

A IMPORTÂNCIA DA VENTILAÇÃO NA MANUTENÇÃO DE NÍVEIS ACEITÁVEIS DE POLUENTES EM EDIFÍCIOS DE HABITAÇÃO

JOANA FILIPA RODRIGUES TEIXEIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Eva Sofia Botelho Machado Barreira

Coorientadora: Professora Doutora Simone Morais

SETEMBRO 2019

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2018/2019

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2014/2015 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015.*

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

Dedico este trabalho aos meus Pais e às minhas Irmãs

“Determinação, coragem e autoconfiança são fatores decisivos para o sucesso. Não importa quais sejam os obstáculos e as dificuldades. Se estamos possuídos de uma inabalável determinação, conseguiremos superá-los. Independentemente das circunstâncias, devemos ser sempre humildes, recatados e despidos de orgulho.”

Dalai Lama

AGRADECIMENTOS

Quero felicitar todas as pessoas que contribuíram para a elaboração desta dissertação, porque sem eles a elaboração deste trabalho não teria sido possível assim como alcançar o objetivo final.

Em primeiro lugar agradeço à minha orientadora, Professora Doutora Eva Barreira, por me ter facultado todo o material necessário para a realização deste trabalho, tendo sido crucial todo o seu conhecimento nesta área. Quero agradecer toda a sua disponibilidade, os seus conselhos e compreensão que demonstrou ao longo da realização deste trabalho e acima de tudo a confiança que depositou em mim.

À minha coorientadora Professora Doutora Simone Morais, por me ter facultado todo o material necessário para a realização deste trabalho, tendo sido incansável na transmissão do conhecimento de toda a informação que adquiriu sobre este assunto. Quero agradecer também toda a sua disponibilidade e a confiança que depositou em mim.

À Marta pela disponibilidade demonstrada em explicar o funcionamento de todos os aparelhos que foram necessários para a realização deste trabalho, aos conselhos e dicas dados a nível informático para a realização da análise dos dados e pela amabilidade demonstrada em tirar qualquer dúvida que surgiu durante os ensaios sobre os equipamentos.

Agradeço aos meus familiares que me deixaram realizar os ensaios nas suas casas, obrigada pelo esforço que fizeram, alterando algumas rotinas do dia-a-dia para que fosse possível realizar todos os ensaios que me foram propostos.

À minha prima Ana por todo o esforço que teve em ler e corrigir o português desta dissertação vezes sem conta e pelo apoio prestado ao longo desta caminhada.

Por fim, mas não menos importante, aos meus pais e às minhas irmãs pela educação que me deram, pelo apoio incondicional, por todo o amor depositado e essencialmente, pela enorme paciência e compreensão nas alturas mais difíceis que este caminho revelou, pois sem eles nada disto seria possível.

RESUMO

A qualidade do ambiente interior nos dias de hoje tem uma importância acrescida no dimensionamento das habitações, pois ao longo das últimas décadas, o desenvolvimento da construção, a maior preocupação em economizar energia e em garantir o conforto e o bem-estar dos ocupantes, fez com que as habitações ficassem cada vez mais isoladas termicamente e mais estanques ao ar. Com isto e com o aumento do tempo que os ocupantes permanecem no interior dos edifícios, verificou-se que houve um agravamento da qualidade do ambiente interior, pois os utilizadores perderam o hábito de abrir as janelas para proceder à renovação de ar.

Perante este problema, a presente dissertação focou-se num dos 4 grandes grupos que a qualidade do ambiente interior integra, a qualidade do ar interior (QAI). Ao longo desta dissertação foi avaliada a QAI e o caudal de ventilação em 3 habitações com características construtivas diferentes, sendo que o local de estudo foram as salas. A avaliação, tanto da QAI como do caudal de ventilação, foi realizada através de campanhas experimentais em dois momentos diferentes, sendo que a 1.^a campanha realizou-se em abril e a 2.^a campanha em junho, tendo a avaliação em ambos os casos decorrido ao longo de uma semana, para cada habitação.

Os ensaios de avaliação da QAI foram realizados através da monitorização contínua dos vários poluentes, fornecendo as concentrações desses mesmos poluentes durante o período em questão. Para a avaliação do caudal de ventilação utilizou-se o método do gás traçador (técnica do decaimento), sendo que assim foi possível determinar as renovações horárias das salas. Paralelamente a estes ensaios, também foram monitorizados os clima exterior e interior e o CO₂ exterior de forma contínua durante todo o processo de avaliação da QAI e do caudal de ventilação.

No final das duas campanhas analisaram-se os dados recolhidos, sendo que para a QAI foi realizada a comparação das concentrações obtidas com os limites referidos nos regulamentos RSECE e RCCTE e no caudal de ventilação procedeu-se à análise e comparação com o limite mínimo referido no Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Habitação (REH).

De um modo global, este estudo permitiu concluir que as casas mais recentes apresentam pior QAI e uma taxa de renovação de ar menor, mas por outro lado a casa de alvenaria de pedra apresenta concentrações de partículas mais elevadas do que as restantes. Conclui-se também que as habitações mais próximas de vias de comunicação estão mais sujeitas ao monóxido de carbono e que as que estão próximas de autoestradas protegidas com proteções sonoras estão menos expostas às partículas de suspensão.

Palavras-chave: Ventilação, Qualidade do ar interior, Monitorização, Limites legais

ABSTRACT

Nowadays, the quality of the indoor environment has an added importance in the dimensioning of the dwellings, once over the last decades, the building development, the increased concern in saving energy and in guaranteeing the comfort and well-being of the occupants, has made houses more and more thermally insulated and more air-tight. This added to the increase of time that the occupants stay inside the buildings, it was found that there was a deterioration of the quality of the indoor environment, as users lost the habit of opening the windows to renew the air.

Given this problem, the present dissertation focused on one of the 4 major groups that the quality of the indoor environment integrates, the indoor air quality (IAQ). Throughout this dissertation, IQA and ventilation flow were evaluated in 3 dwellings with different constructive characteristics, where the rooms were the place under study. The assessment of both the IAQ and the ventilation flow was carried out through experimental campaigns at two different times, with the first campaign being held in April and the second campaign in June. Each case took a week for each dwelling.

The IAQ evaluation tests were performed by continuously monitoring the various pollutants, providing the concentrations of these same pollutants during the period in question. For the evaluation of the ventilation flow was used the tracer gas method (decay technique), so it was possible to determine the hourly renovations of the rooms. In parallel to these tests, outdoor and indoor climate and outdoor CO₂ were also continuously monitored throughout the IAQ and ventilation flow assessment process.

At the end of the two campaigns, the collected data were analyzed, and for the IAQ the concentration obtained was compared with the limits referred to in the RSECE and RCCTE regulations and the ventilation flow was analyzed and compared with the minimum provided by the Regulation of Energy Performance of Housing Buildings (REH).

Overall, this study found that the newer houses have worse IAQ and a lower air renewal rate, but on the other hand the stone masonry houses have higher particle concentrations than the others. It is also concluded that houses closer to roads are more prone to carbon monoxide and those near highways protected with sound shields are less exposed to suspension particles.

Keyword: Ventilation, Indoor air quality, Monitoring, Legal limits

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS	1
1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO	2
1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO	2
2 QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR	5
2.1 ENQUADRAMENTO	5
2.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR	6
2.2.1 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO	6
2.2.2 CRITÉRIOS DA QUALIDADE DO AR INTERIOR	6
2.2.3 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR INTERIOR	7
2.2.4 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO QAI	11
2.3 VENTILAÇÃO	12
2.3.1 ENQUADRAMENTO	12
2.3.2 TIPOS DE VENTILAÇÃO	13
2.3.3 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO	16
3 METODOLOGIA	19
3.1 ENQUADRAMENTO	19
3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO	19
3.2.1. CASA 1	19
3.2.2. CASA 2	21
3.2.3. CASA 3	23
3.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO	27
3.3.1 AVALIAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR	27
3.3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR	31
3.3.3. AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO	36
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	39

4.1 CLIMA INTERIOR E EXTERIOR	39
4.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR.....	42
4.2.1 1ª CAMPANHA	42
4.2.2 2ª CAMPANHA	49
4.3 CAUDAL DE VENTILAÇÃO	55
4.4 AVALIAÇÃO GLOBAL	58
 5 CONCLUSÃO	 63
5.1 CONCLUSÕES PRINCIPAIS	63
5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	64
 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA	 65
 ANEXOS.....	 69
ANEXO 1 – CRONOGRAMA DAS CAMPANHA	70
ANEXO 2 – DIÁRIO DE ACTIVIDADES	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.2.1- Sintomas que a poluição do ar interior nos edifícios pode causar aos ocupantes [11].....	7
Fig.2.2- Relação entre a percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar e o nível de percepção [26].....	12
Fig.2.3- Ilustração da passagem do ar pelos compartimentos de serviço [10].....	13
Fig.2.4- Ilustração da admissão do ar exterior pelos compartimentos principais e a extração do ar pelos compartimentos de serviço [27].....	13
Fig.2.5- Distribuição de pressões em todas as fachadas de um edifício em planta retangular (vista do corte vertical e em planta) [46]	14
Fig.2.6- Fluxo de ar devido a diferença de temperatura [40]	15
Fig.2.7- Grelhas reguláveis [39]	15
Fig.2.8- Efeito da ventilação Cruzada [41]	15
Fig.2.9- Efeito da ventilação unilateral [41]	16
Fig. 3.1-Localização da Casa 1 (GPS 41.22,-8.244)	20
Fig.3.2 Grelha de Exaustão Natural da casa de banho	20
Fig.3.3 Exaustor elétrico individual da cozinha	21
Fig.3.4- Localização da Sala da Casa 1	21
Fig.3.5-Localização da Casa 2 (GPS 41.21,-8.241)	22
Fig.3.6 Janela da Casa de Banho	22
Fig.3.7 Exaustor Individual da Cozinha.....	23
Fig.3.8-Localização da sala da Casa 2	23
Fig.3.9-Localização da Casa 3 (GPS 41,19;-8,311)	24
Fig.3.10-Grelha de ventilação da casa de banho com sistema mecânico controlado.....	24
Fig.3.11- Exaustor elétrico individual (a) e uma grelha de exaustão natural (b) da cozinha	25
Fig. 3.12-Localização da Sala na Casa 3	25
Fig.3.13- Localização geográfica das 3 casas e das vias principais para o estudo	25
Fig.3.14- Imagem da Estação Meteorológica portátil TFA (a) e medidor de CO2 portátil TELEIRE 7001 (b)	27
Fig. 3.15-Imagem do Manual de Instruções da Estação meteorológica TFA	28
Fig.3.16-Localização dos Equipamentos a)Casa 1, b)Casa 2 , c) Cas	29
Fig.3.17 Equipamentos utilizados da estação meteorológica TFA (a) Casa 1, (b) Casa 2 e (c) Casa 330	
Fig.3.18- Sensor de CO2 TELAIRE 7001 (a) Casa 1, (b) Casa 2, (c) Casa 3.....	31
Fig.3.19- Avaliação da qualidade do ar interior: (a) Sonda multiparamétrica (IQ-610 Qualityprobe); (b) Medidor de Partículas (Lighthouse 3016IAQ); (c) sensor de formaldeído htv-M.....	31
Fig.3.20-Localização dos equipamentos a) Casa 1, b) Casa 2, c) Cas	33

Fig.3.21- Sonda Multiparamétrica (IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irlanda) (a); medidor de partículas (Lighthouse 3016 IAQ; Lighthouse Worldwide Solutions, Holanda) (b); medidor de formaldéido Formaldemeter htv-M (c)	36
Fig.3.22-Imagem dos equipamentos no interior (a) Casa 1, (b) Casa 2, (c) Casa 3	36
Fig. 4.1- Variação da temperatura ao longo da 1ª campanha	39
Fig.4.2 Variação da temperatura interior e exterior ao longo da 2ª Campanha.....	40
Fig.4.3 - Descrição das possíveis direções do vento ao longo da (a) 1ª Campanha (b) 2ª Campanha	41
Fig.4.4- Resultados globais dos níveis de CO ₂ detetados no ar interior das Casas durante a 1ª Campanha	43
Fig.4.5 - Variação temporal das concentrações de CO ₂ no dia 14 no ar interior da Casa 1	43
Fig.4.6- Variação temporal das concentrações de CO ₂ no ar interior da Casa 2 no dia 30	44
Fig.4.7- Concentrações de CO no ar interior das habitações durante a 1ª Campanha	44
Fig.4.8- Apresentação dos níveis de concentração do CO na Casa 3 ao longo do dia 6, dia de maior movimentação de veículos na estrada Nacional nº 593	45
Fig.4.9- Concentrações de formaldéido no ar interior das habitações durante a 1ª Campanha.....	45
Fig.4.10 Resultados globais das PM ₁₀ no ar interior das várias habitações durante a 1ª Campanha.	46
Fig.4.11 Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 3 ao longo do dia 6 durante a 1ª Campanha	46
Fig.4.12- Concentrações de PM _{2.5} no ar interior das habitações durante a 1ª Campanha	47
Fig.4.13- Variação temporal das concentrações de PM _{2.5} e PM ₁₀ no ar interior da Casa 1 no dia 14 da 1ª campanha	48
Fig.4.14- Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 2 ao longo do dia 28 durante a 1ª Campanha	49
Fig.4.15 –Níveis de CO ₂ nas várias habitações durante a 2ª Campanha.....	50
Fig.4.16- Variação das concentrações de CO ₂ na Casa 1 ao longo do dia 16 durante a 2ª Campanha	50
Fig.4.17- Descrição temporal dos valores das concentrações do CO ₂ na Casa 2 no dia 30 durante a 2ª Campanha.....	51
Fig.4.18- Níveis de CO nas várias habitações durante a 2ª Campanha	51
Fig.4.19- Variação temporal da concentração de CO no ar interior da Casa 2 no dia 31 durante a 2ª Campanha	52
Fig.4.20- Níveis de formaldéido no ar interior das várias habitações durante a 2ª Campanha	52
Fig.4.21- Concentrações de PM ₁₀ no ar interior das habitações durante a 2ª Campanha	53
Fig.4.22-Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 1 ao longo do dia 15 durante a 2ª Campanha.....	53
Fig.4.23- Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 3 ao longo do dia 9 durante a 2ª Campanha	54

Fig.4.24- Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 2 ao longo do dia 1 durante a 2ª Campanha	54
Fig. 4.25- Concentrações de PM _{2,5} nas várias habitações durante a 2ªCampanha	55
Fig. 4.26- RPH versus Velocidade	57
Fig.4.27- RPH versus Variação da Temperatura	57

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA 2.1 – LIMITES MÁXIMOS DAS CONCENTRAÇÕES DOS POLUENTES IMPOSTOS LEGISLAÇÃO PORTUGUESA [8].....	7
TABELA2.2- GRAU DE IMPORTÂNCIA DOS POLUENTES DENTRO DE CADA COMPARTIMENTO DA HABITAÇÃO [1]. .	8
TABELA2.3 – PRODUÇÃO DO CO ₂ POR OCUPANTE EM FUNÇÃO DO METABOLISMO MESMO.....	8
TABELA2.4 – PRODUÇÃO DE CO ₂ NA COMBUSTÃO	9
TABELA2.5-TABELA RESUMO DOS POLUENTES, PRINCIPAIS FONTES DE POLUIÇÃO E O RÁCIO CONCENTRAÇÕES INTERIOR VERSUS EXTERIOR (ADAPTAÇÃO [1]).....	11
TABELA2.6- DESCRIÇÃO DOS VALORES SENSÓRIAS DAS VÁRIAS FONTES DE POLUIÇÃO.....	11
TABELA 3.1- RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DAS HABITAÇÕES EM ESTUDO	26
TABELA 3.2- RESUMO DAS ESPECIFICAÇÕES DA SONDA MULTIPARAMÉTRICA.....	34
TABELA 3.3-ESPECIFICAÇÕES DO APARELHO LIGHTHOUSE 3016 IAQ, LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS, HANDHELD 3016 IAQ PARTICLE COUNTER, OPERATING MANUAL.....	35
TABELA 3.4-ESPECIFICAÇÕES DO SENSOR DE FORMALDEÍDO (FORMALDEMETER HTV-M)	35
TABELA 4.1- RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS DAS TEMPERATURAS AO LONGO DAS DUAS CAMPANHAS ...	40
TABELA4.2- MÉDIA DA VELOCIDADE DO VENTO E O VALOR MÁXIMO QUE FOI ATINGIDO NAS DUAS CAMPANHAS	41
TABELA 4.3-RESULTADOS DAS PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO NO AR EXTERIOR DAS HABITAÇÕES CARACTERIZADAS	42
TABELA 4.4- RESULTADOS DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA QUALIDADE DO AR INTERIOR COM AS CASAS VAZIAS	49
TABELA 4.5-RESULTADOS OBTIDOS PARA A VENTILAÇÃO NA 1ªCAMPANHA.....	56
TABELA4.6- RESULTADOS OBTIDOS PARA A VENTILAÇÃO NA 2ª CAMPANHA	56
TABELA 4.7- MÉDIA, DESVIO PADRÃO E COEFICIENTE DE VARIAÇÃO DO RPH DAS DUAS CAMPANHAS.....	58
TABELA 4.8 - RESUMO DOS RESULTADOS OBTIDOS NAS DUAS CAMPANHAS PARA TODOS OS PARÂMETROS ANALISADOS	58
TABELA 4.9 - DESCRIÇÃO DO NÚMERO DE VEÍCULOS A PASSAR NAS PRINCIPAIS VIAS IMPORTANTES AO ESTUDO.....	59

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

SÍMBOLOS

RPH- Renovações horários [h^{-1}]

ΔT - Variação de Temperatura [$^{\circ}\text{C}$]

R^2 - Coeficiente de Determinação

PD- Percentagem de insatisfação com a qualidade do ar

ACC- Classificação de aceitabilidade feita por um painel

V-Volume efectivo [m^3]

Q-Caudal de Ventilação [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]

$c(t)$ - Concentração volúmica do gás no instante t

t- Tempo[s]

q – Caudal volúmico de emissão do gás traçador [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]

C_{ext} -Concentração volúmica do gás traçador [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]

C_{eq} -Concentração volúmica do CO_2 no exterior [$\text{m}^3.\text{s}^{-1}$]

ACRÓNIMOS

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

REH- Regulamento dos Edifícios de Habitação

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

ONS- Organização Mundial de Saúde

VNC-Ventilação mecânica centralizada

ABREVIATURAS

Fig.- Figura

QAI- Qualidade do Ar Interior

H_2O - Agua

COV´S- Compostos Orgânicos Voláteis

COVT- Compostos Orgânicos Voláteis Totais

CO_2 - Dióxido de Carbono

CO- Monóxido de Carbono

NO- Monóxido de Ozono

HCHO – Formaldeído

PM_{2,5}- Partículas de suspensão de fração 2,5

PM₁₀ – Partículas de suspensão de fração 10

Rn- Radão

PVC- Policloreto de vinil

R/Chão – Rés-do-chão

T_{int}- Temperatura interior [°C]

T_{ext}- Temperatura exterior [°C]

TFA – Fabricante da estação meteorológica

NW-Noroeste

SW-Sudoeste

NE- Nordeste

SE- sudoeste

ENE-Lés-nordeste

ESE-Lés-sudoeste

SSE- Sul-sudeste

NNE- Nor- nordeste

NNW- Nor- noreste

SSW- Sul-sudoeste

WSW – Oés-sudoeste

WNW- Oés-noroeste

A4- Autoestrada Transmontana

A11 - Autoestrada do Baixo Minho

EN15 – Estrada Nacional nº15

IC35- Itinerário Complementar nº35

1

INTRODUÇÃO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Ao longo de muitas décadas, o dimensionamento dos edifícios consideravam apenas parâmetros relacionados com a resistência mecânica, economia e estética, mas nos últimos anos as preocupações dos intervenientes no setor na construção tomaram outro rumo. Na década de 70 houve uma grande preocupação com o consumo de energia, pelo que os edifícios eram construídos de forma a minimizar as fugas de calor. Com esta preocupação e com as novas exigências de bem-estar e de conforto dos ocupantes, as habitações tornaram-se mais estanques ao ar, sobretudo devido à aplicação de caixilharias de baixa permeabilidade e à não utilização de sistemas de ventilação adequados, o que levou a uma diminuição da taxa de renovação, com consequências para a saúde dos ocupantes. Assim surgiu o conceito da qualidade do ar interior.

A qualidade do ar interior está intimamente relacionada com os níveis de concentração dos poluentes gerados no interior das habitações, sendo os principais fatores o mobiliário, utilização incorreta de produtos de limpeza, hábitos dos ocupantes, sistemas de ventilação inexistentes ou inadequados, materiais de construção, ocupação indevida dos espaços e a entrada do ar exterior. Os principais poluentes são os COV'S (compostos orgânicos voláteis), HCHO (formaldeído), CO (monóxido de carbono), CO₂ (dióxido de carbono) e partículas em suspensão. A identificação de todas as possíveis fontes de poluição é fundamental para lidar com a QAI, pois assim é possível atuar de modo a reduzir a fonte de poluição. Em Portugal, surgiram, ao longo das últimas décadas, regulamentos com RECS e REH, que limitam os níveis de concentrações destes poluentes de maneira a que não seja prejudicial à saúde dos ocupantes.

A ventilação das habitações está intimamente relacionada com a QAI, visto que uma renovação do ar adequada permitirá o fornecimento de ar fresco e a remoção dos poluentes. Ao longo dos tempos, com a evolução da construção, aumento da insegurança nas cidades e das exigências dos utilizadores em termos de conforto térmico, perdeu-se o hábito de abrir as janelas para proceder à ventilação das habitações, o que provocou uma diminuição acentuada da taxa de renovação do ar e como consequência uma má QAI. Assim foi necessário impor às novas construções taxas adequadas de renovação de ar nos vários compartimentos, sendo que em Portugal surgiu a NP1037-1 que definiu caudais de ventilação para os diversos compartimentos e descreve quais as características dos dispositivos de ventilação que devem aplicados em edifícios de habitação.

Face aos sistemas de ventilação que estão a ser utilizados nas construções mais recentes em Portugal, admite-se que as taxas impostas pela NP1037-1 não estejam a ser cumpridas. É, por isso,

fundamental a avaliação destes dois parâmetros, ventilação e QAI, para possibilitar uma intervenção que previna ou reduza os impactos de uma má qualidade do ar na saúde dos ocupantes a curto, médio e longo prazo.

1.2 OBJETIVOS DO TRABALHO

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar o efeito da ventilação na qualidade do ar interior em edifícios habitacionais de diferentes épocas construtivas, sendo o local de estudo a sala. Para cumprir o objetivo proposto foi necessário definidos os seguintes objetivos parciais:

- Estudar os poluentes existentes e fontes de poluição que contribuem para uma má QAI dentro das habitações e as consequências dos níveis de concentração dos diversos poluentes na saúde dos ocupantes;
- Conhecer técnicas para avaliar a QAI;
- Indicar a importância da ventilação na QAI, bem como as técnicas de avaliação do caudal de ventilação;
- Monitorizar a qualidade do ar interior, através de medições contínuas dos poluentes do interior de uma sala;
- Aplicação da técnica do gás traçador para avaliar a taxa de renovação do ar do espaço em estudo;
- Monitorizar as concentrações do CO₂ do exterior de modo contínuo;
- Monitorizar as condições climáticas dentro e fora da habitação de modo contínuo;
- Elaboração de um diário de atividades, de forma a obter o máximo de informação dos hábitos dos ocupantes durante a realização dos ensaios;
- Analisar e tratar todos os dados recolhidos durante os ensaios da QAI, para comparação com os limites impostos pelo regulamento RECS e REH e pela NP 1037-1 e fazer uma análise das possíveis fontes que poderão ter influenciado esses valores;
- Analisar se a velocidade do vento e a diferença de temperatura tiveram alguma influência na renovação do ar;

1.3 ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos, nomeadamente:

- Capítulo 1 – contém uma pequena introdução na qual são descritos alguns conceitos gerais, os principais objetivos desta dissertação e organização e estrutura do texto.
- Capítulo 2 – neste capítulo é feito um breve enquadramento da qualidade do ambiente interior, dando-se mais enfoque à qualidade do ar interior e à ventilação. No subcapítulo da QAI são abordados os critérios, as fontes de poluição e as técnicas de avaliação. No subcapítulo da ventilação são abordados os tipos de ventilação e as técnicas de avaliação do caudal.
- Capítulo 3 – neste capítulo descreve-se detalhadamente a metodologia utilizada. Faz uma caracterização das casas em estudo e do local onde se realizou os ensaios. Indica-se para cada ensaio (clima exterior e interior, qualidade do ar interior e caudal de ventilação) as condições de ensaio e descrição do equipamento necessário para a realização do mesmo.
- Capítulo 4 – apresentam-se os resultados dos ensaios realizados da QAI e do caudal de ventilação e interpretação dos mesmos. Referem-se os resultados das medições do clima exterior e interior, da QAI, divididos em duas campanhas, e, por fim, do caudal de ventilação. Apresenta-se também uma análise global dos resultados obtidos.

- Capítulo 5 – apresentam-se as principais conclusões deste trabalho e indicam-se possíveis desenvolvimentos futuros dentro desta área de estudo.

2

QUALIDADE DO AMBIENTE INTERIOR

2.1 ENQUADRAMENTO

A qualidade do ambiente interior dos edifícios é uma preocupação que tem vindo a acompanhar a evolução construtiva ao longo dos séculos, visto ter ocorrido um aumento do tempo de permanência dos utilizadores dentro dos edifícios, pois cerca de 90% da vida de um ser humano é passada dentro de edifícios [1].

Ao longo dos séculos o sistema construtivo e tecnológico aplicado na construção dos edifícios foi evoluindo de maneira a procurar responder às exigências dos ocupantes a níveis de conforto e de gastos energéticos. Esta necessidade de economizar energia aconteceu após a crise petrolífera da década de 70, em que houve uma tendência para minimizar as aberturas para a ventilação de modo a reduzir as perdas de calor [2].

Com esta preocupação de reduzir os gastos energéticos e a alteração do quotidiano das famílias, estas perderam o hábito de abrir as janelas para ventilar, visto que passam grande parte do dia fora de casa. Por outro lado, a colocação de caixilharias de reduzida permeabilidade ao ar conduziu a taxas de renovação de ar muito baixas, o que faz com que haja risco de condensações e uma qualidade do ar interior muito abaixo do que será esperado num edifício [1].

A qualidade do ambiente interior dos edifícios é afetada por substâncias, em função das suas características e das suas concentrações, que se libertam dos materiais utilizados durante o processo de construção e durante a utilização dos espaço. Estas substâncias podem ter efeitos sobre a saúde dos utilizadores, podendo provocar mal-estar, doenças graves e intoxicações [1]. Num edifício com o “Síndrome de Edifícios Doentes” 20% dos ocupantes apresentam aqueles sintomas sem que haja uma doença diagnosticada e justificada [3] e [11].

Contudo o conceito de qualidade do ambiente interior é bastante complexo e depende de muitos fatores, como por exemplo:

- Temperatura;
- Humidade Relativa;
- Iluminação;
- Velocidade do ar;
- Existência de odores;
- Concentração de microrganismos ou poeiras em suspensão do ar;
- Níveis de ruído.

Este conceito pode ser agrupado em 4 grandes grupos como, qualidade do ar, qualidade higrotérmica, qualidade acústica e qualidade de iluminação [3]. Neste trabalho apenas serão abordados aspetos relacionados com a qualidade do ar interior e com a ventilação dos espaços.

2.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR

2.2.1 BREVE CONTEXTUALIZAÇÃO

Existe uma crença comum que diz que dentro de casa estamos a salvo de poluentes nocivos, pois existe a percepção que os níveis de poluição dentro dos edifícios são mais baixos devido ao facto de estes estarem protegidos da poluição exterior pela envolvente. Mas a verdade é que dentro dos edifícios podem haver concentrações de poluentes que sejam mais prejudiciais à saúde dos ocupantes do que fora dele, uma vez que as fontes de poluição são variadas, desde os materiais de construção até aos animais de estimação. Mas grande parte da poluição interior resulta do ar livre, pois habitações que estejam mais próximas de vias de comunicação tráfego elevado ou de indústrias com emissão de poluentes podem apresentar concentrações de poluentes mais elevadas [4].

A ASHRAE define QAI como o ar onde não existem contaminantes conhecidos em concentrações perigosas, de acordo com o determinado pelas autoridades reconhecidas e onde a maioria (pelo menos 80%) dos ocupantes expostos não expressem insatisfação [5].

2.2.2 CRITÉRIOS DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

Dentro de uma habitação é desejável que o ar interior seja fresco e agradável, de maneira a não ter impacto negativo na saúde, no trabalho e na atividade humana [1]. Assim dentro dos edifícios é necessário que haja renovação de ar para assegurar a qualidade do ar interior para a respiração dos ocupantes, para remover dos poluentes gerados no seu interior, para fornecer ar para os aparelhos de combustão e para controlar a humidade relativa [6]. De forma a assegurar esta renovação de ar será necessário o dimensionamento e a implementação de um sistema de ventilação tendo em conta as fontes de poluição, que contaminam o interior dos edifícios, de forma a conseguir extrair para os exteriores todos os poluentes. No caso de aparelhos de combustão de utilização doméstica do tipo B e C (esquentadores, caldeiras, etc.) deverão ser evacuados diretamente para o exterior, no caso dos aparelhos do tipo A (fogão da cozinha), deverão ser evacuados nas suas proximidades, de maneira a que não haja contaminação do ar interior nos restantes compartimentos do edifício [1] e [6].

