U.PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

AVALIAÇÃO DO IMPACTO DOS SISTEMAS CENTRALIZADOS DE VENTILAÇÃO NA QUALIDADE DO AR DE FRAÇÕES HABITACIONAIS

ANTÓNIO MORGADO FERREIRA

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientador: Professor Doutor Nuno Manuel Monteiro Ramos

Coorientador: Doutor Fernando Pedro Fernandes Pereira

JUNHO DE 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 - 2018/2019 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2019*.

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.

Aos meus Pais

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, um sincero agradecimento ao meu orientador e coorientador, Professor Doutor Nuno Ramos e Doutor Pedro Pereira, pelo apoio fundamental ao longo desta etapa e toda a aprendizagem proporcionada.

Aos meus pais por me terem possibilitado evoluir academicamente, pela educação e pelos ensinamentos que sempre me proporcionaram e transmitiram.

Aos meus irmãos, por servirem de exemplo para mim e por estarem sempre lá quando mais precisava.

Ao Leiria, ao Vicente, ao Keita, Zé, Luís, Miguel, pela amizade e por tornarem este percurso muito mais bonito.

À minha namorada Marina, um sincero agradecimento, por ser também um exemplo para mim, de superação e amizade, por acreditar em mim, por me dar confiança e por me acompanhar desde o início.

Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto "H0ME ZERO", com referência POCI-01-0247-FEDER-017840, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (COMPETE 2020) e do Portugal 2020.

RESUMO

Com a crescente construção de edifícios herméticos, têm surgido diversos problemas de qualidade do ar interior (QAI) e, consequentemente, problemas de saúde nos seus ocupantes, uma vez que estes passam 90% do tempo em ambientes interiores.

Em Portugal, nos edifícios mais recentes recorre-se a um sistema de ventilação mecânica centralizada ou de fluxo simples, sendo recorrente o sistema não estar em funcionamento, principalmente, durante o período noturno.

Neste estudo monitorizou-se a QAI, durante um período de 3 semanas, em 10 edifícios habitacionais com sistema de ventilação mecânica centralizada (VMC), com recurso a dois equipamentos de sensores diferenciados: um módulo protótipo de CO_2 e um sensor denominado Foobot. No seu conjunto, estes equipamentos permitiram colecionar resultados ao nível do dióxido de carbono (CO_2), partículas em suspensão de diâmetro 2.5 µm ($PM_{2.5}$), compostos orgânicos voláteis totais (COVTs), temperatura (T) e humidade relativa (HR).

O estudo permitiu constatar a existência de valores de $PM_{2.5}$ em todos os compartimentos, sendo que os valores mais elevados se encontravam na cozinha, coincidentes com os períodos de cocção de alimentos. As habitações com pessoas fumadoras apresentaram valores superiores às demais.

Para os COVTs e CO_2 os valores mais elevados foram, na sua maioria, observados no quarto, durante o período noturno.

Ao nível do impacto da VMC, esta investigação permitiu observar a sua importância especialmente para COVTs e para o poluente CO_2. No entanto, tal não se verificou para as partículas $PM_{2.5}$.

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade do Ar Interior (QAI), Ventilação Mecânica Centralizada (VMC), Monitorização, Poluentes, Edifícios Residenciais.

ABSTRACT

With the increasing construction of hermetic buildings, several indoor air quality (IAQ) problems have arisen and consequently occupant's health problems, since they spend about 90% of the time indoors.

In Portugal, in more recent buildings, a mechanical extract ventilation system (simple flow) is used, and the system is not normally running during the night time.

In this study, the IAQ was monitored over a period of 3 weeks, in 10 residential buildings with a mechanical extract ventilation system (MEV), using two differentiated sensor equipment, a prototype CO_2 module and a sensor named Foobot. This equipment allowed to collect data such as carbon dioxide (CO_2), suspended particles of 2.5 µm ($PM_{2.5}$), total volatile organic compounds (TVOCs), temperature (T) and relative humidity (RH).

The study allowed to verify the existence of $PM_{2.5}$ values in all spaces, with higher values monitored in the kitchen, coinciding with the periods of cooking. Dwellings with smokers presented higher values than the others. For TVOCs and CO_2, the highest values were observed in the rooms, during the night. In terms of the impact of MEV, this research allowed to observe it importance, especially for TVOCs and for CO_2 pollutant. However, this didn´t happen with $PM_{2.5}$ particles.

KEYWORDS: Indoor Air Quality (IAQ), Mechanical Extract Ventilation (MEV), Monitoring, Pollutants, Residential Dwellings.

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS i
RESUMO iii
ABSTRACT v

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO 1
1.2. OBJETIVOS 2
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO 2

2. ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS 3
2.1. VENTILAÇÃO 3
2.1.1. VENTILAÇÃO NATURAL 4
2.1.2. VENTILAÇÃO MECÂNICA 5
2.1.3. VENTILAÇÃO HÍBRIDA 9
2.1.4. TAXA DE RENOVAÇÕES HORÁRIAS 9
2.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI) 13
2.2.1. CO_2 15
2.2.2. $PM_{2.5}$ 16
2.2.3. COVS 18
2.2.4. LEGISLAÇÃO E VALORES DE REFERÊNCIA 20
2.3. SENSORES DE MONITORIZAÇÃO QAI 25
2.3.1. SENSORES PM 26
2.3.2. SENSORES COVS 27
2.3.3. SENSORES CO_2 29
2.4. POSICIONAMENTO DE SENSORES 30

3. METODOLOGIA 35
3.1. PLANO DE ENSAIO 35
3.2. CASOS DE ESTUDO 35
3.3. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS 36
3.3.1. MÓDULO PROTÓTIPO CO_2 36

3.3.2. EQUIPAMENTO COMERCIAL FOOBOT 38
3.3.3. ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DA CONSTITUIÇÃO (PORTO) 40
3.3.4. EQUIPAMENTO DE MEDIÇÃO PONTUAL - ANEMÓMETRO 41

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 43
4.1. PARÂMETROS ESTUDADOS E SÍNTESE DOS RESULTADOS 43
4.1.1. PARÂMETROS ESTUDADOS 43
4.1.2. SÍNTESE DOS RESULTADOS 47
4.2. DISCUSSÃO - AMBIENTE INTERIOR OBSERVADO 48
4.3. ANÁLISE DOS PERFIS DIÁRIOS E EFEITO DA VMC 54

5. CONCLUSÕES 63
5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE CRÍTICA 63
5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS 65

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 67

ANEXOS 73

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig.1 – Ventilação afeta a saúde e outras respostas humanas através de vários caminhos (adaptado de Seppänen (2006)) 1

Fig.2 – Sistema VMC de fluxo simples (Pinto, 2006) 7

Fig.3 – Sistema VMC de duplo fluxo (Pinto, 2006) 8

Fig.4 – Sistema Balanceado com recuperador de calor (adaptado de Bogers et al. (2012)) 8

