrando-se assim os caudais de ar novo em admissão, os incrementos efetuados nos quartos não alteram significativamente a ventilação de cada compartimento visto tratarem-se de incrementos muito baixos.

Os caudais de projeto das salas não sofreram quaisquer incrementos e relativamente à cozinha o caudal de projeto está diretamente relacionado com o caudal de ar do aparelho a gás.

Não foi necessária a introdução de condutas nos fogos porque ocorre uma ventilação cruzada entre fachadas opostas, pelo que a 2ª fase não se aplica no Lote 4.

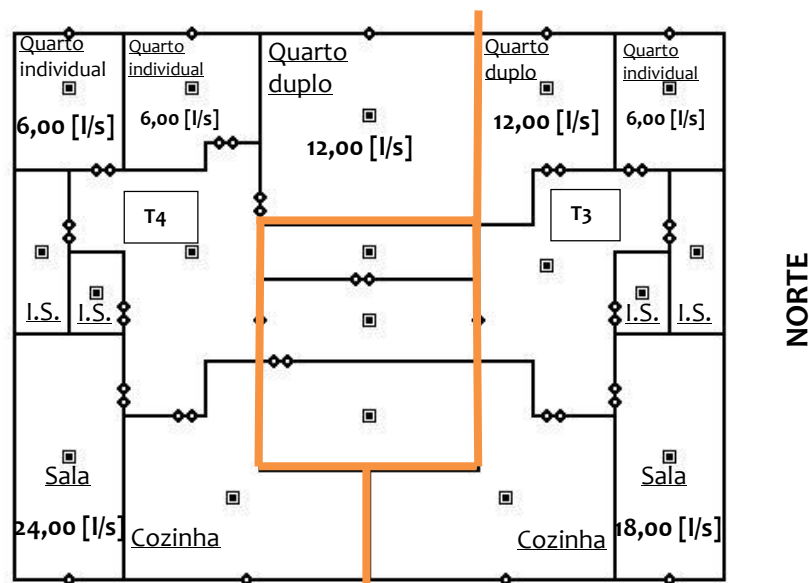


Figura 3.9 Modelo Lote 4 com caudais de admissão

3.4 COEFICIENTES DE PRESSÃO

Para quantificar os coeficientes de pressão do vento atuante nos edifícios, utilizou-se o modelo de previsão “Cpgenerator” (TNO Webapplications home, 2014), que permite a consideração de qualquer direção do vento e admite edifícios com várias formas geométricas, refletindo a sua geometria real, sendo esta a vantagem relativamente a outros modelos quantificadores de coeficientes de pressão do vento.

Na Figura 3.10, apresenta-se a numeração de cada fachada utilizada no cálculo dos coeficientes de pressão.

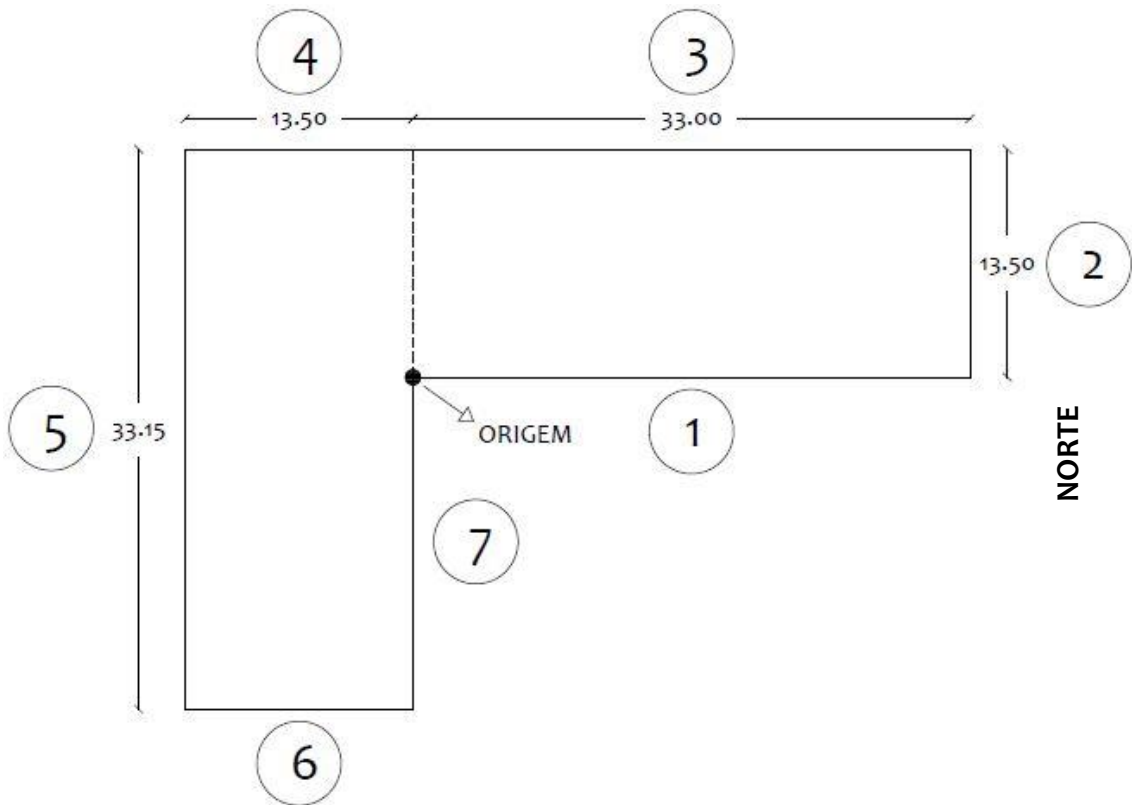


Figura 3.10 Numeração das fachadas

Para cada fachada foram determinadas coordenadas que foram posteriormente inseridas no “Cpgenerator”.

Existem 3 níveis de cotas, o primeiro nível corresponde a 3,10 m, o segundo nível a 11,20 m e o terceiro nível a 22,00m.

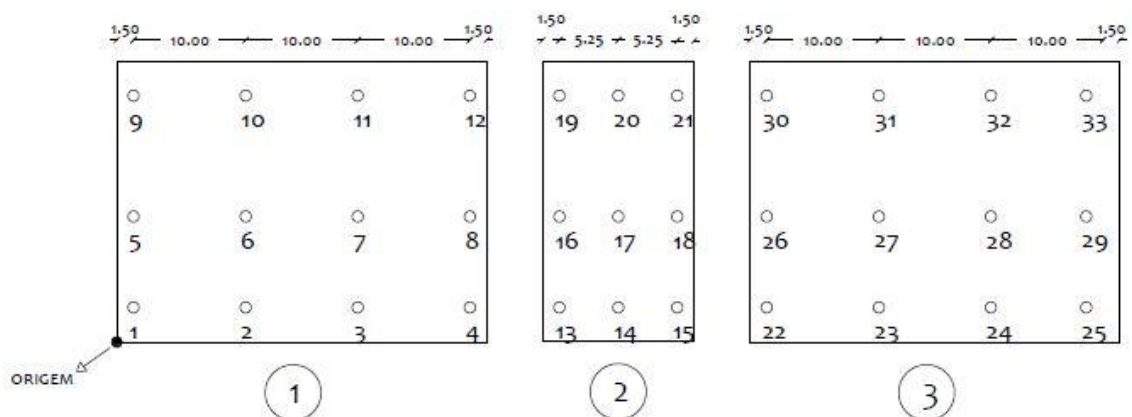


Figura 3.11 Localização das coordenadas nas fachadas 1, 2 e 3

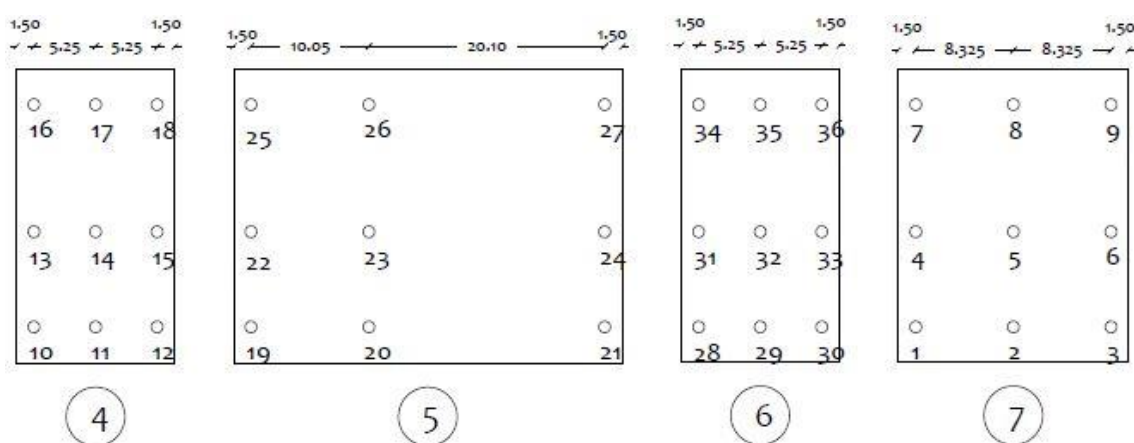


Figura 3.12 Localização das coordenadas nas fachadas 4,5,6 e 7

Já com os coeficientes de pressão determinados obtiveram-se as curvas características de cada fachada. Para cada fachada existem duas curvas características por eixo vertical, uma curva corresponde ao primeiro nível e a outra curva corresponde à média do segundo e terceiro nível, visto que se trata de valores quase idênticos. A única exceção ocorre na fachada 7 em que o eixo vertical, ao centro, é definido através de uma única curva característica.

Nas figuras 19, 20, 21, 22, 23 e 24 são apresentadas graficamente curvas características das fachadas, com exceção das da fachada 2 que não apresenta aberturas para o exterior, não sendo relevante a sua apresentação. No ANEXO I constam as restantes curvas características.

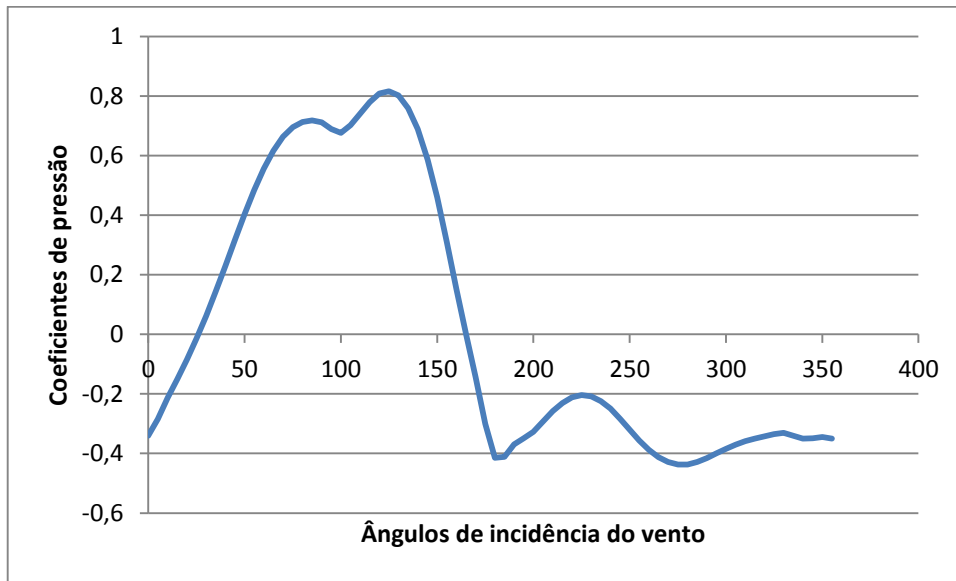


Figura 3.13 Curva característica da fachada 1 no ponto 1 e zona de influência

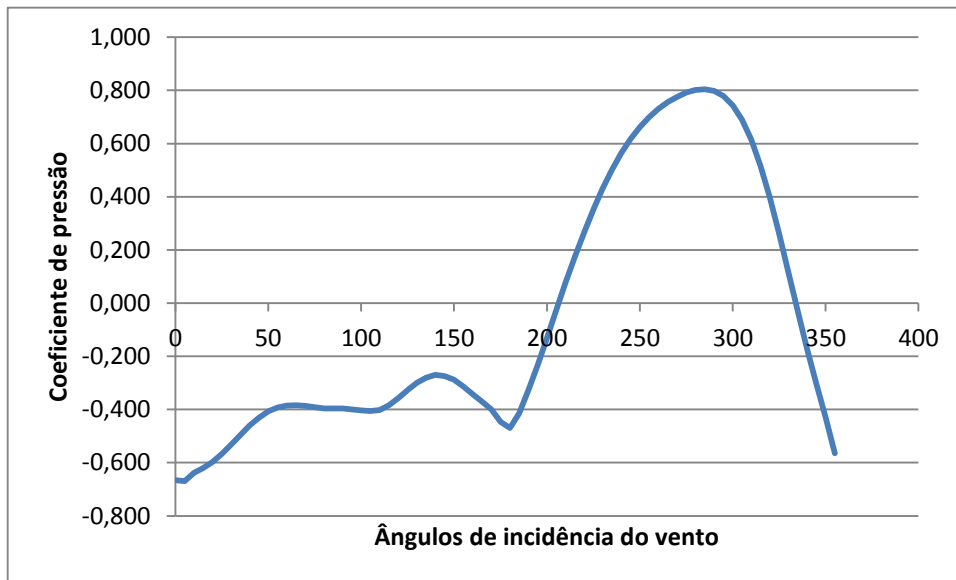


Figura 3.14 Curva característica da fachada 3 nos pontos 27/31 e zona de influência