A QAI em edifícios de habitação é assegurada essencialmente por critérios de saúde, em que se deve evitar que os poluentes atinjam concentrações que possam colocar em risco a saúde dos ocupantes e os critérios sensoriais que asseguram um ambiente agradável para os mesmos. Estes dois critérios são muito importantes na sua coexistência, pois há substâncias como dióxido de carbono e o monóxido de carbono que podem ser avaliadas por estes mesmos critérios. O dióxido de carbono pode ser avaliado pelo critério sensorial, pois como a fonte de produção desta substância é a ocupação humana, este constitui o bio efluente humano mais importante, que gera incomodidade ao ser humano por estes serem sensíveis, enquanto o monóxido de carbono é avaliado pelo critério da saúde, pois como este é um gás incolor e inodoro, não é detetável pelo ser humano, e como tal terá que ser imposto um valor limite [1] e [3].

Assim em Portugal criou-se o RECS e o REH que impôs limites máximos da concentração dos poluentes. Na Tabela 2.1 encontram-se os limites legais impostos em Portugal [7] e [8].

Tabela 2.1 – Limites máximos das concentrações dos poluentes impostos legislação Portuguesa [8]

POLUENTES	LIMITE DE PROTEÇÃO	
PARTÍCULAS DE SUSPENSÃO DE FRAÇÃO 10 (PM ₁₀)	50 µg/m ³	
PARTÍCULAS DE SUSPENSÃO DE FRAÇÃO 2,5 (PM _{2,5})	25 µg/m ³	
COMPOSTOS ORGÂNICOS VOLÁTEIS TOTAIS (COVT)	600 µg/m ³	
DIÓXIDO DE CARBONO (CO ₂)	2250 mg/m ³	1250 ppm
MONÓXIDO DE CARBONO (CO)	10 mg/m ³	9ppm
FORMALDEÍDO (HCHO)	100 µg/m ³	0,08ppm
LEGIONELLA	100 UFC	
RADÃO	400 Bq/m ³	

2.2.3 FONTES DE POLUIÇÃO DO AR INTERIOR

No interior dos edifícios, nos vários compartimentos que o constituem, é possível reconhecer as várias fontes que produzem os vários poluentes que contribuem para uma má QAI. A ONS confirma que o desempenho da qualidade do ar interior tem um grande papel na determinação da saúde pública, pois, como já foi referido, a população passa grande tempo no interior de edifícios. Os efeitos da poluição interior afeta mais os grupos vulneráveis, como as crianças e os idosos. Na Fig. 2.1 encontram-se descritos os possíveis efeitos dos poluentes na saúde dos ocupantes, que vão desde efeitos imediatos (odores) e efeitos a curto prazo (irritação e infeções ao nível das vias respiratórias, da pele e dos olhos) até a efeitos a longo prazo (graves problemas a nível pulmonar) [1] e [12].



Fig.2.1- Sintomas que a poluição do ar interior nos edifícios pode causar aos ocupantes [11].

Assim as fontes mais importantes da poluição do ar interior dos edifícios são: o organismo humano, a densidade de ocupação, ventilação inexistente ou inadequada, fumo de tabaco, materiais de construção (desde o amianto, que já não é usado nas novas construções, até à lã de rocha e de vidro), mobiliário, tintas, vernizes, alcatifas, cortinas, fotocopiadoras, impressoras, computadores, produtos de

limpeza e o ar exterior. Estas fontes de poluição do interior das habitações libertam poluentes que podem ser subdivididos em 3 grandes grupos:

- Poluentes libertados pelos ocupantes e pelas atividades domésticas – CO₂, H₂O, bioefluentes humanos;
- Poluentes libertados pelos aparelhos de combustão – CO₂, CO, NO_x, H₂O;
- Poluentes libertados pelos materiais de construção, produtos de limpeza, eletrodomésticos e aparelhos eletrônicos – Formaldeídos, COV'S, partículas de suspensão, etc.

Mas o ar exterior também é uma fonte de poluição que liberta poluentes, como partículas de suspensão NO, CO₂, CO, etc. Na Tabela 2.2 está descrito o grau de importância que cada poluente tem nos diversos compartimentos da habitação [6] e [13].

Tabela2.2- Grau de importância dos poluentes dentro de cada compartimento da habitação [1].

Compartimentos	Poluentes									
	Fumo de tabaco	Odor corporal (dióxido de carbono)	Vapor de água	Produtos da combustão	Formaldeído	Orgânicos	Partículas ^(a)	Microorganismos	Radão	Outros
Salas	++	++	o	++	o	p	p	o	o	
Quartos	++	++	oo	oo	o	p	p	o	o	
Cozinhas	+		oo	++	o	p	p	oo	o	
Inst. sanitárias			oo	oo				oo		Odor
Inst. sanitárias sem banho								p		Odor
Notas: - Nível de importância: ++ Muito importante; + Importante; o Importante em situações específicas; oo Muito importante em situações específicas; p possivelmente importante, mas até ao momento conhecimento limitado; - a: Muito importante no caso de sensibilidade contra reacções alérgicas.										

O **Dióxido de Carbono** trata-se de um gás inodoro e incolor é um dos principais poluentes do interior do edifício. A principal fonte responsável por estes poluentes são os bioefluentes humanos e a combustão de alguns aparelhos. As concentrações que podem ser atingidas pelos bioefluentes humanos são devidos à função metabólica do organismo e à atividade física dos ocupantes. Na Tabela 2.3 são apresentadas as concentrações de CO₂ que podem ser produzidas pelos ocupantes [1], [14] e [15].

Tabela2.3 – Produção do CO₂ por ocupante em função do metabolismo mesmo

OCUPANTES		CO ₂ [l/h-p]
MAIORES DE 15 ANOS	Acordado	18
	A dormir	12
CRIANÇAS ENTRE 10 E 13 ANOS	Acordado	12
	A dormir	8
BEBES DE 2 ANOS	Acordado	8
	A dormir	4

As concentrações que se obtêm através da combustão são provenientes de aparelhos do tipo A e B (fogão da cozinha e esquentadores). Na tabela 2.4 são apresentadas as concentrações que podem ser produzidas por estes aparelhos a gás [16] e [17].

Tabela 2.4 – Produção de CO₂ na combustão

COMBUSTÃO	DIOXIDO DE CARBONO [l/h POR KW]
GÁS NATURAL	97
GPL	119

O CO₂ no interior dos edifícios raramente atinge concentrações muito elevadas, mas este pode ser usado como medida de percepção da qualidade do ar interior, pois é um bom indicador da poluição provocada por seres humanos sedentários. No entanto este é um indicador geral que não permite determinar a qualidade do ar relativamente a outro tipo de poluente. Se o CO₂ atingir valores elevados levando a que os ocupantes estejam demasiado expostos a este poluente, estes podem sentir dificuldades na respiração e dores de cabeça [18].

O **Monóxido de Carbono** trata-se de um gás inodoro, insípido e incolor, que resulta principalmente da combustão. As principais fontes de produção deste poluente são os aquecedores a gás e querosene sem ventilação, lareiras, fornos, fogões a lenha, geradores e outros equipamentos que são movidos a gás como os esquentadores. Os efeitos que o CO pode provocar na saúde dos ocupantes depende do tempo de exposição e dos níveis de concentração do mesmo. Se a concentração for muito baixa os sintomas que os ocupantes irão sentir serão dor de cabeça, fadiga, falta de ar, náusea, tonturas e taquicardia, mas se a concentração for muito elevada os sintomas passam a ser falta de visão, náuseas, problemas de concentração, perda da coordenação muscular, coma e, em casos limites, pode levar à morte. Estes sintomas aparecem porque a hemoglobina do sangue reduz o transporte de oxigénio para níveis insuficientes visto ter mais afinidade com o CO [1] e [19]. As concentrações do CO dentro das habitações podem ser influenciadas pela exaustão dos carros e, por isso, os edifícios que estão próximos de vias de comunicação são bastante mais afetados por este poluente.

Os **Formaldeídos** são um gás incolor, inflamável à temperatura ambiente e com um odor muito forte e, por isso, facilmente detetado. As principais fontes que libertam este poluente dentro das habitações são as resinas que são utilizadas para os aglomerados de madeira (resinas que unem produtos de madeira, como contraplacados, painéis de fibras e painéis de partículas) e a combustão (cigarros, aparelhos de aquecimento e confeção de alimentos). No entanto, os formaldeídos podem ser libertados por outras fontes como os plásticos, produtos têxteis, carpetes, móveis, pesticidas, cola para tintas e produtos de limpeza. Os sintomas que estão associados aos formaldeídos são a irritação dos olhos, irritação do sistema respiratório, dores de cabeça, náuseas e sensação de fadiga. A IARC (International Agency for Research on Cancer) classifica este poluente como suspeito de ser carcinogénico para o ser humano [1] e [19].

Os **Compostos orgânicos voláteis** (COV'S) são gases cujo ponto de ebulição é de 260°C. Dentro das habitações, os vários componentes químicos que contribuem para os COV'S são a acetona, benzeno, fenol, tolueno. As principais fontes de COV'S são os materiais de construção como revestimentos, constituintes dos mobiliários como as colas, tintas, vernizes, produtos de limpeza, produtos de higiene pessoal, equipamentos de escritório, como impressoras e computadores, ambientadores e tabaco. Os efeitos dos COV'S na saúde dos ocupantes vão depender do tipo de composto químico a que o ocupante está exposto, mas de forma geral os sintomas mais comuns são dores de cabeça, sensação de fadiga, arritmias cardíacas, afetações do fígado, irritação do sistema

respiratório, irritação dos olhos e afetação do sistema nervoso central [1], [20] e [21]. Alguns estudos demonstram que as emissões destes compostos são afetadas pela humidade relativa do ar e pelas atividades realizadas no local, sendo que as concentrações variam com o tempo e com o espaço. Assim estes são capazes de gerar efeitos combinados entre si, e por isso existe uma dificuldade em definir todos os efeitos nocivos para a saúde dos habitantes e impor limites máximos dos níveis de concentrações. Por esta razão, definiu-se um limite máximo de concentrações através de um o parâmetro global, o COVT. Este conceito tem algumas limitações como indicador da qualidade do ar interior pelo facto de não conseguir especificar cada componente isoladamente [22].

As **Partículas em suspensão** são um dos poluentes atmosféricos que mais contribuem para a degradação da saúde pública, pois têm diferentes origens. No ambiente interior as partículas em suspensão podem ter diâmetros compreendidos entre 0,001 a 100 μm , diversas tipologias e transportar organismos vivos como vírus, fungos e bactérias. As principais fontes que promovem o aparecimento das partículas de suspensão são a poluição automóvel, processos de combustão, fumo de tabaco e acontecimentos naturais como as erupções vulcânicas, sismos e incêndios florestais. No ambiente interior as principais fontes são o ar exterior e o fumo de tabaco. Estas partículas podem ser divididas em dois grandes grupos, as partículas de maiores dimensões, 10 μm (PM_{10}), que se designam por torácicas, e as partículas de menores dimensões ($\text{PM}_{2,5}$), que são designadas de partículas respiráveis ou finas. As PM_{10} ficam retidas no nariz e na traqueia, já as $\text{PM}_{2,5}$ são partículas que por terem dimensões muito pequenas conseguem entrar no sistema respiratório.

Os efeitos que as partículas em suspensão provocam no organismo do ser humano são diversos, pois estas apresentam uma composição química e uma forma geométrica muito variável, contudo sabe-se que quanto mais pequenas as partículas forem mais efeitos na saúde dos ocupantes irão ter. Mas de um modo geral as partículas em suspensão podem provocar problemas respiratórios, redução das funções pulmonares e uma exposição prolongada pode provocar bronquites crónicas [1] e [24].

O **Radão** trata-se de um gás inodoro, insípido e incolor que existe naturalmente no solo. Este poluente existe no interior dos edifícios devido ao efeito de difusão e de depressão dos ambientes interiores provocados pelo sistema de ventilação ou pelo efeito chaminé. Em alguns estudos refere-se que 95% das contribuições são vindas do solo, e que 5% são devido aos materiais de construção, que contêm alto teor de urânio. A nível da saúde, sendo este gás uma substância radioativa, quando inalado pode formar substâncias carcinogénicas, responsáveis pelo desenvolvimento de cancro nos pulmões. Em Portugal os estudos revelam que as zonas graníticas têm maior concentração de radão, podendo atingir os 400 Bq/m^3 , do que em outras regiões, com valores de concentração inferiores a 50 Bq/m^3 [1] e [24].

Na Tabela 2.5 encontra-se um resumo de todos os poluentes e as suas principais fontes que foram referidas anteriormente. Compara, ainda, as concentrações do interior com o exterior, onde se conclui que as concentrações dos poluentes são sempre maiores no interior dos edifícios do que fora deles.

Tabela2.5-Tabela resumo dos poluentes, principais fontes de poluição e o rácio concentrações interior versus exterior (adaptação [1])

POLUENTES	PRINCIPAIS FONTES DE POLUIÇÃO INTERIOR	RACIO CONCENTRAÇÕES INTERIOR VERSUS CONCENTRAÇÕES EXTERIOR
DIOXIDO DE CARBONO (CO₂)	Processo de combustão e humanos	>>1
MONOXIDO DE CARBONO (CO)	Combustão incompleta e fumo do tabaco	>>1
FORMALDEÍDOS [HCHO]	Isolantes térmicos, colas, derivados da madeira	>>1
RADÃO (Rn)	Terreno ou rochas por baixo do edifícios e materiais de construção	>>1
PARTICULAS RESPIRÁVEIS (PM_{2,5})	Produtos da combustão e fumo do tabaco	>>1
VAPORES ORGANCIOS	Produtos da combustão , solventes e produtos de limpeza	>1

2.2.4 TECNICAS DE AVALIAÇÃO QAI

Uma das técnicas para avaliar a QAI é a sensorial, uma vez que o ser humano consegue através dos sentidos determinar a qualidade do ar. Através da combinação do olfato com a sensibilidade aos produtos irritantes, o ser humano é capaz de se aperceber se o ar é fresco e agradável ou pesado e desagradável. Esta técnica é muito subjetiva e de difícil determinação.

Yaglou em 1930 utilizou os dois sentidos, olfativo e sensibilidade, como ferramenta para avaliar a QAI, no qual se concluiu que o ser humano era a principal fonte de poluição dentro de um edifício. Mas tarde, em 1980, Fanger introduziu duas unidades de medida sensoriais, o olf e o decipol, em que ambas quantificam a poluição do ar, sendo que o olf é definido como a taxa de emissão dos biofluentes por uma pessoa normal, correspondente a um adulto médio, sedentário, em conforto térmico neutro e com bons hábitos de higiene. A poluição gerada por uma pessoa padrão é designada por 1 olf. O decipol é definido como a qualidade de um espaço de ar sujeito a uma pessoa padrão, com uma taxa de renovação de ar na ordem dos 10 l/s. Assim, um decipol corresponde a 1olf/10l/s). A Tabela 2.6 apresenta os valores sensoriais da poluição libertada durante as atividade das pessoas, no qual se verifica que os valores aumentam com o aumento da atividade das pessoas devido à transpiração e à respiração mais intensa.

Tabela2.6- Descrição dos valores sensórias das várias fontes de poluição

FONTES DE POLUIÇÃO SENSORIAIS	VALOR DE OLF/OCUPANTE
ADULTO SEDENTÁRIO	1
ADULTO COM BAIXO NÍVEL DE ATIVIDADE FÍSICA	4
ADULTO COM NÍVEL MÉDIO DE ATIVIDADE FÍSICA	10
ADULTO COM ELEVADO NÍVEL DE ATIVIDADE FÍSICA	20
CRIANÇAS DO 3 AOS 6 ANOS	1,2
CRIANÇAS DOS 14 AOS 16 ANOS	1,3

No entanto, força avaliação sensorial não pode ser medida diretamente com um aparelho, logo recorre-se a uma escala de aceitabilidade para poder determinar a percentagem de insatisfação com a qualidade do ar (equação 1).

$$PD = \frac{e^{-0,18-5,28 \cdot ACC}}{1+e^{-0,18-5,28 \cdot ACC}} * 100 \quad (1)$$

Na equação 1, PD corresponde à percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar e ACC é a classificação de aceitabilidade feita por um conjunto de pessoas. Calculada esta percentagem é possível determinar a correlação com os níveis de percepção da qualidade do ar, isto é, com o decípol, Fig.2.2,[25] e [26].

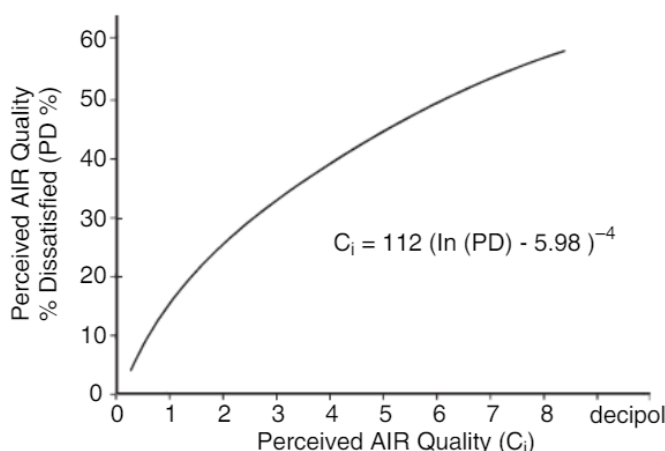


Fig.2.2- Relação entre a percentagem de insatisfeitos com a qualidade do ar e o nível de percepção [26]

2.3 VENTILAÇÃO

2.3.1 ENQUADRAMENTO

Nos edifícios de habitações, o sistema de ventilação é uma estratégia essencial para assegurar a qualidade do ar interior, devendo assegurar a extração de poluentes, garantindo as condições de conforto, segurança e minimizando os consumos de energia. Para salvaguardar a segurança e a saúde dos ocupantes, a admissão do ar exterior tem as seguintes funções: a remoção de poluentes como produtos de limpeza, odores e CO₂, que correspondem a taxas de emissão baixas mas contínuas; remoção de odores provenientes das instalações sanitárias, da confeção dos alimentos, do fumo de tabaco e de produtos de combustão, que correspondem a taxas de emissão altas mas de curta duração; controlo da humidade relativa ; fornecer ar aos aparelhos de combustão e fornecer oxigénio aos ocupantes. Adotaram-se três estratégias para assegurar a QAI dentro das habitações, em que a primeira consiste em minimizar as fontes de poluição do interior , a segunda na extração local do ar junto as fontes de poluição e por fim, a terceira, na diluição dos poluentes gerados pelos ocupantes e fontes difusas por remoção do ar interior.

A ventilação dentro dos edifícios de habitação tem como principal função a admissão do ar novo em todos os compartimentos principais (quartos e salas) e a extração do mesmo deverá ser realizada pelos compartimentos de serviço (cozinha e instalações sanitárias). Na Fig.2.3 mostra-se como deverá

ser feita a admissão e a extração nos compartimentos de serviço e na Fig.2.4 demonstra-se a passagem do ar dos compartimentos principais para os compartimentos de serviço.

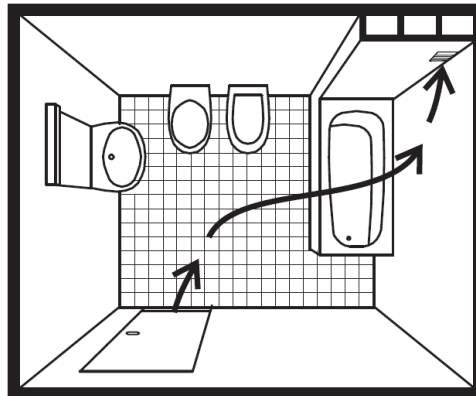


Fig.2.3- Ilustração da passagem do ar pelos compartimentos de serviço [10]

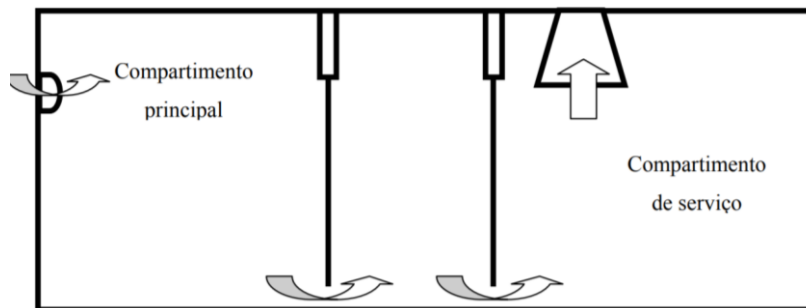


Fig.2.4- Ilustração da admissão do ar exterior pelos compartimentos principais e a extração do ar pelos compartimentos de serviço [27]

A NP1037-1 refere que a ventilação deve ser assegurada continuamente independentemente das janelas ou portas estarem abertas ou fechadas. Esta norma refere que os caudais de ventilação dos compartimentos de serviço e principais deve ser calculado em função de um número de renovações horárias e do volume dos compartimentos. A NP 1037-1 indica 1 renovação por hora para os compartimentos principais e 4 renovações por hora nos compartimentos de serviço. No entanto, o REH impõe uma taxa mínima de renovação de ar por hora de 0,4.

2.3.2 TIPOS DE VENTILAÇÃO

Existem 3 tipos de ventilação, a ventilação natural, a ventilação mecânica e a ventilação mista, em que a escolha do tipo de ventilação a instalar nos edifícios depende de alguns aspetos como:

- O nível de ruído e qualidade do ar exterior;
- Garantia de que o sistema de ventilação natural consegue assegurar os caudais de ventilação regulamentares;
- Capacidade de controlo dos caudais de ventilação;
- Espaço disponível, custo de investimento, instalação e exploração.

Se se verificar que a QAI é de má qualidade porque as diferenças de pressões que garantem a ventilação natural não são suficientes para atingir os caudais necessários, deve-se optar por uma ventilação mecânica. Também se o ruído exterior for muito elevado, de maneira a impossibilitar a

instalação de grelhas de ventilação na fachada, deve-se optar por um sistema de ventilação mecânica [1], [3] e [27].

Neste trabalho, apenas serão considerados os conceitos relativos à ventilação natural, por ser o tipo de ventilação utilizado no caso de estudo.

A ventilação natural é realizada através da movimentação do ar exterior para o interior dos edifícios, sem recorrer a qualquer sistema ou dispositivo eletrónico. O ar exterior entra nos edifícios através das janelas, portas e grelhas de ventilação aplicadas nas paredes de fachada dos compartimentos principais, o ar circula dentro dos edifícios através de folgas na parte inferior das portas ou através de grelhas que estas possam ter. A extração do ar ocorre através de condutas ligadas aos compartimentos de serviço.

Este tipo de ventilação acontece devido as ações que promovem a diferença de pressão entre o interior e o exterior do edifício. A ventilação natural tem duas forças motrizes capazes que promover a movimentação do ar dentro dos edifícios, o efeito do vento e o efeito chaminé. Estas duas forças podem existir em simultâneo, o que dificulta o controlo dos fluxos de ar.

A ação do vento, é a que mais influência tem no sistema de ventilação natural. A ação do vento condiciona a distribuição de pressões na fachada de um edifício, que depende da forma ou do tipo de edifício e da sua orientação. Da intensidade do vento, que depende da região e da envolvente do edifício, depende o valor das pressões. A distribuição das pressões na fachada tende a não ser uniforme, pois quando o vento encontra um obstáculo este gera pressões estáticas que podem ser positivas ou negativas no interior do edifício. Na Fig.2.5 mostram-se alguns esquemas de diferentes pressões obtidas em fachadas de edifícios [10], [31] e [36].

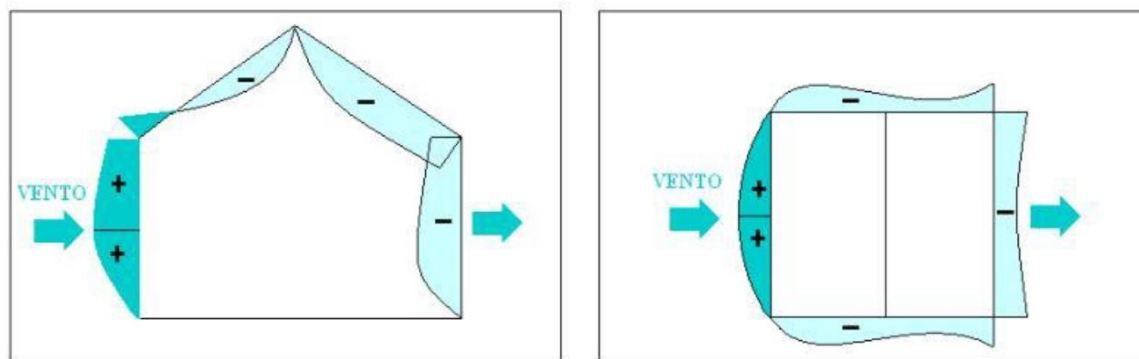


Fig.2.5- Distribuição de pressões em todas as fachadas de um edifício em planta retangular (vista do corte vertical e em planta) [46]

Quando não há vento, o efeito chaminé é o único responsável por garantir a ventilação dos espaços do edifício. O efeito chaminé é proporcional à diferença de temperatura entre o interior e exterior e à distância entre as aberturas de admissão/exaustão do ar. Este efeito consiste na movimentação ascendente do ar aquecido, pois pelo princípio físico da gravidade, o ar menos denso e mais quente tende a atingir cotas mais altas, provocando uma baixa pressão nas cotas mais baixas. No inverno, o efeito chaminé garante a entrada do ar pelas aberturas de cota mais baixa e a saída do ar pelas aberturas de cota mais elevada, uma vez que as temperaturas interiores estão mais altas do que as temperaturas exteriores. No verão, o fluxo é inverso, pois as temperaturas interiores estão mais baixas do que as temperaturas exteriores (Fig. 2.7) [36].

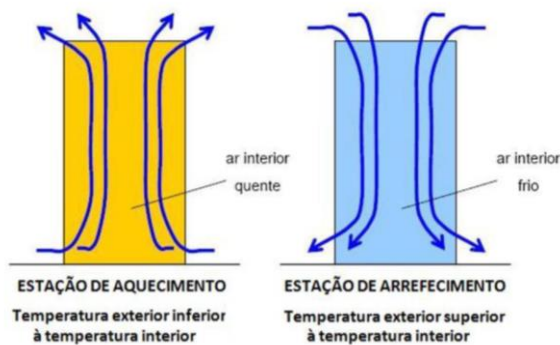


Fig.2.6- Fluxo de ar devido a diferença de temperatura [40]

A ventilação natural pode ser controlada ou não controlada. A ventilação não controlada era a ventilação mais usada nos edifícios mais antigos, pois a entrada e saída do ar nos compartimentos era feita através das folgas existentes nos vãos, aumentando-se as renovações de ar através da abertura das janelas e das portas.

A ventilação controlada é garantida através da existência de dispositivos devidamente dimensionadas, quer para a admissão quer para a exaustão de ar. A admissão é feita através da aplicação de grelhas na fachada dos edifícios. Estas grelhas podem ser fixas, reguláveis ou autorreguláveis. As grelhas fixas são dispositivos de passagem do ar exterior para o interior através da ação do vento ou da diferença de temperatura. Tratando-se de uma abertura estática, o controlo da ventilação é feito de forma indireta, através da alteração da área útil da grelha (Fig.2.7) [40].



Fig.2.7- Grelhas reguláveis [39]

As grelhas autorreguláveis são grelhas que permitem o ajuste do caudal em função do gradiente de pressão entre o interior e o exterior dos edifícios. Esta fecha automaticamente sempre que a diferença de pressões é negativa, e ajusta a área útil da passagem do caudal quando a pressão é positiva.

A posição das grelhas na fachada é muito importante, pois pode favorecer o sistema de ventilação natural. Quando a configuração e a geometria do edifício permitem, pode-se utilizar a ventilação cruzada, que consiste na colocação de grelhas em fachadas opostas para melhor aproveitamento do potencial da diferença de pressões que possam existir entre as fachadas (Fig.2.8) [39].

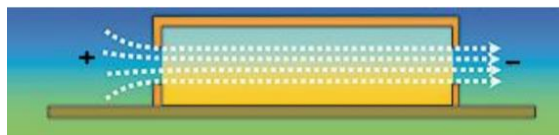


Fig.2.8- Efeito da ventilação Cruzada [41]

Quando a geometria do edifício não permite, por exemplo se o edifício só contém uma fachada, pode-se usar a ventilação unilateral, que consiste na colocação de grelhas numa única fachada (Fig.2.9). Nesta caso, a ventilação adequada do espaço é mais difícil mesmo quando a direção do vento incide

diretamente na grelha. Para melhorar esta situação deve-se colocar não um mais duas grelhas afastadas entre si para que uma das grelhas faça a admissão do ar e a outra a extração, [41].