Fig.5 – Visão geral da técnica do decaimento da concentração do gás traçador (adaptado de ISO 12569:2012) 10

Fig.6 – Percentagem de dias em que a concentração média diária de $PM_{2.5}$ e concentração média noturna de CO_2 se encontram acima dos níveis de referência (adaptado de Dai et al. (2018)) 17

Fig.7 – Tendência da concentração COVTs em vários estudos (adaptado de Holøs et al. (2018)) 19

Fig.8 – Intervalo de concentração de COVs em diferentes momentos e sensores comerciais disponíveis para deteção e medição de COVs. MOS – Metal Oxide Semiconductor, PID – Photo-ionization Detectors, NDIR – Nondispersive Infrared sensors, EC- Electrochemical, PELLISTOR – Thermal sensor (adaptado de Szulczynski e Gebicki (2017)) 28

Fig.9 – Sensores químicos disponíveis comercialmente para medição de COVs (adaptado de Szulczynski e Gebicki (2017)) 29

Fig.10 – Módulo protótipo de medição de CO_2. 36

Fig.11 – Ficheiro bloco de notas obtido 38

Fig.12 – Figura de comparação do módulo protótipo de CO_2 38

Fig.13 – Equipamento comercial Foobot 39

Fig.14 – Layout da informação monitorizada em dispositivo móvel 39

Fig.15 – Ficheiro Excel obtido 40

Fig.16 – Estação meteorológica utilizada 41

Fig.17 – Anemómetro digital utilizado 42

Fig.18 – Temperatura (T) PORT1 44

Fig.19 – Humidade Relativa (HR) PORT1 44

Fig.20 – Variação de pressão parcial de vapor de água (ΔP) PORT1 45

Fig.21 – Partículas $PM_{2.5}$ PORT1 46

Fig.22 – Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVTs) PORT1 46

Fig.23 – Dióxido de Carbono (CO_2) PORT1 47

Fig.24 – Evolução de CO_2 diária e separação de períodos com e sem VMC 48

Fig.25 – T e HR Total 49

Fig.26 – ΔP Total 49

Fig.27 – Variação de $PM_{2.5}$ Total (sem PORT2, PORT3) 50

Fig.28 – Variação de $PM_{2.5}$ (PORT2+PORT3) 51

Fig.29 – $PM_{2.5}$ Cozinha 52

Fig.30 – Variação de COVTs Total 53

Fig.31 – Variação de CO_2 Total 54

Fig.32 – Perfil $PM_{2.5}$ horário e respetivo *boxplot* MAT1 55

Fig.33 – Concentração de $PM_{2.5}$ média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 23h e as 7h (sem VMC) 55

Fig.34 – Concentração de $PM_{2.5}$ média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 7h e as 23h (com VMC) 56

Fig.35 – Perfil COVTs horário e respetivo *boxplot* MAT1 57

Fig.36 – Concentração de COVTs média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 23h e as 7h (sem VMC) 57

Fig.37 – Concentração de COVTs média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 7h e as 23h (com VMC) 58

Fig.38 – Perfil CO_2 horário e respetivo *boxplot* MAT1 59

Fig.39 – Concentração de CO_2 média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre 23h e as 7h (sem VMC) 59

Fig.40 – Concentração de CO_2 média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 7h e as 23h (com VMC) 60

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 - Mecanismos de Ventilação Natural (Allard e Ghiaus, 2006; Concannon, 2002) 4

Quadro 2 - Técnicas de Ventilação Natural (adaptado de Amaral (2008); Allard e Ghiaus (2006)) 4

Quadro 3 - Características dos gases traçadores mais comuns (adaptado de Cui et al. (2015)) 11

Quadro 4 - Contaminantes e Fontes em Edifícios ((APA) e (LRA), 2009; Proença e Cano, 2010) 14

Quadro 5 - Comparação de três modos de ventilação (adaptado de (Zhao, Liu e Ren, 2018)) 18

Quadro 6 - Químicos encontrados frequentemente em espaços interiores a concentrações potencialmente preocupantes para a saúde (WHO, 2006; WHO, 2010) 20

Quadro 7 - Limites de exposição interiores de COVs [µg/m^3] (adaptado de Cheng et al. (2018)) 20

Quadro 8 - Limites de exposição para Formaldeído 21

Quadro 9 - Limites de COVTs [µg/m^3] (adaptado de (Molhave et al., 1997; Yu e Kim, 2010)) 21

Quadro 10 - Limites de COVTs [ppb] (Fujiwara, 2014) 22

Quadro 11 - Fatores de conversão da concentração de poluentes gasosos comuns (Grzywacz, 2006) 22

Quadro 12 - Fator de conversão para COVTs específicos 23

Quadro 13 - Limites de exposição de CO_2 para diferentes países (Foldbjerg, Rasmussen e Asmussen, 2013; Li, Valk e Kornaat, 2016) 24

Quadro 14 - Concentração limite para determinados compostos físico-químicos – Portaria n.º353-A/2013 25

Quadro 15 - Concentrações limite para COVS específicos – Portaria n.º353-A/2013 25

Quadro 16 - Especificações dos sensores PM e monitores (adaptado de Qian, Pang e O'Neill (2018)) 27

Quadro 17 - *Layout* de apresentação dos casos de estudo 36

Quadro 18 - Características do módulo de CO_2 37

Quadro 19 - Especificações técnicas do equipamento (Moreno-Rangel et al., 2018; Sousan et al., 2017) 40

Quadro 20 - Taxa de variação média [%] entre 06-07h (MAT1, MA2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5) 61

Quadro 21 - Correlação entre COVTs e CO_2 61

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

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

ASTM – American Society for Testing and Materials

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado

CO_2 – Dióxido de Carbono

COVs – Compostos Orgânicos Voláteis

COVTs – Compostos Orgânicos Voláteis Totais

DEC - Departamento de Engenharia Civil

DL – Decreto-Lei

Fig – Figura

ISO – International Organization for Standardization

NIOSH – National Institute for Occupational Safety and Health

NP – Norma Portuguesa

PM – Partículas em Suspensão (Partículas de Matéria)

ppb – Parte Por Bilião

ppm – Parte Por Milhão

QAI – Qualidade do Ar Interior

VMC – Ventilação Mecânica Centralizada

1 INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO E MOTIVAÇÃO

Em todo o mundo, as políticas públicas estão a promover a construção de edifícios energeticamente eficientes e a acelerar a renovação térmica dos edifícios existentes. Os efeitos destas alterações na qualidade do ar interior (QAI) permanecem insuficientemente compreendidos. De forma a reduzir o consumo de energia, a estanqueidade do edifício é melhorada para evitar perdas de calor por infiltração descontrolada. No entanto, como a infiltração contribui para as taxas de renovação dos edifícios, surgem preocupações crescentes sobre a QAI nesses prédios herméticos (Derbez et al., 2018).