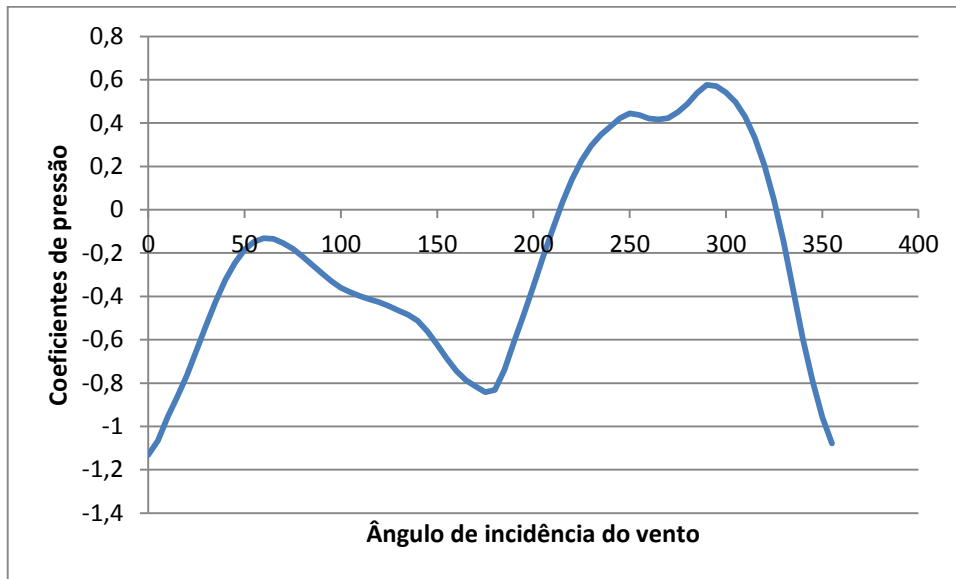


Figura 3.15 Curva característica da fachada 4 no ponto 10 e zona de influência

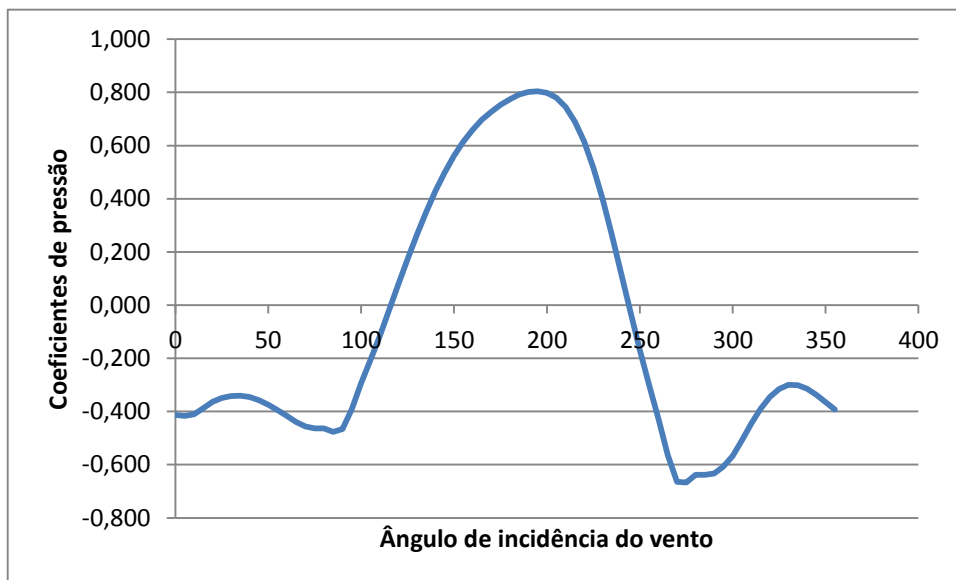


Figura 3.16 Curva característica da fachada 5 nos pontos 23/26 e zona de influência

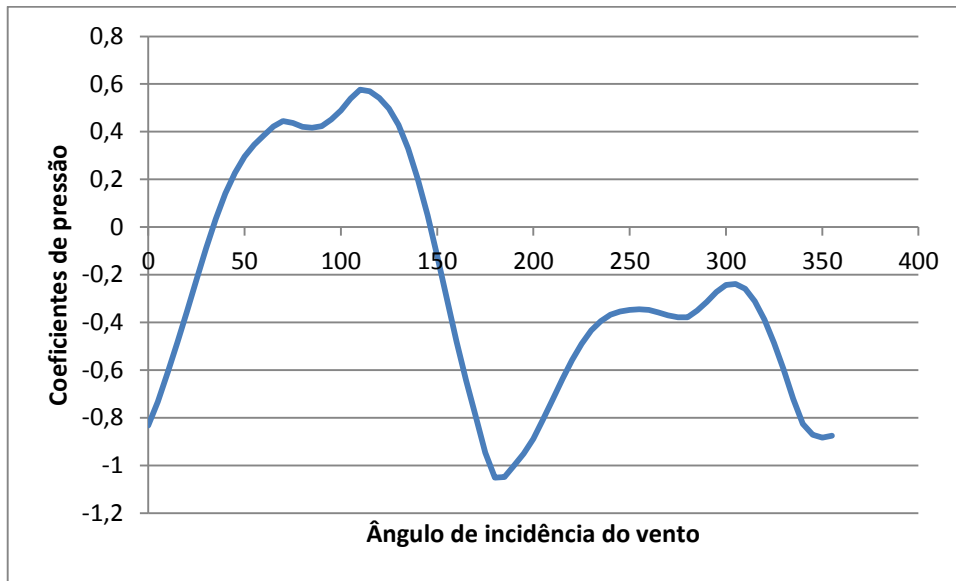


Figura 3.17 Curva característica da fachada 6 no ponto 28 e zona de influência

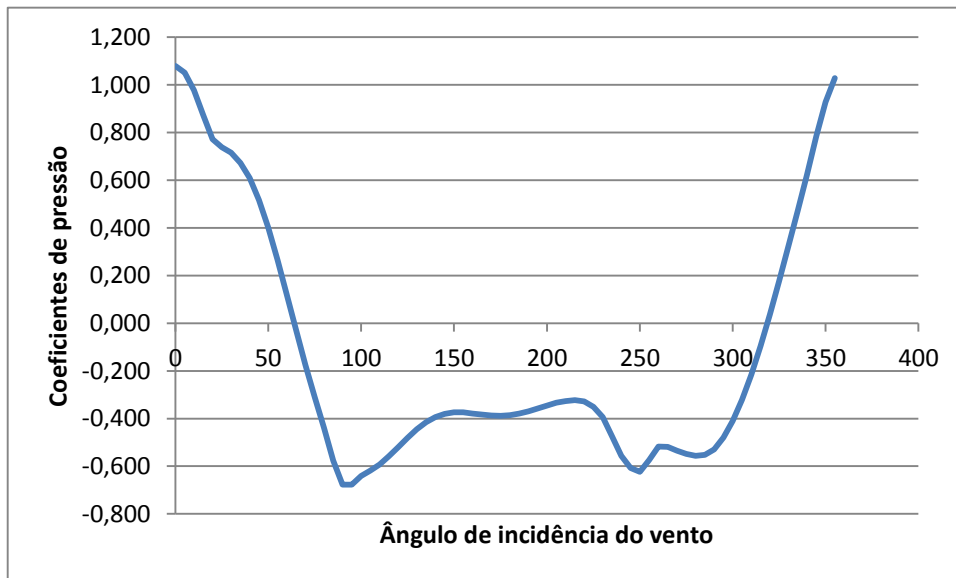


Figura 3.18 Curva característica da fachada 7 nos pontos 2/5/8 e zona de influência

3.5 PERMEABILIDADE AO AR DAS JANELAS E DAS PORTAS

A envolvente do edifício providencia abrigo num ambiente exterior agressivo, assegurando as condições de segurança e conforto necessárias ao desenvolvimento das atividades humanas ou ao repouso (Viegas, et al., 2013).

A permeabilidade ao ar da envolvente dos edifícios (compreendendo coberturas, fachadas, portas exteriores e caixilharia exterior) é condicionante para a sua ventilação:

- Uma vez que correntemente permitem a entrada de caudais de ar consideráveis;
- Que podem causar distúrbios significativos na implementação correta dos esquemas de ventilação natural.

A permeabilidade ao ar em edifícios recentes contrasta com a permeabilidade ao ar de edifícios mais antigos. Os desenvolvimentos tecnológicos do século XX permitiram a redução da permeabilidade ao ar para níveis baixos, reduzindo os níveis de desconforto térmico e acústico no interior dos edifícios. Porém tais desenvolvimentos originaram problemas ao nível da ventilação de edifícios causados pela redução da permeabilidade ao ar da envolvente.

Uma forma de atenuar ou mesmo solucionar níveis baixos de permeabilidade ao ar por parte da envolvente dos edifícios foi a colocação de dispositivos, que as janelas (ou outros componentes ou elementos da construção) podem integrar, capazes de providenciar a ventilação necessária em cada compartimento.

3.5.1 DEFINIÇÃO DE CLASSES DE PERMEABILIDADE

A classe de permeabilidade é definida pelo caudal de ar que atravessa a caixilharia, em função da diferença de pressão criada entre as suas faces. O desempenho de uma dada caixilharia não depende apenas da classe de permeabilidade obtida do protótipo da respetiva série em ensaios laboratoriais, mas depende também da qualidade de execução com que esta será aplicada em obra.

Segundo a (EN 12207:1999) a classificação da permeabilidade ao ar de acordo com uma gama de classes baseia-se numa comparação da permeabilidade ao ar da amostra de ensaio relacionada com a área total ($\text{m}^3/\text{h}.\text{m}^2$) e na permeabilidade ao ar relacionada com o comprimento da junta móvel ($\text{m}^3/\text{h}.\text{m}$).

As permeabilidades ao ar de referência para a área total e o comprimento da junta móvel são definidas para uma pressão de ensaio de referência de 100 Pa. Para outros valores de pressão é usada a seguinte equação:

$$Q = Q_{100} \left(\frac{P}{100} \right)^{2/3} \quad (3.10)$$

Q_{100} : é a referência da permeabilidade ao ar a uma pressão de ensaio de 100 Pa;

Q: permeabilidade ao ar a uma pressão de ensaio P.

Um protótipo pertence a uma determinada classe se a permeabilidade ao ar medida não exceder o limite superior em qualquer ensaio de pressão feito nessa classe.

3.5.1.1 CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA ÁREA TOTAL

A classificação baseada na área total faz-se com base na Tabela 3.15.

Tabela 3.15 Permeabilidades ao ar de referência a 100Pa e Pressões máximas de ensaio, relacionadas com a área total, para classes 1 a 4

Classe	Permeabilidade ao ar de referência para 100 Pa [m³/h.m²]	Pressão máxima de ensaio [Pa]
0	Não ensaiado	
1	50	150
2	27	300
3	9	600
4	3	600

3.5.1.2 CLASSIFICAÇÃO BASEADA NO COMPRIMENTO DAS JUNTAS MÓVEIS

A classificação baseada no comprimento das juntas móveis faz-se com base na Tabela 3.16.

Tabela 3.16 Permeabilidades ao ar de referência a 100Pa e Pressões máximas de ensaio, relacionadas com o comprimento das juntas móveis, para classes 1 a 4

Classe	Permeabilidade ao ar de referência para 100 Pa [m ³ /h.m]	Pressão máxima de ensaio [Pa]
0	Não ensaiado	
1	12,5	150
2	6,75	300
3	2,25	600
4	0,75	600

3.5.1.3 COMPATIBILIZAÇÃO ENTRE CLASSIFICAÇÃO BASEADA NA ÁREA TOTAL E CLASSIFICAÇÃO BASEADA NO COMPRIMENTO DAS JUNTAS MÓVEIS

A compatibilização das classificações baseadas na área total e no comprimento das juntas móveis é feita de acordo com os seguintes critérios:

- Classe igual, o protótipo deve ser classificado apenas numa única classe e igual;
- Classes adjacentes, a amostra deve ser classificada com a classe mais favorável (menor taxa);
- Diferença de duas classes, o protótipo deve ser classificado numa classe média entre as duas classes;
- Uma diferença de mais de duas classes, o protótipo não deve ser classificado.