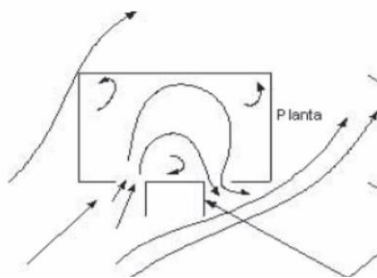


Fig.2.9- Efeito da ventilação unilateral [41]

2.3.3 TÉCNICAS DE AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO

Um dos principais métodos usados para avaliar o caudal de ventilação em edifícios é o método do gás traçador, que consiste na injeção de uma certa quantidade de gás com característica muito bem definidas. Para realizar este método, deve garantir-se que a concentração do gás traçador é homogénea no espaço em estudo, a homogeneização é imediata e completa e a densidade do ar não é alterada devido à produção do gás traçador. Assim os caudais volúmicos podem ser expressos através de uma equação diferencial:

$$V \frac{dc(t)}{dt} + Q \cdot c(t) = q \quad (2)$$

Em que o V corresponde ao volume efetivo do espaço [m^3], Q ao caudal de ventilação [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$], $c(t)$ a concentração volúmica do gás ; t ao tempo [s] e q ao caudal volúmico de emissão do gás traçador [$\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$]. O gás traçador deve ser facilmente detetável, conseguir uma homogeneização do ar num curto espaço de tempo, não pode ser tóxico para os ocupantes, deve ser inerte, não deve estar presente no ar exterior, não deve ser inflamável, não deve ser dispendioso nem sofrer decomposição ao reagir com o ar. Os gases traçadores mais utilizados são :

- Hexafluoreto de enxofre, SF_6 ;
- Dióxido de carbono, CO_2 ;
- Peróxido de azoto, N_2O ;
- Perfluorbenzeno, C_6F_6 ;
- Perfluormetilbenzeno, C_7F_8 .

um dos gases traçadores mais utilizado para avaliar o caudal de ventilação em espaços como escritórios, habitações , hospitais ou escolas é o CO_2 pelo facto de não ser dispendioso (resulta do metabolismo dos utentes), não ser inflamável, permitir uma análise fácil dos resultados(é fácil estimar o CO_2 em função das atividade que decorrerem dentro do espaço em estudo) e não constitui risco para a saúde dos ocupantes desde que se assegurem os limites recomendados. No entanto, este gás não compre totalmente as caraterísticas de um gás traçador pois é um gás que faz parte do ambiente exterior. Assim, para ser utilizado é necessário cumprir um conjunto de condições como ter em atenção a localização do equipamento de medida, a duração e a frequência dos testes, a uniformização das concentrações e o método de cálculo [36], [32] e [43].

A determinação do caudal de ventilação é realizada através de diferentes técnicas, que em comum têm a medição das concentrações do gás ao longo do tempo. Existem 4 técnicas possíveis para determinar o caudal de ventilação:

- Técnica do decaimento;
- Técnica da emissão constante;
- Técnica do estado estacionário;
- Técnica da emissão constante com recolha passiva.

Neste trabalho será utilizada a técnica do decaimento, que permite obter diretamente o valor das renovações horárias partir dos valores das concentrações registadas. A determinação da quantidade do gás traçador é realizada a partir do momento em que há um decaimento das concentrações do gás ao longo do tempo. A equação utilizada para calcular os caudais volúmicos é a seguinte:

$$V \frac{dc(t)}{dt} + Q \cdot c(t) = 0 \quad (3)$$

Em que V corresponde ao volume efetivo do espaço [m³], Q ao caudal de ventilação [m³.s⁻¹], c(t) as concentrações volúmicas do gás e t ao tempo[s]. Através desta equação diferencial, em ordem ao tempo, é possível representar o número de renovações horárias através da expressão:

$$Rph = \frac{Q}{V} = - \frac{\ln\left(\frac{c(t)-c_{ext}}{c_0-c_{ext}}\right)}{t} \quad (4)$$

Em que Q corresponde ao caudal de ventilação [m³.h⁻¹] e o t ao tempo [h], c(t) a concentração volúmica do gás no instante t (ppm) e c_{ext} a concentração volúmica do gás traçador. Mas quando as concentrações estão representadas graficamente em função do tempo, as renovações horárias são retiradas diretamente através do declive da reta. Este declive pode ser determinado pelo cálculo da média dos módulos dos declives entre medições consecutivas durante o intervalo de tempo de medição ou a partir da equação da reta de regressão linear que resulta do método dos mínimos quadrados [16],[36] e [43].

3

METODOLOGIA

3.1 ENQUADRAMENTO

Com o objetivo de avaliar o efeito da ventilação na qualidade do ar interior de edifícios de habitação, foram efetuados ensaios em três edifícios construídos em diferentes épocas, localizados na freguesia de Penafiel. Foram analisados parâmetros exteriores, como os níveis de CO₂, a direção e velocidade do vento, e parâmetros interiores, como compostos químicos orgânicos voláteis, inorgânicos e partículas. Para avaliar a ventilação, foi utilizada a técnica do decaimento utilizando o CO₂ como gás traçador. Durante a realização dos ensaios foi pedido aos utilizadores para fazerem um diário das atividades de forma a auxiliar a interpretação dos dados.

3.2. CARACTERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

3.2.1. CASA 1

O edifício em estudo fica situado na Rua do Souto, Croca, no concelho de Penafiel no distrito do Porto (Fig.3.1). Foi construído em 1972, sendo que em 1990 houve um aumento da área de construção. Trata-se de uma habitação unifamiliar, constituída por R/Chão e 1º piso. O R/Chão é constituído por 2 garagens, 2 estabelecimentos comerciais (1 loja e 1 café, sendo que ambos se encontram encerrados atualmente), 2 casas de banho e 1 dispensa. O 1º piso contém 2 cozinhas, 2 casas de banho, 1 sala de jantar, 2 salas de estar, 5 quartos, 1 hall de entrada, 2 varandas e 1 terraço. Localiza-se a cerca de 70 m da Avenida Zeferino de Oliveira, estrada Nacional N°15 e a cerca de 50 m da Autoestrada A4 (distância em linha reta).

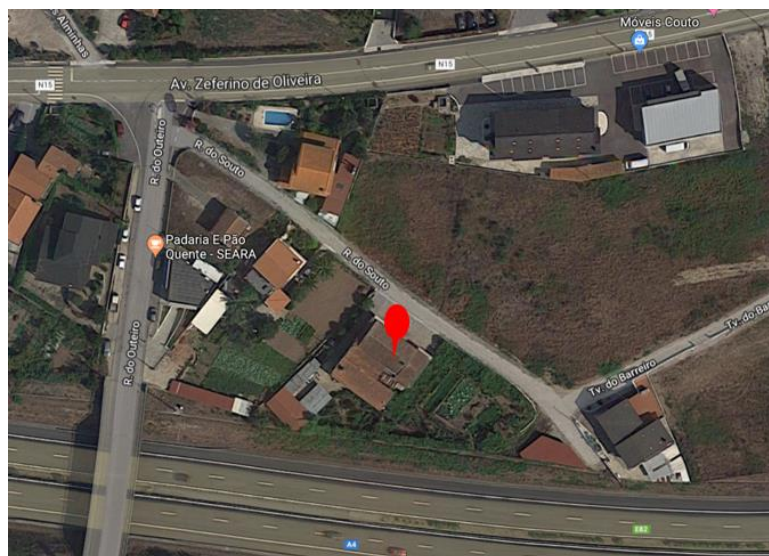


Fig. 3.1 -Localização da Casa 1 (GPS 41.22,-8.244)

As lajes de pavimento são de betão pré-fabricado. As varandas e as escadas são em betão armado. A cobertura é em telha marselha suportada por estrutura em madeira.

As paredes exteriores são simples, constituídas por alvenaria de pedra, no rés-do-chão, e por blocos de argila expandida, no primeiro andar. As paredes exteriores da ampliação efetuada em 1990 são duplas em alvenaria de tijolo. As paredes divisórias são simples, constituídas por tijolo vazado.

Os tetos são rebocados e pintados na parte mais antiga e são de madeira envernizada nos compartimentos mais recentes. As paredes são rebocadas e pintadas, quer pelo exterior quer pelo interior, exceto as da cozinha e da casa de banho, que estão revestidas pelo interior com ladrilho cerâmico.

Os pavimentos dos quartos, da sala de estar e de jantar e da dispensa são revestidos a tacos de madeira encerada enquanto que o pavimento da cozinha e da casa de banho são revestidos com mosaicos de mármore nos compartimentos mais antigos e cerâmicos nos compartimentos mais recente.

As janelas são de correr de vidro simples, em que algumas têm caixilharia de madeira e outras de alumínio, sendo que nenhuma possui vedantes. As proteções dos vãos são constituídas por estores exteriores de policloreto de vinil (PVC). As portas não possuem vedantes, sendo as portas exteriores de alumínio e madeira envernizada e as portas interiores de madeira envernizada. O sistema de ventilação é natural, fazendo-se a admissão de ar aos compartimentos principais recorrendo às janelas e portas exteriores. Na casa de banho, a extração de ar é garantida por uma grelha de exaustão natural (Fig. 3.2). A cozinha possui exaustores mecânicos individuais (Fig. 3.3).



Fig.3 2 Grelha de Exaustão Natural da casa de banho



Fig.3.3 Exaustor elétrico individual da cozinha

A sala em estudo possui cerca de 9 m² (Fig. 3.4). Contém 2 portas, uma exterior de madeira com dimensão de 80×205 cm e uma porta interior de madeira com dimensão de 75×200 cm.

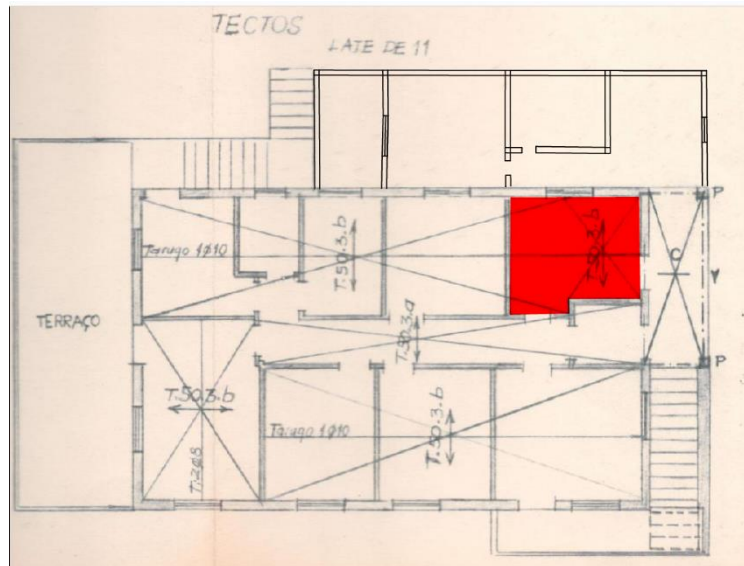


Fig. 3.4 - Localização da Sala da Casa 1

3.2.2. CASA 2

O edifício em estudo fica situado na Rua de Carvalhos, Croca, no concelho de Penafiel no distrito do Porto (Fig.3.5). Foi construída em 1852 tendo sido reabilitada em 2006. Trata-se de uma habitação unifamiliar, constituída por R\Chão e 1º andar, sendo que o R/Chão é constituído por um escritório, 1 salão, 1 casa de banho e 1 quarto, enquanto o 1º piso contém 1 cozinha, 2 quartos, 1 sala e 1 casa de banho. Localiza-se a 870 m da autoestrada A4 e 1,07 km da Avenida Zeferino de Oliveira, estrada Nacional N°15 (distância em linha reta entre a casa e as estradas).

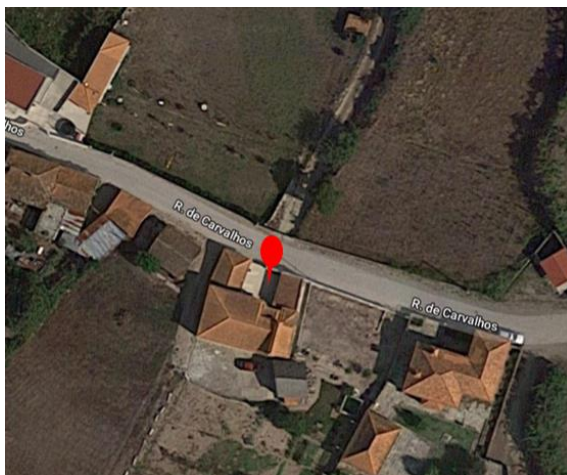


Fig. 3.5 -Localização da Casa 2 (GPS 41.21,-8.241)

As fundações das paredes são em betão ciclópico, os pavimentos e tetos são constituídos por uma laje aligeirada com vigotas de betão pré-fabricado e abobadilhas de material cerâmico. Os tetos e as lajes de cobertura projetadas são do mesmo material sobre o qual assenta telha cerâmica de abas e canudo.

As paredes exteriores são de granito e as paredes interiores, nos quartos e na sala, são de tijolo cerâmico de 0,07 m com correção térmica no interior.

As paredes interiores são totalmente estanhadas e pintadas com tinta plástica, com a exceção das paredes da casa de banho, cozinha, copa, e lavandaria que são de azulejo. Quanto aos pavimentos estes são de mosaico antiderrapante na casa de banho, na cozinha, na sala e no corredor, enquanto os quartos têm aplicado lamparquet. Os tetos também serão estanhados e pintados com tinta plástica.

As janelas são de batente de vidro duplo, de caixilharia de alumínio e com vedantes, com portadas do lado interior. As portas exteriores são de alumínio e as portas interiores são de madeira.

O sistema de ventilação é feito através da ventilação natural. Na casa de banho a ventilação é feita através de uma janela, Fig.3.6. A cozinha possui exaustores elétricos individuais, Fig.3.7.

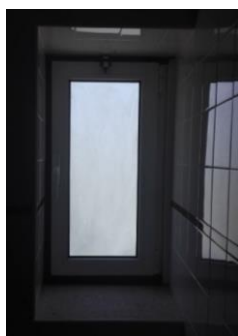


Fig.3.6 Janela da Casa de Banho



Fig.3.7 Exaustor Individual da Cozinha

A sala em estudo possui 11 m² (Fig.3.8) com paredes de granito em que o revestimento das juntas entre as pedras é de saibro. Contém 2 janelas com dimensões 87×131cm e uma porta exterior de dimensões 75×191cm.

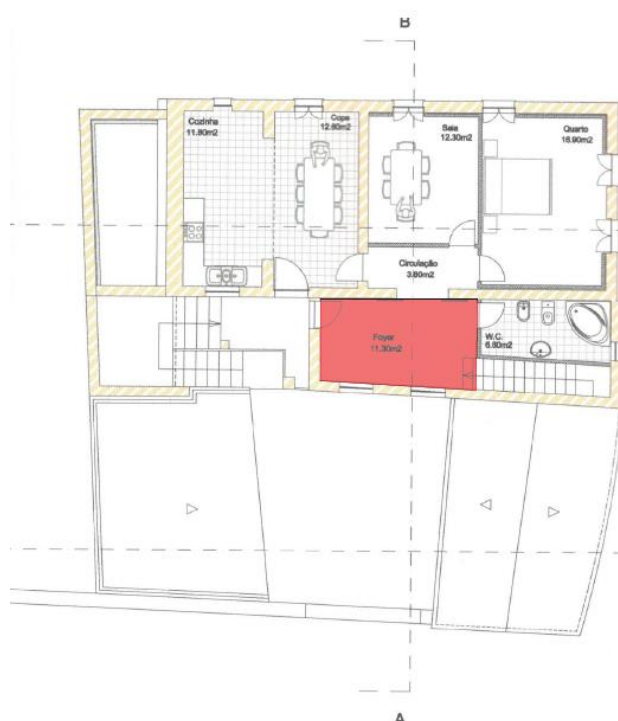


Fig. 3.8 -Localização da sala da Casa 2

3.2.3. CASA 3

O edifício em estudo fica situado na Rua do Covelo da freguesia de Guilhufe no concelho de Penafiel no distrito do Porto (Fig3.9). Foi construído em 2017. Trata-se de uma habitação multifamiliar, constituído por vários lotes, sendo que o lote em estudo é constituído por R/Chão mais 3 andares. O R/Chão é para zona comercial, e os restantes pisos são para habitações de tipologia T2 e T3. A habitação em estudo é de tipologia T2, situada no 2º andar, e constituída por 2 quartos, 1 casa de banho, 1 sala, 1 cozinha, 1 lavandaria e 1 hall de entrada. Localiza-se a 20 m da estrada Nacional nº. 593.



Fig. 3.9 -Localização da Casa 3 (GPS 41,19;-8,311)

As fundações são em sapatas isoladas de betão armado. A cobertura e os pavimentos são de laje aligeirada com betão leve, sendo que a cobertura é plana.

As paredes exteriores são de pano duplo em tijolo vazado, com caixa-de-ar, reboco exterior e revestimento a ETIC WEBER. As paredes interiores são de pano simples em tijolo vazado, revestidas e rebocadas e pintadas a tinta plástica. A casa de banho e cozinha contêm material cerâmico, sendo que na cozinha só está presente numa das paredes.

O revestimento dos pavimentos é de soalho flutuante nos quartos, sala e hall de entrada. Na cozinha e na casa de banho é de tijoleira cerâmica. Quanto aos tetos, estes são falsos em placas de gesso cartonado BA13, com pintura de tinta plástica.

As janelas são duplas de correr, com vidro duplo e caixilharia de alumínio em que o estore elétrico de alumínio funciona entre as janelas. As portas exteriores são de madeira e de alumínio, sendo que a porta de madeira é a porta de acesso a habitação e a porta de alumínio é a de acesso entre a cozinha e varanda.

A ventilação é feita por um sistema natural sendo que na casa de banho a extração é feita através de uma grelha que tem um sistema de ventilação mecânico controlado (Fig.3.10). A cozinha possui exaustores elétricos individuais e uma grelha de exaustão natural (Fig.3.11).



Fig. 3.10-Grelha de ventilação da casa de banho com sistema mecânico controlado

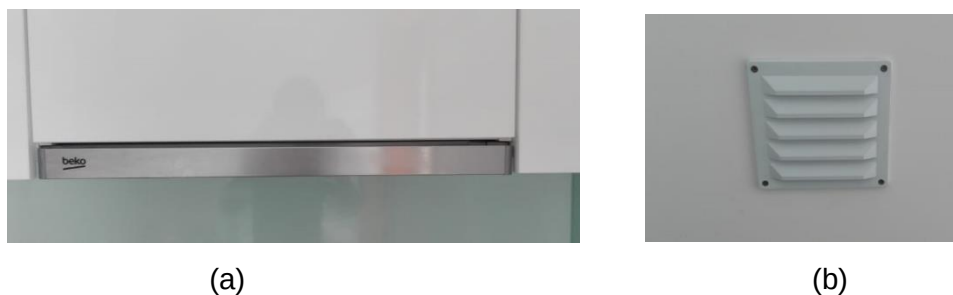


Fig. 3.11 - Exaustor elétrico individual (a) e uma grelha de exaustão natural (b) da cozinha

A sala em estudo possui 27 m² (Fig.3.12). Contém 2 janelas com dimensões de 160×200cm e 280×200 cm e 2 portas de madeira com dimensões 90×200 cm.

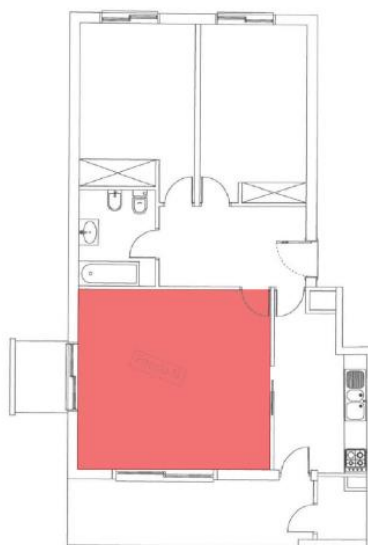


Fig. 3.12 -Localização da Sala na Casa 3

A Fig.3.13 mostra a localização geográfica das 3 casas e das principais vias rodoviárias. Na Tabela 1 encontra-se uma síntese das principais características das casas em estudo.

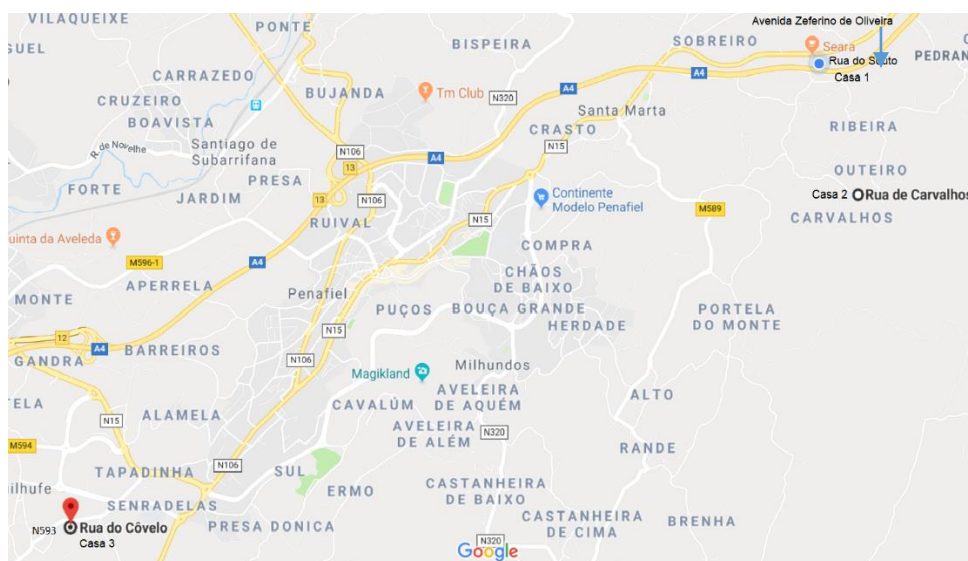


Fig. 3.13 - Localização geográfica das 3 casas e das vias principais para o estudo

Tabela 3.1- Resumo das características das habitações em estudo

	CASA 1	CASA 2	CASA 3
LOCALIZAÇÃO	Rua do Souto, Croca	Rua de Carvalhos, Croca	Rua do Covelo, Guilhufe
ANO DE CONSTRUÇÃO	1972	1852	2017
REABILITAÇÃO	1990	2006	-
LOCAL DE ENSAIO	Sala	Sala	Sala
ELEMENTOS CONSTRUTIVOS			
ALVENARIA	Tijolo	Pedra	Tijolo
PAREDE	Simples	Simples	Dupla, Simples
ÁREA (M²)	10	11	27
REVESTIMENTOS			
PAREDE	Areadas	Argamassa de Cal	Rebocadas
PAVIMENTO	Tacos de Madeira de encerados	Mosaico antiderrapante	Soalho Flutuante
TETOS	Estucados	Estanhados	Teto falso com placas de gesso cartonado
JANELAS			
TIPO		Janela simples de Batente	Janela dupla de Correr
VIDRO		Duplo	Duplo
PROTEÇÃO DO SOL		Portadas de madeira pelo lado interior	Estore de alumínio entre as janelas
ÁREA		2 Janelas com 87×131 cm	2 Janelas-280×200 cm;160×200 cm
PORTA			
TIPO	Madeira	Alumínio	Madeira
VEDANTES	Portas sem vedantes	Porta exterior com vedantes e portas interior sem vedantes	Portas exterior com vedantes e portas interiores sem vedantes
ÁREA (M²)	Porta interior - 75×200 cm Porta exteriores - 80×205 cm	Porta exterior - 75×191 cm	Portas interiores - 90×200 cm
ESTRADA PRINCIPAL			
PROXIMIDADE	70 m da Avenida Zeferino de Oliveira 49 m da Autoestrada A4	1 km da Avenida Zeferino de Oliveira 870 m da autoestrada A4	20m da estrada Nacional nº. 593
HABITANTES			
Nº DE PESSOAS	6 Pessoas	3 Pessoas	2 Pessoas
ORIENTAÇÃO DA FACHADA	Parede de fachada NW Parede da porta interior SW	NE (Janelas)	SW (Janela maior) NW (Janela pequena)

3.3. PROCEDIMENTO DE ENSAIO

Todos os ensaios foram realizados em duas campanhas diferentes, sendo que a primeira se realizou de 25 de março a 15 de abril de 2019 e a segunda entre 27 de maio a 17 de junho 2019. Em cada campanha, durante uma semana, de quinta-feira a domingo, foram realizados os ensaios da qualidade do ar interior e de terça-feira a quarta-feira foram avaliados os caudais de ventilação nas diferentes casas (cronograma anexo 1).

Durante a realização dos ensaios foi pedido aos utilizadores para fazerem um diário das atividades de forma a auxiliar a interpretação dos dados recolhidos.

3.3.1 AVALIAÇÃO DO CLIMA EXTERIOR

3.3.1.1 Condições de Ensaio

Para a avaliação do clima exterior foi necessário recorrer a alguns equipamentos como a estação meteorológica portátil, TFA, e um medidor de CO₂ portátil TELAIRE 7001 (Fig.3.14).

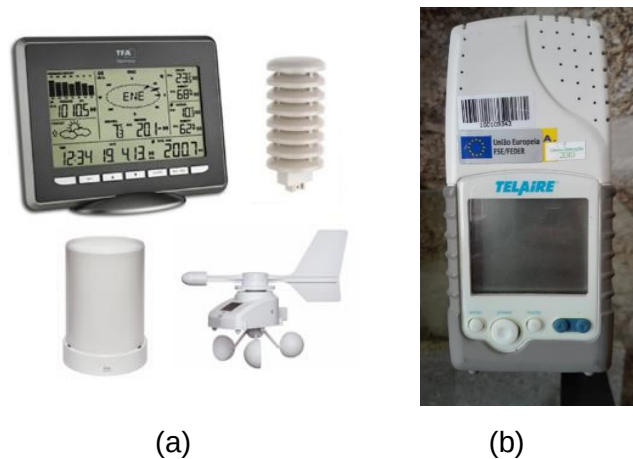


Fig. 3.14 - Imagem da Estação Meteorológica portátil TFA (a) e medidor de CO₂ portátil TELEIRE 7001 (b)

A estação meteorológica portátil FTA apresenta as seguintes regras de montagem:

- O sensor hidrotérmico deve ser instalado a uma distância máxima de 100 m do mostrador;
- O sensor da chuva deve ser instalado a uma distância máxima de 50 m no sensor hidrotérmico;
- O sensor do vento deve ser instalado a uma distância máxima de 50 m do sensor hidrotérmico;
- O mostrador deve ficar num local à distância máxima entre o computador que contém o transceptor USB de 25 m.

Quanto ao sensor do vento, este deve também seguir algumas regras importantes para o bom funcionamento da estação meteorológica:

- O sensor deve ser instalado no mesmo lado da casa onde foi instalado o sensor hidrotérmico;
- Deverá ficar com a painel solar virado para sul;
- Deverá ficar abrigado da chuva, no qual é imposto uma distância mínima de 30 cm entre a cobertura e o sensor.

Para além das regras mencionadas, o sensor do vento e o sensor hidrotérmico devem ainda ficar localizados no lado norte da habitação, a uma altura de 30 cm do chão para obter um melhor desempenho (Fig.3.15) [41].

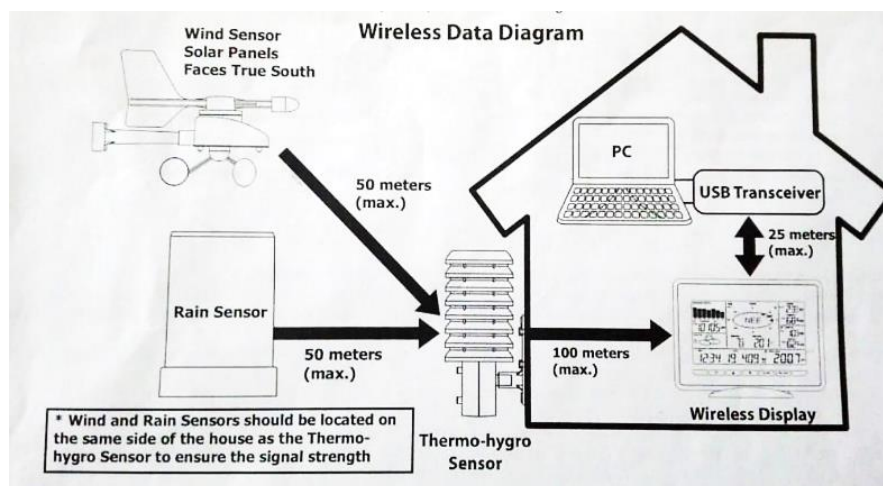


Fig. 3.15 -Imagem do Manual de Instruções da Estação meteorológica TFA

O medidor do CO₂, TALEIRE 7001, deverá estar a uma altura acima do nível do solo entre 0.50 a 1.50 m e num local próximo do local em estudo [8].