Estima-se que as pessoas passem 90% das suas vidas no interior dos edifícios, pelo que uma reduzida ou não controlada renovação de ar interior promove a existência de diversos poluentes internos o que origina uma deficiente QAI das habitações. Uma longa exposição a ambientes interiores com uma fraca QAI pode ter diversos efeitos adversos na saúde dos ocupantes. Desta forma, os efeitos negativos na saúde humana podem apresentar diversas origens (Fig.1).

A ventilação é necessária para remover os poluentes presentes no ar e gerados no interior (ou diluir a concentração dos mesmos até níveis considerados aceitáveis). No entanto, a ventilação também pode contribuir para efeitos preocupantes da QAI, isto se, não existir uma correta conceção, instalação, manutenção e operação do sistema relacionado (Seppänen, 2006).

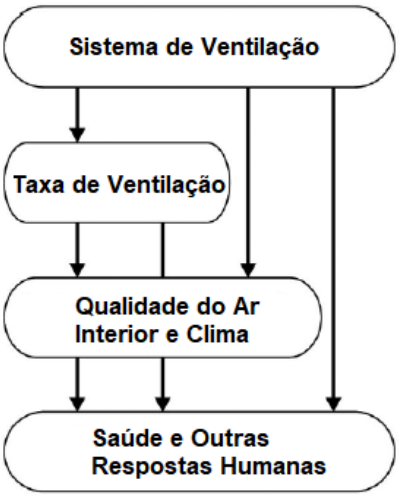


Fig.1 – Ventilação afeta a saúde e outras respostas humanas através de vários caminhos (adaptado de Seppänen (2006))

Alguns dos poluentes encontrados em ambientes fechados poderão produzir odor ou causar irritação, enquanto outros podem causar efeitos crônicos ou agudos na saúde dos ocupantes. Compostos causadores de odor como o dióxido de carbono, fumo de tabaco, formaldeído e compostos orgânicos voláteis são os poluentes mais comuns do ar interior. As atividades dos ocupantes são os principais fatores que influenciam a QAI, observando-se a presença de diversas partículas em suspensão no ar ambiente interior (Zhao, Liu e Ren, 2018).

Consequentemente, têm existido diversos estudos que monitorizam e avaliam a QAI, com recurso a diversos sensores, sendo crucial testar os mesmos em ambientes internos realistas, de forma a entender a sua verdadeira aplicabilidade em edifícios. Os poluentes alvo de estudo têm sido discutidos como potenciais determinantes para a taxa de ventilação, sendo que essa pode ser baseada na força das fontes poluentes que estão presentes em ambientes fechados.

Assim, é fundamental garantir o equilíbrio correto entre a redução do consumo de energia e o fornecimento de ventilação eficaz, mantendo uma boa QAI para a saúde e o bem-estar dos ocupantes (Derbez et al., 2018).

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação pretende investigar *in situ* a QAI de 10 habitações residenciais, como casos de estudo, no distrito do Porto, que recorrem a um sistema de ventilação mecânica centralizada (VMC). No entanto, existem outros objetivos, considerados secundários, que se pretendem explorar e alcançar, entre os quais se destacam:

- Comparação dos diversos poluentes analisados com os limites de referência existentes;
- Identificação das tendências diárias de cada poluente nos diversos espaços habitacionais, assim como determinar quais os poluentes que atingem concentrações mais elevadas, em que compartimentos e em que circunstâncias;
- Avaliar o impacto que a interrupção do funcionamento da VMC tem nos parâmetros da QAI;
- Testar determinadas técnicas de medição e utilização de sensores.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA DO TEXTO

Esta dissertação é constituída pelos capítulos detalhados em seguida:

No capítulo 1 incluem-se a introdução e o enquadramento das temáticas abordadas neste trabalho e os seus objetivos. Em seguida, no capítulo 2 efetua-se o enquadramento teórico e o estado da arte do tema que se propõe desenvolver, existindo um foco particular nas temáticas da ventilação, qualidade do ar interior e monitorização através de sensores. No capítulo 3 encontra-se a descrição da metodologia aplicada, identificação e descrição dos equipamentos utilizados bem como dos casos de estudo. Os resultados obtidos encontram-se no capítulo 4 juntamente com a sua discussão. Por fim, no capítulo 5, são elaboradas as principais conclusões desta dissertação assim como alguns possíveis desenvolvimentos futuros.

2
ESTADO DA ARTE E FUNDAMENTOS

2.1. VENTILAÇÃO

A principal razão para se ventilar os espaços habitacionais deve-se à necessidade de remover ou diluir os poluentes gerados no interior e garantir "ar fresco" para os ocupantes (Wouters, Delmotte e Heijmans, 2006).

A ventilação dos edifícios sempre foi assegurada através de meios naturais, tirando vantagem dos fenómenos convectivos e da ação do vento. Porém, com a realização de tarefas domésticas de cocção de alimentos, aquecimento de água para fins sanitários ou para climatização surgiram sistemas mecânicos, e mais recentemente sistemas de ventilação híbrida.

A ventilação pode dividir-se em 3 tipos:

- Ventilação Natural;
- Ventilação Mecânica;
- Ventilação Híbrida.

Adicionalmente, a importância da ventilação reside na captação de poluentes nas suas fontes e diluição dos mesmos através da renovação do ar interior, mantendo uma ventilação geral e permanente, mesmo em períodos em que as portas e janelas se encontrem fechadas ((IPQ), 2009).

A escolha do tipo de ventilação está dependente de fatores como comportamento higrotérmico do próprio edifício, a qualidade do ar interior (QAI) e os consumos energéticos associados (Dimitroulopoulou, 2012).

Em Portugal existe uma norma aplicável a sistemas de ventilação de edifícios de habitação, sendo esta a NP 1037 – "Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás" que é constituída por 4 partes ((IPQ), 2009):

- Parte 1: Edifícios de habitação. Ventilação Natural;
- Parte 2: Edifícios de habitação. Ventilação Mecânica Centralizada (VMC) de fluxo simples;
- Parte 3: Volume dos locais. Posicionamento dos aparelhos a gás;
- Parte 4: Instalação e ventilação de cozinhas profissionais.

A Parte 2 desta norma define determinadas regras de conceção, dimensionamento e execução aplicáveis aos equipamentos que constituem a ventilação mecânica centralizada (VMC), tendo como objetivo contribuir para uma melhor qualidade do ar interior das habitações, condições de conforto térmico e acústico e de eficiência energética. A presente norma só se aplica aos sistemas de VMC de fluxo simples.

2.1.1. VENTILAÇÃO NATURAL

A Ventilação Natural baseia-se na introdução de ar fresco, utilizando ações naturais como o vento e a diferença de temperatura. É considerado um processo de ventilação simples que não envolve quaisquer custos relacionados com operação, energia ou manutenção uma vez que não recorre a nenhum dispositivo mecânico. Permite a eliminação de poluentes e contaminantes no interior dos espaços habitacionais melhorando a qualidade do ar interior (Dimitroulopoulou, 2012; Santamouris, 2006).