3.5.2 JANELAS E PORTAS INTERIORES

Nas simulações consideraram-se primeiramente janelas de elevada permeabilidade ao ar, ou seja, de classe permeabilidade 1 e posteriormente de baixa permeabilidade ao ar, de classe permeabilidade 4. Nunca se considerou a possibilidade da abertura destas, sendo a admissão feita através de dispositivos referidos anteriormente.

Relativamente às portas, nas simulações efetuadas foram consideradas quatro situações:

- Porta da cozinha aberta e porta da sala fechada;
- Porta da cozinha fechada com baixa permeabilidade ao ar e porta da sala fechada;
- Porta da cozinha fechada com baixa permeabilidade ar e porta da sala aberta;
- Porta da cozinha de elevada permeabilidade ao ar e porta da sala fechada;

A razão para variação das posições das portas foi para averiguar a eficácia relativamente a incrementar ou reduzir a ventilação dos compartimentos.

As portas interiores, consideradas nas simulações, possuem na situação de fechadas duas parcelas.

A primeira parcela diz respeito às juntas móveis laterais e superior da porta interior:

$$Q = C (\Delta P)^n \times L \quad (3.11)$$

C: coeficiente de escoamento, varia em função da geometria [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{Pa}^{-n}$];

Q: é a permeabilidade ao ar à pressão ΔP ;

ΔP : diferença de pressão através da abertura [Pa];

n: expoente de escoamento [-];

L: comprimento das juntas móveis [m].

O valor de C adotado obtido experimentalmente é igual a $6,3 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m})$, de acordo com Viegas, et al. (2014).

O expoente de escoamento varia entre 0,5 para escoamento turbulento e 1 para escoamento laminar. Para frinchas ocorre um escoamento de transição, verificando-se que $n \approx 0,67$. Para grandes aberturas, o escoamento está mais próximo do turbulento, $n \approx 0,5$.

Neste caso o regime adotado foi o próximo do turbulento (Viegas, et al., 2014).

A segunda parcela diz respeito à junta móvel inferior da porta, que tem uma folga significativa:

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{\frac{2}{\rho}} \times \Delta P^{0,5} \quad (3.12)$$

Q: caudal volúmico [m^3/s];

C_d : coeficiente de vazão [-];

A: área do orifício (aprox. 0,005m de altura / 0,8m de largura) [m^2];

ρ : massa volúmica do ar [kg/m^3];

ΔP : diferença de pressão estática através da abertura [Pa].

A medição da área dos orifícios requer exatidão, de modo a reduzir a incerteza nos resultados obtidos. Os orifícios apresentam as seguintes dimensões: 0.005m x 0.8m.

O coeficiente C_d pode variar em função de diversos fatores, tais como:

- Número de Reynolds;
- Configuração (forma e localização da abertura na fachada);
- Ângulo de incidência do escoamento;
- Diferença da temperatura entre os dois lados da abertura;

O valor adotado para o coeficiente de vazão, C_d , foi de 0,61 (Viegas, et al., 2014).

A junção das duas parcelas dará a permeabilidade ao ar total das portas interiores.

De salientar, que sempre que portas interiores limitem setores separados de ventilação a permeabilidade ao ar das portas interiores deverá ser idêntica à das portas de patamar.

3.5.2.1 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DAS JANELAS

No presente edificado existem seis tipos de Janelas.

Aquando das simulações referentes ao efeito da permeabilidade ao ar da caixilharia foram simuladas duas permeabilidades ao ar das janelas, classe 1 e classe 4.

Janelas de classe 1 apresentam um Q_{100} de 6,75 m³/h.m enquanto janelas de classe 4 apresentam um Q_{100} de 0,75 m³/h.m. As simulações tiveram como base as juntas móveis das janelas.

A fórmula usada para determinar o coeficiente de escoamento [m³/s] é a seguinte:

$$C = \frac{Q_{100}}{100^{2/3}} \times L \quad (3.13)$$

C: coeficiente de escoamento [m³/s];

Q_{100} : é a referência da permeabilidade ao ar a uma pressão de ensaio de 100 Pa [m³/h.m];

L: comprimento juntas móveis [m].

Tabela 3.17 Elementos com respetivos comprimentos das juntas móveis, expoentes de escoamento e coeficientes de escoamento

Elemento	Juntas móveis [m]	Expoente de escoamento [n]	Coefficiente de escoamento (C) [m ³ /s] – classe 4	Coefficiente de escoamento (C) [m ³ /s] – classe 1
Janela1	8,1	0,667	0,00008	0,00131
Janela1_2	8,1	0,667	0,00016	0,00261
Janela2	21,44	0,667	0,00021	0,00346
Janela3	28,9	0,667	0,00028	0,00466
Janela4	19,6	0,667	0,00019	0,00316
Janela5	7,8	0,667	0,00008	0,00126

Como resultado óbvio é de constatar que o coeficiente de escoamento em janelas de classe 1 é superior ao coeficiente de escoamento em janelas de classe 4.

Após as simulações em que se variou a classe de permeabilidade ao ar das janelas pode-se observar que existe uma grande diferença do caudal de ar que entra nos compartimentos.

3.5.2.2 COEFICIENTE DE ESCOAMENTO DAS PORTAS

Foram simuladas quatro situações, como referidas anteriormente, para todos os lotes que compõem o edificado em estudo.

Tal como para as janelas, também as portas apresentam determinadas características, conforme se apresenta na Tabela 3.18 e na Tabela 3.19.

Tabela 3.18 Comprimentos das juntas móveis laterais e superior, expoente de escoamento e coeficiente de escoamento

Elemento	Juntas Móveis Laterais e Superior (m)	Expoente de escoamento (n)	Coeficiente de escoamento (C) [m³/s]
Juntas Móveis Laterais e Superior	5	0,5	0,00875

Tabela 3.19 Área da junta móvel inferior, expoente de escoamento e coeficiente de vazão

Elemento	Juntas Móveis Inferior (m²)	Expoente de escoamento (n)	Coeficiente de vazão (C _d) [-]
Junta Móvel Inferior	0,004	0,5	0,61

3.5.3 PORTAS DE PATAMAR

Relativamente às portas de patamar, de modo a evitar as entradas de ar que podem induzir a passagem de odores para o interior das habitações ou perturbar a dinâmica da ventilação, foi adotado um valor reduzido da permeabilidade ao ar permitindo assim, evitar as entradas de ar através das portas de ligação das habitações às comunicações comuns.

Assim sendo, a permeabilidade ao ar das portas de patamar adotada não deve exceder o valor de 12 m³ / (h.m²) de acordo com (Viegas, 2010).

$$Q = 12 \left(\frac{\Delta P}{100} \right)^{\frac{2}{3}} \times A \quad (3.14)$$

Tabela 3.20 Elementos com respetivas áreas, expoentes de escoamento e coeficientes de escoamento

Elemento	Expoente de escoamento (n)	Área (m²)	Coeficiente de escoamento (C) [m³/s]
Porta de patamar	0,667	1,68	0,00026

3.6 CARACTERÍSTICAS DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO ADOTADO

3.6.1 DESCRIÇÃO GERAL DO SISTEMA

O sistema adotado prevê aberturas de admissão de ar, quer através da envolvente dos edifícios quer através dos limites internos dos diversos espaços (aberturas de passagem de ar), funcionando em permanência. As aberturas na envolvente dos edifícios, nomeadamente ao nível de caixilharias, contemplam dispositivos de regulação que permitem o controlo das taxas de renovação de ar, mas que em caso algum poderão inibir a ventilação na totalidade.

Neste sistema de ventilação consideram-se dois setores de ventilação independentes.

Um setor é constituído por quartos, salas e instalações sanitárias. A renovação de ar dos quartos e das salas é assegurada por ventilação natural a partir de ar exterior e a exaustão é realizada através de circulações interiores. Uma vez que o escoamento é promovido pela ação do vento, pode ocorrer que o sentido do escoamento seja contrário ao descrito. Nas instalações sanitárias a admissão é realizada por via das circulações interiores através das folgas presentes nas portas interiores que permitem assegurar a ventilação.

Outro setor de ventilação é formado pela cozinha de modo a assegurar a ausência de migração de poluentes aí produzidos para os restantes espaços.

O funcionamento da ventilação separada de compartimentos não pode interferir com a ventilação de setores contíguos. Assim é necessário garantir que as portas de comunicação tenham uma reduzida permeabilidade ao ar de forma a minorar eventuais impactes.

Deve ser evitada a solução de só existirem compartimentos principais num mesmo setor de ventilação evitando-se a situação em que a circulação de ar se estabelece de um compartimento principal para outro compartimento principal, de onde o ar é evacuado. Todavia, no presente esquema de ventilação tal não é sempre possível pois o varrimento assegurado pelo vento pode conduzir o ar viciado de uns

compartimentos para outros. Neste estudo admitiu-se esta possibilidade porque se pretende encontrar um esquema que assegure melhores condições de ventilação que as atualmente praticadas nos edifícios correntes e com minimização de recursos.

Nota-se que, embora se pudesse efetuar a ventilação separada das instalações sanitárias, tal não foi considerado, integrando-se as instalações sanitárias no sistema de ventilação geral e permanente dos fogos, com admissão de ar nos compartimentos principais e exaustão nos compartimentos de serviço.

3.6.2 IMPORTANCIA DOS DISPOSITIVOS DE ADMISSÃO DE AR NA EFICIÊNCIA DOS SISTEMAS DE VENTILAÇÃO NATURAL

O uso da ventilação natural está dependente dos fenómenos atmosféricos que são altamente variáveis e quase sempre de difícil previsão. Por esta razão ocorre uma grande variabilidade dos caudais de ventilação que escoam no interior dos fogos podendo haver períodos em que esse caudal é muito reduzido e outros em que é demasiado elevado, podendo originar problemas ao nível da salubridade nos fogos, no primeiro caso, ou desconforto dos ocupantes relativamente ao segundo caso. Outro problema a equacionar é o refluxo provocado por caudais de ar que circulam no sentido contrário ao pretendido, promovendo a difusão de odores e de outros poluentes gerados nas áreas de serviço para os compartimentos principais ou mesmo para os espaços comuns dos edifícios.

3.6.3 ABERTURAS DE ADMISSÃO DE AR

3.6.3.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Prevêem-se dois tipos de aberturas de admissão de ar, “em parede de fachada” e “por condutas”.

Quando os setores de ventilação incluem simultaneamente compartimentos de serviço (caso das cozinhas) e compartimentos principais, todos os compartimentos principais devem ter aberturas de admissão de ar e não podem existir quaisquer aberturas de admissão de ar nos compartimentos de serviço.

Quando o setor de ventilação abrange unicamente um compartimento de serviço, a abertura de admissão de ar deve estar dimensionada para o caudal de ar de ventilação necessário para esse compartimento.

Nos compartimentos onde estejam instaladas chaminés de fogo aberto ou aparelhos de aquecimento do tipo ligado, que utilizam combustíveis que queimam com produção de fumos significativa, as aberturas de admissão de ar devem estar também dimensionadas para esses dispositivos.

3.6.3.2 ABERTURAS DE ADMISSÃO DE AR EM PAREDE DE FACHADA

As aberturas de admissão de ar em parede de fachada consistem em dispositivos que põem em comunicação direta o exterior com o interior da habitação.

O dimensionamento destas aberturas deve ser realizado de acordo com a respetiva classe de exposição ao vento.

Segundo a NP 1037-1:2002, o uso de aberturas não reguláveis apenas é admissível em fogos cuja classe de exposição ao vento é classificada como EXP1.

Para as classes de exposição ao vento EXP2 a EXP4, as aberturas devem ser auto – reguláveis ou reguláveis (comando manual).

Porém tanto para aberturas não reguláveis, como para reguláveis ou auto-reguláveis, estas devem assegurar caudais iguais ou superiores aos previstos para os compartimentos principais onde estão aplicadas, para a diferença de pressão exterior/interior de 2 Pa.

Por estas razões é necessário o uso de dispositivos de ventilação que permitam tornar o sistema de ventilação natural o mais eficiente possível.

3.6.3.3 ABERTURAS AUTO-REGULÁVEIS

As aberturas autorreguláveis limitam a taxa de fluxo de ar em ambas as direções através de um escoamento limitado por diferenças de pressão definidas de acordo com os requisitos relativos aos caudais recomendados para cada situação.

O caudal é calculado com base na seguinte expressão:

$$Q = fQ_0 \left[1 - e^{\left(\frac{-\Delta P}{f\Delta P_0} \right)} \right] \quad (3.15)$$

Q: caudal volúmico [l/s];

f: fração de fluxo inverso – a fração da máxima taxa de fluxo de ar para o qual o fluxo que passa o elemento é limitado quando a diferença de pressão é negativa;

Q_0 : caudal de referência - valor empírico que define o caudal máximo de ar que escoo através do dispositivo;

ΔP_0 : pressão de referência – diferença de pressão acima da qual o fluxo de ar será limitado ao máximo caudal.