As medições dos parâmetros da estação meteorológica e sensor do CO₂ foram realizadas em contínuo de terça-feira a domingo de cada semana de campanha. A estação meteorológica foi programada para na 1ª campanha fazer registos de minuto a minuto na Casa 1 e de duas em duas horas na Casa 2 e 3, enquanto na 2ª campanha em todas as casas esta foi programada para fazer registos de minuto a minuto. O medidor de CO₂ foi programado para fazer registo de minuto a minuto em todas as casas, em ambas as campanhas. O valor de CO₂ utilizado para a medição do caudal de ventilação foi o valor médio do período de decaimento determinado no interior de cada casa.

Os sensores foram colocados de maneira a respeitar a Metodologia [8] no caso do medidor do CO₂ e o manual de instruções no caso da TFA. O local escolhido para fazer a recolha dos dados na Casa 1 e 3 foi a varanda junto ao local de estudo, enquanto que na Casa 2 foi o rés-do-chão (pátio) que fica debaixo do local em estudo. A Fig. 3.16 mostra os locais onde cada aparelho foi colocado nos diferentes edifícios.

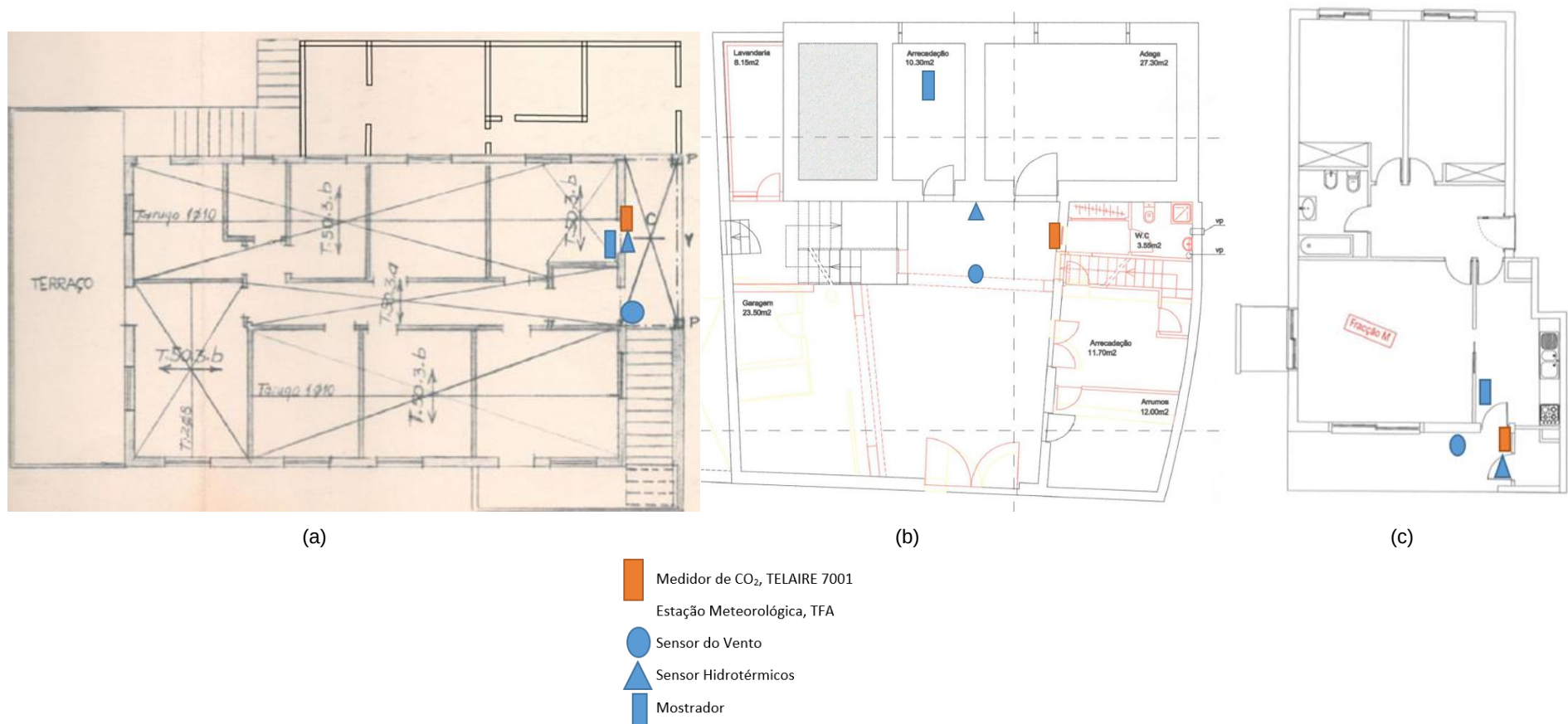


Fig.3.16 -Localização dos Equipamentos a)Casa 1, b)Casa 2 , c) Cas

3.3.1.2 Descrição do Equipamento

Para fazer a análise do clima exterior, utilizou-se alguns dos equipamentos já mencionados, nomeadamente o medidor de CO₂ portátil, TELAIRE 7001 e uma estação meteorológica portátil, TFA.

A estação meteorológica recolhe os seguintes dados:

- Pressão [hPA];
- Temperatura interior e exterior [°C];
- Humidade relativa interior e exterior [%RH];
- Velocidade do vento [m/s];
- Direção do vento;
- Vento Frio [°C];
- Quantidade de Chuva [mm].

Para esta análise só foram verificados 2 parâmetros, Direção e Velocidade do vento. Assim não foram usados todos os parâmetros da estação meteorológica, tendo sido necessários apenas o sensor do vento, sensor hidrotérmico, o mostrador e o transceptor USB, Fig.3.17.

Para recolher os dados foi utilizado o programa HeavyWeather ProWS.

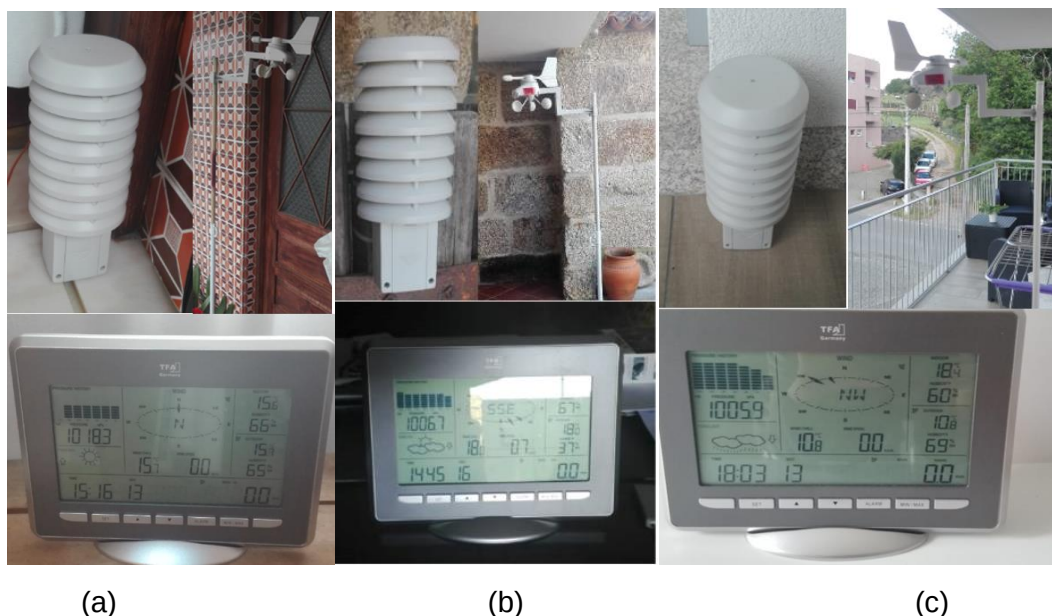


Fig.3.17- Equipamentos utilizados da estação meteorológica TFA (a) Casa 1, (b) Casa 2 e (c) Casa 3

Também foi utilizado o aparelho TELAIRE 7001, com o HOBO 4, para medir os níveis de CO₂ e a temperatura exterior (Fig.3.18). A precisão do aparelho TELAIRE 7001 é de 50 ppm e a resolução de 1 ppm. A recolha dos dados foi feita através do HOBO 4, tendo sido utilizado o BOXCAR Pro para transferir os dados.

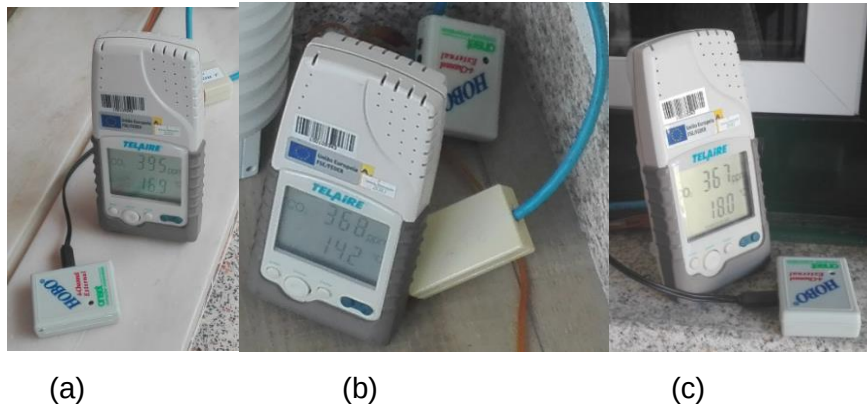


Fig.3.18 - Sensor de CO₂ TELAIRE 7001 (a) Casa 1, (b) Casa 2, (c) Casa 3

3.3.2 AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO AR INTERIOR

3.3.2.1 Condições de Ensaio

Para avaliar a qualidade do ar interior foram necessários alguns equipamentos como uma sonda multiparamétrica (IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irlanda), um medidor de partículas (Lighthouse 3016 IAQ; Lighthouse Worldwide Solutions, Holanda) e um sensor de formaldeído htv-M (Fig.3.19).



Fig.3.19 - Avaliação da qualidade do ar interior: (a) Sonda multiparamétrica (IQ-610 Qualityprobe); (b) Medidor de Partículas (Lighthouse 3016IAQ); (c) sensor de formaldeído htv-M

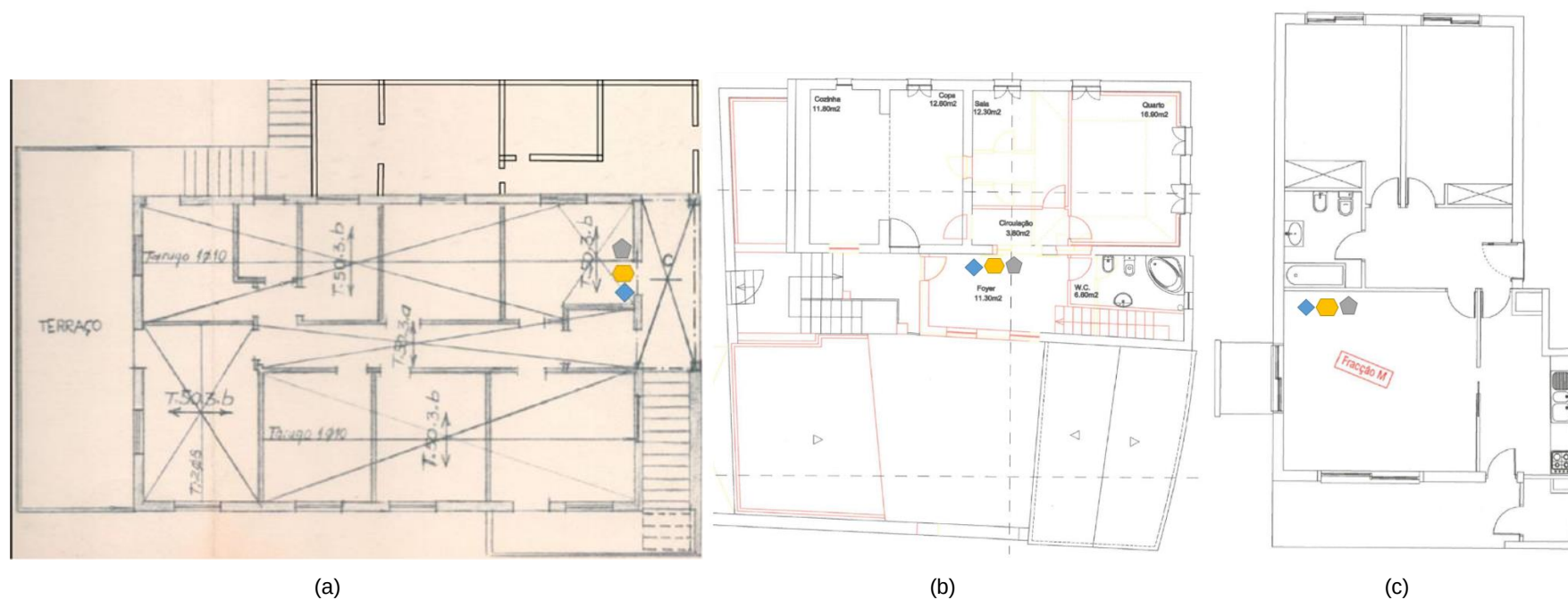
De acordo com a Metodologia da Avaliação da Qualidade do Ar Interior [8], a instalação dos equipamentos no local de estudo seguiu as regras seguintes:

- Estarem afastados, sempre que possível, pelo menos 1 a 2 m dos cantos das paredes, janelas, das paredes divisórias, mobiliário vertical;
- Não estar em contacto direto, debaixo ou em frente, com difusores de ar, unidades de difusão, ventoinhas ou aquecedores;
- Serem colocados a uma altura acima do nível do solo entre 0,50 a 1,50 m;
- Terem uma distância de pelo menos 1 m de fontes, como fotocopiadora, impressoras, etc.

Quanto ao número de locais, a Metodologia da Avaliação da Qualidade do Ar Interior [8] refere que para edifícios com ventilação natural a localização dos pontos devem ser aleatórios.

A medição dos poluentes químicos foi realizada de forma contínua de quinta-feira a domingo. A sonda multiparamétrica foi programada para fazer registos de minuto a minuto na Casa 1 e de quinze em quinze minutos na Casa 2 e 3 para a 1ª campanha. Para a 2ª campanha a sonda foi programada para fazer registo de minuto a minuto em todas as casas. O medidor de partículas foi programado para efetuar registos de minuto em minuto para todas as habitações. Os níveis de formaldeído foram medidos de quatro em quatro horas, em que para cada medição foram realizados 3 registos.

Os sensores foram colocados de maneira a respeitar a Metodologia [8] (Fig. 3.20). O local que foi escolhido para fazer a recolha das medições foram as salas, visto ser o local onde os habitantes passam mais tempo.



- ◆ [Formaldemeter htv-M \(c\)](#)
- [Medidor de partículas \(Lighthouse 3016 IAQ; Lighthouse Worldwide Solutions, Holanda\)](#)
- [Sonda Multiparamétrica \(IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irlanda\)](#)

Fig.3.20 -Localização dos equipamentos a) Casa 1, b) Casa 2, c) Cas

3.3.2.2 Descrição do Equipamento

Para realizar a avaliação da qualidade do ar interior em modo contínuo foram utilizados 3 equipamentos: uma sonda multiparamétrica (IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irland), um medidor de partículas (Lighthouse 3016 IAQ; Lighthouse Worldwide Solutions, Holanda) e uma sonda de formaldeído (formaldemeter htv-M) [34] e [35].

A sonda multiparamétrica (Fig. 3.21 (a)) mede 6 parâmetros dos quais só 2 foram analisados, o dióxido de carbono [ppm] e monóxido de carbono [ppm]. A tabela 3.2 apresenta a gama de trabalho e a precisão da sonda multiparamétrica para os diferentes parâmetros analisados.

Tabela 3.2 - Resumo das especificações da sonda multiparamétrica

PARÂMETROS	GAMA	PRECISÃO
DIÓXIDO DE CARBONO (ppm)	0 a 10000	± 3% para valores >±50 ppm
MONÓXIDO DE CARBONO (ppm)	0 a 500	±2% para valores <50 ppm, ±3% para >50 ppm
HUMIDADE RELATIVA (%)	0 a 100	±2% para valores <80%, ±3% para valores >80%
TEMPERATURA (°C)	-10 a 70	1% ± 0.3°C

A recolha dos dados foi feita com recurso a um pc de bolso com capacidade de 16 MB RAM (combinado com WolfSense IAQ / TOX / AIR / RH e <1 MB), tendo sido utilizado o programa WolfSense PC+ARG para recolher os dados.

O medidor de partículas (Fig. 3.21 (b)) mede 8 parâmetros dos quais só 2 foram analisados, as partículas em suspensão de fração 2.5 e 10 mg/m³. A Tabela 3.3 [35] apresenta as especificações do aparelho.

Tabela 3.3-Especificações do aparelho Lighthouse 3016 IAQ, Lighthouse Worldwide Solutions, HANDHELD 3016 IAQ Particle Counter, Operating Manual

Size Range	0.3 - 10.0µm	
HANDHELD 3016 Channel Thresholds	0.3, 0.5, 1.0, 2.5, 5.0, 10.0 µm	
Flow Rate	0.1 CFM (2.83 LPM)	
Counting Efficiency	50% (per JIS)	
Laser Source	Laser diode	
Zero Count Level	<1 count / 5 minutes (per JIS)	
Calibration	NIST Traceable	
Count Modes (Particle Mode)	Concentration, manual/automatic, beep, cumulative/differential,	
Count Modes (MASS Mode)	Mass Concentration, PM	
Data Storage	Up to 3000 sample records, includes particle & environmental data, plus location and time	
Communication Modes	RS232 via RJ-45 to PC or printer	
Supporting Software	LMS XChange Data Transfer Software	
Environmental Sensors	Temperature/Relative Humidity Probe: 32-122°F (0-50°C) ±1°F (.5°C), 15-90% ±2%	
Touch Screen Display	3.8" (9.25 cm), 320x240	Power
Printer	External thermal printer (optional)	Unit: +12VDC; AC/DC Adapter: 100-240V, 50-60Hz
Key Software Features	Historical data review, password protection	Battery
Enclosure	High impact injection molded plastic	Li-Ion, removable and rechargeable
Sample Output	Internally filtered to HEPA standards (>99.997% @ 0.3µm)	Dimensions
Vacuum Source	Internal pump, flow controlled	8.75"(L) x 5.0"(W) x 2.5"(H) [22.23 x 12.7 x 6.35 cm]
		Weight
		2.2 lb (1kg)
		Operating Temp/RH
		50°F to 104°F (10°C to 40°C) / 20% to 95% non-condensing
		Storage Temp/RH
		14°F to 122°F (-10°C to 50°C) / Up to 98% non-condensing

A recolha dos dados foi feita através do aparelho, tendo sido necessário utilizar o programa LMS XChange1.6 para transferir os mesmos.

A medição da concentração de formaldeído foi feita através do aparelho Formaldemeter htv-M Fig.3.21 (c) cujas especificações são apresentadas na tabela 3.4.

Tabela 3.4 -Especificações do sensor de formaldeído (Formaldemeter htv-M)

TIPO	Eletroquímico; unidades ppm .
GAMA	0-10 ppm como padrão (0-12.3mg/m ³ a 25°C).
RESOLUÇÃO	0,001 ppm
PRECISÃO	94% de todas as leituras do instrumento atendem os critérios NIOSH para um método aceitável ao nível 0,3 ppm de formaldeído numa faixa de humidade relativa de 25-70%. O critério NIOSH de aceitação é ± 25% do valor real a um nível de confiança de 95%.

Os dados foram recolhidos no momento da execução da leitura.

Antes de iniciar os ensaios, a sonda multiparamétrica e o sensor de formaldeído htv-M foram calibrados sendo que na Casa 1 foi realizada a calibração total do equipamento, enquanto que na Casa 2 e 3, foi feita apenas uma verificação da calibração.

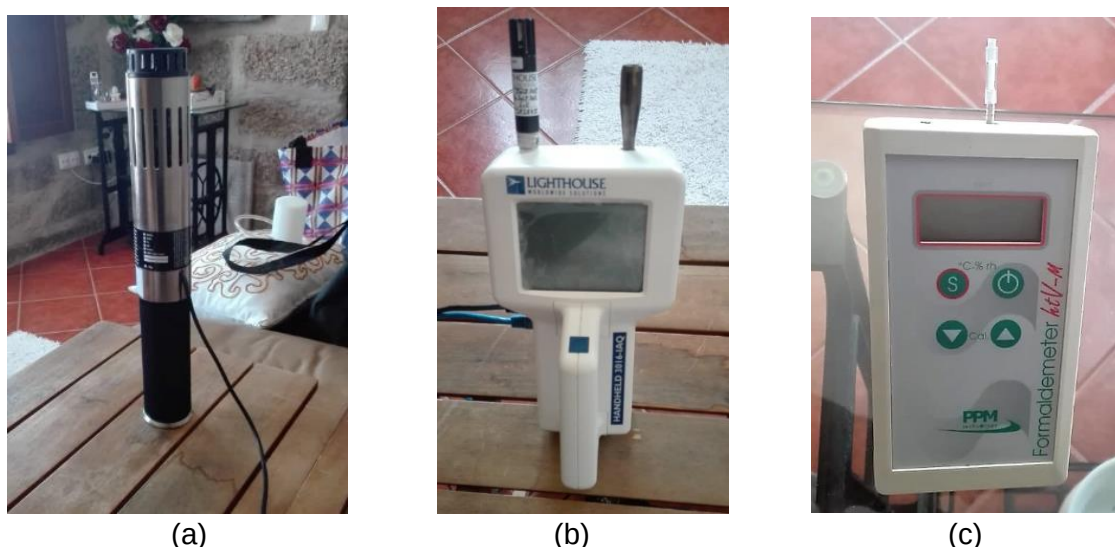


Fig.3.21 - Sonda Multiparamétrica (IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irlanda) (a); medidor de partículas (Lighthouse 3016 IAQ; Lighthouse Worldwide Solutions, Holanda) (b); medidor de formadeído Formaldemeter htv-M (c)

Todos os equipamentos no interior estavam a uma altura de 70 cm em todas as casas (Fig.3.22).

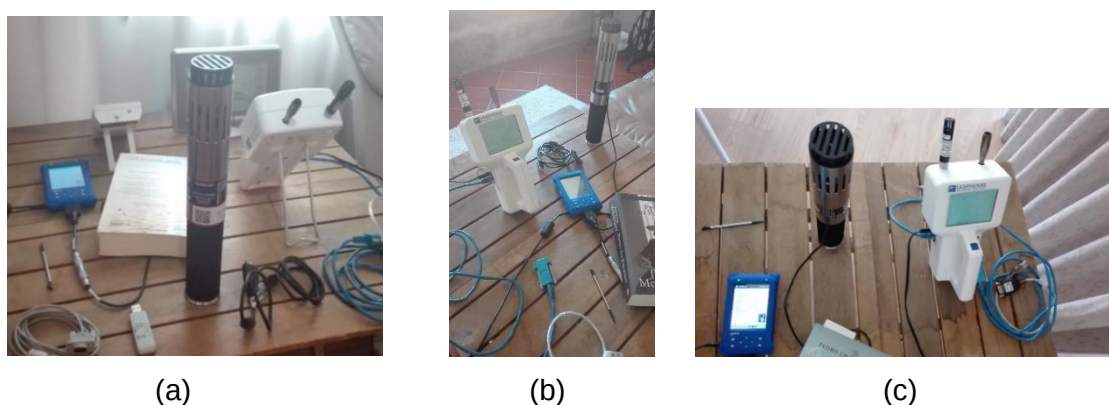


Fig.3.22 -Imagem dos equipamentos no interior (a) Casa 1, (b) Casa 2, (c) Casa 3

3.3.3. AVALIAÇÃO DO CAUDAL DE VENTILAÇÃO

3.3.3.1 Condições dos ensaios

Para avaliar o caudal de ventilação foi necessário o equipamento sonda multiparamétrica (IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irlanda). Este equipamento foi instalado de forma a cumprir os requisitos descritos na Metodologia da Avaliação da Qualidade do Ar Interior [8].

A avaliação do caudal de ventilação foi feita sempre à terça e quarta-feira de forma contínua, numa altura em que os ensaios para avaliação da qualidade do ar interior não estavam a decorrer.

Para o cálculo das renovações horárias recorreu-se ao método do gás traçador e à Técnica do Decaimento. Tendo em conta que o gás traçador utilizou o CO₂, foi necessário aumentar a sua concentração para valores da ordem dos 1400 ppm. Para tal, mantiveram-se 3 pessoas no compartimento em estudo durante 1 hora, com todos os vãos fechados. No final dessa hora, todos os ocupantes da sala

saíram, deixando a habitação totalmente vazia durante algumas horas. Desta forma garantiu-se não haver influência no decaimento da concentração do CO₂.

A sonda multiparamétrica foi programada para fazer registo de minuto a minuto na casa 1 e de quinze em quinze minutos na Casa 2 e 3 para a 1ª Campanha. Para a 2ª campanha esta foi programada para fazer registos de minuto a minuto em todas as casas.

A localização do equipamento é a mesma que foi utilizada para avaliar a qualidade do ar interior (Fig.20).

3.3.3.2 Descrição do Equipamento

Para realizar a avaliação do caudal de ventilação em modo contínuo foi utilizada apenas a sonda multiparamétrica (IQ-610 Quality probe, GrayWolf Sensing Solutions, Irland) com a leitura do único parâmetro, CO₂. A gama e a precisão, assim como o modo de recolha dos dados deste equipamento já foram descritas na secção anterior (3.3.2.2).

4

APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 CLIMA INTERIOR E EXTERIOR

Neste subcapítulo serão analisados os resultados obtidos na avaliação do ambiente interior e exterior nas duas campanhas realizadas. Como foi referido no capítulo anterior, os parâmetros que foram analisados na 1ª campanha (25 de março a 15 de abril 2019) foram a temperatura, a velocidade e direção do vento, tendo-se incluído os níveis de matéria particulada no ar na 2ª campanha (27 de maio a 17 de junho 2019).

A Fig. 4.1 apresenta os dados da temperatura ao longo da 1ª Campanha no exterior e interior das diferentes habitações. Ao longo da campanha, durante as medições efetuadas na Casa 2, as temperaturas interiores variaram entre 15,5 e 17,3°C e as exteriores entre 10,1 e 20,1°C. Na Casa 3 as temperaturas interiores variaram entre 17,9 e 22,9°C e as exteriores entre 9 e 30,2°C, já a Casa 1 as temperaturas interiores variaram entre 12,9 e 19,1°C e as exteriores entre 8 e 19,2°C. Na casa 2, observou-se que a T_{int} é praticamente constante ao longo do período em estudo enquanto nas Casas 3 e 1, a temperatura interior acompanha a variação diária da temperatura exterior. Este efeito é mais evidente na Casa 1, uma vez que durante parte das medições efetuadas na Casa 2 a temperatura exterior foi mais estável, devido à existência de um período de céu encoberto.

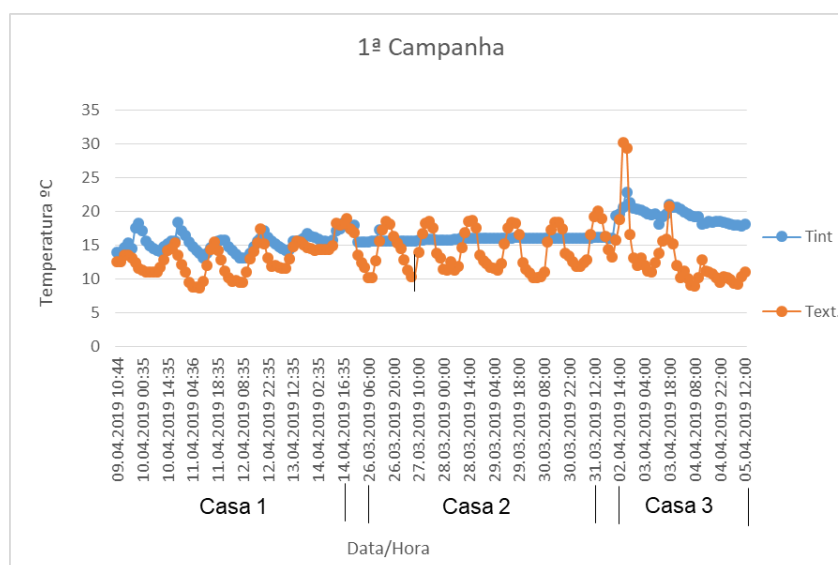


Fig. 4.1 - Variação da temperatura ao longo da 1ª campanha

Relativamente à 2ª Campanha pode-se verificar que principalmente as temperaturas exteriores subiram em relação à 1ª (Fig.4.2). Apurou-se que ao longo da campanha obteve-se diferenças maiores entre a T_{int} e T_{ext} em comparação com a campanha anterior, nomeadamente as temperaturas interiores variaram entre 16,9 e 23,1°C, entre 19,3 e 23,2°C e entre 21,2 e 25,2°C e as temperaturas exteriores oscilaram entre 11,4 e 13,6°C, entre 15,4 e 19,8°C e entre 10,7 e 39°C para a casa 1, 2 e 3, respetivamente. Conclui-se que na Casa 1 e 3, em média, a T_{int} é superior à T_{ext} e na Casa 2 ocorre o contrário.