A eficácia da ventilação natural depende da velocidade do vento, diferença de temperatura, tamanho e características das aberturas na fachada e a sua orientação. Desta forma, a principal desvantagem deste tipo de ventilação está associada à falta de controlo das taxas de ventilação, devido à variabilidade ao longo do tempo e localização das duas ações envolvidas. Esta pode resultar numa baixa QAI assim como um risco de conforto térmico inaceitável em determinados climas. (Heiselberg, 2006).

De seguida faz-se referência no Quadro 1 aos diversos mecanismos de ventilação natural.

Quadro 1 - Mecanismos de Ventilação Natural (Allard e Ghiaus, 2006; Concannon, 2002)

Ação do Vento	Decorre da variação de pressão causada pela ação do vento sobre a envolvente do edifício (orientação a barlavento – pressões positivas, orientação a sotavento pressões negativas). Na cobertura as pressões dependem da inclinação desta.
Efeito Térmico	As diferenças de temperatura interior-exterior do edifício geram movimentos do ar, onde existe entrada do ar mais frio a um nível inferior e uma saída do ar interior, quente, que sendo mais leve se desloca para níveis superiores (efeito de chaminé).
Efeito Combinado	Ocorrência dos dois efeitos em simultâneo (vento e diferença de temperatura) e que geram distribuição de pressões variáveis.

No quadro seguinte apresentam-se algumas das técnicas de ventilação natural. Quadro 2.

Quadro 2 - Técnicas de Ventilação Natural (adaptado de Amaral (2008); Allard e Ghiaus (2006))

Técnicas	Descrição
Infiltração / Exfiltração	Frinchas de portas e janelas providenciam a admissão e exaustão de ar.
Ventilação em fachada única/ unilateral	Fluxo de ar gerado através de aberturas existentes em apenas uma fachada.
Ventilação cruzada	Fluxo de ar gerado através de aberturas existentes em fachadas opostas.
Ventilação através de condutas	Admissão de ar ocorre através de aberturas na fachada, pelo que a extração acontece por condutas situadas na cozinha e casas de banho.

2.1.2. Ventilação Mecânica

A Ventilação Mecânica recorre, por sua vez, a dispositivos mecânicos na produção de fluxos de ar, pelo que os custos de investimento, manutenção e operação devem ser tidos em conta (Zhang et al., 2018). Alguns dos principais motivos para se recorrer a uma ventilação mecânica compreendem (Pinto, 2006):

- Má qualidade do ar exterior;
- Nível de ruído exterior elevado;
- Ventilação natural insuficiente;
- Necessidade de assegurar e controlar os caudais de ventilação pretendidos, quer em condições nominais, quer em condições de caudal máximo.

Um sistema de ventilação mecânico providencia meios de ventilação mais confiáveis, controláveis e confortáveis comparativamente a um sistema de ventilação natural. Um ventilador mecânico pode ser operado continuamente, pode ser utilizado um filtro para fornecer o controle sobre os poluentes externos e também se pode recorrer a uma unidade de recuperação de calor para reduzir o desconforto térmico. Apesar deste sistema oferecer diversas vantagens, também lhe tem associadas desvantagens, como o consumo de energia, a produção de ruídos e a potencial introdução de poluição devido aos filtros e sistemas de condutas (Lai et al., 2018).

Desta forma, existem três tipos de estratégias de ventilação mecânica (Amaral, 2008; CIBSE, 2006; Concannon, 2002):

- Insuflação mecânica;
- Extração mecânica;
- Sistemas Balanceados.

Insuflação Mecânica

Estratégia que passa pela utilização de um ventilador para insuflação do ar, com recurso a um sistema de condutas até aos compartimentos principais. Assim, existe uma pressurização do edifício, que força o ar a extrair-se através das janelas, frinchas ou grelhas das fachadas.

A implementação desta estratégia de forma única é considerada de aplicação rara em Portugal.

Extração Mecânica

Esta estratégia caracteriza-se pelo recurso a equipamentos mecânicos de extração como ventiladores mecânicos. A admissão de ar é feita através de aberturas da envolvente da fachada como janelas, grelhas, frinchas, entre outros.

A extração mecânica pode ocorrer de duas formas:

- Forma local e individual, sendo que neste caso os ventiladores independentes são responsáveis por extrair o ar nos compartimentos de serviço como cozinhas e sanitários, funcionando de forma intermitente. Por atuar de forma individual e específica em determinados compartimentos, é considerada descontinua. Também pode ser designada por ventilação mista, funcionando através de uma ventilação natural, preferencialmente cruzada, nos compartimentos principais com a existência de sistemas complementares de extração mecânica que funcionam de forma intermitente nos compartimentos de serviço (instalações sanitárias e cozinhas) (Freitas, 2010).

- Forma contínua e centralizada, designada por ventilação mecânica centralizada (VMC) ou até de fluxo simples. Esta é controlada por um ventilador comum localizado na cobertura dos edifícios, ligados por condutas coletivas verticais e horizontais (Fig.2).

A NP 1037-2 ((IPQ), 2009), define VMC como um sistema mecânico que engloba locais com admissões de ar, aberturas de passagem de ar, bocas de extração e redes de condutas que se ligam a um ventilador de exaustão comum. Mesmo que o edifício tenha diferentes redes, estas funcionam como um todo. No caso particular de a este sistema se conjugar aparelhos a gás, designa-se por VMC-Gás.

Em Portugal existe uma maior predominância na utilização de equipamentos de extração individuais e locais. Porém, nos edifícios mais recentes e com um maior número de andares aplica se uma estratégia de VMC de fluxo simples, que apresenta um funcionamento contínuo.

No entanto é recorrente o sistema não estar em funcionamento durante o período noturno, existindo uma programação associada aos ventiladores que desliga o sistema de forma automática nesse período. Tal ocorre sobretudo devido ao ruído produzido por estes sistemas e aos custos energéticos associados a este tipo de ventilação mecânica centralizada. Esta atitude pode promover a migração de certos cheiros e poluentes entre as diferentes habitações, condicionar de forma significativa a preparação de refeições e a utilização de aparelhos a gás tipo B para produção de águas quentes sanitárias (pois existe falta de exaustão nestes compartimentos) e resultar em níveis de ventilação praticamente nulos (o que é problemático sobretudo se for tida em consideração a produção de CO_2 metabólico durante a noite) (Pinto, 2006).

Stevenson, Carmona-Andreu e Hancock (2013) observaram elevados níveis de ruido provenientes de sistemas de extração mecânica num pequeno estudo desenvolvido. A forma de controlar o ruido, por parte dos habitantes, incidia sobretudo no hábito de manter as taxas de ventilação baixas associadas ao sistema. O mesmo foi salientado por Li, Valk e Kornaat (2016). O ruído incomodativo causado pelo sistema de ventilação pode levar a um comportamento indesejado como reduzir ou desligar totalmente as unidades de ventilação mecânica.

Lai et al. (2018) referem que as principais razões para a não utilização de um sistema de ventilação mecânica incluem o aumento dos custos de energia, a insuficiente ventilação por parte do sistema de ventilação, barulho e desconforto térmico.