A pressão de referência adotada foi de 0,8Pa e a fração de fluxo inverso adotada foi 2 (Viegas, et al., 2014).

3.6.3.4 ADMISSÃO DE AR NAS COZINHAS

De acordo com o caudal máximo preconizado para as cozinhas, a admissão de ar é realizada por meio de um orifício a dimensionar, (ver capítulo 3.3.3.).

O dimensionamento do orifício foi realizado através da seguinte expressão:

$$Q = C_d \times A \times \sqrt{\frac{2}{\rho}} \times \Delta P^{0,5} \quad (3.16)$$

Q: caudal volúmico [m³/s];

C_d : coeficiente de vazão [-];

A: área do orifício [m²];

ρ : massa volúmica do ar [kg/m³];

ΔP : diferença de pressão estática através da abertura [Pa].

A diferença de pressão adotada foi de 10 Pa.

3.6.3.5 ADMISSAO DE AR POR CONDUTAS

Para realizar o escoamento de ar entre alguns espaços interiores e o exterior é necessário o recurso a condutas (horizontais) e a chaminés (verticais). Neste trabalho apenas se consideraram condutas. As perdas de carga nestas aberturas, para os caudais correspondentes, devem ser da ordem de 3 Pa.

O uso de condutas tem como objetivo equilibrar os caudais de entrada entre duas fachadas opostas. Tendo em conta esta premissa apenas o Lote 1 e o Lote 2 irão necessitar de condutas. O Lote 1 necessitará de uma conduta enquanto o Lote 2 necessitará de três condutas, uma para cada fogo.

A teoria dos escoamentos nas condutas encontra-se bem estabelecida no Capítulo 21 do “2013 ASHRAE Handbook – Fundamentals” (ASHRAE Handbook, 2013). A análise das condutas é baseada na equação de Bernoulli e seus pressupostos.

Uma conduta apresenta perdas de carga localizadas (entrada e saída) e perda de carga contínua (ao longo da conduta).

A perda de carga na conduta, perda por atrito, pode ser calculada pela equação de Darcy:

$$\Delta P = \frac{1000 \times f \times L}{D_h} \times \frac{\rho V^2}{2} \quad (3.17)$$

Em que:

ΔP : perda por atrito em termos de pressão total [Pa];

f : fator de atrito [-];

L : comprimento da conduta [m];

D_h : diâmetro hidráulico [mm];

V : velocidade do escoamento [m/s];

ρ : massa volúmica do ar [kg/m³].

No regime de escoamento laminar (números de Reynolds inferiores a 2000), o coeficiente de atrito é uma função do número de Reynolds somente

Para um escoamento completamente turbulento o coeficiente de atrito depende do número de Reynolds, da rugosidade da superfície e de irregularidades internas, tais como as junções. Entre os regimes laminar e completamente turbulento, existe uma zona de transição onde a rugosidade do coeficiente de atrito depende tanto da rugosidade como do número de Reynolds. Nesta zona o fator de atrito é calculado pela equação de Colebrook que não pode ser resolvida somente em função de f , logo são necessárias iterações para a resolver.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left(\frac{\varepsilon}{3.7 D_h} + \frac{2.51}{Re \sqrt{f}} \right) \quad (3.18)$$

Em que:

f : fator de atrito [-];

D_h : diâmetro hidráulico [mm];

ε : rugosidade absoluta da conduta [mm];

Re : número de Reynolds.

A rugosidade absoluta considerada nas condutas foi lisa, sendo o valor atribuído de 0,03 mm, (Tabela 3.21.).

Tabela 3.21 Fatores de rugosidade da conduta

Lisa	0,03
Ligeiramente Lisa	0,09
Transição Lisa-Rugosa	0,15
Ligeiramente Rugosa	0,9
Rugosa	3

O número de Reynolds pode ser calculado usando a seguinte equação:

$$Re = \frac{D_h \times V}{1000\nu} \quad (3.19)$$

D_h : diâmetro hidráulico [mm];

V : velocidade do escoamento [m/s];

ν : viscosidade cinemática [m²/s].

Outra equação para cálculo do número de Reynolds, em que o ar se encontre entre os 4 e os 38°C:

$$Re = 66,4D_h \times V \quad (3.20)$$

Foi usada a expressão (3.20) para o cálculo do número de Reynolds.

As perdas de carga localizadas foram calculadas através da seguinte expressão:

$$\Delta P = C \times \frac{1}{2} \rho V^2 \quad (3.21)$$

Em que:

ΔP : perda de carga total [Pa];

C : coeficiente de perda localizada [-];

ρ : massa volúmica do ar [kg/m³];

V : velocidade do escoamento [m/s].

Em termos de perda de carga em toda a conduta, a expressão a usar é uma combinação da expressão de cálculo da perda de carga contínua com a perda de carga localizada, equação de Darcy-Weisbach:

$$\Delta P = \left(\frac{1000 \times f \times L}{D_h} + \Sigma C \right) \times \frac{1}{2} \rho (Q / A)^2 \quad (3.22)$$

Através da expressão anteriormente referida foi obtido o diâmetro das condutas para um determinado caudal preconizado.

Contudo para determinar esse valor tem de se calcular primeiramente, através da segunda expressão de Reynolds, o número de Reynolds iterativamente, dando valores coerentes ao diâmetro hidráulico para posterior uso do Diagrama de Moody onde se obtém o valor do fator de atrito.

Após a obtenção do fator de atrito substituiu-se o mesmo na expressão de Darcy-Weisbach. O resultado final corresponde ao valor do diâmetro da conduta já sob influência do caudal que a conduta irá escoar.

Tabela 3.22 Diâmetro das condutas calculadas através de Darcy-Weisbach

Q [l/s]	Q [m ³ /s]	f	Re	L [m]		D [mm]
8,00	0,008	0,03	6763	5	=>	±100
12,00	0,012	0,03	10145	5	=>	±100
14,00	0,014	0,03	7891	9	=>	±150
36,00	0,036	0,02	15218	10 15	=>	±200

3.6.4 PASSAGENS DE AR INTERIORES

Nos setores de ventilação que incluem mais do que um compartimento, as passagens de ar interiores devem permitir a circulação do ar sem perdas de carga significativas mesmo quando as portas de comunicação estão fechadas. Neste sentido é necessário prever aberturas permanentes entre compartimentos principais e circulações com dimensões que não constituam restrições à ventilação.

No presente trabalho as únicas passagens interiores serão as folgas presentes na base das portas interiores que, dada a sua dimensão, não restringem o escoamento do ar.

3.6.5 ABERTURAS DE EXAUSTÃO DE AR

As aberturas de exaustão de ar das cozinhas devem ser localizadas sobre o fogão dentro da embocadura da chaminé (espaço delimitado pelo pano de apanhar). A posição das aberturas desta forma permite em simultâneo a exaustão do ar viciado da habitação e a exaustão dos fumos provenientes da preparação de alimentos, tirando assim partido do efeito de chaminé gerado pelos gases aquecidos na zona do fogão.

As aberturas de exaustão de ar das instalações sanitárias devem ser localizadas pelo menos a 2,10 m, acima do pavimento e tão distantes quanto possível da porta de acesso a estes compartimentos. Este posicionamento permite o varrimento de todo o compartimento pelo ar.

3.7 FERRAMENTA DE CÁLCULO

O software “CONTAM” é um programa de simulação multicompartimento do desempenho dos edifícios em termos de QAI, da ventilação de espaços interiores e da exposição dos ocupantes aos contaminantes existentes no ar. Esta ferramenta de cálculo foi desenvolvida pelo NIST (*U.S. National Institute of Standards and Technology*), é de uso livre e fácil de utilizar, (National Institute of Standards and Technology, 2014).

O programa “CONTAM” pode ser utilizado assumindo quer um regime permanente quer um regime transiente. No caso de regime transiente podem impor-se condições ambientais exteriores constantes ou variáveis (impostas pelo utilizador ou recorrendo a uma base de dados climática do local). Neste trabalho as simulações foram efetuadas assumindo ambos os regimes (National Institute of Standards and Technology, 2014).

3.8 REGRAS DE CONCEÇÃO E DIMENSIONAMENTO ESTABELECIDAS PRELIMINARMENTE

3.8.1 OBJETIVOS FUNDAMENTAIS

A instalação de ventilação mista tem por finalidade criar condições que permitam atingir determinados objetivos fundamentais:

- Manutenção adequada da qualidade do ar interior;
- Eficaz evacuação dos poluentes interiores e admissão de ar que permita satisfazer taxas de renovação de ar;

3.8.2 PRINCIPIOS GERAIS DE CONCEÇÃO

Os princípios gerais da ventilação mista aplicada neste estudo são os seguintes:

- A ventilação do fogo deve ser geral e permanente, exceto nos compartimentos de serviço, onde pode não ser possível assegurar os respetivos caudais de base pelo facto dos ventiladores que os servem estarem inativos.
- Os caudais de base são assegurados nos compartimentos principais por varrimento devido à ação do vento.
- Os caudais máximos nos compartimentos de serviço são obtidos através do funcionamento de ventiladores servidos por condutas individuais (exaustores, na cozinha).
- Os caudais recomendados para cada compartimento interior são obtidos através da NP 1037-2:2009;

- O ar novo deve ser admitido recorrendo a dispositivos de admissão de ar autorreguláveis, através dos compartimentos principais. O escoamento para o exterior pode ser realizado através de outros compartimentos. Uma vez que as necessidades de ventilação são estabelecidas para o número de utilizadores regulares de cada compartimento, deve ser tido em conta que os utilizadores do fogo se distribuem pelos compartimentos de acordo com as suas atividades; assim, enquanto estão a ocupar um compartimento haverá outros que se encontram abaixo da sua ocupação nominal. Tendo em conta esta dinâmica de utilização dos compartimentos da habitação, espera-se que em média os ocupantes recebam ar novo exterior ou ar proveniente de outros compartimentos subocupados, pelo que o ar terá ainda uma qualidade adequada.
- Para se evitar a sobreventilação de compartimentos, que pode ocorrer quando as necessidades de ventilação dos compartimentos situados junto das fachadas de montante e de jusante estão desequilibradas, devem ser usadas condutas de ventilação complementares ligando as zonas internas de circulação (hall, corredor, etc.) a aberturas situadas nas fachadas exteriores.
- Adota-se uma porta de baixa permeabilidade na cozinha de modo a tornar a cozinha um setor de ventilação independente, com admissão e exaustão próprias.
- Os poluentes devem ser captados na sua fonte, minimizando assim a sua dispersão no ambiente interior, nomeadamente nas cozinhas e instalações sanitárias, através de dispositivos mecânicos;

Nesta tese procura-se verificar em que condições a aplicação destes princípios de conceção à ventilação mista permitem satisfazer às necessidades de ventilação das habitações dos edifícios que são o objeto do estudo.

3.9 METODOLOGIA DE SIMULAÇÃO

No início do estudo foi simulada a ventilação das habitações destes edifícios realizada apenas através da permeabilidade ao ar das janelas fechadas. Esta é a situação em que atualmente ocorre a ventilação no período de aquecimento em muitos edifícios em Portugal. Foram realizadas duas simulações:

- Uma com janelas de classe 1 de permeabilidade ao ar;
- Outra com janelas de classe 4 de permeabilidade ao ar.