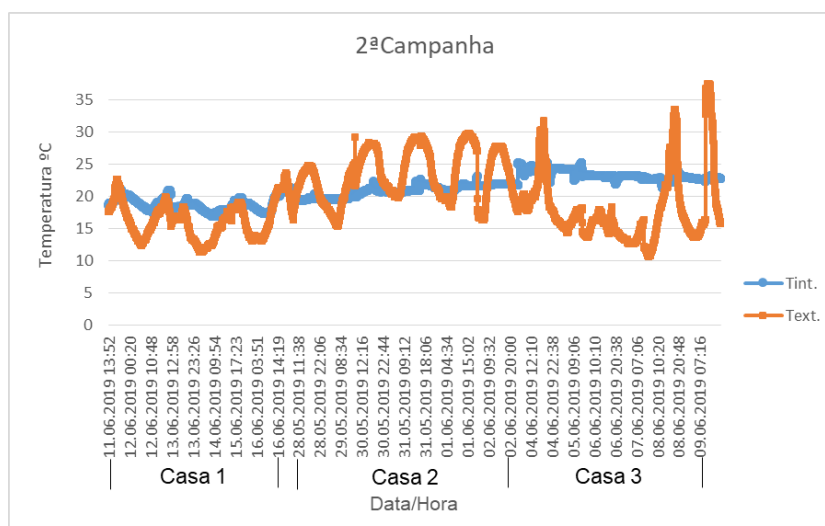


Fig.4.2 Variação da temperatura interior e exterior ao longo da 2ª Campanha

Na tabela 4.1 apresentam-se os valores médios, máximos e mínimos ocorridos durante as medições efetuadas nas duas campanhas. É possível verificar-se que é na Casa 1 que há maior variação de temperatura interior, mas é a Casa 3 que apresenta um T_{int} média mais elevada. Quanto à T_{ext} observa-se que é na Casa 3 que há maior variação de temperatura, mas é na Casa 2 que se atingiu em média uma T_{ext} mais elevada. Pode-se concluir que na Casa 3 obteve-se T_{int} mais alta pois houve maior variação de T_{ext} em igual período de medição, já na Casa 1 apurou-se que as temperaturas máximas no interior e exterior e a média das mesmas são muito próximas. Assim verifica-se que a nível de T_{int} : Casa 3 > Casa 2 > Casa 1 e que relativamente à T_{ext} : Casa 2 > Casa 3 > Casa 1.

Tabela 4.1 - Resumo dos resultados obtidos das temperaturas ao longo das duas campanhas

	T_{INT} [°C]			T_{EXT} [°C]		
	Média	Máximo	Mínimo	Média	Máximo	Mínimo
CASA 1	18,83	21,3	13,1	16,23	23,6	8,7
CASA 2	20,82	23,2	15,5	23,3	29,8	10,1
CASA 3	23,37	25,2	17,9	17,9	39	9

Em relação às medições da velocidade do vento (Tabela 4.2), estas podem ter sido influenciadas pela localização escolhida para a estação meteorológica. Na 1ª Campanha obtiveram-se velocidades menores do que as registadas na 2ª Campanha com a maior diferença verificada na Casa 1. A velocidade máxima nas imediações da Casa 1 foi muito superior à das outras casas sendo este valor de 26,6 km/h.

Tabela 4.2 - Média da velocidade do vento e o valor máximo que foi atingido nas duas campanhas

VELOCIDADE DO VENTO (km/h)			
	1ª Campanha	2ª Campanha	MÁXIMO
CASA 1	0,61	4,02	26,6
CASA 2	0,13	0,27	4,3
CASA 3	0,07	0,49	7,2

Para cada casa, a direção do vento predominante foi diferente. Nas duas campanhas, a direção predominante do vento na proximidade das Casa 2 e 3 foi a mesma (Oés-sudoeste e Noroeste, respetivamente), enquanto na Casa 1 foi diferente, apresentando uma direção de És-nordeste na 1.ª campanha e Oés-sudoeste na 2.ª Campanha (Fig. 4.3).

Analisando a 1ª campanha, Fig. 4.3(a), a Casa 1 teve duas direções predominantes (nor-nordeste e lés-nordeste), sendo que estas direções estão próximas da direção perpendicular às paredes da fachada onde está inserida a porta exterior da sala (noroeste). Nas imediações da Casa 2, verificaram-se duas direções predominantes (oés-sudoeste e su-sudoeste), sendo que estas não são perpendiculares à parede da fachada que contém as janelas da sala, por outro lado estas direções estão muito próximas da direção perpendicular da porta exterior da sala (sudeste) e de uma parede da fachada que contém janelas na direção noroeste.

Relativamente às imediações da Casa 3, verificou-se que, tanto para a 1ª campanha como para a 2ª campanha, o vento apresentou sempre a mesma direção (noroeste) perpendicular à parede da fachada que contém uma janela (janela de maiores dimensões) e uma porta da cozinha. Verificou-se também que nesta habitação ocorre ventilação cruzada, pois a direção predominante do vento é a mesma da parede da fachada que contém uma janela da sala (janela de menor dimensões) e no lado oposto encontra-se uma porta exterior (sudeste).

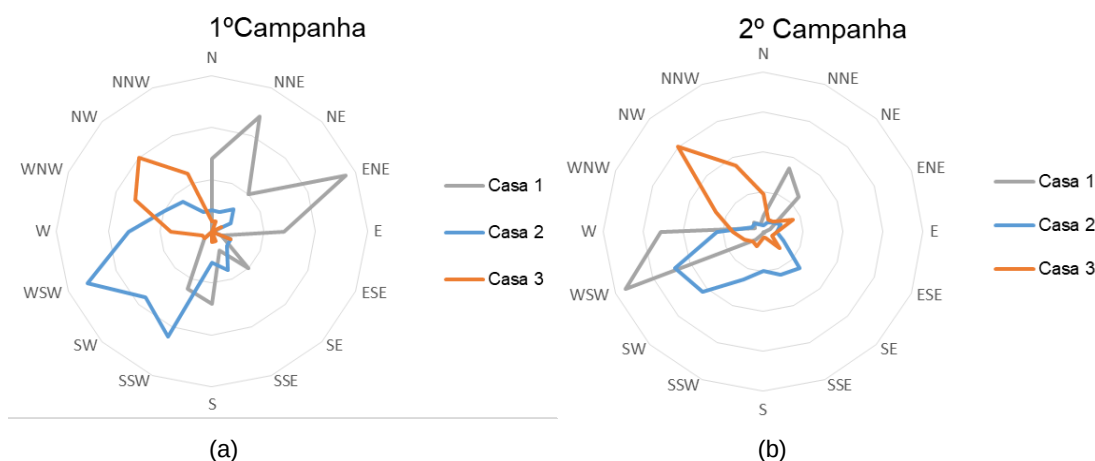


Fig. 4.3 - Descrição das possíveis direções do vento ao longo da (a) 1ª Campanha (b) 2ª Campanha

Como já foi referido, na 2ª campanha (Fig. 4.3(b)) observou-se que junto à Casa 1 a direção predominante se alterou. Esta nova direção (oés-sudoeste), como aconteceu na 1ª campanha, não é perpendicular à parede da fachada da sala, mas está muito próxima da direção noroeste. Quanto à Casa 2, o vento teve duas direções predominantes, sendo que uma delas é coincidente com a da 1ª campanha (oés-sudoeste), e a segunda direção é sudoeste. Com esta última direção do vento verificou-se que há

ventilação cruzada, pois tem a orientação da fachada que contém janelas do quarto (entrada do vento) e no seu oposto encontra-se a parede de fachada da sala que contém janelas (saída do vento).

Foi avaliada a quantidade de partículas existentes no ar exterior das habitações (Tabela 4.3) com o intuito de ter valores de referência para se verificar se o ar exterior está a influenciar a qualidade do ar interior.

Tabela 4.3 - Resultados das partículas em suspensão no ar exterior das habitações caracterizadas

PARTÍCULAS EM SUSPENSÃO (mediana global)	PM_{2.5} (µg/m³)	PM₁₀ (µg/m³)
CASA 1	4.49	30.54
CASA 2	3.27	37.50
CASA 3	5.36	46.56

Concluiu-se que o ambiente exterior mais poluído relativamente às partículas em suspensão é o ambiente da Casa 3 devido a se encontrar mais próxima de uma via de comunicação, a estrada Nacional 593. Em relação às PM_{2.5} verificou-se que o ar exterior da Casa 1 apresenta um nível mais elevado do que a Casa 2, visto que a Casa 1 é a que se encontra mais próximo da A4 e da Avenida Zeferino de Oliveira. Relativamente às PM₁₀, a Casa 2 está num ambiente mais poluído do que a Casa 1, visto que é a mais próxima de campos agrícolas e de zona florestal.

4.2 QUALIDADE DO AR INTERIOR

4.2.1 1ª CAMPANHA

A 1ª campanha nas 3 casas foi realizada entre os períodos de 26 de março a 14 de abril 2019. Como foi referido no Capítulo 3, foram registados os valores de CO₂, CO, formaldeído e partículas de suspensão, PM_{2.5} e PM₁₀, no interior de cada habitação.

Durante esta campanha, os valores de CO₂ detetados em cada habitação foram muito diferentes (Fig. 4.4). Os intervalos das concentrações foram especialmente elevados na Casa 1 com valores entre 680 e 1272 ppm (mediana de 959 ppm). Na Casa 3, o intervalo das concentrações foi cerca de 1,6 vezes menor do que na Casa 1, com valores entre 530 e 902 ppm (mediana de 699 ppm) e na Casa 2 o intervalo de concentrações foi cerca de 4 vezes menor do que na Casa 1, com valores de 511 e 656 ppm (mediana de 583 ppm). Comparando os intervalos de confiança das 3 casas, verifica-se que a casa 1 é a habitação que tem um intervalo de confiança maior, pois também é a habitação que tem um maior número de pessoas, 6, enquanto as casa 2 e 3 só contam 3 e 2 pessoas respetivamente.

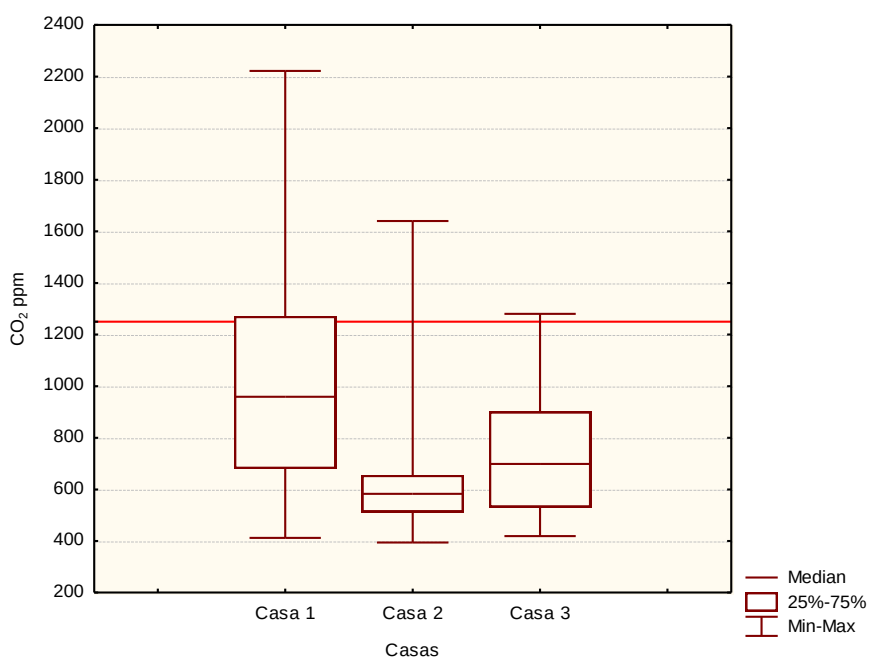


Fig. 4.4 - Resultados globais dos níveis de CO₂ detetados no ar interior das Casas durante a 1ª Campanha

Depois de analisar os valores globais de cada casa, foi realizada uma análise temporal do CO₂ ao longo da campanha. No período de 11 a 14 de abril na Casa 1, verificou-se que o limite legal imposto pela portaria n.º 353-A/2013 [8] de 1250 ppm foi ultrapassado em 27% de todos os valores obtidos nos ensaios, sendo que o valor máximo atingido foi 2222 ppm no dia 14 de Abril às 10:37 horas devido à presença de 4 pessoas na sala (Fig. 4.5).



Fig.4.5 - Variação temporal das concentrações de CO₂ no dia 14 no ar interior da Casa 1

Relativamente à Casa 2, observou-se que apesar de ter um intervalo de concentrações relativamente pequeno em comparação com as outras casas, o limite legal foi ultrapassado 9 vezes tendo sido atingido o valor máximo de 1640 ppm. Este resultado foi alcançado no dia 30 às 8:11 após terem sido abertas as portas dos dois quartos, visto ambos darem diretamente para a sala (Fig. 4.6). Na Casa 3, a análise foi realizada no período de 28 a 31 de março 2019 e apurou-se que ao longo do ensaio o limite legal foi excedido (mas sem significância estatística) apenas uma vez, sendo esse valor de 1280

ppm. Relativamente a Casa 3 esta análise não tem grande significado pois dos resultados obtidos, só houve uma vez que a concentração do CO₂ ultrapassou o limite legal de 1250 ppm.



Fig.4.6 - Variação temporal das concentrações de CO₂ no ar interior da Casa 2 no dia 30

Relativamente ao CO (Fig. 4.7), pode-se observar que as concentrações medidas são significativamente inferiores ao limite legal imposto pela norma portuguesa, que corresponde ao valor de 9 ppm,[7] e [8]. Considerando a mediana de concentrações de CO, o valor mais elevado ocorreu na Casa 3 (mediana igual 0,9 ppm), seguindo-se da Casa 1 (0.4 ppm) e da Casa 2 (0.1 ppm).

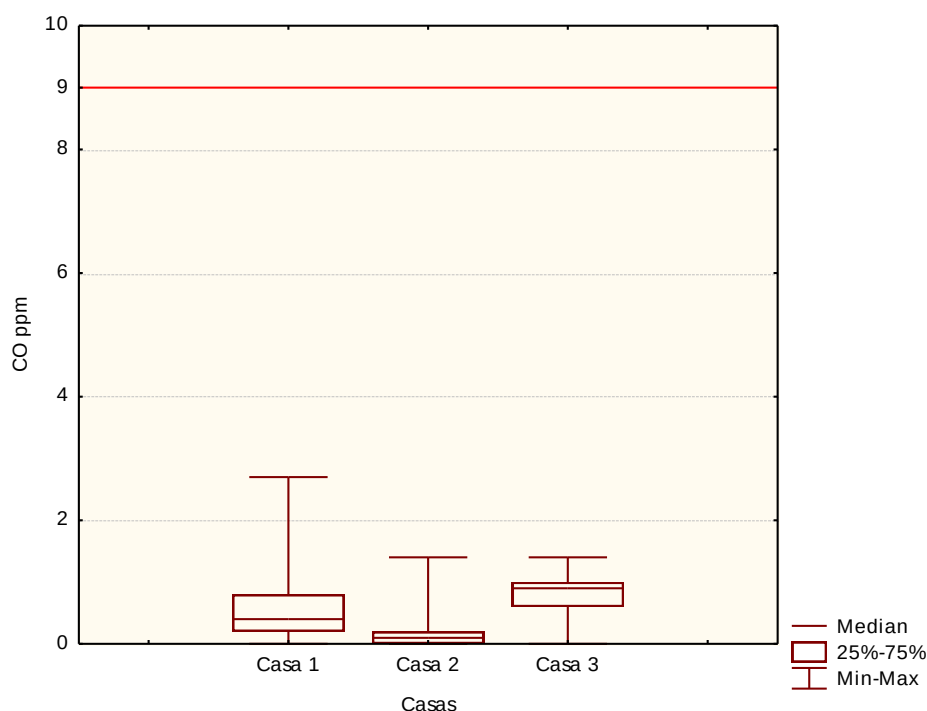


Fig.4.7 - Concentrações de CO no ar interior das habitações durante a 1ª Campanha

Relativamente à análise temporal do CO, o valor mais elevado (2,70 ppm) foi obtido na Casa 1 no dia 14 de abril por um período de 10 minutos, durante a hora do almoço, visto ter sido utilizado o forno a gás. Na Casa 3 obteve-se um valor máximo de 1,4 ppm no dia 4, por volta das nove horas da noite, quando havia uma grande movimentação de veículos na via principal, a estrada Nacional nº 593 (Fig. 4.8). Na Casa 2, o valor máximo foi de 1,3 ppm no dia 31 às 7:11 e às 8:41, devido ao uso da casa de banho.

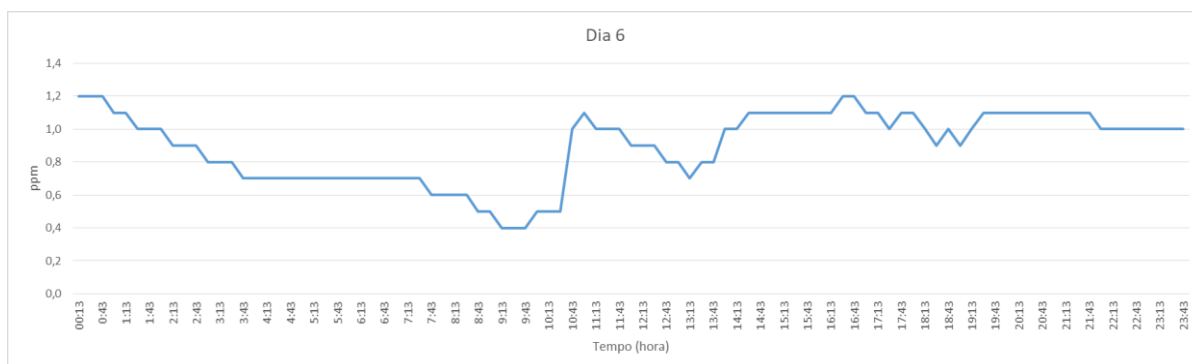


Fig.4.8 - Apresentação dos níveis de concentração do CO na Casa 3 ao longo do dia 6, dia de maior movimentação de veículos na estrada Nacional nº 593

Os resultados globais dos níveis de formaldeído estão representados na Fig. 4.9. É possível observar que todas as medianas globais são inferiores ao limite legal de 0,08 ppm [7] e [8], apresentando a Casa 3 o maior valor de mediana (0,075 ppm), seguindo-se da Casa 1 (mediana 0,02 ppm) e da Casa 2 (mediana 0,005 ppm), semelhantemente ao CO. A Casa 3 apresentou o intervalo de concentração mais elevado com valores de 0,05 e 0,09 ppm, pois a casa é a mais recente. A Casa 1 e Casa 2 têm intervalos de concentração 4 vezes menores do que a Casa 3.

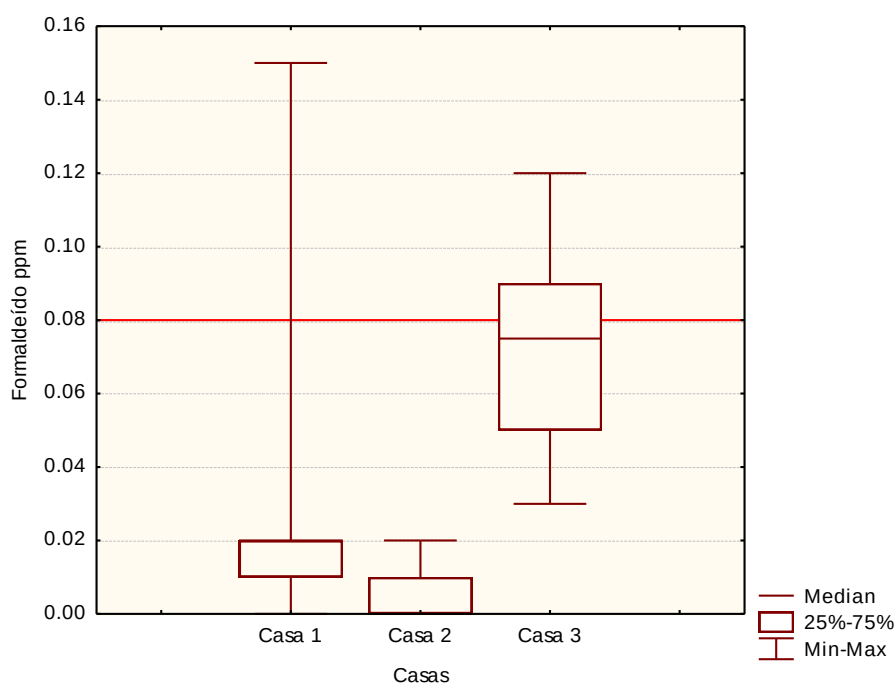


Fig.4.9 - Concentrações de formaldeído no ar interior das habitações durante a 1ª Campanha

Na Casa 2, ao longo de todo o ensaio, nunca foi ultrapassado o limite legal de 0,08 ppm. Já na Casa 3, este valor foi ultrapassado em 52% de todos os valores recolhidos nos ensaios com um valor máximo de 0,12 ppm no dia 7 de abril cerca das nove horas da noite. Relativamente à Casa 1, verificou-se que o limite legal foi excedido em 17% de todos os valores recolhidos nos ensaios, tendo sido medida uma concentração de 0,15 ppm no dia 14 de abril ao final da tarde.

Nas partículas PM_{10} , observou-se que a Casa 1 apresenta uma mediana muito elevada, 70,92 $\mu g/m^3$ (Fig. 4.10) e as Casas 3 e 2 apresentaram medianas significativamente menores de 14,93 e 23,56 $\mu g/m^3$, respetivamente. Feita a análise temporal das casas, verificou-se que na Casa 1 ultrapassou-se o limite

legal imposto pela norma portuguesa $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [7] e [8] em 57% de todos os valores recolhidos, onde o valor máximo obtido foi de $7519 \mu\text{g}/\text{m}^3$, no dia 11 de abril por volta das 10h00, devido a ações de limpeza (varrer chão e tapete da sala). Nas Casa 3 e 2, o limite legal foi ultrapassado em 12% e em 25%, respetivamente, sendo que os valores máximos alcançados foram para a casa 3 de $174 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (no dia 6 às 12:00 horas) devido à utilização de uma torradeira (Fig. 4.11) e $659 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para a casa 2 (no dia 29 cerca das 19 horas) devido à preparação do jantar.

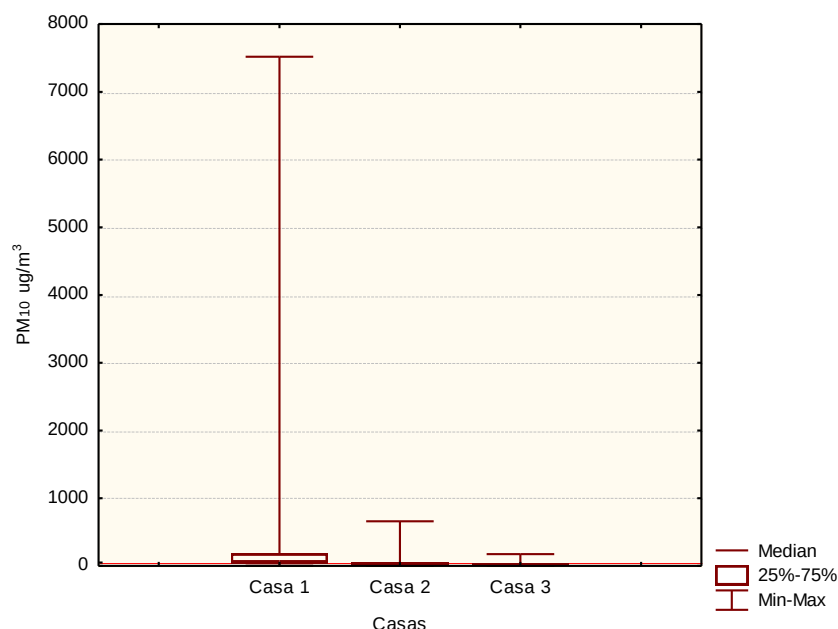


Fig. 4.10- Resultados globais das PM_{10} no ar interior das várias habitações durante a 1ª Campanha



Fig.4.11- Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 3 ao longo do dia 6 durante a 1ª Campanha

Para as partículas $\text{PM}_{2,5}$, verificou-se que as medianas das habitações 2 e 3 são muito próximas, $5,66$ e $5,58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respetivamente, e cerca de 2 vezes menores que o valor obtido para a da Casa 1 ($11,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) (Fig. 4.12). No entanto, as casas 1 e 2 apresentam grande variabilidade ao contrário da casa 3. As $\text{PM}_{2,5}$ correspondem a cerca de 18%, 27% e 40% das PM_{10} na Casa 1, 2 e 3 respetivamente.

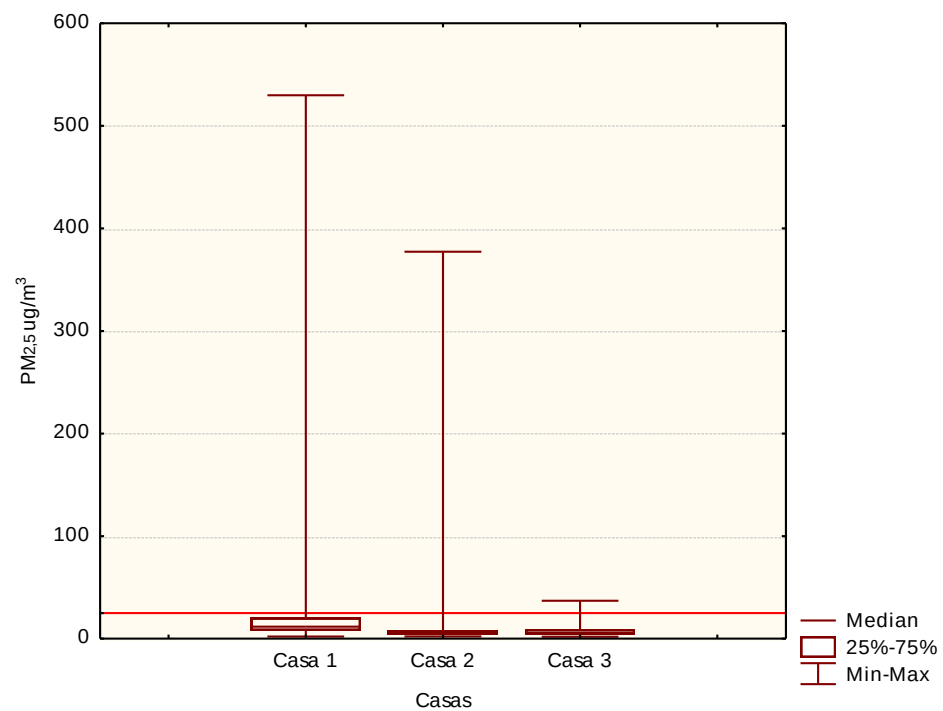


Fig. 4.12 - Concentrações de $PM_{2.5}$ no ar interior das habitações durante a 1ª Campanha

Na Casa 1 o limite imposto pela norma portuguesa de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [7] e [8] foi ultrapassado em 17% ao longo do ensaio, sendo o valor mais elevado $530 \mu\text{g}/\text{m}^3$ medido no dia 14 de abril 2019 por volta das 12:30 devido à preparação de grelhados para o almoço (Fig. 4.13).