Num estudo realizado por Evola et al. (2017), concluiu-se que do ponto de vista financeiro e económico, a instalação de um sistema de ventilação mecânica é considerada um investimento acessível (com período de retorno baixo), especialmente para climas frios e sistemas VMC de fluxo simples. A investigação comparou os diferentes custos de investimento iniciais, custos de manutenção e custos de operação (como gasóleo para aquecimento e eletricidade para as ventoinhas) para os diferentes sistemas de ventilação.

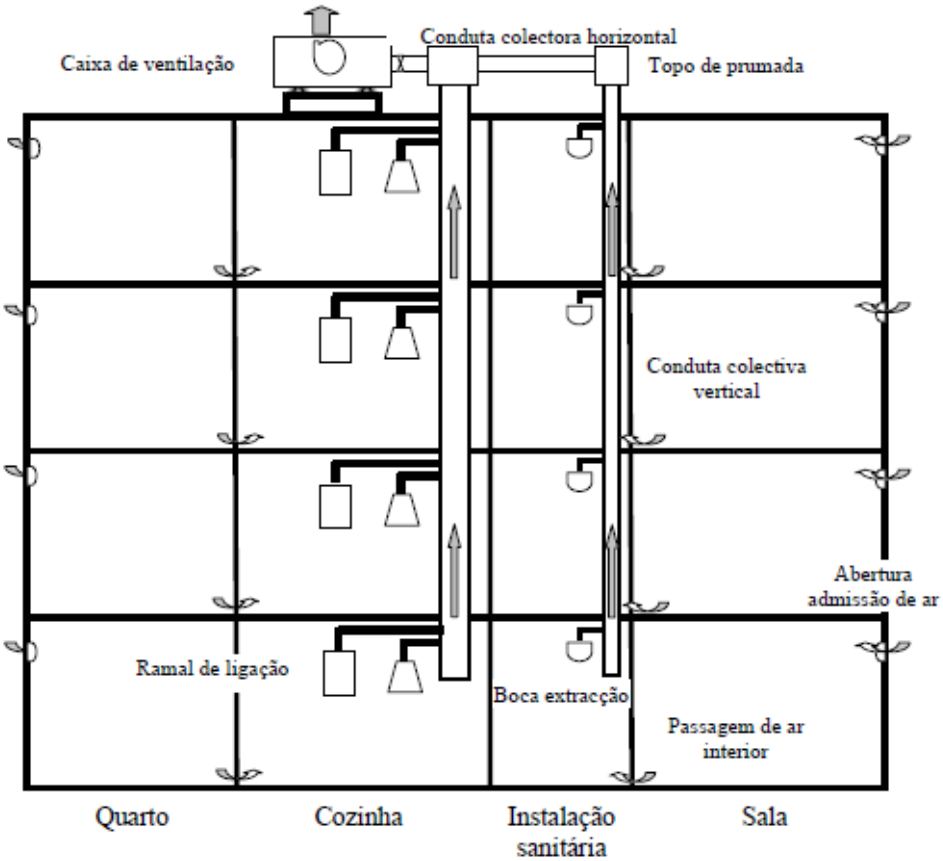


Fig.2 – Sistema VMC de fluxo simples (Pinto, 2006)

SISTEMAS BALANCEADOS

Os sistemas balanceados/equilibrados ou de duplo fluxo, compreendem sistemas de insuflação e extração mecânica de forma totalmente independente, ou seja, recorrem a dois sistemas separados de distribuição, equipados com dois ventiladores o que implica maiores consumos elétricos (Fig.3). A insuflação ocorre nos compartimentos principais como quartos e sala, enquanto que a extração surge nos compartimentos de serviço, casas de banho e cozinha. O edifício sofre uma pequena despressurização pois existe uma insuflação de 90-95% do caudal extraído (Concannon, 2002; Evola et al., 2017).

Existe a possibilidade de ser utilizado um sistema de recuperação de calor, com permutadores que aquecem o ar extraído para posteriormente ser insuflado (Fig.4). Existe também, nesta última, a possibilidade de fazer *by-pass* automático de acordo com as necessidades de aquecimento ou arrefecimento do recuperador (Schild, 2006).

Os sistemas balanceados com recuperador de calor utilizam em média, menos 80 MJ/m^2 de energia (para aquecimento) durante o período de aquecimento do que os sistemas de extração mecânica tradicionais (Li, Valk e Kornaat, 2016).

Como principais vantagens salientam-se a potencialidade de se aliar a um recuperador de calor, a remoção de humidades na fonte e a pré filtração do ar. Algumas das desvantagens estão associadas aos custos iniciais de investimento e posteriores custos operacionais e de manutenção (Concannon, 2002).

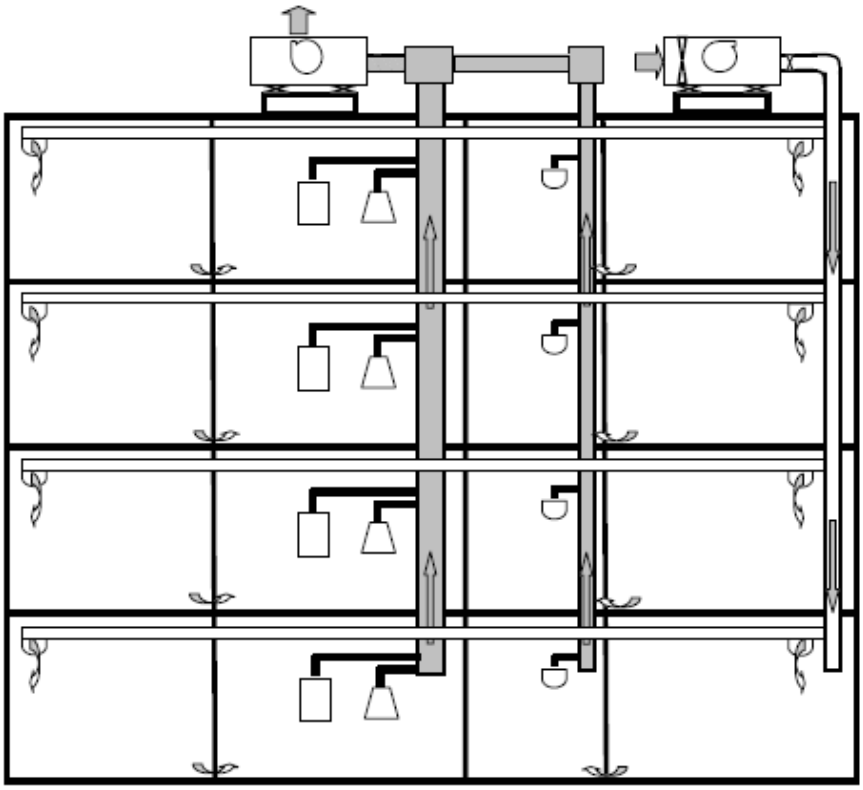


Fig.3 – Sistema VMC de duplo fluxo (Pinto, 2006)