Com a implementação de meios de ventilação foram simulados quatro casos diferentes:

- Porta da cozinha aberta e porta da sala fechada;
- Porta da cozinha fechada, com baixa permeabilidade e porta da sala fechada;
- Porta da cozinha fechada, com baixa permeabilidade e porta da sala aberta;
- Porta da cozinha fechada, com alta permeabilidade e porta da sala fechada;

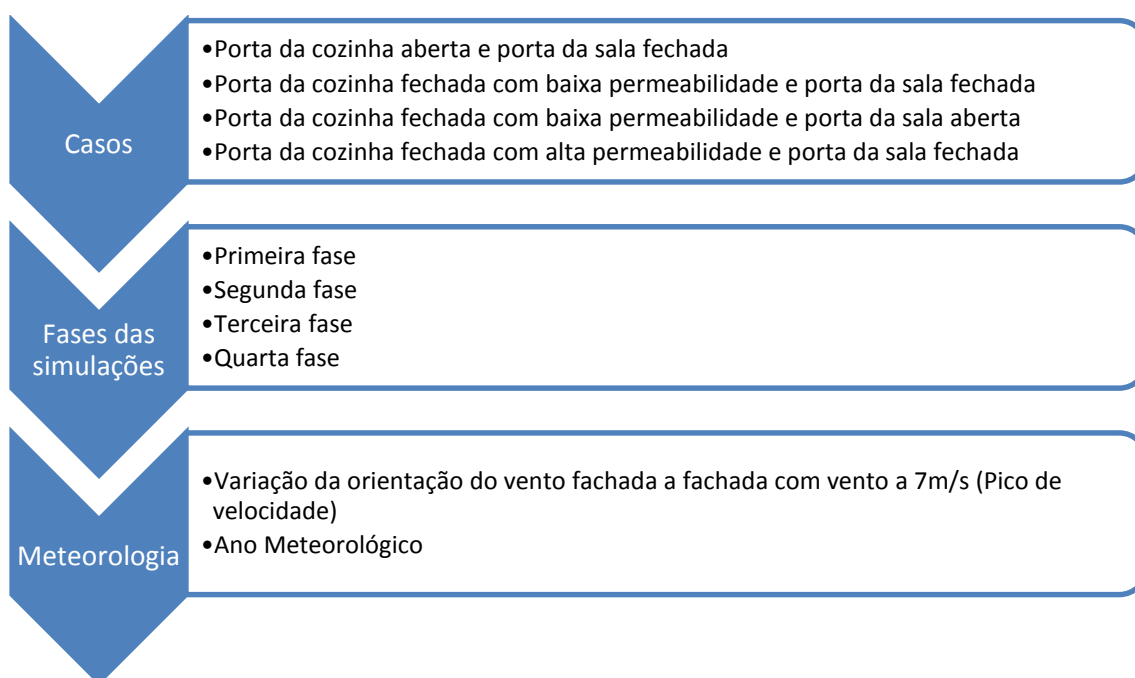
No caso em que se simula a porta da cozinha fechada com alta permeabilidade convencionou-se designar porta da cozinha normal em alguns casos, de acordo com o introduzido no programa CONTAM.

Para cada caso foram analisadas quatro fases de simulação:

- Primeira fase: admissão de ar pelos compartimentos principais de acordo com os caudais de projeto, dimensionamento de um orifício na cozinha (admissão de ar) que permitisse satisfazer as necessidades de renovação do ar.
- Segunda fase: acresce à primeira fase o dimensionamento de condutas, caso necessário.
- Terceira fase: acresce à segunda fase o aumento de 30% dos caudais de admissão.
- Quarta fase: acresce à terceira fase a ativação de ventilação mecânica nas cozinhas e instalações sanitárias.

Para cada fase são simuladas as condições do ano meteorológico de 2012 para Lisboa, tendo em vista verificar se em média há satisfação das exigências de ventilação, e são simuladas condições extremas correspondentes à velocidade do vento que é excedida apenas em 10% do tempo (com um pico de velocidade de 7 m/s), para se avaliar a possibilidade de ocorrer desconforto. O desconforto foi avaliado através da análise da relação entre o caudal de ventilação efetivo e o caudal de ventilação de projeto. Considerou-se que poderia ocorrer uma situação de desconforto quando o caudal de ventilação efetivo é muito superior ao caudal de ventilação de projeto.

Tabela 3.23 Simulação sequencial



4 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES

4.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

As simulações apresentadas a seguir denotam a importância do uso de ferramentas de cálculo, para escolher convenientemente o tipo e dimensão dos vários dispositivos de ventilação.

Não se pretende com os resultados das simulações efetuadas, apresentar regras gerais para as dimensões dos dispositivos de ventilação natural, que possam ser aplicáveis em qualquer tipo de fogo, inserido em edifícios de qualquer altura e com vários tipos de obstáculos possíveis em redor, orientado em qualquer direção e situado em qualquer local do território nacional, até porque tal se afigura muito difícil, devido à variabilidade dos fenómenos que regem o escoamento natural do ar nos edifícios.

O que se pretende com as simulações inseridas nesta dissertação é, antes, alertar para a importância do estudo caso a caso, e como tal, para a necessidade de se efetuar, para cada edifício, um detalhado projeto de ventilação, com recurso a ferramentas de cálculo, isto, caso se queira fazer um projeto com alguma garantia de bom funcionamento.

Pretende-se ainda analisar a possibilidade destes princípios de conceção de sistemas de ventilação misto, capítulo (3.8.2), satisfazerem às exigências de ventilação para os edifícios em estudo.

Em termos específicos, pretende-se com as simulações:

- Saber qual a influência da orientação do fogo na solução do sistema de ventilação a adotar, de modo a serem cumpridos os caudais-tipo da norma;
- Verificar qual o impacto dos fogos só possuírem aberturas de admissão de ar numa fachada;
- Avaliar se a situação das portas interiores completamente abertas (situação que vulgarmente ocorre) é benéfica para a ventilação do fogo;

- Analisar de que modo os ocupantes podem incrementar ou decrementar os caudais de ventilação através da abertura e fecho das portas interiores;
- Refletir sobre as limitações das aberturas autorreguláveis existentes no mercado para a ventilação natural;
- Saber quais as secções que as aberturas devem ter, para se cumprirem os caudais tipo da norma;
- Concluir da importância do vento nos caudais de ventilação para as várias situações simuladas.

4.2 RELAÇÃO DE CAUDAIS

Para o estudo de cada caso foi necessário estabelecer uma relação entre o caudal de projeto determinado através da NP 1037-2:2009 e o caudal de ventilação efetivo de cada compartimento. Foi então necessário criar uma relação adimensional entre o caudal efetivo e o caudal de projeto.

$$\frac{\text{Caudal efetivo}}{\text{Caudal de projeto}} = \text{Relação de caudais} \quad (4.1)$$

Através desta relação foi possível concluir se nos encontrávamos perante uma situação de défice de ventilação (relação de caudais menor que 1), excesso de ventilação (relação de caudais maior que 1) ou estávamos perante uma situação ideal de ventilação (relação de caudais perto de 1).

Num caso poderemos estar perante uma situação de défice e, através de uma simples variação da posição das portas, encontramos-nos perante uma situação quase ideal. Tal evidencia que é essencial a capacidade de adaptação dos ocupantes para se obter satisfação na ventilação.

4.3 SITUAÇÕES DE DESCONFORTO

A análise ao desconforto foi realizada para um vento de baixa probabilidade de ocorrência. De acordo com Viegas & Pinto (2013), foi estabelecida uma velocidade de 7 m/s que poderá ser excedida em cerca de 10% do tempo para situações de desconforto. Este tipo de ocorrência de vento forte pode originar um o caudal efetivo superior ao caudal de projeto.

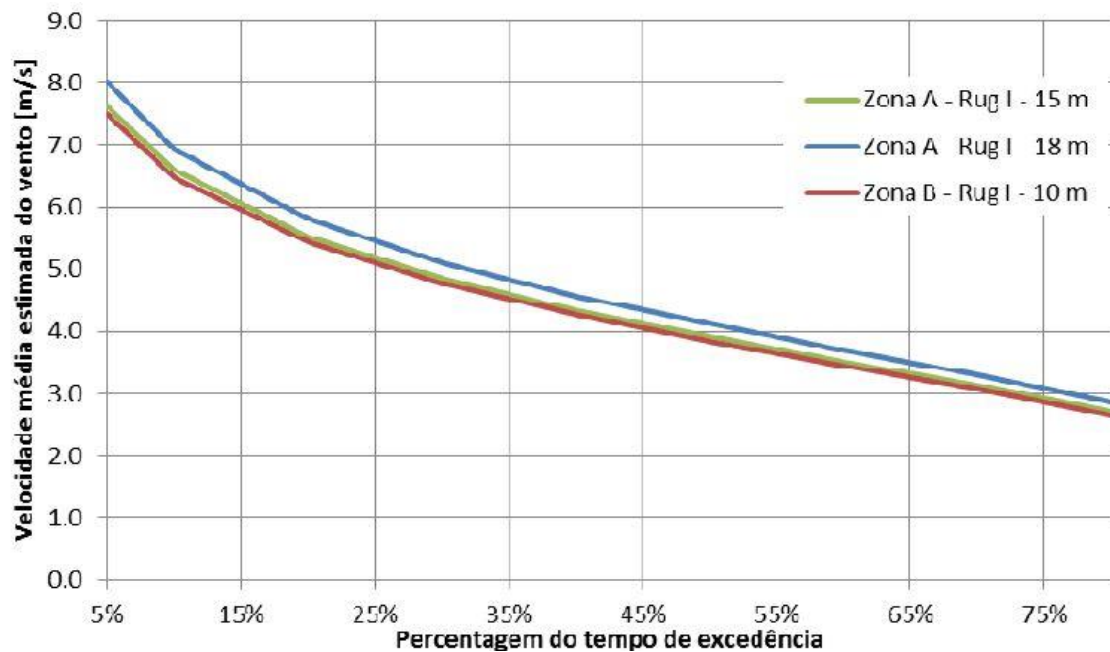


Figura 4.1 Estimativa da velocidade média do vento (todos os rumos), (Viegas, et al., 2013)

4.4 VENTILAÇÃO ASSEGURADA PELA PERMEABILIDADE AO AR DAS JANELAS

Após a determinação dos coeficientes de escoamento os dados foram inseridos no CONTAM.

Este processo foi repetido para todas as janelas em todos os pisos. Após preenchidos todos os dados correram-se as simulações e em termos médios obtiveram-se os valores indicados nas Tabela 4.1 e Tabela 4.2. Nestas simulações a ventilação foi assegurada apenas pela permeabilidade ao ar da envolvente, com as janelas fechadas e sem quaisquer aberturas de ventilação. Foram consideradas, em simulações sucessivas, duas diferentes permeabilidades ao ar, classes 1 e 4 (de acordo com a EN 12207:1999), sendo a classe 1 a de maior permeabilidade ao ar.

Tabela 4.1 Caudal de ar novo em média (Janelas classe 1)

Compartimentos	Caudal de ar novo [l/s]
Quartos	2,15
Salas	3,29
Cozinhas	3,46
Instalações Sanitárias	0,00

Tabela 4.2 Caudal de ar novo em média (Janelas classe 4)

Compartimentos	Caudal de ar novo [l/s]
Quartos	0,16
Salas	0,26
Cozinhas	0,29
Instalações Sanitárias	0,00

Através destes valores constatou-se:

- Maior permeabilidade ao ar das janelas originam maiores entradas de caudais de ar, contudo estas entradas de ar não satisfazem os requisitos mínimos dos compartimentos principais ou de serviço e podem provocar perturbações ao nível da eficiência da ventilação;
- Os caudais registados são notoriamente insuficientes, na classe 1 são pequenos e na classe 4 são praticamente residuais.

Adotou-se assim a classe 4 de permeabilidade ao ar para o resto das simulações, uma vez que se pretende que a ventilação seja assegurada por dispositivos dedicados a esse fim e se pretende minimizar a interferência das infiltrações e exfiltrações no processo de ventilação.

4.5 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 1

4.5.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS

4.5.1.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS QUARTOS

Através da ferramenta de cálculo “CONTAM” foi possível obter os caudais efetivos dos compartimentos principais e de serviço. Na Tabela 4.3 apresenta-se a relação de caudais obtida para o ano meteorológico de 2012.

Tabela 4.3 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 1

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,69	0,64	0,76	0,84
2ª Fase	0,73	0,74	0,76	0,84
3ª Fase	0,81	0,74	0,83	0,92
4ª Fase	0,82	0,86	1,00	1,07

Através da relação de caudais foi possível chegar às seguintes conclusões:

As posições das portas interiores são eficazes em incrementos ou reduções da ventilação dos quartos simples e duplos.

Na 1ª fase, os caudais obtidos ainda são inferiores aos de projeto, sendo assim é necessário melhorar o dimensionamento do sistema de ventilação.

Na 2ª fase, foi necessário a colocação de uma conduta no T4 enquanto no T3 não se colocou nenhuma conduta de acordo com o estipulado no capítulo 3.6.3.5. A conduta colocada no T4 permitiu incrementar o caudal efetivo nos quartos simples. No quarto simples orientado a Sul que necessitava de um maior incremento foi possível aumentar o seu caudal efetivo com a introdução de uma conduta. Os dados apresentados na Tabela 4.3 referentes à 2ª Fase apenas contemplam o fogo T4.

Na 3ª fase, observa-se um aumento dos caudais efetivos nos quartos fruto do aumento de 30% da admissão de ar nos quartos. No Lote 1 observou-se que já é possível atingir 92% do caudal de projeto preconizado anteriormente.

Na 4ª fase, é possível observar uma influência positiva em algumas situações no aumento dos caudais efetivos quando os exaustores mecânicos presentes na cozinha e instalações sanitárias estão em funcionamento. Apesar de todas as condições de dimensionamento serem iguais para ambos os fogos notamos que nem sempre a ativação dos exaustores mecânicos permite um aumento do caudal efetivo, sendo a principal razão a localização do compartimento no fogo.

Verifica-se que a abertura e fecho de portas permite reduzir significativamente o impacto que a ventilação mecânica dos compartimentos de serviço pode ter no conforto.

4.5.1.2 RELAÇÃO DE CAUDAIS DAS SALAS

Na Tabela 4.4 apresenta-se a relação de caudais obtida para o ano meteorológico de 2012.