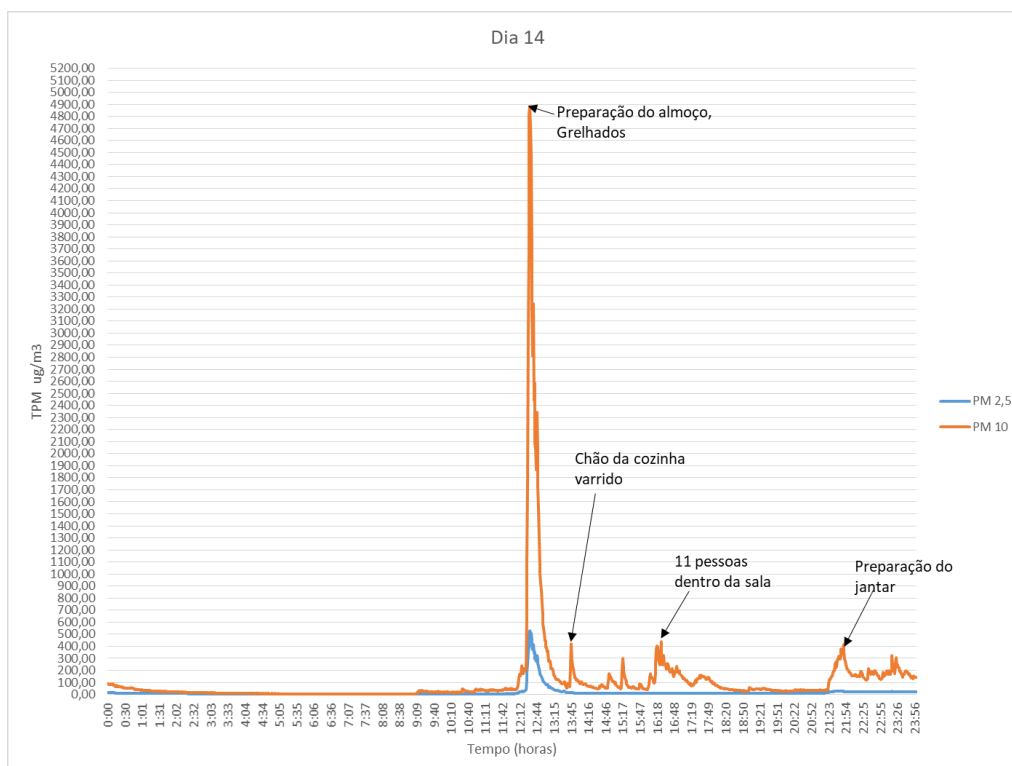


Fig.4.13 - Variação temporal das concentrações de $\text{PM}_{2,5}$ e PM_{10} no ar interior da Casa 1 no dia 14 da 1ª campanha

Relativamente à Casa 2, o nível de $\text{PM}_{2,5}$ ultrapassou o limite legal em 5,3% dos valores medidos, tendo o valor máximo sido de $377 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 28 de março cerca das sete horas da noite (Fig. 4.14). Na Casa 3, verificou-se que ao longo do ensaio só 1,7% dos valores obtidos ultrapassaram o limite legal, sendo o valor máximo de $36,88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ atingido no dia 6 de abril pelas 12:00 horas, devido ao uso da torradeira (Fig. 4.11).

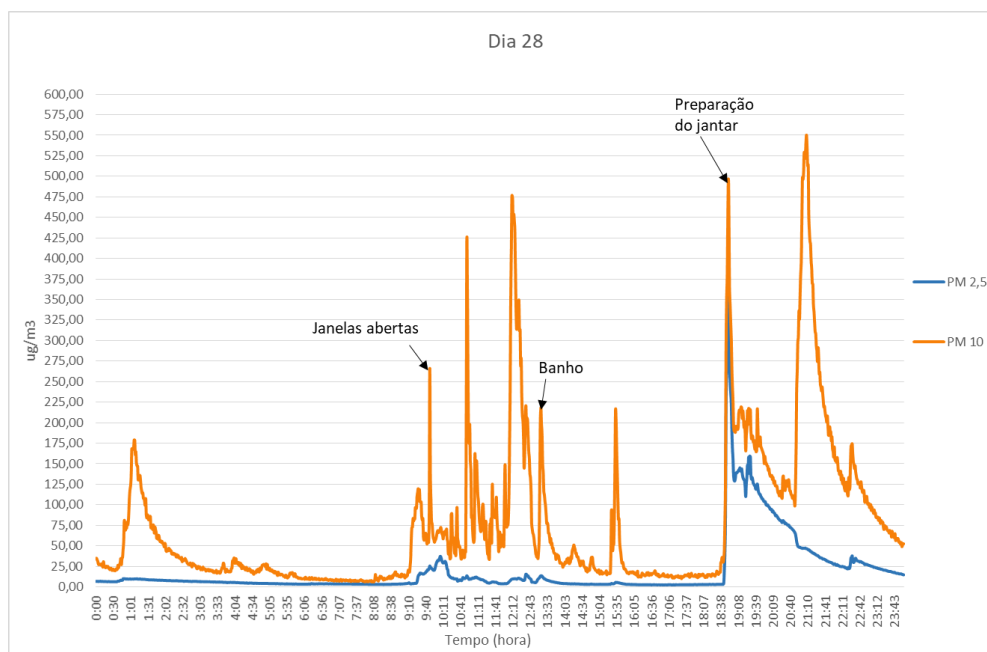


Fig.4.14 - Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 2 ao longo do dia 28 durante a 1ª Campanha

4.2.2 2ª CAMPANHA

A 2ª campanha foi realizada no período de 28 de maio a 16 de julho 2019, no qual foram avaliados os mesmos parâmetros da campanha anterior. Em relação aos parâmetros físicos das casas nada foi alterado, mas a envoltória exterior das Casas 1 e 2 foi alterada pela colocação de barreiras sonoras em toda a extensão da A4.

Com o objetivo de caracterizar o impacto das contribuições das atividades dos habitantes na qualidade do ar interior, foram também avaliados os mesmos parâmetros com as casas vazias por um período de tempo médio de 8 horas (Tabela 4.4).

Tabela 4.4 - Resultados dos parâmetros físico-químicos da qualidade do ar interior com as casas vazias

CASA VAZIA POR 8 HORAS (MEDIANA)	CO₂ (ppm)	CO (ppm)	PM_{2,5} (µg/m³)	PM₁₀ (µg/m³)
CASA 1	513	0,4	3,21	8,56
CASA 2	815	0,4	4,85	11,76
CASA 3	592	1,0	3,31	6,79

Os resultados obtidos mostram que o ar interior da Casa 2 apresenta uma maior concentração de CO₂ e de partículas em suspensão, pois é uma casa de alvenaria de pedra com juntas de argamassa de cal e com isolamento, parede dupla com isolamento no seu interior e janelas de vidro duplo com vedantes. A Casa 3 não apresenta níveis de concentração de CO₂ elevados, pois quando se realizou o ensaio esta já tinha sido arejada durante a noite, justificando os níveis de CO mais elevados. Entre a Casa 1 e 3, a fração PM₁₀ apresenta uma maior concentração na Casa 1, pois esta tem paredes areadas e chão de tacos de madeira em que alguns apresentam juntas soltas. Quanto às PM_{2,5} é o inverso, pois a Casa 3 contém materiais mais recentes, como placas de gesso cartonado e soalho envernizado.

Durante amostragem da 2ª Campanha verificou-se que o intervalo de concentrações de CO₂ foi mais elevado na Casa 3 com um intervalo entre 558 e 1372 ppm e mediana de 874 ppm (Fig. 4.15). A Casa 1 tem um intervalo que é 1,7 vezes menor com valores compreendidos entre 546 e 1209 ppm (mediana de 783 ppm). De todas as casas, a Casa 2 é a que apresenta um intervalo menor com valores variando entre 847 e 1107ppm (mediana de 958 ppm), sendo 3,1 vezes menor que o intervalo da Casa 3.

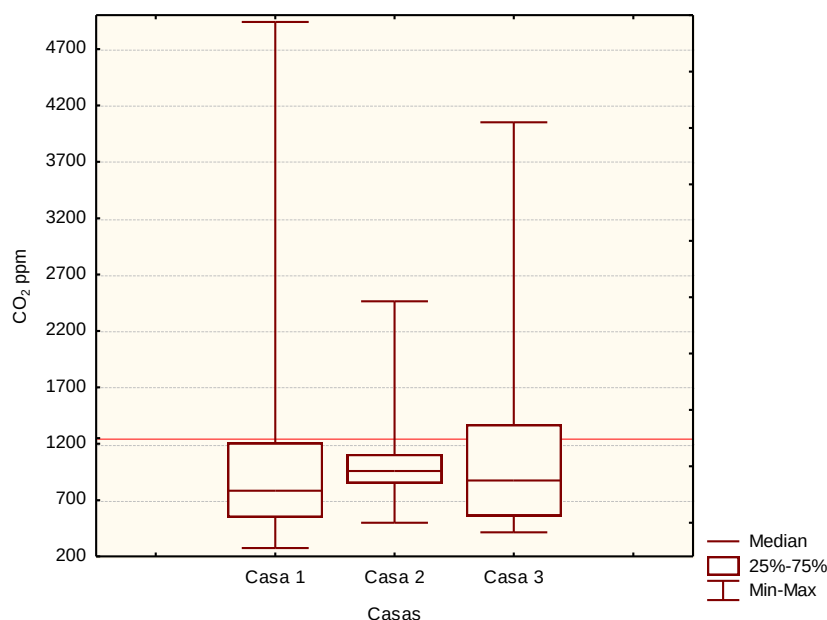


Fig. 4.15 –Níveis de CO₂ nas várias habitações durante a 2ª Campanha

Na análise temporal observou-se que a Casa 3 ultrapassou o limite legal em 27% com um valor máximo atingido de 4051 ppm, no dia 8 de junho às 00:45 horas devido à presença de 5 pessoas na sala, estando as janelas fechadas. Relativamente à Casa 1, esta excedeu o limite em 23% no dia 16 às 00:45 horas (4941ppm) (Fig. 4.16).

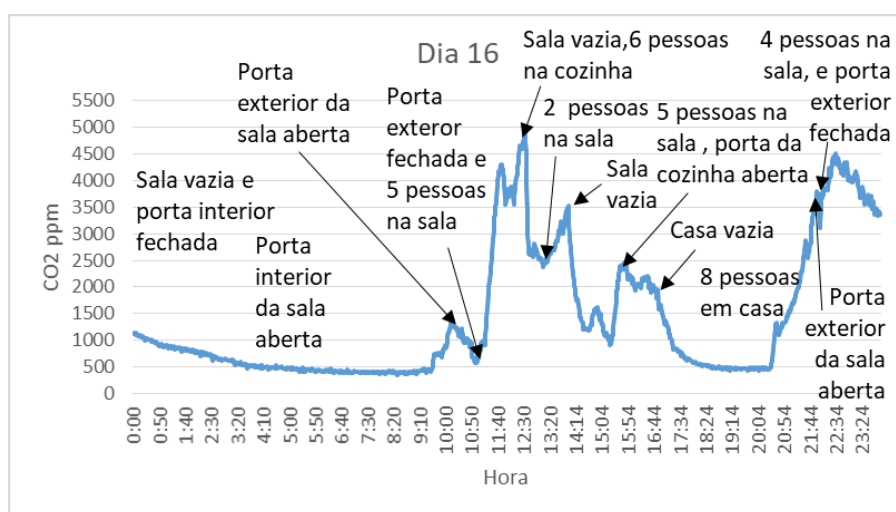


Fig.4.16 - Variação das concentrações de CO₂ na Casa 1 ao longo do dia 16 durante a 2ª Campanha

Na Casa 2 observou-se que 11% dos valores medidos ultrapassaram o limite legal, tendo o valor mais elevado sido de 2463 ppm no dia 30 às 22:00 horas (Fig. 4.17).

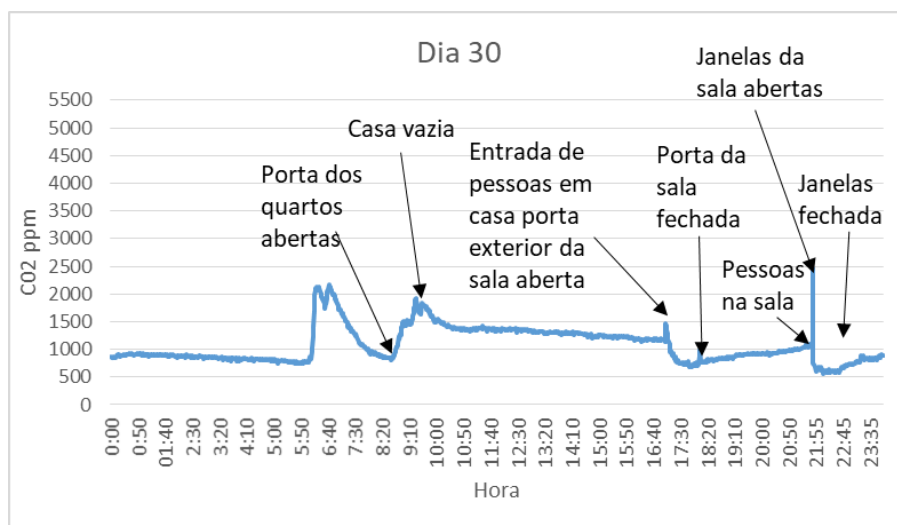


Fig.4.17 - Descrição temporal dos valores das concentrações do CO₂ na Casa 2 no dia 30 durante a 2ª Campanha

Quanto ao poluente, CO, verificou-se que as concentrações foram relativamente baixas (Fig. 4.18), sendo que o maior valor da mediana da concentração ocorreu na Casa 3 (0,8 ppm), seguindo-se da Casa 1 (0,6 ppm) e da Casa 2 (0,6 ppm).

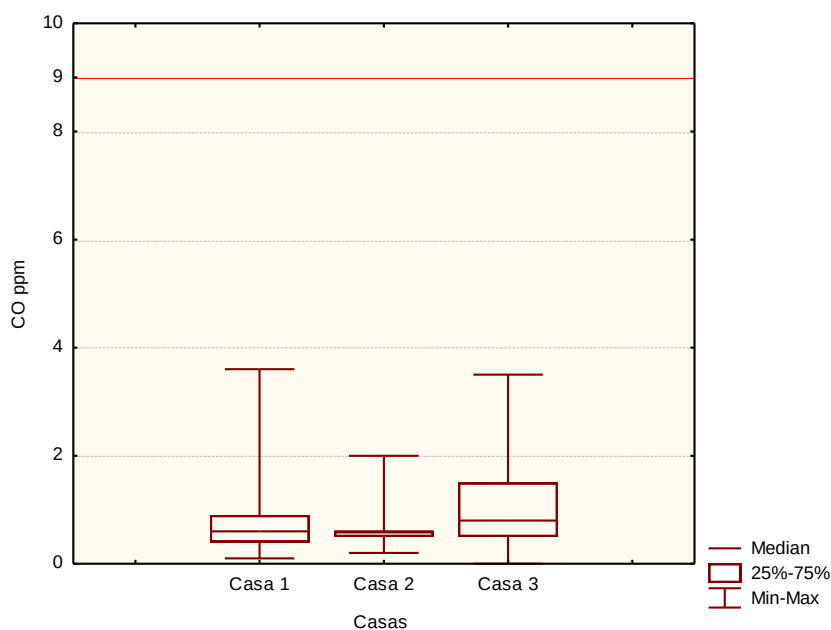


Fig.4.18 - Níveis de CO nas várias habitações durante a 2ª Campanha

Da análise temporal dos dados recolhidos verificou-se que em todas as casas nunca foi ultrapassado o limite legal de 9 ppm de CO [7] e [8]. Observou-se que na Casa 3 o valor máximo atingido foi de 3,5 ppm no dia 8 de junho entre a 1:00 e a 1:45 horas, devido ao aumento de veículos a passar na via Nacional nº 593. Na Casa 1, o valor mais elevado foi de 3,6 ppm (no dia 14 de junho às 10:45 horas) devido a ter sido utilizado o forno a gás. Relativamente à Casa 2, o valor máximo obtido foi de 2 ppm atingido no dia 31 de maio às 15:00 horas, de acordo com a Fig. 4.19.

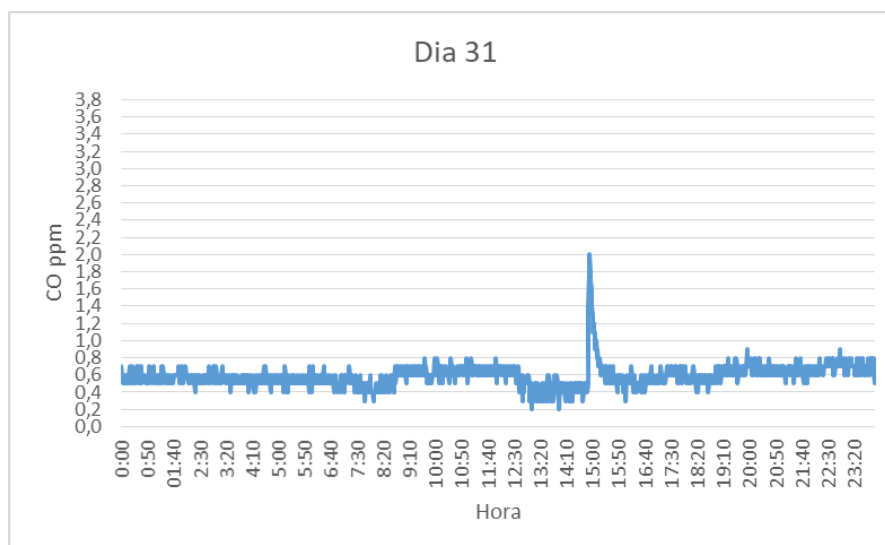


Fig.4.19 - Variação temporal da concentração de CO no ar interior da Casa 2 no dia 31 durante a 2ª Campanha

A Fig. 4.20 apresenta os resultados para as concentrações de formaldeído. É possível verificar que os maiores valores ocorreram na Casa 3 (mediana 0,05 ppm), seguindo-se a Casa 2 (mediana 0,04 ppm) e a Casa1 (mediana 0,01 ppm). A Casa 3 apresentou intervalos de concentrações mais elevados com valores entre 0,035 e 0,085 ppm. Nas Casa 1 e 2 os intervalos de concentrações são cerca de 2 vezes menores do que na Casa 3.

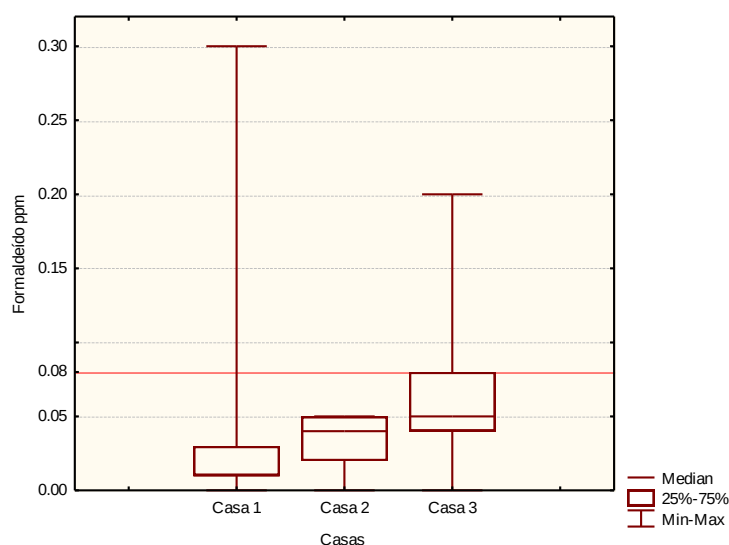


Fig.4.20 - Níveis de formaldeído no ar interior das várias habitações durante a 2ª Campanha

Analisando temporalmente cada casa, verificou-se que nas Casas 3 e 1 o limite legal foi ultrapassado, cerca de 27% das vezes, com valor máximo alcançado de 0,2 ppm no dia 7 de junho às 00:00 horas e 9% das vezes, com valor máximo de 0,29 ppm no dia 14 de junho às 10:15 horas, respetivamente.

Relativamente às PM_{10} , verificou-se que os valores das medianas são baixos (Fig. 4.21), tendo-se obtido o valor de mediana mais elevado na Casa 1 ($29 \mu g/m^3$). Na Casa 2 a mediana é de $12,63 \mu g/m^3$ e na Casa 3 é de $20,25 \mu g/m^3$.

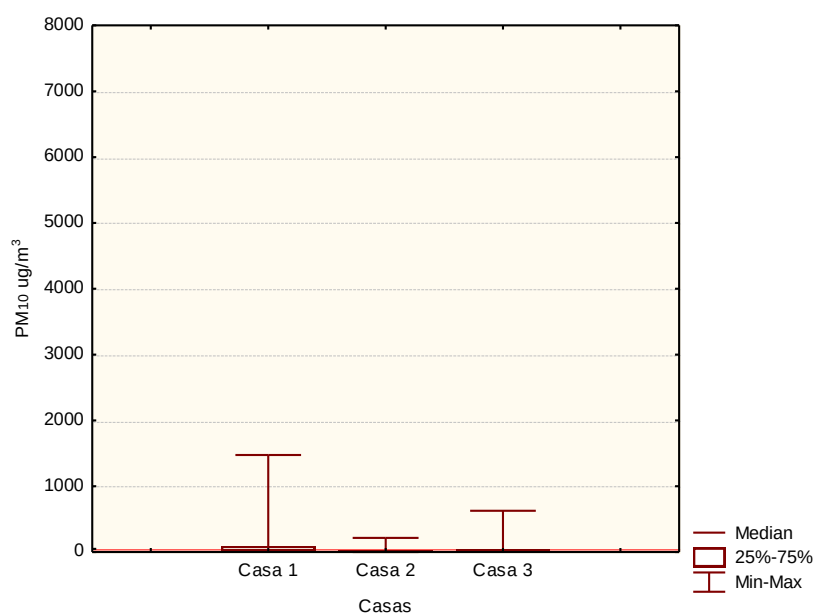


Fig. 4.21 - Concentrações de PM₁₀ no ar interior das habitações durante a 2ª Campanha

Na análise temporal de todos os resultados das PM₁₀ verificou-se que em todas as casas foi ultrapassado o limite legal de 50 µg/m³ [7] e [8]. A Casa 1 ultrapassou o limite em 38% dos valores, sendo o valor mais elevado de 1476 µg/m³ no dia 15 de junho às 11:30 horas (Fig.4.22). Na Casa 3 o valor máximo foi de 627 µg/m³, no dia 9 de junho às 11:30 horas, ultrapassando em 16% o limite legal (Fig. 4.23). Na Casa 2 o limite legal foi ultrapassado em 6,6%, sendo o valor máximo atingido de 215 µg/m³, no dia 1 de junho às 17:00 horas (Fig. 4.24).

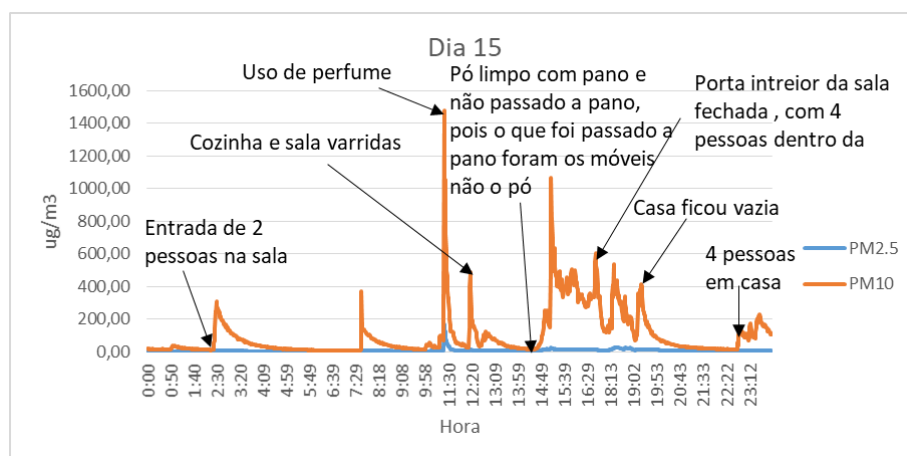


Fig. 4.22- Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 1 ao longo do dia 15 durante a 2ª Campanha

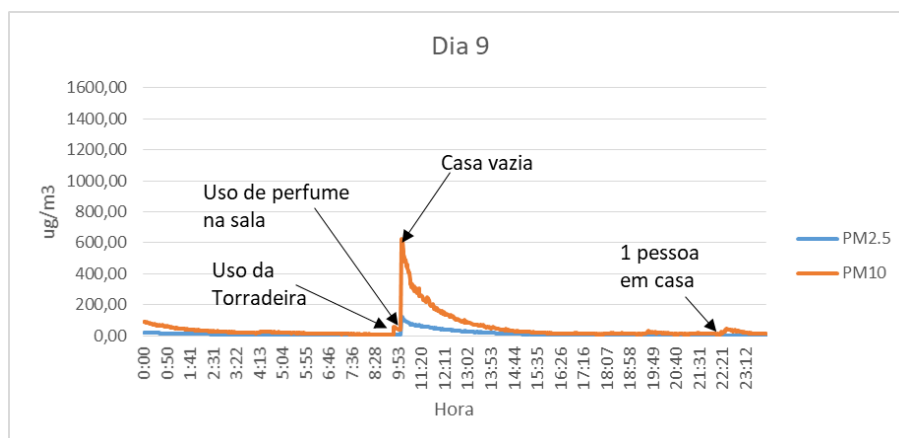


Fig.4.23- Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 3 ao longo do dia 9 durante a 2ª Campanha

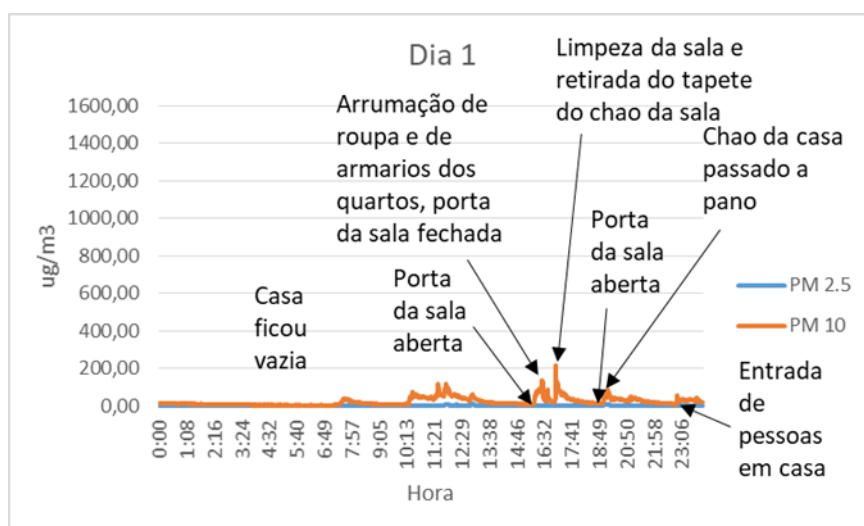


Fig.4.24 - Variação temporal das partículas em suspensão no ar interior da Casa 2 ao longo do dia 1 durante a 2ª Campanha

Os intervalos de concentrações das $\text{PM}_{2,5}$ são estreitos, de acordo com a Fig. 4.25, tendo a Casa 3 apresentado um valor de mediana mais elevado de $5,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A Casa 1 apresentou um valor de $3,91 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e a Casa 2 $2,60 \mu\text{g}/\text{m}^3$. As $\text{PM}_{2,5}$ correspondem a cerca de 13%, 22% e 29% das PM_{10} no ar interior da Casa 1, 2 e 3, respetivamente.

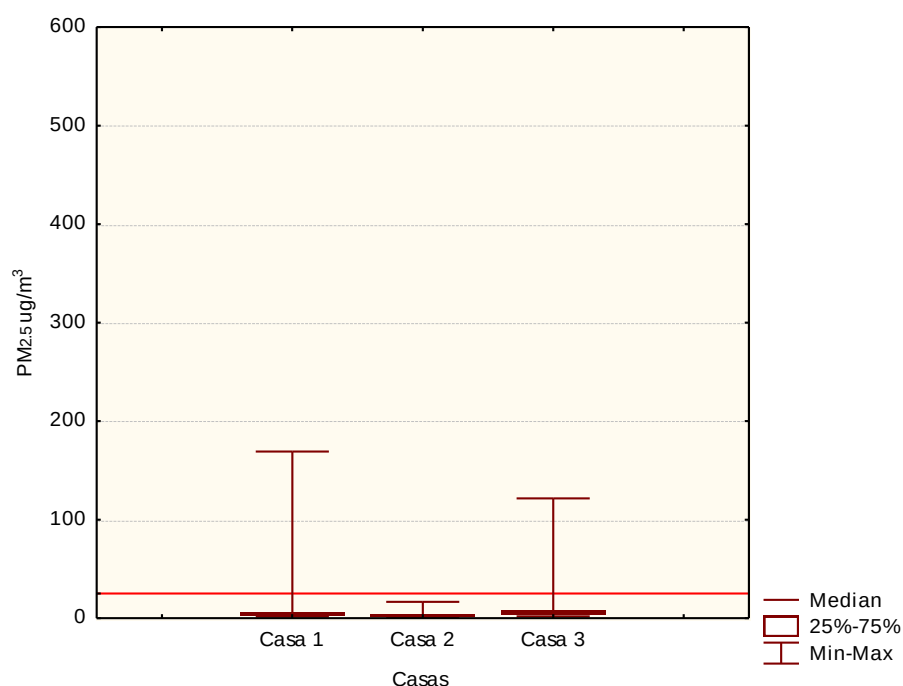


Fig. 4.25 - Concentrações de $PM_{2,5}$ nas várias habitações durante a 2ª Campanha

Verificou-se que para as $PM_{2,5}$ no ar interior da Casa 2 nunca se ultrapassou o limite legal de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pois o valor mais elevado medido foi de $16,56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (no dia 30 de maio às 9:30 horas). Nas Casa 3 e 1, excedeu-se o limite legal, sendo que a Casa 3 ultrapassou esse limite em 3,8% e a Casa 1 em 0,32%. Os valores mais elevados obtidos foram de $121,65 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no dia 9 de junho às 10:45 horas (Fig. 4.23) para a Casa 3, e de $169,21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (no dia 15 de junho às 10:35 horas) para a Casa 1 (Fig. 4.22).