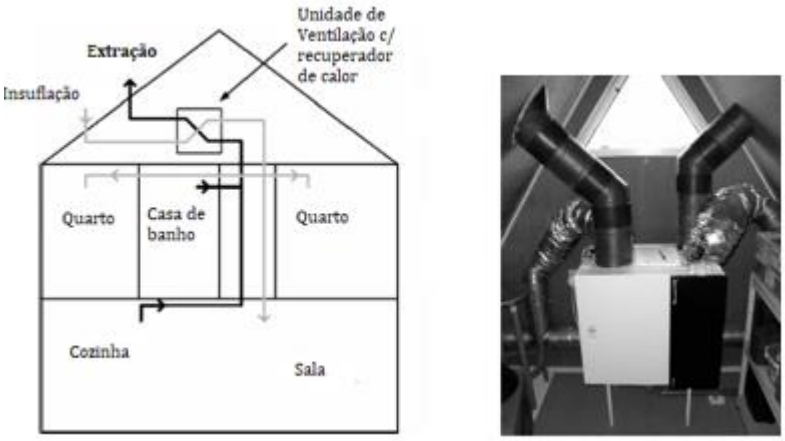


Fig.4 – Sistema Balanceado com recuperador de calor (adaptado de Bogers et al. (2012))

Segundo Bogers et al. (2012), foram encontradas algumas problemáticas relacionadas com a estratégia de exaustão mecânica e o sistema balanceado:

- Insuficiente capacidade de ventilação;
- Barulho proveniente do sistema de ventilação;
- Não existência de *by-pass* no recuperador de calor em sistemas balanceados;
- Falta de limpeza no sistema de ventilação (presença de pó e sujidade no interior e exterior das condutas);
- Projeto e instalação incorretos;

- Uso incorreto – falta de recomendações – insuficiente informação;
- Insuficiente manutenção – falta de um contrato de manutenção aliado ao sistema de ventilação;
- Recirculação do sistema balanceado.

2.1.3. Ventilação Híbrida

A Ventilação Híbrida inclui sistemas que providenciam um ambiente interno confortável utilizando tanto ventilação natural como sistemas mecânicos, aproveitando diferentes características destes, a diferentes horas do dia ou épocas do ano. A principal diferença, comparativamente aos sistemas de ventilação convencionais, está relacionada com o facto de ser utilizado um sistema de controlo inteligente que permite uma troca automática entre o modo natural e mecânico de forma a minimizar o consumo de energia (Heiselberg, 2006; Zhang et al., 2018).

As principais vantagens/motivações deste sistema são:

- Maior satisfação do utilizador aquando da utilização deste tipo de sistema;
- O sistema otimiza o balanço entre qualidade do ar interior, conforto térmico, uso de energia e impacto ambiental, preenchendo as necessidades de um melhor ambiente interno e menor consumo de energia;
- Acesso a modos de ventilação natural e ventilação mecânica permitindo explorar os benefícios de cada modo da melhor forma, de acordo com as circunstâncias;
- Solução adequada para edifícios complexos e sustentáveis.

2.1.4. Taxa de Renovações Horárias

O método do gás traçador permite determinar as taxas de ventilação dos diferentes compartimentos habitacionais. Consiste na injeção de um gás no espaço (gás traçador) com características particulares e a sua mistura com o ar existente até uma determinada concentração para posteriormente se avaliar a sua evolução temporal.

A *standard* internacional ISO 12569 2012 (ISO, 2012) assim como a norma ASTM-E742 (2011) indicam três técnicas de medição utilizando o método do gás traçador para obtenção das taxas de renovação do ar ou renovações por hora (RPH):

- Decaimento da Concentração – Injeção e mistura do gás traçador no ar do compartimento. Assim que a injeção termina e quando a concentração do gás traçador for uniforme, procede-se ao registo do decaimento desse mesmo gás durante um intervalo de tempo.
- Injeção Constante- Medição ocorre durante todo o período de injeção do gás traçador (a um fluxo constante), no compartimento.
- Concentração Constante – Existe um controlo na injeção do gás traçador de forma a manter uma concentração constante no espaço ventilado.

A técnica do decaimento da concentração é considerada como sendo a mais aceite dada a sua facilidade de aplicação (Cui et al., 2015; Johnston e Stafford, 2017; Nikolopoulos et al., 2012).

Um adequado gás traçador é introduzido no edifício e distribuído da forma mais homogénea possível. O decaimento da concentração é monitorizado e os seus resultados são ajustados a uma curva de decaimento exponencial, onde o expoente indica a taxa de ventilação do compartimento (Johnston e Stafford, 2017) (Fig.5).

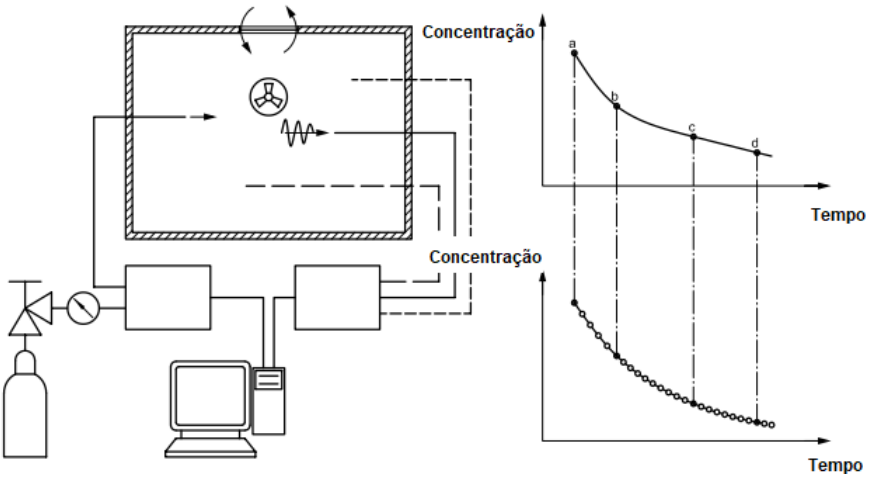


Fig.5 – Visão geral da técnica do decaimento da concentração do gás traçador (adaptado de ISO 12569:2012)

Relativamente ao gás traçador a utilizar, ele deve apresentar algumas características específicas de forma a que possa espalhar-se num determinado compartimento, deslocando se pelo ar por convecção, entre as quais se destacam (Amaral, 2008):

- Facilmente detetável a baixas concentrações para uma adequada medição;
- Baixas concentrações comparativamente ao ar interior e exterior;
- Não inflamável, não explosivo nem tóxico;
- Peso molecular próximo ao do ar – facilidade de fusão com o ar;
- Não deve ser dispendioso;
- Inodoro, insípido, incolor e ambientalmente inerte.