Tabela 4.4 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 1

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,57	0,49	0,42	0,38
2ª Fase	0,63	0,54	0,44	0,39
3ª Fase	0,80	0,65	0,54	0,47
4ª Fase	0,56	0,46	0,65	0,76

Através da relação de caudais foi possível chegar a determinadas conclusões:

As posições das portas interiores são eficazes em incrementos ou reduções da ventilação das salas, tal como nos quartos.

Na 1ª fase, os caudais obtidos ainda são inferiores aos de projeto.

Na 2ª fase, tal como nos quartos, apenas no T4 foi colocada uma conduta que aumentou os caudais efetivos embora de forma reduzida.

Na 3ª fase os caudais efetivos aumentam mas ainda são inferiores aos de projeto.

Na 4ª fase quando os exaustores mecânicos se encontram ativos e as portas da cozinha são de baixa permeabilidade chega-se à conclusão que na presença de uma conduta de admissão de ar a redução dos caudais efetivos não é tão notória como no caso em que não existe uma conduta de admissão de ar. Se as portas da cozinha estiverem abertas ou forem normais, os caudais efetivos das salas sofrem um aumento por não haver restrições de escoamento nas portas das cozinhas.

4.5.1.3 RELAÇÕES DE CAUDAIS RELATIVAS AO DESCONFORTO

De acordo com a Tabela 4.5, podemos observar valores médios do Lote 1 que têm em conta diferentes orientações do vento (0°, 90°, 180°) quer em quartos simples ou duplos. Na Tabela 4.6 também se observam valores médios da relação de caudais mas em relação às salas do Lote 1.

Tabela 4.5 Relação de caudais nos quartos do Lote 1 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade			Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade			Porta da sala fechada e porta da cozinha normal			Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1ª Fase	1,13	0,78	1,08	1,14	0,79	1,07	1,22	0,74	1,48	1,23	0,85	2,02
2ª Fase	1,23	0,75	1,14	1,22	0,76	1,14	1,23	0,74	1,44	1,23	0,86	1,97
3ª Fase	1,37	0,82	1,39	1,36	0,83	1,38	1,37	0,80	1,56	1,37	0,98	2,17
4ª Fase	1,37	0,90	0,77	1,37	0,76	0,75	1,36	1,01	1,34	1,35	1,13	1,41

A vermelho indica-se a ventilação máxima para cada rumo de vento e a verde a mínima. Pode-se constatar que a situação que poderá provocar uma situação de

maior desconforto ocorre quando a porta da cozinha se encontra aberta e a orientação do vento forte é de 180° originando maiores caudais efetivos nos quartos. Verifica-se que, de uma forma geral, é mais vantajoso ter uma porta da cozinha de baixa permeabilidade ao ar para reduzir o desconforto. Verifica-se que as situações mais desconfortáveis ocorrem com a porta da cozinha aberta.

Tabela 4.6 Relação de caudais nas salas do Lote 1 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade			Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade			Porta da sala fechada e porta da cozinha normal			Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta		
	0	90	180	0	90	180	0	90	180	0	90	180
1ª Fase	0,86	0,74	1,03	0,82	0,62	1,01	0,78	0,65	1,02	0,73	0,68	0,90
2ª Fase	1,06	0,75	1,04	1,04	0,63	1,03	0,81	0,68	1,02	0,73	0,68	0,90
3ª Fase	1,41	0,95	1,36	1,26	0,75	1,34	1,00	0,82	1,27	0,89	0,82	1,07
4ª Fase	0,73	1,04	1,34	0,74	0,79	1,30	0,88	0,85	1,34	0,96	0,97	1,35

A vermelho indica-se a ventilação máxima para cada rumo de vento e a verde a mínima. Em relação ao desconforto nas salas, não existe uma situação que provoque maiores caudais efetivos nas salas, contudo uma orientação do vento a 180° pode originar os maiores valores de caudal.

De uma forma geral o sistema de ventilação adotado no Lote 1 é bastante satisfatório em termos de conforto, uma vez que mesmo em situação de vento mais forte o incremento da taxa de ventilação acima da taxa de ventilação de projeto é limitado (30%).

4.6 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 2

4.6.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS

4.6.1.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS QUARTOS

Na Tabela 4.7 apresenta-se a relação de caudais para os quartos do Lote 2. Pode observar-se uma grande variação dos caudais efetivos.

Na 1ª fase os caudais efetivos são bastante inferiores aos caudais de projeto

Na 2ª fase a introdução de condutas permite aumentar os caudais efetivos, contudo os caudais obtidos continuam a ser inferiores aos de projeto.

Na 3ª fase já se está bastante perto de níveis satisfatórios de caudais que descem um pouco quando os dispositivos mecânicos se encontram ativos, 4ª fase. Esta grande variação tem como principal fator a introdução de condutas que permitem equilibrar os caudais de admissão.

Verifica-se que a ativação dos ventiladores mecânicos nos compartimentos de serviço não conduz a situações de desconforto ou de ventilação excessiva dos quartos.

Tabela 4.7 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 2

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,46	0,42	0,32	0,26
2ª Fase	0,68	0,71	0,63	0,52
3ª Fase	0,81	0,83	0,78	0,68
4ª Fase	0,75	0,77	0,71	0,72

4.6.1.2 RELAÇÃO DE CAUDAIS DAS SALAS

Na Tabela 4.8 apresenta-se a relação de caudais para as salas do Lote 2. Constata-se que os caudais efetivos são sempre inferiores aos de projeto, porém os caudais de

projeto foram dimensionados para uma ocupação permanente do espaço, algo que não ocorre na realidade. Sendo assim, um caudal de ar novo menor pode ainda permitir assegurar satisfatoriamente a ventilação das salas.

Tabela 4.8 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 2

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,40	0,34	0,40	0,44
2ª Fase	0,66	0,50	0,47	0,47
3ª Fase	0,83	0,57	0,54	0,52
4ª Fase	0,76	0,54	0,52	0,62

4.6.1.3 RELAÇÕES DE CAUDAIS RELATIVAS AO DESCONFORTO

De acordo com a Tabela 4.9, podem observar-se valores médios da relação de caudais do Lote 2 que têm em conta diferentes orientações do vento (0°, 90°, 180°, 270°) quer em quartos simples ou duplos. Na Tabela 4.10 também se observam valores médios da relação de caudais mas em relação às salas do Lote 2.

Tabela 4.9 Relação de caudais nos quartos do Lote 2 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade				Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade			
	0	90	180	270	0	90	180	270
1ª Fase	0,69	0,49	0,83	0,70	0,69	0,47	0,83	0,68
2ª Fase	0,97	1,52	1,29	1,10	0,99	1,52	1,29	1,15
3ª Fase	1,06	1,73	1,39	1,31	1,08	1,73	1,39	1,36
4ª Fase	0,90	1,76	1,33	1,26	0,92	1,74	1,33	1,31
Orientação [°]	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal				Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta			
	0	90	180	270	0	90	180	270
1ª Fase	0,40	0,72	0,59	0,56	0,28	0,72	0,57	0,39
2ª Fase	0,87	1,60	1,32	1,04	0,73	1,49	1,21	0,87
3ª Fase	1,01	1,86	1,45	1,30	0,89	1,91	1,42	1,16
4ª Fase	0,85	1,74	1,29	1,17	0,95	1,18	0,87	0,67

A vermelho indica-se a ventilação máxima para cada rumo de vento e a verde a mínima. Pode-se constatar que a situação que poderá provocar maior desconforto ocorre quando a porta da cozinha se encontra aberta e a orientação do vento forte é de 90°, originando maiores caudais efetivos nos quartos.

Em termos de geometria, a disposição dos quartos no Lote 2 apresenta particularidades que não permitem encontrar uma situação ideal que permita minimizar situações de desconforto.

Como se tratam de valores médios de vários fogos, o que verdadeiramente ocorre em cada fogo do Lote 2 em termos de desconforto não é totalmente escrutinado. Analisando cada fogo individualmente, no caso do T2_esq a situação que gera maior desconforto ocorre quando a porta da sala se encontra aberta e a orientação do

vento forte é de 90°. No caso do T2_dt o maior desconforto ocorre quando a porta sala se encontra aberta e a orientação do vento forte é de 270°. Por ultimo, no caso do T2_ft a situação de maior desconforto ocorre quando a porta da sala se encontra aberta ou fechada e a porta da cozinha é de baixa permeabilidade e a orientação do vento é de 90°.

De uma forma geral as situações de desconforto ocorrem quando a orientação do vento é de 90°.

Tabela 4.10 Relação de caudais nas salas do Lote 2 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade				Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade			
	0	90	180	270	0	90	180	270
1ª Fase	0,70	0,21	0,62	0,76	0,70	0,16	0,59	0,72
2ª Fase	0,73	1,59	1,04	1,64	0,63	1,34	1,02	1,32
3ª Fase	0,76	1,78	1,15	1,95	0,63	1,58	1,14	1,48
4ª Fase	0,77	1,71	1,15	1,87	0,64	1,54	1,14	1,43
Orientação [°]	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal				Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta			
	0	90	180	270	0	90	180	270
1ª Fase	0,70	0,60	0,44	1,09	0,70	0,83	0,48	1,10
2ª Fase	0,74	1,27	0,96	1,25	0,74	1,25	0,83	1,25
3ª Fase	0,74	1,60	1,10	1,43	0,83	1,57	0,99	1,39
4ª Fase	0,69	1,42	1,14	1,28	0,91	0,78	1,14	1,01

A vermelho indica-se a ventilação máxima para cada rumo de vento e a verde a mínima. Em relação ao desconforto nas salas não existe uma situação que provoque maiores caudais efetivos nas salas, contudo uma orientação do vento a 90° pode originar os maiores valores de caudal.

De uma forma geral o sistema de ventilação adotado no Lote 2 poderá não ser satisfatório em termos de conforto, uma vez que em situação de vento mais forte o incremento da taxa de ventilação acima da taxa de ventilação de projeto é elevado (73%), mesmo adotando uma combinação de portas interiores fechadas que procure minimizar os impactos da excessiva ação do vento (porta da cozinha fechada). Uma solução poderá ser a introdução de grelhas nas condutas capazes de minimizar os caudais de admissão em situações de vento forte.

4.7 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 3

4.7.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS

4.7.1.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS QUARTOS

Na Tabela 4.11 apresenta-se a relação de caudais para os quartos do Lote 3. Pode observar-se uma variação significativa dos caudais efetivos.

Tabela 4.11 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 3

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,67	0,55	0,73	0,79
3ª Fase	0,74	0,58	0,79	0,88
4ª Fase	0,73	0,81	1,01	1,07

Na 1ª fase os caudais efetivos são inferiores aos caudais de projeto. É necessário melhorar a ventilação dos quartos.

Na 3ª fase já com um aumento de 30% de admissão de ar nos quartos os caudais efetivos aumentaram mas ainda não satisfazem na totalidade a renovação de ar dos quartos.

Na 4ª fase, quando se encontram ativos os dispositivos mecânicos observa-se um aumento dos caudais efetivos à exceção da situação, porta da sala aberta/cozinha baixa permeabilidade, nas outras situações ocorre um aumento dos caudais efetivos

onde se pode mesmo atingir situações ideais que permitem a total renovação do ar nos quartos. Note-se, todavia, que os ventiladores mecânicos deverão estar ativos apenas um curto espaço de tempo, pelo que são pouco relevantes para incrementar a ventilação média dos compartimentos principais.

Analisando agora a situação pode-se incrementar e reduzir a ventilação gerindo a posição das portas interiores e o tipo de porta (normal ou baixa permeabilidade) no caso das cozinhas.

Quando comparando as situações porta da sala fechada/cozinha baixa permeabilidade e porta da sala fechada/cozinha normal chega-se à conclusão que uma porta de baixa permeabilidade, que apresenta uma maior restrição à ventilação, pode ser útil em casos de vento forte, já que na cozinha se encontra uma abertura de admissão de ar não regulável. Porém a simples abertura da porta da cozinha quer seja de baixa permeabilidade ou normal permite aumentar os caudais de ventilação efetivos nos quartos.

A abertura da porta da sala também permite aumentar os caudais de ventilação efetivos nos quartos.

4.7.1.2 RELAÇÃO DE CAUDAIS DAS SALAS

Na Tabela 4.12 apresenta-se a relação de caudais para as salas do Lote 3. Constata-se que os caudais efetivos são sempre inferiores aos de projeto, porém os caudais de projeto foram dimensionados para uma ocupação permanente do espaço, algo que não ocorre na realidade. Sendo assim, um caudal de ar novo menor pode ainda permitir assegurar satisfatoriamente a ventilação das salas.