4.3 CAUDAL DE VENTILAÇÃO

A medição do caudal de ventilação foi realizada em duas campanhas diferentes, sempre no início de cada semana como foi descrito no capítulo 3. Na Tabela 4.5 são apresentados os resultados obtidos na 1ª Campanha, onde se indica o valor das renovações por hora (RPH) e os valores médios, para o período de medição, da diferença de temperatura entre o exterior e o interior, da velocidade do vento da direção do vento.

Tabela 4.5- Resultados obtidos para a ventilação na 1ª Campanha

1ª CAMPANHA		RPH [h^{-1}]	ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	VELOCIDADE [km/h]	DIREÇÃO
CASA 1	1º Ensaio	1,19	1,8	4,419	ENE
	2º Ensaio	0,07	5,5	0,106	E
	3º Ensaio	0,497	4,6	0,088	ESSE
	4º Ensaio	0,942	1,5	2,714	S
	5º Ensaio	0,39	5,3		ENE
CASA 2	1º Ensaio	0,27	2,75	1,53	SW
	2º Ensaio	0,19	0,65	0,18	SSW
CASA 3	1º Ensaio	0,14	5	1,32	WNW
	2º Ensaio	0,14	2,53	0,84	NW
	3º Ensaio	0,14	6,75		NNW

Na 1ª Campanha, a taxa de renovação de ar obtida para as diferentes casas é relativamente diferente, com um valor médio de $0,62 \text{ h}^{-1}$ ($DP=0,1 \text{ h}^{-1}$) para a casa 1, $0,23 \text{ h}^{-1}$ ($DP=0,04 \text{ h}^{-1}$) para a casa 2 e $0,14 \text{ h}^{-1}$ ($DP=0 \text{ h}^{-1}$) para a casa 3.

Os valores máximos obtidos para as renovações por hora foram de $1,19 \text{ h}^{-1}$ na casa 1, de $0,27 \text{ h}^{-1}$ na Casa 2 e de $0,14 \text{ h}^{-1}$ na Casa 3. Apesar das condições de ensaio serem as mesmas para os diferentes ensaios, verifica-se alguma variabilidade de valores nas Casas 1 e 2, com coeficientes de variação de 65% e 46%, respetivamente. Já a Casa 3 obteve sempre o mesmo valor de taxa de renovação de ar, coeficiente de variação nulo.

Os resultados obtidos na 2ª Campanha são apresentados na Tabela 4.6. Relativamente aos valores médios das renovações por hora, são de $0,89 \text{ h}^{-1}$ para a casa 1 ($DP=0,28 \text{ h}^{-1}$), $0,75 \text{ h}^{-1}$ ($DP=0,42 \text{ h}^{-1}$) para a Casa 2 e $0,20 \text{ h}^{-1}$ para a Casa 3 ($DP=0,02 \text{ h}^{-1}$). A taxa de renovação horária máxima obtida na Casa 1 foi de $1,28 \text{ h}^{-1}$, na Casa 2 de $1,44 \text{ h}^{-1}$ e na Casa 3 de $0,22 \text{ h}^{-1}$. Verificou-se existir uma variabilidade de resultados para as mesmas condições de ensaio, pois na Casa 1 obteve-se um coeficiente de variação de 32%, na Casa 2 de 56% e na Casa 3 de 9%.

Tabela 4.6- Resultados obtidos para a ventilação na 2ª Campanha

2ª CAMPANHA		RPH [h^{-1}]	ΔT [$^{\circ}\text{C}$]	VELOCIDADE [km/h]	DIREÇÃO
CASA 1	1º Ensaio	1,01	1,32	6,08	WSW
	2º Ensaio	1,28	0,83	10,12	WSW
	3º Ensaio	0,55	1,67	4,79	WSW
	4º Ensaio	0,70	0,04	5,92	WSW
CASA 2	1º Ensaio	0,44	5,01	0,15	SE
	2º Ensaio	1,44	0,76	1,42	WSW
	3º Ensaio	0,70	3,69	0,14	S
	4º Ensaio	0,40	5	0,24	
CASA 3	1º Ensaio	0,22	3,53	1,67	NW
	2º Ensaio	0,17	7,02	0,56	W
	3º Ensaio	0,19	8,01	2,37	NNW
	4º Ensaio	0,21	6,86	1,59	NW

Como foi descrito no capítulo 2, a ventilação natural pode ocorrer devido à ação do vento ou pela diferença de temperaturas. Por esse motivo, analisou-se possíveis correlações entre a taxa de renovação

de ar e a velocidade do vento e a variação de temperatura. Para tal, foram agrupados os valores obtidos para durante as duas campanhas de ensaio.

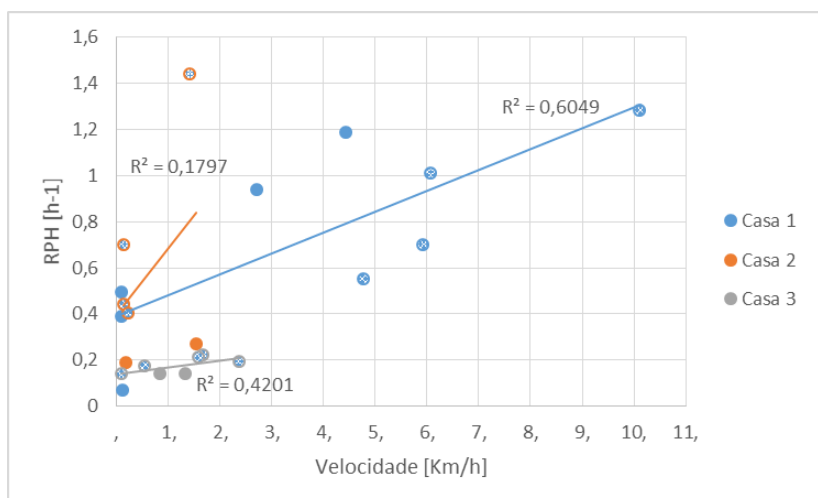


Fig. 4.26- RPH versus Velocidade

Quanto à eventual correlação com a velocidade do vento, verificou-se que esta teve relevância para a taxa de renovação do ar na Casa 1, Fig. 4.26, pois obteve um coeficiente de determinação (R^2) de 0,60. Em relação às outras casas, apurou-se que na Casa 2 a velocidade do vento não teve relevância para a mudança do ar, pois o coeficiente de determinação (R^2) é relativamente baixo na ordem dos 0,18, já na Casa 3 pode-se verificar que esta obteve um R^2 maior que a Casa 2, mas menor que a Casa 1 na ordem dos 0,42. Pode-se concluir, ainda, que na Casa 3 a velocidade do vento também não teve grande significado para a taxa de renovação do ar.

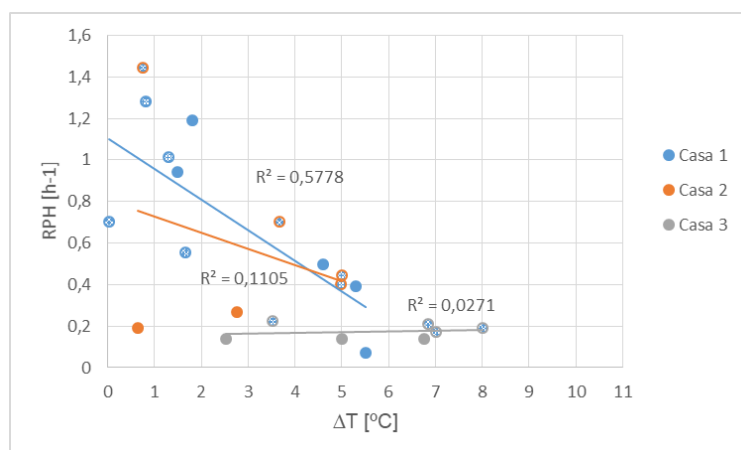


Fig.4.27 - RPH versus Variação da Temperatura

Relativamente à variação de temperatura, apurou-se que apesar de se obter alguns coeficientes de determinação elevados, estes não tiveram grande importância pois só se verifica uma influência da variação de temperatura quando esta é superior a 10°C, Fig. 4. 27.

Feita uma análise global das duas campanhas realizadas, observa-se que é a Casa 1 que tem um valor mais elevado de RPH, 0,737 h⁻¹ e a Casa 3 o valor mais baixo de 0.173 h⁻¹, Tabela 4.7.

Tabela 4.7- Média, desvio padrão e coeficiente de variação do RPH das duas campanhas

	CASA 1	CASA 2	CASA 3
MEDIA	0.737	0.573	0.173
DESVIO PADRÃO	0.377	0.419	0.04
COEFICIENTE DE VARIAÇÃO [%]	51	73	18

Conclui-se que a nível de RPH a Casa 1 > Casa 2 > Casa 3, apesar que o coeficiente de variação seja maior na Casa 2 do que na Casa 1, 73% e 51% respetivamente. Verifica-se também que a casa mais recente, Casa 3, não respeita o limite legal de $0,4 \text{ h}^{-1}$ [7],[8] e [10], e que a casa mais antiga, Casa 1, tem um RPH superior às outras habitações e ao limite imposto pela Norma Portuguesa.

4.4 AVALIAÇÃO GLOBA

Na Tabela 4.8 apresentam-se os valores das medianas das concentrações dos poluentes avaliados durante todo o período de ensaios. Indica-se também as renovações por hora e a velocidade e direção do vento. Na Tabela 4.9 indica-se o número de veículos a passar nas principais vias existentes junto aos edifícios em estudo, de acordo com a informação da Infraestruturas de Portugal e do Instituto da Mobilidade e de transportes.

Tabela 4.8 - Resumo dos resultados obtidos nas duas campanhas para todos os parâmetros analisados

	1ª CAMPANHA			2ª CAMPANHA			CASA VAZIA		
	Casa1	Casa2	Casa3	Casa1	Casa2	Casa3	Casa 1	Casa 2	Casa 3
CO₂ [ppm]	956	583	689	783	958	874	513	815	592
CO [ppm]	0,4	0,1	0,9	0,6	0,6	0,8	0,4	0,4	1
FORMALDEÍDO [ppm]	0,02	0	0,075	0,01	0,04	0,05	-	-	-
PM_{2.5} [µg/m³]	11,72	5,58	5,66	3,91	2,60	5,22	3,21	4,85	3,31
PM₁₀ [µg/m³]	70,92	23,56	14,93	29,04	12,63	20,25	8,56	11,76	6,79
RPH [h⁻¹]	0,62	0,23	0,14	0,89	0,75	0,20	-	-	-
VELOCIDADE DO VENTO [km/h]	0,62	0,13	0,07	4,02	0,27	0,49	-	-	-
DIRECÇÃO DO VENTO	NE	WSW	NW	WSW	SSW	NW	-	-	-

Tabela 4.9 - Descrição do número de veículos a passar nas principais vias importantes ao estudo.

TRÁFEGO MÉDIO DIÁRIO MENSAL DO ANO 2018				
	Março	Abril	Maió	Junho
PENAFIEL – CASTELÕES (A4/A11)	23.419	24.964	25.863	26.069
TRAFEGO MEDIO DIÁRIO ANUAL DO ANO 2017				
PENAFIEL SUL- OLIVEIRA (EN15-FREGUESIA DE CROCA)	5993 (veic./Ano)			
PAREDES- GUILHUFE (EN15-FREGUESIA DE GUILHUFE)	12220 (veic./Ano)			
GUILHUFE- PENAFIEL (IC35-EN15-FREGUESIA DE GUILHUFE)	13824 (veic./Ano)			

No que diz respeito às concentrações do CO₂, verificou-se que há diferenças entre as concentrações obtidas com a Casa vazia e as campanhas. Em relação à Casa 1, conclui-se que tanto na 1ª como na 2ª campanha obteve-se concentrações mais elevadas do que na Casa vazia, sendo que na 1ª campanha este valor foi muito mais elevado. Daqui apurou-se que apesar da Casa 1 ter RHP mais elevadas que as restantes, e por isso ser mais ventilada apesar de ser a mais antiga, esta apresenta sempre maior número de habitantes, 6 pessoas, que as restantes, por isso verifica-se sempre maiores concentrações de CO₂ que as restantes habitações. Verificou-se também que quanto maior é a velocidade do vento, maior é a RHP e como consequência há uma diminuição da concentração do CO₂ na Casa 1, daí a diminuição da concentração entre a 1ª campanha e a 2ª campanha (Tabela 4.7).

Quanto à Casa 2 verificou-se que, ao contrário do que aconteceu na Casa 1, uma concentração mais elevada na 2ª campanha e uma concentração mais baixa na 1ª campanha comparada com a Casa Vazia. Conclui que na 1ª campanha os utilizadores abriram mais as janelas do que na 2ª campanha, causando resultados tão diferentes. Apurou-se que para promover uma diminuição das concentrações do CO₂, esta terá que ser arejada, pois apesar do aumento da RHP e da velocidade do vento estes não influenciaram as concentrações do CO₂ (Tabela 4.7).

Em relação à Casa 3, como aconteceu na Casa 1, tanto na 1ª como na 2ª campanha verificaram-se concentrações mais elevadas do que quando a Casa estava vazia, devido às atividades dos habitantes. Apesar do número de habitantes ser o mesmo em ambas as campanhas, na 2ª campanha obteve-se uma concentração mais elevada que na 1ª campanha, tal como aconteceu na Casa 2. Daí se conclui que as casas mais recentes necessitam de ter mais arejamento que as mais antigas, pois como já referido em cima, apesar de terem uma taxa de renovação do ar e uma velocidade de vento nas proximidades maior, as concentrações do CO₂ são elevadas (Tabela 4.7). As casas mais recentes contêm um sistema de isolamento melhor que as casas mais atingas, mas mesmo entre as casas mais recentes existem diferenças, pois o ar interior da Casa 3 apresenta maiores concentrações de CO₂ do que o da Casa 2, pois esta possui uma caixilharia menos permeável ao ar.

Relativamente às concentrações do CO, verificou-se que a presença de uma via de comunicação próxima da habitação influenciou este parâmetro. Como se pode verificar na Tabela 4.7, o ar interior da Casa 3 é o que apresenta uma maior concentração, pois é a habitação que se encontra mais próxima (cerca de 20 m da Nacional nº 593) de uma via com intenso volume de tráfico (Tabela 4.8). Verificou-se que nas Casa 1 e 2, as concentrações não são tão elevadas como na Casa 3, e que ambas apresentam o mesmo nível quando a casa está vazia, apesar da Casa 1 estar mais próxima da A4 e da Avenida Zeferino de Oliveira que a Casa 2 (Fig. 3.13). Na Casa 1 e 2 a concentração do CO no ar interior foi mais elevada na 2ª campanha, pois o fogão a gás foi utilizado mais vezes e houve uma maior frequência de banho, respetivamente.

Em relação ao formaldeído, observou-se que os maiores níveis foram detetados na Casa 3, pois é a mais recente (construção de 2017). Por outro lado, o revestimento do pavimento é em soalho envernizado, os tetos falsos são em placas de gesso cartonado pintadas, o mobiliário de madeira lacada é muito recente, havendo por isso maior probabilidade de libertação de formaldeído. Também a temperatura interior é a mais elevada das 3 casas, o que favorece a sua volatilização. Nas casas 1 e 2, as temperaturas interiores foram idênticas na 1ª campanha, pelo que a maior concentração de formaldeído na casa 1 resultará sobretudo da existência de mais mobiliário em madeira envernizada e do revestimento de pavimento ser em madeira encerada. Já na 2ª campanha, o ar interior da Casa 2 exibiu uma maior concentração, devido possivelmente à Tint ter sido mais elevada do que na Casa 1.

No que diz respeito às partículas em suspensão, PM_{10} e $PM_{2,5}$, no ar interior da Casa 1 verifica-se que tanto na 1ª como na 2ª campanha obtiveram-se concentrações mais elevadas do que na Casa vazia, o que está de acordo com o expectável. Durante a 1ª campanha, foi ultrapassado o limite legal para as PM_{10} e na 2ª campanha obteve um valor muito próximo da casa vazia para as $PM_{2,5}$. Este valor elevado das PM_{10} dever-se-á principalmente à movimentação dos habitantes e à proximidade da autoestrada A4 e da Avenida Zeferino de Oliveira, pois a direção dominante do vento durante esta campanha foi NE, direção essa perpendicular à parede da fachada da sala que contém a porta. Já em relação à 2ª campanha, houve uma alteração significativa das concentrações que pode estar relacionada com a colocação de barreiras sonoras em toda a extensão da A4, entre os períodos em que decorreram as campanhas. Os dados da Tabela 4.8 mostra que, durante o período em que decorreu a 2ª Campanha, o número de veículos a circular na A4 aumentou, esperando-se, por isso, que houvesse um aumento das concentrações (tendo em conta que o número de habitantes é o mesmo e que a taxa de renovação de ar aumentou neste período). O comportamento oposto ao esperado é justificado pela colocação das barreiras acústicas.

Quanto ao ar interior da Casa 2, este também apresentou valores mais elevados que a Casa vazia na 1ª Campanha, tanto para as PM_{10} como para as $PM_{2,5}$ já na 2ª campanha as PM_{10} têm um valor um pouco diferente e as $PM_{2,5}$ o valor é mais baixo do que a Casa vazia. Comparando as duas campanhas verifica-se uma diminuição acentuada das concentrações das partículas. Esta diferença deve-se principalmente, como foi referido para a Casa 1, à colocação de barreiras acústicas em toda a extensão da A4, pois na 2ª campanha obteve-se taxas de renovação de ar maiores e a velocidade do vento maior do que a 1ª campanha. No entanto as concentrações das partículas diminuíram, o que faz concluir que as condições exteriores se alteraram. Outra contribuição que poderá ter afetado esta diminuição da concentração foi os utilizadores não terem arejado a habitação como na 1ª campanha, pois esta habitação encontra-se mais próxima de campos agrícolas e montes, apesar de não ser o ambiente exterior com maior concentração de partículas.

Relativamente ao ar interior da Casa 3, as variações temporais foram similares aos da Casa 1, pois tanto na 1ª como na 2ª campanha, os níveis foram mais elevados na casa ocupada. Verificou-se que, da 1ª para a 2ª campanha, houve um aumento das concentrações das partículas PM_{10} , pois também houve

um aumento no número de veículos a circular na via existente nas proximidades, na ventilação, RHP e na velocidade do vento, sendo que a direção do vento foi perpendicular à parede de fachada que contém a janela de maiores dimensões da sala.

Comparando as casas em relação ao nível de partículas, verifica-se que o ar interior da Casa 1, apesar de não apresentar um ambiente exterior com maior concentração de partículas, é o mais poluído, pois tem uma melhor ventilação em relação às outras habitações, RHP e velocidade do vento maiores, e para além disso uma direção do vento perpendicular à parede da fachada que contém a porta da sala na 1ª campanha. Em relação às restantes habitações, a Casa 3 está inserida num ambiente exterior menos limpo que o da Casa 2, o que faria pensar que a Casa 3 deveria apresentar sempre concentrações mais elevadas, mas verificou-se o oposto na 1ª campanha devido à influência do tipo de construção, da RHP e da velocidade do vento. Já na 2ª campanha, isso não se verificou, pois os utilizadores da Casa 2 não abriram tanto as janelas como na 1ª campanha e a estrada Nacional nº 593 apresenta um maior número de veículos a circular do que nas vias mais próximas da Casa 2.

Conclui-se que a qualidade do ar interior é influenciada pelas atividades dos ocupantes, pelo tipo de materiais utilizados, i.e. pelas fontes existentes no interior mas também pelo ambiente exterior por penetração do ar exterior no interior. Verificou-se que nas habitações mais próximas de vias de comunicação e em que a ventilação natural da casa seja realizada, há um aumento das concentrações do CO e das partículas em suspensão. Apurou-se que a Casa 3 é a menos eficiente em termos de ventilação, pois tem uma RHP muito baixa devido a ser a casa que contém um sistema de isolamento melhor.

5

CONCLUSÃO

5.1 CONCLUSOES PRINCIPAIS

A ventilação de uma casa tem grande influência na qualidade do ar interior da mesma. Este trabalho focou-se na avaliação da qualidade do ar interior e no caudal de ventilação em diferentes habitações, com anos distintos de construção.

As conclusões principais resultantes desta dissertação são as seguintes:

- A QAI está interligada com as fontes poluidoras existentes no interior, com a ventilação, mas também com as fontes exteriores existentes na proximidade da habitação.
- Nas habitações caracterizadas neste trabalho, uma maior taxa de renovação do ar interior promoveu globalmente um menor nível dos poluentes analisados.
- As casas mais recentes apresentaram níveis de concentração do CO₂ mais elevados, pois têm uma menor taxa de renovação por serem mais estanques ao ar e não possuírem dispositivos que garantam uma ventilação adequada.
- A casa mais próxima de uma importante via de comunicação (Casa 3) apresentou níveis de CO mais elevados, sobretudo quando as janelas eram abertas regularmente.
- Quanto ao formaldeído concluiu-se que a casa mais recente, neste caso a Casa 3, construída em 2017, apresentava concentrações mais elevadas em comparação com as restantes.
- As concentrações dos níveis de partículas no ar interior são significativamente influenciadas pela presença de pessoas, atividades desenvolvidas e pelo ambiente exterior, pois observou-se uma grande variação dos níveis quando as habitações estavam vazias ou ocupadas.
- Quando sem ocupantes, a habitação que contém alvenaria de pedra com juntas de argamassa de cal (Casa2) apresentou maior concentração de partículas, pois há a libertação da argamassa das juntas.
- A casa mais antiga (Casa 1) tem maior influência do ambiente exterior a nível de partículas, pois apesar da casa mais recente se encontrar num ambiente exterior mais poluído, é a mais antiga que apresenta globalmente concentrações mais elevadas visto ter uma taxa de renovação de ar maior.
- A colocação de barreiras sonoras em toda a extensão da A4 teve um impacto positivo no nível de partículas na Casa 1.
- Na casa mais antiga (Casa 1) o caudal de ventilação medido foi maior do que nas casas mais recentes, pois as mais recentes apresentam dispositivos que garantem uma maior estanquidade ao ar dos edifícios, nomeadamente ao nível dos vãos.

5.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Tendo em consideração a influência significativa da QAI e do caudal de ventilação nas habitações, sugere-se a continuidade desta dissertação, nomeadamente:

- Alargar a duração da amostragem no ar interior com as habitações desocupadas;
- Aumentar a duração da amostragem para caracterização da qualidade do ar exterior;
- Alargar o período de ensaios nas diferentes habitações, de modo a que seja possível analisar dois períodos de tempo diferentes, um de verão outro de inverno, para se poder fazer uma análise crítica dos possíveis efeitos que a temperatura e a humidade têm nos poluentes analisados;
- Analisar os níveis de compostos orgânicos voláteis totais no ar interior e exterior para caracterizar o impacto dos materiais de construção e das diferentes estações do ano;
- Realizar mais ensaios de medição do caudal de ventilação para caracterizar o efeito nas alterações das concentrações dos poluentes (diluição ou aumento da concentração);
- Elaborar uma listagem de boas práticas para a construção de habitações para melhoria da QAI, considerando a localização geográfica da mesma.

Referências Bibliográfica

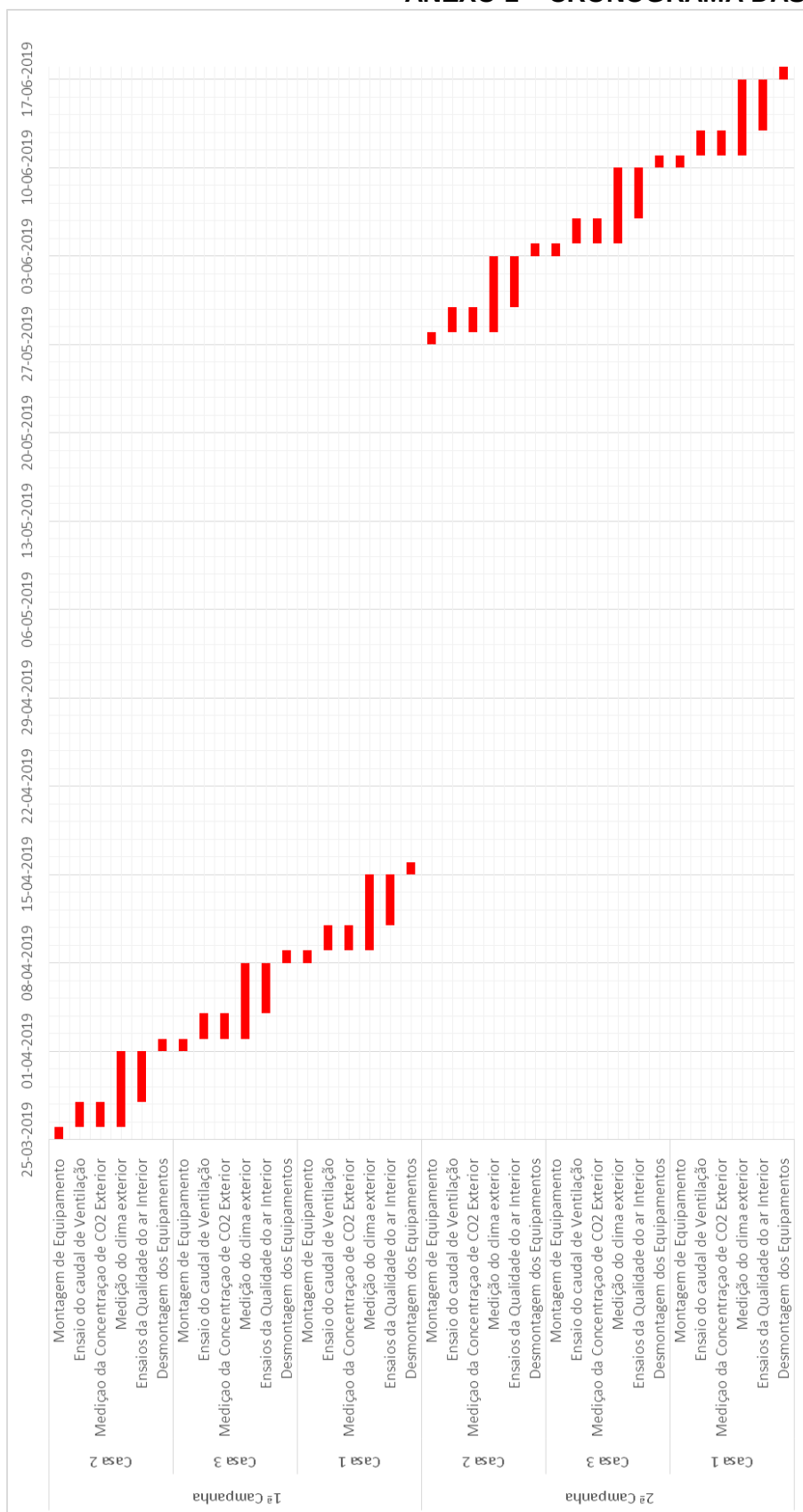
- [1] Manuel Pinto, V. P. (Setembro de 2007). Destaque - Eficiência Energética nos Edifícios. Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios de Habitação, (pp. 34-43).
- [2] Almeida, R. M. (2011). Avaliação do Desempenho Hidrotérmicos do Parque Escolar Reabilitado. Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [3] Amaral, M. A. (2008). Sistemas de Ventilação De Natural e Mistos Em Edifícios de Habitação, Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [4] Klara Slezakova, S. M. (2012). Indoor Air Pollutants: Relevant Aspects and Health Impacts. Em In Environmental Health – Emerging Issues and Practice (pp. 125-146). Rijeka, Croácia: InTech
- [5] Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. (2013). Em ASHRAE 62.1.
- [6] Pinto, A. (2006). Qualidade do ar em edifícios de habitação recomendação para caudais de ventilação.
- [7] Diário da República n.º 67/2006, Série I-A de 2006-04-04.Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios. Decreto-Lei nº79/2006.(pp. 2416 – 2468).
- [8] Diário da República n.º 235/2013, 1º Suplemento, Série I de 2013-12-04.Regulamento de Desempenho Energético dos Edifícios de Comércio e Serviços. Em Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior. Portaria nº353-A/2013.(pp. 6644-(2) a 6644-(9))
- [9] Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios. Decreto-Lei nº40/90, 6 de Fevereiro.
- [10] Parte 1: Edifícios de Habitação. Ventilação Natural. Em Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás, NP 1037-1, 2002.
- [11] Lopes, A. (12 de Março de 2019). APOPartner. Obtido de <https://www.apopartner.pt/qualidade-do-ar-interior/>.
- [12] Qualidade do ar em espaços interiores. (2009). Em Agencia Portuguesa do Ambiente. Amadora.
- [13] DGS e SNS. (12 de Março de 2019). Obtido de <https://www.dgs.pt/saude-ambiental/areas-de-intervencao/ar/ar-interior/fontes-de-poluicao-do-ar-interior.aspx>.
- [14] Dorer, V., & Andreas Pfeiffer, A. W. (March 2005). Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings. Em *Technical Note 59, Annex 5-AIVC*. IEA-ECBCS.
- [15] Viegas, J. (1995). Ventilação Natural de Edifícios de Habitação, CED 4, LNEC, Lisboa.
- [16] Viegas, J.(2000). Contribuição da Ventilação para a Qualidade do Ambiente Interior em Edifícios, Seminário Ambiente em Edifícios Urbanos, LNEC, Lisboa.
- [17] BSI.(1980). Code of Practice for Design of Buildings. Ventilation Principles and Designing for Natural Ventilation, BS 5 925, British Standards Institution, London.
- [18] CEN.(1998).Ventilation for Buildings. Design Criteria for the Indoor Environment, CR 1752, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- [19] Joseph M. Seguel, M. R. (Jul • Aug 2017). THEMED REVIEW- Indoor Air Quality. American

- Journal of Lifestyle Medicine, (pp. 248-295).
- [20] Danh C. Vu, T. L.-H. Assessment of indoor volatile organic compounds in Head Start child care facilities,. In *Atmospheric Environment* (p. Volume 215)
- [21] K. Hess-kosa. (2011). Volatile Organic Compounds. In *Indoor Air Quality: The Latest Sampling and Analytical Methods*, (pp. 135-162). CRC PRESS.
- [22] Silva, G. (2000). *Estudo de Emissões de COVs por Materiais usados em Interiores de Edifícios*. Tese de Doutoramento Submetida à FCUP.
- [23] ASHRAE. (2005). *Fundamentals Handbook*, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers. Atlanta.
- [24] Carvalho, F. et al. (2006). *Exposure to Ionizing Radiation and Dangerous Substances inside Buildings Related to Construction Products, 8th Healthy Buildings Conference*. Lisbon, Portugal.
- [25] Awbi, H. (2003). *Ventilation of Buildings Second Edition*. Spon Press
- [26] Wargocki, Pawel. (2004). Sensory pollution sources in buildings. *Indoor air*. 14 Suppl 7. (pp. 82-91)
- [27] LNEC. (Janeiro de 2006). *Ventilação Mecânica de Edifícios de Habitação- Relatório01/2006 - NCI*. Lisboa
- [28] Marta Oliveira, K. S.-M. (01 Jun 2017.). Indoor air quality in preschools (3- to 5-year-old children) in the Northeast of Portugal during spring–summer season: pollutants and comfort parameters. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*,(pp. 740-755).
- [29] Klara Slezakovaa, b. C. (2018). Indoor air quality in health clubs: Impact of occupancy and type of performed activities on exposure levels. *Journal of Hazardous Materials*,(pp. 56-66).
- [30] Almeida, R. M. (2011). *Avaliação do desempenho Hidromotriz do Parque Escolar Reabilitado*. Doutoramento , Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- [31] Santos, J. P. (2009). AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DOS NÍVEIS DE QUALIDADE DE AR INTERIOR EM QUARTOS DE DORMIR. Em *PATORREB* (pp. 577-582).
- [32] M.S.F.Almeida, R., Barreira, E., & Moreira, P. (2017). Assessing the variability of the air change rate through tracer gas measurements. *Energy Procedia*, (pp.813-836).
- [33]TELAIRE 7001. (15 de Março de 2019). Obtido de <http://www.idlboise.com/sites/default/files/Telaire7000%20manual.pdf>
- [34] (15 de Março de 2019). Obtido de GRAYWOLF SENSING SOLUTIONS: <https://graywolfsensing.com/iaq/>
- [35] (15 de Março de 2019). Obtido de LIGHTHOUSE WORLDWIDE SOLUTIONS: https://www.mcgill.ca/epibiostatocch/files/epibiostatocch/particle_counter_lighthouse_2016_user_manual.pdf.
- [36] Santos, J. P. (2008). *Avaliação Experimental dos Níveis de Qualidade do ar interior em quartos de dormir- Um caso de Estudo* . Lisboa : Doutoramento da Faculdade de Ciência e Tecnologia.
- [37] (16 de Março de 2019). Obtido de VentilAirsec: <http://www.ventilairsec.pt/ventilacao-mecanica-insuflacao.html>.