Da mesma forma, Cui et al. (2015) mencionam o gás traçador ideal como sendo seguro (não tóxico, não alérgico, não inflamável), não reativo (não deve reagir quimicamente ou fisicamente com o ambiente) e deve ser facilmente medido, com recurso a equipamentos acessíveis do ponto de vista económico, assim como ser capaz de medir pequenas concentrações. O gás deve misturar-se perfeitamente no ar, com densidade próxima a este, e de uma forma geral ser distinguível de todos os outros constituintes do ar.

Nenhum gás é capaz de preencher os requisitos do gás ideal. No entanto estudos anteriores utilizaram diversos tipos de gases, apresentando-se um quadro síntese dos gases traçadores mais utilizados para avaliação das taxas de ventilação. Quadro 3.

Quadro 3 - Características dos gases traçadores mais comuns (adaptado de Cui et al. (2015))

Gás Traçador	Densidade comparada com o ar	Vantagens	Desvantagens
Cripton-85 ^{85}Kr	2,93	1 ppm de concentração no ar	Dispendioso Pesado
Óxido Nitroso N_2O	1,53	Baixo custo Densidade relativamente próxima à do ar	Interfere com H_2O e CO_2
Hexafluoreto de Enxofre SF_6	5,11	Não existente no ar Inofensivo para os seres humanos	Muito Pesado Dispendioso Forte impacto no efeito de estufa
Dióxido de Carbono CO_2	1,53	Facilmente acessível – Custo muito baixo Deteção máxima de 30,000 ppm	Existente no ar

O CO_2 é o gás que apresenta alguma vantagem comparativamente aos outros gases presentes no Quadro 3. Evidencia uma densidade próxima à do ar, assim como pode ser facilmente acessível e barato. Por estas razões, o CO_2 gerado metabolicamente pelos ocupantes, pode ser utilizado como gás traçador para o cálculo das RPH (Claude-Alain e Foradini, 2002).

A equação diferencial que traduz a expressão do balanço de massa é definida por (1)

$$V \times \frac{dC_{(t)}}{dt} = G + Q \times C_{ext} - Q \times C_{(t)} \tag{1}$$

Em que:

V – volume do compartimento [m^3]
C(t) – concentração interior do gás traçador para um intervalo de tempo t [ppm]
t – tempo [s]
G – produção interior do gás traçador [cm^3/s]
Q – trocas de ar interior-exterior [m^3/s]
C_{ext} – concentração exterior do gás traçador [ppm]

De forma a ser possível calcular as RPH, recorre-se à integração da expressão e posteriormente à utilização do método dos mínimos quadrados (Coley e Beisteiner, 2002), considerando a existência de produção do gás traçador no compartimento. Assim por integração de (1) é possível obter (2):

$$C(t) = C_{ext} + \frac{G}{Q} + \left(C_i - C_{ext} - \frac{G}{Q}\right) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \tag{2}$$

Em que:

Ci – concentração inicial do gás traçador [ppm]
Q/V – RPH [s^{-1}]

Se não existir produção do gás interior aquando do momento da medição (períodos não ocupados), a expressão anterior ficará mais simples (G=0), expressão (3). O mesmo acontece caso o gás traçador seja artificial (não presente no ar), o que faz com que Cext = 0, pelo que a expressão ficará ainda mais simplificada, para o posterior cálculo de RPH, expressão (4).

$$C(t) = C_{ext} + (C_i - C_{ext}) \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \tag{3}$$

$$C(t) = C_i \cdot e^{-\frac{Q}{V}t} \tag{4}$$

No caso particular de ser utilizado CO_2 metabólico como gás traçador, a produção interior do mesmo (G) pode ser calculada da seguinte forma estimada, dependendo se se trata de uma pessoa adulta do sexo feminino, expressão (5) ou do sexo masculino, expressão (6), (Coley e Beisteiner, 2002). A expressão (7) é referente a um coeficiente de produção de CO_2 enquanto que a expressão (8) incide sobre a área de Du Bois desenvolvida por Du Bois e Du Bois (1916).

$$G_{CO_2} = 0{,}9 \times k \tag{5}$$

$$G_{CO_2} = 1 \times k \tag{6}$$

Em que:

G_{CO2} – produção interior de CO_2 [l/h]

$$k = 0{,}148 \times \propto \times m \times \left(\frac{273 + T}{273}\right) \tag{7}$$

$$\propto = 0{,}202 \times w^{0{,}425} \times h^{0{,}725} \tag{8}$$

Em que:

α – superfície do corpo humano [m^2]
m – taxa de metabolismo [W/m^2]
T – temperatura do compartimento [ºC]
w – peso do adulto [kg]
h – altura [m]

2.2. QUALIDADE DO AR INTERIOR (QAI)

Nas últimas décadas tem existido uma preocupação crescente com a qualidade do ar interior nos edifícios. Existem inúmeros fatores que promovem uma fraca QAI, tendo consequências na saúde dos ocupantes (Proença e Cano, 2010), entre as quais se destacam:

- Maior estanqueidade dos edifícios;
- Insuficiente/deficiente taxa de renovação de ar novo;
- Falta de manutenção das instalações e dos sistemas de ventilação;
- Recurso a novos materiais de construção (com incidência de químicos);
- Maior permanência em ambientes interiores;
- Sobreocupação dos espaços.

A estanqueidade dos edifícios está relacionada com o facto de promover a acumulação de contaminantes no interior quando não existe uma ventilação adequada. Uma vez que se passa cerca de 90% do tempo no interior é importante saber quais os efeitos negativos que cada poluente poderá ter nos ocupantes.

Segundo Saijo et al. (2004), com o aparecimento de edifícios cada vez mais estanques surgem inúmeros riscos de saúde associados à presença de químicos e humidades. Os problemas de saúde são de certa forma idênticos aos do Síndrome de Edifício Doente –*sick building syndrom*. Este conceito corresponde a sensações de mau estar e desconforto devido à permanência em determinados espaços, mas sem qualquer razão aparente e sem a identificação concreta de uma doença. Algumas das descrições dos sintomas em estudos realizados em escritórios são (Wallace, 1997):

- Dores de cabeça, náuseas e tonturas;
- Congestionamento nasal (espirros, nariz entupido);
- Congestionamento peitoral;
- Problemas oculares (secura e comichão);
- Problemas de garganta (dor de garganta, garganta seca);
- Fadiga (cansaço incomum, sonolência);
- Dores musculares e febre;
- Sintomas neurológicos (falta de concentração, depressão, tensão e nervosismo).

Segundo Joshi (2008) existe também o conceito de doença relacionada ao edifício – *building related disease* - no sistema de classificação que estuda as condições de saúde associadas aos edifícios. A definição deste conceito passa pelos sintomas direcionados a determinada doença diagnosticável que por sua vez é diretamente relacionada aos contaminantes presentes. Alguns dos efeitos e sintomas mais frequentes incluem tosse, dor no peito, falta de ar ao esforço, edemas, palpitações, hemorragias nasais, doença do legionário, pneumonia e asma ocupacional. Adicionalmente, nos últimos 20 anos a incidência de problemas de asma e alergias duplicou nos países desenvolvidos. As doenças relacionadas são complexas uma vez que implicam custos elevados de medicina, tratamento e absentismo (Fanger, 2006).