Tabela 4.12 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 3

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,66	0,53	0,36	0,26
3ª Fase	0,73	0,56	0,39	0,26
4ª Fase	0,47	0,37	0,69	0,83

Na 1ª fase os caudais efetivos são inferiores aos caudais de projeto. É necessário melhorar a ventilação nas salas

Na 3ª fase já com um aumento de 30% de admissão de ar nas salas os caudais efetivos aumentaram mas ainda não satisfazem a renovação de ar nas salas.

Na 4ª fase, quando os dispositivos mecânicos se encontram ativos observa-se um aumento dos caudais nas situações, porta da sala fechada/cozinha normal e porta da sala fechada/cozinha aberta, nas outras situações ocorre um decréscimo dos caudais efetivos.

Analisando agora a situação pode-se incrementar e reduzir a ventilação gerindo a posição das portas interiores e o tipo de porta (normal ou baixa permeabilidade) no caso das cozinhas.

Quando comparando as situações porta da sala fechada/cozinha baixa permeabilidade e porta da sala fechada/cozinha normal chega-se à conclusão que uma porta de baixa de permeabilidade, que apresenta uma maior restrição à ventilação, pode ser útil em casos de vento forte, já que na cozinha se encontra um orifício de admissão de ar não regulável. Porém a simples abertura da porta da cozinha, quer seja de baixa permeabilidade ou normal, permite aumentar os caudais efetivos nas salas, quando os ventiladores mecânicos estão em funcionamento. Quando os ventiladores mecânicos estão inativos, o fecho da porta da cozinha (de baixa permeabilidade ao ar) e a abertura da porta da sala conduz ao incremento da ventilação da sala.

4.7.1.3 RELAÇÃO DE CAUDAIS RELATIVAS AO DESCONFORTO

De acordo com a Tabela 4.13, podem observar-se valores médios da relação de caudais do Lote 3 que têm em conta diferentes orientações do vento (90°,270°) quer em quartos simples ou duplos. Na Tabela 4.14 também se observam valores médios da relação de caudais mas em relação às salas do Lote 3.

Tabela 4.13 Relação de caudais nos quartos do Lote 3 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha normal		Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta	
	90	270	90	270	90	270	90	270
1ª Fase	1,12	1,06	0,92	0,87	2,03	1,06	2,05	1,06
3ª Fase	1,21	1,18	1,20	1,16	2,27	1,18	2,28	1,18
4ª Fase	0,28	1,18	0,28	1,18	1,32	1,18	1,89	1,19

A vermelho indica-se a ventilação máxima para cada rumo de vento e a verde a mínima. Pode-se constatar que a situação que poderá provocar uma situação de maior desconforto ocorre quando a porta da cozinha se encontra aberta e a orientação do vento forte é de 90° originando maiores caudais efetivos nos quartos. Verifica-se que, de uma forma geral, é mais vantajoso ter uma porta da cozinha de baixa permeabilidade ao ar para reduzir o desconforto. Verifica-se que as situações mais desconfortáveis ocorrem com a porta da cozinha aberta.

Tabela 4.14 Relação de caudais nas salas do Lote 3 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha normal		Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta	
	90	270	90	270	90	270	90	270
1ª Fase	1,04	1,05	0,89	0,85	0,92	0,51	0,47	0,28
3ª Fase	1,13	1,16	1,13	1,13	1,02	0,56	0,44	0,27
4ª Fase	1,14	0,11	1,13	0,11	1,12	0,59	1,12	0,79

Em relação ao desconforto nas salas não existe uma situação que provoque maiores caudais efetivos nas salas, contudo uma orientação do vento a 90° pode originar os maiores valores de caudal.

De uma forma geral o sistema de ventilação adotado no Lote 3 é bastante satisfatório em termos de conforto, uma vez que mesmo em situação de vento mais forte o incremento da taxa de ventilação acima da taxa de ventilação de projeto é limitado (12%).

Note-se que através da adoção da posição das portas interiores mais adequada a cada caso é possível reduzir a ventilação, minimizando o desconforto. Neste caso é possível limitar o caudal de ventilação a um valor que não excede em mais do que 20% o caudal de projeto.

4.8 RESULTADOS DAS SIMULAÇÕES RELATIVAS AO LOTE 4

4.8.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS COMPARTIMENTOS

4.8.1.1 RELAÇÃO DE CAUDAIS DOS QUARTOS

Na Tabela 4.15 apresenta-se a relação de caudais para os quartos do Lote 4. Pode também observar-se uma grande variação dos caudais efetivos.

Tabela 4.15 Relação de caudais nos quartos referentes ao Lote 4

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,69	0,59	0,76	0,82
2ª Fase	0,77	0,63	0,83	0,91
4ª Fase	0,78	0,86	1,05	1,10

Na 1ª fase os caudais efetivos são inferiores aos caudais de projeto. É necessário melhorar a ventilação dos quartos.

Na 3ª fase já com um aumento de 30% de admissão de ar nos quartos os caudais efetivos aumentaram mas ainda não satisfazem na totalidade a renovação de ar dos quartos.

Na 4ª fase, quando os dispositivos mecânicos se encontram ativos observa-se um aumento dos caudais efetivos onde se pode mesmo atingir situações ideais que permitem a total renovação do ar nos quartos.

Analisando agora situação a situação pode-se incrementar e reduzir a ventilação gerindo a posição das portas interiores e o tipo de porta (normal ou baixa permeabilidade) no caso das cozinhas.

Quando se comparam as situações de porta da sala fechada/cozinha baixa permeabilidade e porta da sala fechada/cozinha normal chega-se à conclusão que uma porta de baixa de permeabilidade, que apresenta uma maior restrição à

ventilação, pode ser útil em casos de vento forte, já que na cozinha se encontra um orifício de admissão de ar não regulável. Porém a simples abertura da porta da cozinha quer seja de baixa permeabilidade ou normal permite aumentar os caudais efetivos nos quartos.

A abertura da porta da sala também permite aumentar os caudais efetivos nos quartos mas de forma menos significativa.

4.8.1.2 RELAÇÃO DE CAUDAIS DAS SALAS

Na Tabela 4.16 apresenta-se a relação de caudais para as salas do Lote 4. Constata-se que os caudais efetivos são sempre inferiores aos de projeto.

Tabela 4.16 Relação de caudais nas salas referentes ao Lote 4

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,68	0,57	0,34	0,19
2ª Fase	0,75	0,61	0,37	0,18
4ª Fase	0,51	0,42	0,84	0,95

Na 1ª fase os caudais efetivos são inferiores aos caudais de projeto. É necessário melhorar a ventilação nas salas

Na 3ª fase já com um aumento de 30% de admissão de ar nas salas os caudais efetivos aumentaram mas ainda não satisfazem as necessidades de renovação de ar nas salas.

Na 4ª fase, quando os dispositivos mecânicos se encontram ativos, observa-se um aumento dos caudais nas situações de porta da sala fechada/cozinha normal e porta da sala fechada/cozinha aberta, nas outras situações ocorre um decréscimo dos caudais efetivos.

Analisando agora situação a situação, pode-se incrementar e reduzir a ventilação gerindo a posição das portas interiores e o tipo de porta (normal ou baixa permeabilidade) no caso das cozinhas.

Quando comparando as situações de porta da sala fechada/cozinha baixa permeabilidade e porta da sala fechada/cozinha normal chega-se à conclusão que uma porta de baixa de permeabilidade, que apresenta uma maior restrição à ventilação, pode ser útil em casos de vento forte, já que na cozinha se encontra um orifício de admissão de ar não regulável. Porém, neste caso, o fecho da porta da cozinha de baixa permeabilidade permite aumentar os caudais efetivos nas salas, pois evita que o escoamento do ar no fogo se faça essencialmente por via da abertura situada na cozinha.

A abertura da porta da sala também permite aumentar os caudais efetivos nas salas quando comparado com a situação da porta da sala fechada/cozinha baixa permeabilidade.

4.8.1.3 RELAÇÃO DE CAUDAIS RELATIVAS AO DESCONFORTO

De acordo com a Tabela 4.17, podem observar-se valores médios da relação de caudais do Lote 4 que têm em conta diferentes orientações do vento (90°,270°) quer em quartos simples ou duplos. Na Tabela 4.18 também se observam valores médios da relação de caudais mas em relação às salas do Lote 4.

Tabela 4.17 Relação de caudais nos quartos do Lote 4 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha normal		Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta	
	90	270	90	270	90	270	90	270
1ª Fase	1,14	1,06	1,14	1,05	2,03	1,06	2,04	1,06
3ª Fase	1,25	1,17	1,24	1,16	2,26	1,17	2,28	1,18
4ª Fase	0,16	1,18	0,16	1,18	1,21	1,18	1,76	1,19

A vermelho indica-se a ventilação máxima para cada rumo de vento e a verde a mínima. Pode-se constatar que a situação que poderá provocar uma situação de maior desconforto ocorre quando a porta da cozinha se encontra aberta e a orientação do vento forte é de 90° originando maiores caudais efetivos nos quartos. Verifica-se que, de uma forma geral, é mais vantajoso ter uma porta da cozinha de baixa permeabilidade ao ar para reduzir o desconforto. Verifica-se que as situações mais desconfortáveis ocorrem com a porta da cozinha aberta (considerando ambos os rumos de vento).

Tabela 4.18 Relação de caudais nas salas do Lote 4 referentes à ocorrência de vento forte

Orientação [°]	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade		Porta da sala fechada e porta da cozinha normal		Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta	
	90	270	90	270	90	270	90	270
1ª Fase	1,04	1,04	1,03	1,01	0,92	0,49	0,53	0,25
3ª Fase	1,15	1,15	1,14	1,12	1,02	0,54	0,51	0,24
4ª Fase	1,15	0,19	1,14	0,19	1,14	0,77	1,13	0,92

Em relação ao desconforto nas salas não existe uma situação que provoque maiores caudais efetivos nas salas, contudo uma orientação do vento a 90° pode originar os maiores valores de caudal.

De uma forma geral o sistema de ventilação adotado no Lote 3 é bastante satisfatório em termos de conforto, uma vez que mesmo em situação de vento mais forte o incremento da taxa de ventilação acima da taxa de ventilação de projeto é limitado (13%).

Tal como para o Lote 3, através da adoção da posição das portas interiores mais adequada a cada caso é possível reduzir a ventilação, minimizando o desconforto. Neste caso é possível limitar o caudal de ventilação a um valor que não excede em mais do que 18% o caudal de projeto.

5 CONCLUSÕES

5.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A realização da presente tese teve como objetivo central o estudo experimental e a otimização de um sistema de ventilação misto de forma a tirar conclusões sobre o seu funcionamento e a propor recomendações para a conceção do referido sistema.

O desenvolvimento do objetivo central do estudo e a otimização de um sistema de ventilação misto, implicou um conjunto de simulações no total de 218 (duzentos e dezoito). Destas simulações e sua posterior análise resultou um conjunto de constatações e conclusões que apoiam o estabelecimento de regras de conceção e de dimensionamento de um sistema de ventilação misto.

5.2 CONCLUSÕES RELATIVAS À PERMEABILIDADE DE JANELAS E PORTAS

Em todas as frações dos edifícios foram usadas portas exteriores de baixa permeabilidade ao ar (portas de patamar) evitando-se assim caudais indesejáveis que pudessem influenciar a dinâmica do sistema de ventilação misto.

Relativamente às portas interiores às frações a permeabilidade ao ar das portas influencia o comportamento do sistema de ventilação misto. Portas de baixa permeabilidade ao ar nas cozinhas quando comparadas com portas de alta permeabilidade ao ar permitem em situações de vento forte, diminuir caudais excessivos.

A permeabilidade ao ar das janelas pode influenciar o desempenho do sistema se for uma classe baixa de permeabilidade ao ar, pois permite a entrada de caudais significativos. Por esta razão, janelas de permeabilidade ao ar da classe 4, permitem diminuir significativamente estes caudais, não havendo desta forma perturbações significativas provenientes da permeabilidade ao ar das janelas. A permeabilidade ao ar da caixilharia exterior deve ser então limitada de acordo com a regulamentação portuguesa e recomendações do LNEC, preferencialmente classe 4;

5.3 CONCLUSÕES RELATIVAS AOS COMPARTIMENTOS PRINCIPAIS

No Capítulo 4 foram discriminados Lote a Lote os resultados das simulações e as respetivas conclusões. Neste capítulo serão apresentados de forma global os resultados do Capítulo 4 de forma a criar um panorama geral do desempenho do sistema de ventilação misto no que diz respeito aos compartimentos principais.

Na Tabela 5.1 indicam-se os valores médios dos quatro lotes relativamente aos quartos.

Tabela 5.1 Relação de caudais nos quartos de todos os edifícios

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,63	0,55	0,64	0,68
2ª Fase	0,71	0,73	0,69	0,68
3ª Fase	0,78	0,69	0,81	0,85
4ª Fase	0,77	0,82	0,94	0,99

Em termos médios, nunca se atinge o valor do caudal efetivo igual ao caudal de projeto. Contudo ocorrem valores bastante satisfatórios e mais uma vez é notório que a variação da posição das portas interiores influencia bastante os caudais nos quartos, sendo a situação mais favorável quando a porta da cozinha se encontra aberta. Note-se que em relação à 2ª fase só fazem parte as simulações efetuadas aos Lotes 1 e 2, como já havia sido referido anteriormente.