- [38] Heiselberg, P.(2002). *HYBVENT: Principles of Hybrid Ventilation*, Hybrid Ventilation Center - Aalborg University: Aalborg, Denmark.
- [39] Schild, P.G.(2002) *RESHYVENT: State of the art of low-energy residential ventilation*. Norwegian Building Research Institute (NBI): Norway.
- [40] (2003), FranceAir, Guia de Soluções de Aerólca de Climatização Edição 2003/2004.
- [41] Gonçalves, H. (2004). *Conceitos Bioclimáticos para os Edifícios em Portugal*, J.M. Graça, Editor. Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI): Lisboa, Portugal.
- [42] LIDDAMENT, M. W.(1996), *A guide to energy efficient ventilation*. AIVC, Great Britain.
- [43] ASTM.(2000). *Standard test method for determining air change in a single zone by means of a tracer gas dilution*, E 741-00. American Society for Testing Materials. West Conshohocken, USA.

Anexos

ANEXO 1 – CRONOGRAMA DAS CAMPANHA



ANEXO 2 – DIÁRIO DE ACTIVIDADES

Registo de Atividades da 1ª Campanha Casa1				
Observações	Dia	Hora	Nº de aberturas	Tempo
Porta				
9/04-Portas exteriores fechadas, portas interiores abertas 10/04-Portas exteriores abertas das 13:30 às 14:20, portas interiores abertas 11/04- Porta exterior da sala aberta por volta das 10:45 e fechada às 12:05, portas interiores dos quartos abertas e fechadas por volta das 12:06, porta exterior da cozinha aberta às 11:00 e fechada às 15:37 11/04-Portas interior abertas e porta exterior fechada na parte da manhã, na parte da tarde, as portas interiores dos quartos fechados e porta exterior da cozinha aberta, à noite portas interiores abertas e porta exterior fechada. 12/04- Portas interiores abertas e porta exterior aberta da cozinha até às 17:00 13/04- Portas interiores abertas, porta exterior da cozinha aberta às 9:38 e fechada às 16:53, porta exterior da sala aberta às 11:52 e fechada às 16:53 14/04-Porta exterior da sala aberta às 10:35, porta exterior da cozinha às 10:56, porta exterior da sala fechada às 14:00, porta exterior da cozinha fechada às 18:30, porta da cozinha abertas às 19:05 e fechada às 19:30, portas interiores abertas até à hora do almoço e até à hora do jantar				
Janela				
9/04- Janelas fechadas 10/04- Janelas fechadas 11/04- Janelas dos quartos abertas às 10:06 e fechadas por volta das 15:00, janela da cozinha aberta às 13:30 até às 15:45 12/04- Janelas dos quartos abertas por volta das 11:30 e fechadas às 18:00 13/04- Janelas dos quartos abertas às 11:00 e fechadas às 17:00 14/04- Janelas dos quartos aberta às 11:00 e fechada por volta das 15:00				
Tabaco				
Fumar na varanda				
Aspirador				
Varrer				
09/04- Cozinha varrida às 12:30 10/04- Cozinha varrida às 10:10 11/04- Varreu-se a sala e a cozinha por volta das 10:30 e 13:30 12/04-Varreu-se o chão da cozinha, sala e casa de banho por volta das 13:42				

14/04- Varreu-se a cozinha por volta das 13:30
Limpeza
13/04- Limpeza geral da casa
Roupa
Tapetes
Existe um tapete na sala 13/04- Foi retirado o tapete da sala durante 4 horas
Produtos de Limpeza /Químicos
10/04- Fogão limpo com anti - gorduras, uso de verniz das unhas às 20:30 11/04- Limpeza da casa de banho com lava tudo e Multiusos 12/04- Usou-se multiusos e lava tudo para a cozinha e casa de banho por volta das 12:26 e 13:25, uso de perfume na sala por volta das 8:10 13/04- Foi usado Cif e Multiusos na casa de banho e cozinha
Lareira
9/04- Lareira ligada por volta das 18:30 10/04- Lareira ligada por volta das 18:14
Cozinhar
Sempre que se utilizou o fogão ligou-se o exaustor 9/04- Preparação do almoço por volta das 12:30, preparação do jantar por volta das 18:30 10/04- Preparação do almoço por volta das 12:00, preparação do jantar às 18:19 11/04- Preparação do almoço às 12:00, preparação do jantar às 18:30, utilizou-se a torradeira às 16:00 12/04- Preparação do almoço, por volta das 12:00, preparação do jantar por volta das 18:30 13/04- Preparação do almoço às 11:20 14/04- Preparação do almoço às 11:20, preparação do jantar às 20:27
Ambientadores
Não existe ambientador na sala. 12/04- Usou-se ambientador por volta da 21:08
Número de Ocupantes
9/04- 3 Pessoas, 5 pessoas na hora do almoço, 6 pessoas na hora do jantar 10/04- 3 Pessoas, 5 pessoas na hora do almoço, 6 pessoas na hora do jantar 11/04- 3 Pessoas de manhã, 5 pessoas ao almoço, 2 pessoas de tarde e 6 pessoas ao jantar 12/04- 2 Pessoas de manhã, 4 pessoas ao almoço, 3 pessoas de tarde, 6 pessoas ao jantar

13/04- 3 Pessoas de manhã, 7 pessoas ao almoço, 4 pessoas até às 14:40, 3 pessoas das 14:40 até às 19:00, 7 pessoas ao jantar

14/04- 5 Pessoas de manhã, 7 pessoas ao almoço, 11 pessoas de tarde das 15:00 às 17:00, 5 pessoas ao jantar

Conteúdos da Sala

	Existe	Não Existe	Quantos
Sofá	X		1
Cortinas	X		1
Tapetes	X		1
Moveis	X		2
Televisões	X		1
Flores		X	
Telefones		X	
Mantas	X		2
Almofadas	X		4
Livros	X		Muitos
Roupa		X	
Quadros	X		2
Relógio de Parede		X	
Cadeiras	X		2
Mesas	X		1

Registo de Atividades 1ª Campanha Casa 2				
Observações	Dia	Hora	Nº de aberturas	Tempo
Porta				
26/03 - Porta interior e exterior aberta às 11:38; Porta do corredor fechada por volta das 12:00 27/03- Portas interiores e exteriores abertas às 10:00; Todas as portas foram fechadas às 11:30; Da parte da tarde todas as porta foram abertas às 15:10 e fechadas por volta das 18:00 28/03- A porta exterior da cozinha foi aberta por volta das 9:30, e a porta de um dos quartos aberta às 9:30, todas as portas foram fechadas por volta das 18:00 29/03- Portas abertas às 9:00, porta exterior fechada às 15:00 30/03- Portas abertas às 9:30, fechadas por volta da 10:00, abertas às 13:50, Portas fechadas por volta das 19:30 31/03- Casa fechada todo o dia				
Janela				
26/03 - Janelas dos quartos e da sala abertas às 11:38 e foram fechadas às 12:30 27/03- Janelas dos quartos abertos às 10:00 e janelas da sala aberta às 11:10, todas as janelas foram fechadas às 11:30. Da parte da tarde todas as janelas foram abertas às 15:10 e fechadas às 17:00 28/03-Janelas da sala e de um quarto abertas por volta das 9:30, A janela da sala fechada por volta das 11:45. Todas as janelas foram fechadas por volta das 18:55 29/03- Todas as janelas abertas às 9:00; Todas as janelas fechadas por volta das 15:00 30/03- Janelas dos quartos abertos por volta das 13:50, Janelas da cozinha abertas por volta das 14:20, Janelas das cozinhas fechadas por volta das 17:30, Janelas do quarto principal fechadas por volta das 19:00, janelas da sala não foram abertas 31/03- Casa fechada o dia todo				
Tabaco				
Aspirador				
Varrer				
26/03- Varreu-se a cozinha por volta das 13:00 27/03- Varreu-se a cozinha por volta das 22:00 29/03-Varreu-se a cozinha por volta das 14:00				
Limpezas				
30/03 - Casa limpa,				

Roupa
27/03- Foi colocada roupa em cima do sofá
28/03- Não tem roupa
Tapetes
26/03- Contém um tapete no chão da sala
27/03- Contém um tapete no chão da sala
28/03- Contém um tapete no chão da sala
29/03- Contém um tapete no chão 30/03- não contém tapete no chão
Produtos de Limpeza /Químicos
29/03- Cozinha passada a pano com o produto lava tudo perfumado; Lareira
26/03- Fogão de lenha foi ligado por volta das 19:00 até 23:00
Cozinhar
26/03- Preparação do almoço por volta das 11:30;
27/03 - Utilização do fogão às 17:10; Preparação do jantar às 18:00
28/03- Preparação do almoço por volta das 11:45
29/03- Preparação do almoço às 11:10, preparação do jantar por volta das 19:30
Ambientadores
26/03- Foi utilizado ambientador na casa de banho
27/03- Foi utilizado ambientador na casa de banho
28/03- Foi utilizado ambientador na casa de banho
29/03- Foi utilizado ambientador na casa de banho
30/03- Foi utilizado ambientador na casa de banho
Número de Ocupantes
26/03- 5 Pessoas no período da manhã, sendo que a casa esteve vazia desde 13:10 até as 18:00, das 18:00 até as 20:30 teve 1 pessoas e das 20:30 para a frente teve 3 pessoas;
27/03- 4 Pessoas durante o dia, A partir das 19:30 2 pessoas
28/03- 4 Pessoas
29/03- 4 Pessoas de manhã, parte de tarde 3 pessoas
30/03- 2 Pessoas

Conteúdos da Sala			
	Existe	Não Existe	Quantos
Sofá	X		1
Cortinas	X		4
Tapetes	X		1
Moveis	X		3
Televisões		X	
Flores		X	
Telefones	X		
Mantas		X	
Almofadas	X		2
Livros		X	
Roupa	X		1
Quadros	X		2
Relógio de Parede	X		1

Registo de Atividades 1º Campanha Casa 3				
Observações	Dia	Hora	Nº de aberturas	Tempo
Porta				
2/04- Portas interiores abertas às 10:00, Porta exterior da cozinha aberta às 13:10 3/04-Portas interior abertas às 10:00, porta exterior da cozinha aberta das 10:00 até 12:00 4/04- Porta exterior da cozinha aberta às 11:00, porta interior aberta, porta exterior da cozinha fechada às 13:00 0 5/04- Portas abertas às 11:30. Portas fechadas por volta das 13:30 6/04- Porta interior da sala fechada por volta das 13:00 7/04- Portas exteriores fechadas, portas interiores abertas				
Janela				
2/04- Janela do quarto aberta às 10:00 e fechada 14:29 3/04- Todas as janelas abertas 10:00 e fechadas às 12:00 4/04- Todas as janelas abertas 11:00, todas as janelas fechadas 13:00 05/04- Janelas abertas às 11:30 e fechadas às 12:30 6/04- Janelas fechadas de manhã e de tarde, 7/04- Janelas fechadas				
Tabaco				
Aspirador				
4/04- Sala aspirada às 19:00, e toda a casa 7/04- Toda a casa aspirada às 21:00				
Varrer				
2/04- Cozinha e sala foram varridas às 14:00 e a cozinha novamente às 22:00 3/04- Cozinha e sala foram varridas às 22:00 4/04- Cozinha e sala varridas às 13:30 6/04- Cozinha e sala varridas por volta das 18:00 7/04- Cozinha e sala varridas às 21:00				
Limpeza				
4/04- Todo o chão da casa foi passado com a esfregona, com líquido sonasol 07/04- Todo o chão da casa foi passado com a esfregona, com líquido sonasol, pó foi limpo				
Roupa				
Tapetes				
Há tapetes na cozinha, all de entrada e na casa de banho				
Produtos de Limpeza /Químicos				

4/04- Chão de toda a casa foi passado a pano com Sonasol para madeiras, o fogão foi limpo igualmente com Cif

7/04- Chao de toda a casa foi passado a pano com Sonasol para madeiras, o fogão foi limpo igualmente com Cif

Lareira

Não tem lareira

7/04- Aquecedor ligado às 20:00

Cozinhar

2/04- Preparação do almoço às 13:10 (exaustor ligado)

3/04- Preparação do jantar, ligou-se o forno por volta das 19:00

4/04- Utilizou-se a torradeira, preparação do jantar, ligou-se o exaustor

5/04- Preparação do almoço 13:00, ligou-se o exaustor, uso da torradeira 15:23 e 17:00

6/04- Foi utilizada a torradeira, preparação do almoço às 13:00

Ambientadores

Existe um ambientador ligado (sempre) no all de entrada

Número de Ocupantes

2/04- 2 Pessoas até às 10:00, 1 pessoa até às 14:30, 3 pessoas das 14:30 até 15:50, 2 pessoas a partir das 20:00

3/03- 1 Pessoa até às 14:30, 3 pessoas das 14:30 até às 16:00, 4 pessoas das 18:30, 6 pessoas ao jantar das 20:30 até às 22:30

4/04- 1 Pessoa de manhã, 2 pessoas a partir das 18:30

5/04- 1 Pessoa na parte da manhã, 2 pessoas às 15:15, 3 pessoas às 20:00, casa vazia entre 22:00 e 24:20

6/04- 2 Pessoas na parte da manhã

7/04- 2 Pessoas da parte da manhã até às 12:00, das 12:00 até às 19:30 casa vazia, 2 pessoas depois da 1:30

Conteúdos da Sala			
	Existe	Não Existe	Quantos
Sofá	X		1
Cortinas	X		2
Tapetes		X	
Moveis	X		3
Televisões	X		1
Flores	X		1
Telefones		X	
Mantas	X		
Candeeiros de pé	X		1
Cadeiras	X		6

Registo de Atividades 2ª Campanha Casa 1				
Observações	Dia	Hora	Nº de aberturas	Tempo
Porta				
11/06 - Porta da Cozinha e da sala aberta às 13:30, tudo fechado por volta das 14:11				
12/06 -Porta da sala fechada por volta das 00:30, aberta às 8:30, portas todas fechadas por volta das 13:42. Porta da sala aberta às 18:32. Porta da cozinha aberta às 19:00 até às 20:42. Porta exterior da sala aberta às 20:38 e fechada às 20:42.				
13/06 -Porta interior da sala aberta às 10:00, porta exterior aberta às 10:27 e fechada às 11:12. Porta da cozinha aberta às 10:27. Porta exterior da sala aberta às 17:05 e fechada às 17:42. Porta exterior da sala aberta às 19:25 e fechada às 20:00				
14/06 -Porta interior da sala fechada por volta da 1:00 e aberta às 9:27. Porta da cozinha aberta às 9:27. Porta exterior da sala aberta às 10:36 e fechada às 11:08. Porta exterior da sala abertas as 18:06 e fechada a 18:42				
15/06 - Porta interior fechada à 1:00, aberta às 9:56. Porta exterior da sala aberta às 10:27 e fechada às 11:08. Porta interior da sala fechada às 12:49 e aberta às 14:31, fechada às 15:32. Porta exterior da sala aberta às 17:14 e fechada às 18:08				
16/06 -Porta interior da sala fechada por volta da 1:00 e aberta às 10:03. Porta exterior da sala aberta às 10:25 e fechadas às 11:15. Porta da cozinha aberta das 14:30 até às 17:00. Porta exterior da sala aberta às 21:36 e fechadas às 22:00				
Janela				
11/06 -Janelas dos quartos abertas às 9:40 e fechadas às 13:26				
12/06 -Janelas abertas às 8:30				
13/06 -Janelas das quartos abertas às 11:12, janela da cozinha aberta às 13:44, todas as janelas foram fechadas por volta das 17:05, janelas do quarto abertas às 21:45 e fechadas às 23:00				
14/06 -Janelas dos quartos abertas às 12:05 e fechadas por volta das 14:13				
15/06 -Janelas dos quartos abertas às 9:45				
Tabaco				
Aspirador				
15/06 -Casa aspirada às 14:30				
Varrer				
11/06 -Sala e cozinha varridas às 10:00, cozinha varrida às 13:41				
13/06 -Cozinha varrida às 13:44, e casa varrida às 11:20				
15/06 -Cozinha e sala varridas às 12:12				
16/06 -Cozinha varrida às 11:50, cozinha varrida às 17:05				
Limpeza				
14/06 -Casa de banho foi limpa às 13:35				
Roupa				
Tapetes				
Sala contém um tapete				
Produtos de Limpeza /Químicos				

14/06- Uso de Sonasol na casa de banho

Lareira

Cozinhar

11/06-Preparação do almoço às 11:00 e o jantar às 19:45

12/06-Preparação do almoço às 12:10 e o jantar às 19:00

13/06-Preparação do almoço às 11:25, preparação do jantar às 19:31

14/06-Preparação do almoço às 10:45, preparação do jantar por volta das 19:00

15/06-Preparação do almoço por volta das 12:00

16/06-Preparação do almoço por volta das 11:15 (forno ligado por volta das 11:00). Preparação do jantar por volta das 20:00

Ambientadores

Sem ambientadores em casa

12/06-Uso de perfume na sala às 9:00

13/06-Uso de perfume na sala às 21:45

14/06-Ambientador ligado no quarto às 13:03 e desligado por volta das 14:13

15/06-Perfume na sala às 11:22

Número de Ocupantes

11/06-5 Pessoas ao almoço, 1 pessoa em casa das 14:00 até às 19:45 e 4 pessoas ao jantar

12/06-Casa vazia entre as 9:00 e as 11:45, 2 pessoas em casa durante a tarde, 4 pessoas ao jantar, 2 pessoas na sala das 20:50 até às 22:27

13/06-4 Pessoas ao almoço, 5 pessoas ao jantar, 3 pessoas na sala das 20:30 até às 21:45

14/06-4 Pessoas ao almoço, 2 pessoas na parte da tarde, 4 pessoas ao jantar

15/06-2 Pessoas na sala por volta das 2:23, 3 pessoas na parte da manhã, 4 pessoas das 15:00 às 16:30. 4 Pessoas na sala das 16:30 até às 18:00. Casa vazia das 19:20 até às 22:00

16/06-5 Pessoas na parte da manhã, 7 pessoas ao almoço, 5 pessoas na sala entre as 14:30 até às 17:00, 8 pessoas ao jantar, 4 pessoas na sala das 14:00 até às 17:00. Casa vazia das 17:00 até às 20:00. 4 Pessoas na sala das 22:42 até às 0:00.

Conteúdos da Sala			
	Existe	Não Existe	Quantos
Sofá	X		1
Cortinas	X		1
Tapetes	X		1
Moveis	X		2
Televisões	X		1
Flores		X	
Telefones		X	
Mantas	X		2
Almofadas	X		4
Livros	X		Muitos
Roupa		X	
Quadros	X		2
Relógio de Parede		X	
Cadeiras	X		2
Mesas	X		1

Registo de Atividades 2ª Campanha Casa 2				
Observações	Dia	Hora	Nº de aberturas	Tempo
Porta				
28/05 -Portas todas fechadas às 14:36				
29/05 -Portas todas fechadas às 9:44 e abertas às 12:20. Tudo fechado às 13:25 e aberto às 16:30				
30/05 -Porta exterior da sala aberta às 17:07 e fechada às 18:04				
31/05 -Porta exterior da sala aberta às 14:34 e fechada às 15:04. Porta exterior da sala aberta às 17:47 e fechada às 18:23				
1/06 -Porta exterior da sala aberta às 15:30 e fechada às 16:07. Porta exterior da sala aberta às 19:01 e fechada às 19:39				
Janela				
28/05 -Janelas abertas às 11:30 e fechadas às 13:30. Janelas abertas às 17:10 e fechadas às 17:20. Porta do corredor e porta da cozinha aberta às 16:50 e fechadas às 19:00				
29/05 -Janelas das quartas abertas às 9:00 e fechadas às 9:44. Janelas abertas às 12:20 e fechadas às 13:25				
30/05 -Janelas da sala e dos quartos abertas às 21:30 e fechadas às 22:00				
31/05 -Janelas dos quartos e das salas abertas às 12:30 e fechadas às 13:30. Janelas da sala abertas às 14:00 e fechadas às 15:15				
Tabaco				
Aspirador				
Varrer				
28/05 -Cozinha varrida às 13:15				
29/05 -Cozinha varrida às 22:00				
31/05 -Cozinha varrida às 13:00				
Limpeza				
1/06 -Casa arrumada. Chão da casa passado com espanador às 19:50				
Roupa				
31/05 -Passou-se roupa a ferro na cozinha.				
1/06 -Arrumou-se roupa nos quartos por volta das 16:00				
Tapetes				
Tem um tapete no chão da sala				
Produtos de Limpeza /Químicos				
31/05 -Uso de perfume na sala às 14:45				
Lareira				
Cozinhar				
28/05 -Preparação do almoço às 11:45, preparação do jantar às 20:00 (pimento assado no fogão)				
29/05 -Preparação do almoço às 12:10. Preparação do jantar às 19:00				
30/05 -Preparação do jantar às 19:00				
31/05 -Preparação do jantar às 18:10				
Ambientadores				
Não tem ambientador na casa				

Número de Ocupantes
28/05 -2 Pessoas de manhã e 3 pessoas à tarde
29/05 -5 Pessoas de manhã, 6 pessoas ao almoço
30/05 -Casa vazia das 9:00 às 17:00, 3 pessoas de tarde
31/05 -2 Pessoas de manhã
1/06 -2 Pessoas de manhã e 3 pessoas de tarde. Casa vazia entre as 20:40 e as 22:30
2/06 -Casa vazia das 9:00 até às 20:00

Conteúdos da Sala			
	Existe	Não Existe	Quantos
Sofá	X		1
Cortinas	X		4
Tapetes	X		1
Moveis	X		3
Televisões	X		1
Flores		X	
Telefones	X		
Mantas		X	
Almofadas	X		4
Livros		X	
Roupa		X	1
Quadros	X		2
Relógio de Parede	X		1

Registo de Atividades 2º Campanha Casa 3				
Observações	Dia	Hora	Nº de aberturas	Tempo
Porta				
4/06 -Porta da cozinha aberta a noite toda, porta da cozinha fechada às 10:58. Porta da cozinha aberta às 12:27. Porta interior da sala fechada às 21:00. Porta da cozinha fechada às 22:21 5/06 -Porta da cozinha aberta às 9:30. Todas as portas fechadas às 10:08. Porta da cozinha aberta às 13:11. Tudo fechado às 14:02. Porta da cozinha aberta às 20:20. 6/06 -Porta da cozinha aberta desde as 9:30 até às 14:30. Porta da cozinha aberta às 19:50 e fechada às 22:55 8/06 -Porta da cozinha aberta às 11:15 9/06 -Porta da cozinha aberta às 9:00 e fechada às 9:20				
Janela				
4/06 -Janelas da sala abertas a noite toda. Janelas dos quartos abertas às 9:39. Todas as janelas fechadas às 10:58. Janelas da sala abertas às 12:27 e fechadas às 12:51. Todas as janelas abertas às 16:15. Janelas dos quartos fechadas às 22:21 5/06 -Janelas da sala e dos quartos abertos às 9:30. Todas as janelas fechadas às 10:08. Janelas dos quartos e da sala abertas às 13:11. Tudo fechado às 14:02. Janelas abertas às 20:20 6/06 -Janelas abertas às 9:30. Janelas da sala fechadas às 15:42. Janelas dos quartos fechadas às 21:00 7/06 -Janelas da sala e dos quartos abertos às 10:00 e fechadas às 20:30 8/06 -Janelas da sala abertas às 11:15 e fechadas às 14:50 9/06 -Janelas abertas às 9:10				
Tabaco				
Aspirador				
8/06 -Casa aspirada às 13:57, sala aspirada às 14:50				
Varrer				
4/06 -Cozinha varrida às 22:20				
Limpeza				
8/06 -Limpeza do pó e dos vidros com um pano às 11:45. Sala passada a pano às 14:50				
Roupa				
Tapetes				
Produtos de Limpeza /Químicos				
7/06 -Uso de perfume às 10:55 na sala,				
8/06 -Uso de produto de limpa vidros				
9/06 -Uso de perfume às 9:20				
Lareira				
Cozinhar				
4/06 -Forno ligado às 10:15. Preparação do almoço às 12:30. Preparação do jantar às 20:15, ligou-se o forno às 20:15				

5/06-Preparação do almoço às 13:14 (exaustor ligado)

6/06-Forno ligado às 14:47, preparação do jantar às 19:50 (forno ligado)

Ambientadores

Número de Ocupantes

4/06-1 Pessoa da parte da manhã e 2 pessoas a partir das 20:00

5/06-1 Pessoa durante o dia todo. Casa vazia das 20:20 até às 23:00

6/06-Casa vazia desde as 9:00 até às 14:30, 1 pessoa desde as 14:30 até às 19:30, 2 pessoas desde as 19:30

7/06-Casa vazia das 11:30 às 13:30 e das 14:00 às 18:00; 3 pessoas das 18:30 às 20:30. A partir das 21:00 estiveram 2 pessoas em casa. 8 Pessoas na sala entre as 22:00 e as 24:28.

8/06-3 pessoas até às 15:20 e 2 pessoas no resto da tarde. Casa vazia entre as 20:30 e as 22:50.

9/06-Casa vazia entre as 9:45 e as 20:00

Conteúdos da Sala

	Existe	Não Existe	Quantos
Sofá	X		1
Cortinas	X		2
Tapetes		X	
Moveis	X		3
Televisões	X		1
Flores	X		1
Vaso de plantas (Orquídeas)	X		1
Telefones		X	
Mantas	X		
Candeeiros de pé	X		1
Cadeiras	X		6