Na Tabela 5.2 indicam-se os valores médios dos quatro lotes relativamente às salas.

Tabela 5.2 Relação de caudais nas salas de todos os edifícios

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,54	0,46	0,41	0,37
2ª Fase	0,64	0,53	0,45	0,42
3ª Fase	0,79	0,62	0,52	0,44
4ª Fase	0,62	0,49	0,65	0,74

Em termos médios, nunca se atinge o valor do caudal efetivo igual ao caudal de projeto. Contudo estamos perante valores bastante satisfatórios uma vez que os valores de referência correspondem a uma taxa de ocupação máxima e permanente das salas. Sendo assim, um caudal de ar menor poderá satisfazer as necessidades de renovação de ar nas salas em condições correntes de ocupação.

No caso das salas também é notório que a variação da posição das portas interiores influencia bastante os caudais nas salas, sendo a situação mais favorável quando a porta da sala se encontra aberta. Uma nota apenas em relação à 2ª fase da qual só fazem parte as simulações efetuadas aos Lotes 1 e 2, como já havia sido referido anteriormente.

5.4 CONCLUSÕES RELATIVAS AOS COMPARTIMENTOS DE SERVIÇO

A introdução de um orifício na cozinha e de um exaustor permitiu tornar a cozinha um setor de ventilação independente do resto dos compartimentos e de forma geral satisfazer sempre as necessidades de renovação de ar impedindo a difusão de cheiros e poluentes pelo resto do fogo. Como era de esperar, os caudais são satisfeitos apenas na 4ª fase, quando os aparelhos mecânicos se encontram ativos nas cozinhas.

Tabela 5.3 Relação de caudais nas cozinhas de todos os edifícios

	Porta da sala aberta e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha baixa permeabilidade	Porta da sala fechada e porta da cozinha normal	Porta da sala fechada e porta da cozinha aberta
1ª Fase	0,00	0,01	0,11	0,16
2ª Fase	0,00	0,00	0,13	0,23
3ª Fase	0,00	0,01	0,14	0,27
4ª Fase	1,07	1,07	1,09	1,10

Em relação às I.S. a colocação de um aparelho mecânico que quando ativo extrai um caudal constante de 12,5 l/s permite satisfazer as necessidades de projeto evitando-se também difusões de cheiros e poluentes.

5.5 PRINCIPAIS RECOMENDAÇÕES PARA A CONCEPÇÃO DE UM SISTEMA MISTO DE VENTILAÇÃO

De todas as simulações levadas a efeito resultam as seguintes recomendações para a conceção de um sistema misto de ventilação.

5.5.1 PRINCÍPIOS GERAIS DOS SISTEMAS MISTOS

O sistema de ventilação misto das habitações deve ser geral e permanente, ou seja, devem existir aberturas permanentes autorreguláveis para admissão de ar aos compartimentos principais, quartos e salas. Por outro lado, todos os compartimentos de serviço devem dispor de extrações mecânicas cujos caudais sejam de acordo com a NP 1037-2:2009;

Os vãos de uma mesma habitação, em comunicação com o exterior, devem preferencialmente, ser localizados em fachadas de orientação diferente, de maneira a permitir o aproveitamento da diferença de pressões provocada pela ação do vento para aumentar a eficácia da ventilação;

A cozinha deverá ser um setor de ventilação independente com admissão e exaustão de ar;

5.5.2 ADMISSÃO DE AR

A admissão de ar nos compartimentos principais deve ser realizada de acordo com a NP 1037-2:2009;

Recomenda-se o uso de dispositivos autorreguláveis de admissão de ar que garantam caudal nominal para 2 Pa;

Deve existir uma abertura de admissão de ar nas cozinhas, a qual deve ser dimensionada de acordo com as necessidades de exaustão na cozinha, de modo a que tenha uma perda de carga de 10 Pa para o caudal nominal do exaustor. Esta deverá ser do tipo obturável manualmente em casos pontuais de vento muito forte.

5.5.3 EXAUSTÃO MECÂNICA DA COZINHA/I.S.

As condutas das instalações sanitárias devem ser dimensionadas para um caudal máximo constante de 12,5 [l/s], o que implica geralmente o uso de uma conduta com um diâmetro de $\phi 130$;

A exaustão nas cozinhas deve ser efetuada através de um dispositivo, acionável pelo utilizador, que permita extrair um caudal de 77,60 l/s.

5.5.4 PASSAGENS DE AR INTERIORES

Relativamente às portas interiores, recomenda-se para os quartos, salas e instalações sanitárias, portas de alta permeabilidade ao ar com folgas inferiores na ordem dos 0,004 m² de modo a não se restringirem escoamentos do ar interior.

Em relação às portas das cozinhas, é imprescindível equacionar-se a colocação de portas interiores de baixa permeabilidade ao ar (de acordo com a definição da norma NP 1037-1:2002) de modo a tornar a cozinha num setor independente do resto do fogo.

5.5.5 ABERTURAS DE EXTRAÇÃO DE AR

Cada compartimento de serviço deverá apresentar um dispositivo de extração de ar. Estes dispositivos deverão ser colocados geralmente a um nível elevado. Na cozinha a abertura de extração de ar deve naturalmente ser localizada sobre o fogão, enquanto as aberturas de extração de ar das instalações sanitárias devem estar localizadas a 2,10 m, pelo menos, acima do pavimento e tão distantes quanto possível da porta de acesso a esses compartimentos, de modo a aumentar a eficácia de extração.

5.5.6 TRAÇADO E CARACTERÍSTICAS DAS CONDUTAS

É desejável colocar condutas com ventilação natural que permitam equilibrar caudais provenientes de fachadas opostas se for o caso, o dimensionamento das condutas deverá ser baseado de acordo com a teoria dos escoamentos nas condutas presente no (ASHRAE Handbook, 2013).

A geometria da tubagem, nomeadamente a ausência de curvas ou acessórios que possam introduzir perdas de carga é decisiva na eficiência de uso das condutas.

A conceção arquitetónica de um edifício deve procurar encontrar soluções para que as saídas das condutas se enquadrem no conceito estético desejado, mas não é aceitável a colocação de elementos que perturbem a extração.

5.6 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

A extensa campanha de simulação numérica realizada permite estabelecer alguns caminhos possíveis para o desenvolvimento futuro deste trabalho, tais como:

Analisar o impacto do sistema de ventilação misto aqui apresentado noutras habitações com outras tipologias, orientações e diferentes envolventes urbanas, tendo em conta que muitas das obstruções que existem no meio urbano podem reduzir a ação do vento;

Alargar a campanha de simulação a todas as classes de permeabilidade ao ar das janelas, neste ou outro tipo de habitações;

Simular diferentes combinações relativamente à posição das portas interiores, p.ex. portas todas abertas;

Estes desenvolvimentos permitirão analisar pormenorizadamente as condições de aplicabilidade da tecnologia descrita no presente trabalho, a expansão da campanha de simulações a outro tipo de habitações com diferentes características permitirá identificar pontos em comum e estabelecer regras de projetar adequadas para um sistema de ventilação misto que vá ao encontro das necessidades atuais de ventilação.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, M. 2008. *Sistema de Ventilação Natural e Mistos em Edifícios de Habitação.* Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. 2008.

ASHRAE Handbook. 2013. *Fundamentals.* 2013.

ASHRAE Standard 55. 2013. *Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.* 2013.

ASHRAE Standard 62.1. 2013. *Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.* 2013.

Awbi, H. 2003. *Ventilation of Buildings.* Segunda Edição. 2003. p. 522.

Cao, G., et al. 2013. *A review of the performance of different ventilation and airflow distribution systems in buildings.* 2013.

CEN/TR 14788:2006. *Ventilation for buildings. Design and dimensioning of residential ventilation systems.*

Clausen, G, et al. 2003. *Ventilatin, Good Indoor Air Quality and Rational Use of Energy.* 2003. p. 96.

DeKay M.; Brown G. 2014. *Sun, Wind, and Light: Architectural Design Strategies,* 2014.

Despacho 41/MES/85. 1985. *Recomendações Técnicas para Habitação Social. Despacho 41/MES/85, de 5 de Fevereiro.* 1985.

EN 12207:1999. *Windows and doors; Air permeability; Classification.* European Committee for Standardization .

EN 15251:2007. *Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality, thermal environment, lighting and acoustics.*

EPA. 2014. United States Environmental Protection Agency. [Online] 2014. [Citação: 22 de Setembro de 2014.] <http://www.epa.gov/pm/health.html>.

Ismail M.; Rahman A. 2012. *Stack Ventilation Strategies in Architectural Context: A brief review of historical development, current trends and future possibilities.* 2012.

ISO 8996:2004. *Ergonomics of the thermal environment -- Determination of metabolic rate.*

Mansouri, Y., F., Allard e M., Musy. 2003. *Conceptual Implementation of Natural Ventilation Strategy.* 2003.

National Institute of Standards and Technology. 2014. NIST. [Online] 2014. [Citação: 1 de Outubro de 2013.] <http://www.bfrl.nist.gov/IAQanalysis/CONTAM/overview/1.htm>.

NP 1037-1:2002. *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação natural.*

NP 1037-2:2009. *Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás; Parte 2: Edifícios de habitação; Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples.*

NP 1796:2014. *Segurança e saúde do trabalho. Valores-limite e índices de exposição profissional a agentes químicos.*

NP EN 13141. *Ventilação para edifícios - Ensaios de desempenho dos componentes/produtos para ventilação de edifícios de habitação.*

NP EN 13142:2013. *Ventilação para edifícios - Componentes/produtos para Ventilação Residencial - Características de performance obrigatórias e opcionais.*

NP EN 14134:2004. *Ventilação para Edifícios - Teste de performance e verificações da instalação de sistemas de ventilação destinados a habitações.*

NP EN 15665:2009. *Ventilação para Edifícios - Determinar os critérios de desempenho para sistemas de ventilação destinados a habitações.*

Pinto, M, Freitas, V e Viegas, J. 2007. *Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios de Habitação.* 2007.

RCCTE. 2006. *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios, Decreto - Lei n.º 80/2006.* 2006.

RECS. 2013. *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços: DL 118/13, de 20 de Agosto (Portaria n.º 349-A/2013).* 2013.

—. **2013.** *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços: DL 118/13, de 20 de Agosto (Portaria n.º 349-D/2013).* 2013.

REH. 2013. *Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação: DL 118/13, de 20 de Agosto (Portaria n.º 349-B/2013).* 2013.

RGEU. 1951. *Regulamento Geral das Edificações Urbanas: DL 38 382, de 7 de Agosto de 1951.* 1951.

Sarbu, I e Sebarchievici, C. 2013. *Aspects of indoor environmental quality assessment in buildings.* 2013.

SCE. 2013. *Regulamento do Sistema de Certificação Energética dos Edifícios: DL 118/13, de 20 de Agosto.* 2013.

SCIE. 2008. *Regulamento Geral de Segurança Contra Incêndio em Edifícios: DL 220/08, de 12 de Novembro.* 2008.

Soler & Palau, S.A. 2006. [Online] 2006. [Citação: 22 de Setembro de 2014.] http://www.solerpalau.pt/formacion_01_03.html.

TNO Webapplications home. 2014. TNO Webapplications home. [Online] 2014. [Citação: 5 de Dezembro de 2013.] <http://cpgen.bouw.tno.nl/>.

Torgal, F.P. 2013. *Gás-radão: um perigoso contaminante do ar no interior das habitações.* 2013.

Viegas, J.C. e Pinto, A. 2013. *Contribuição da caixilharia exterior para a ventilação natural.* 2013.

Viegas, J.C. 2010. *Ventilação Natural de Edifícios de Habitação.* 2010. p. 129.

Viegas, J.C., et al. 2014. *Numerical evaluation of ventilation performance in children day care centres.* 2014.

Wolkoff, P. 2013. *Indoor air pollutants in office environments: Assessment of comfort, health, and performance.* 2013.

ANEXOS

ANEXO I - COEFICIENTES DE PRESSÃO

ANEXO I.1 – COEFICIENTES DE PRESSÃO (Fachada 1, 2 e 3)

ANEXO I.2 – COEFICIENTES DE PRESSÃO (Fachada 4, 5, 6 e 7)

ANEXO II - CLASSE PERMEABILIDADE

ANEXO II.1 – CLASSE 1

ANEXO II.2 – CLASSE 4

ANEXO III – SIMULAÇÕES

ANEXO III.1 – LOTE 1

ANEXO III.2 – LOTE 2

ANEXO III.3 – LOTE 3

ANEXO III.4 – LOTE 4

NOTA: Todos os anexos encontram-se em formato digital.