Estudos comprovam que baixas taxas de renovação de ar novo nos edifícios promovem um aumento do risco de sintomas de alergias em crianças (Bornehag et al., 2005). A presença de ftalatos (substância presente nos plastificantes como o PVC) nas habitações também aumenta o risco de asma em crianças (Bornehag et al., 2004).

Outros estudos constatam que um aumento da produtividade no trabalho em escritórios é resultante de uma melhoria na QAI (Fanger, 2006). O mesmo acontece com a aprendizagem das crianças nas escolas. Um aumento de 5 para 10 l/s da taxa de ventilação fez com que existisse um incremento na produtividade em mais de 15 %.

No quadro seguinte apresentam-se os contaminantes mais frequentes nos edifícios e as suas possíveis fontes. Quadro 4.

Quadro 4 - Contaminantes e Fontes em Edifícios ((APA) e (LRA), 2009; Proença e Cano, 2010)

Contaminantes	Fontes
Dióxido de Carbono (CO_2)	Nº de ocupantes (ocupação humana) e queima de combustíveis fosseis (gás, aquecedores).
Monóxido de Carbono (CO)	Proximidade de estacionamento automóvel (emissões), existência de aquecedores a gás não ventilados, combustão e fumo de tabaco.
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVTs)	Materiais de construção e acabamentos, mobiliário, material de escritório (impressoras, computadores), perfumes, produtos de limpeza, entre outros.
Partículas Totais	Fumo do tabaco, existência de alcatifas/carpetes, quantidades de papel armazenado em prateleiras abertas, deficiente limpeza de instalações e sistemas de ventilação (condutas e filtros).
Ozono	Perfumes, mobiliário, carpetes, linóleos, tintas, vernizes, produtos de limpeza, ambientadores, entre outros.
Formaldeído	Aglomerados de madeira, resinas, espumas utilizadas como isolantes, mobiliário de madeira, pavimentos e revestimentos, colas, fumo de tabaco, carpetes, papel químico.
Radão	Zonas de contacto com a superfície do terreno (fissuras na laje do pavimento ou juntas de canalização mal vedadas).
Bactérias e Fungos	Desumidificadores e materiais molhados e húmidos

De uma forma geral, as fontes de poluição que mais contribuem para o aumento dos contaminantes indicados são sobretudo produtos de limpeza, materiais de construção e a atividade humana. Segundo Fanger (2006) as origens de poluição mais preocupantes no interior dos espaços correspondem aos filtros de partículas carregadas (nomeadamente presentes no sistema AVAC) e materiais de construção. Dada a falta de manutenção e limpeza dos filtros mencionados, conjuntamente com o sistema AVAC, a poluição dos edifícios tende a ser superior. Relativamente aos materiais de construção importa ter em atenção os que emitem ftalatos assim como as carpetes que podem absorver muitos dos poluentes presentes no ar.

Desta forma, algumas medidas preventivas a ter em conta incluem (Fanger, 2006; Proença e Cano, 2010):

- Manutenção adequada dos sistemas de ventilação e instalações com recurso a inspeções periódicas pelos agentes próprios;
- Substituição de alcatifas por materiais laváveis;
- Colocação de livros em prateleiras fechadas;
- Remoção das fontes de poluição;
- Limpeza do ar;

- Ventilação personalizada.

Frequentemente recorre-se à medição de determinados parâmetros físicos (condições térmicas como temperatura do ar, humidade relativa e velocidade do ar), químicos e microbiológicos para avaliar a QAI. Nestes últimos, destacam-se o dióxido de carbono (CO_2), as partículas em suspensão ou totais (PM) e os compostos orgânicos voláteis (COVs).

De salientar que as exigências de QAI, bem como os limites máximos de concentração dos diversos poluentes e valores mínimos de caudal de ar novo, são indicados juntamente pelo DL 118/2013, de 20 de agosto e a portaria nº 353-A/2013.

2.2.1. CO_2

O Dióxido de Carbono (CO_2) é um composto incolor e inodoro e, de acordo com o mecanismo de ação tóxica, é considerado um asfixiante simples que resulta do metabolismo humano. Em espaços interiores a fonte de emissão de CO_2 resulta essencialmente da ocupação humana (Proença e Cano, 2010).

Apesar de o CO_2 não ter um impacto direto na saúde dos ocupantes dentro de condições ambientais normais, funciona como um bom indicador de poluentes emitidos pelos humanos, por exemplo odores corporais. Este componente serve ainda como um bom indicador da taxa de ventilação nos edifícios, tendo um forte impacto na QAI (Dai et al., 2018). Por conseguinte, a medição deste contaminante é considerada crucial, uma vez que uma concentração elevada deste poderá estar associada à presença de outros poluentes desenvolvidos no interior (Seppänen e Fisk, 2004).

Um estudo de monitorização realizado em 500 quartos de crianças dinamarquesas, permitiu concluir que apenas 32% dos quartos apresentaram concentrações médias de CO_2 inferiores a 1000 ppm e 23% dos mesmos experienciaram pelo menos um período de 20 minutos com concentrações de CO_2 superiores a 2000 ppm (Bekö et al., 2010).

Da mesma forma, concentrações de CO_2 superiores a 1000 ppm são encontradas em diversas habitações, principalmente nos quartos durante a noite, bem como em algumas das escolas analisadas (Militello-Hourigan e Miller, 2018; Ramalho et al., 2015).

Numa investigação realizada em 117 habitações na China, foi possível concluir que apenas 10% das casas eram capazes de manter concentrações de CO_2 durante o período noturno abaixo dos 1000 ppm (valor limite nacional). Foi durante a noite que se registaram maiores concentrações do poluente, principalmente nos quartos. Isto significa que na maior parte das habitações a taxa de ventilação foi, em muita das vezes, insuficiente. A análise foi feita num período noturno pois é nesta altura que o número de habitantes estabiliza (Dai et al., 2018).

A ventilação mecânica apresenta melhor desempenho na diluição do poluente CO_2, quando comparada à ventilação natural. Relativamente à ventilação mecânica, os sistemas balanceados ou de duplo fluxo apresentam melhores resultados do que sistemas de fluxo simples durante o período de inverno (Li, Valk e Kornaat, 2016; Zhao, Liu e Ren, 2018).

Dai et al. (2018) concluíram que através da ventilação mecânica, as taxas de ventilação são frequentemente suficientes para manter as concentrações de CO_2 inferiores a 1000 ppm. Porém a capacidade do sistema em remover concentrações de partículas finas ($PM_{2.5}$) no interior foi identificada como não sendo tão eficaz como os equipamentos de limpeza portáteis do ar. Assim, a ventilação mecânica pode ser uma boa solução embora tenha de existir uma melhoria na eficiência dos filtros de partículas dos mesmos sistemas.

A capacidade sensorial das pessoas não é suficiente nem capaz de detetar níveis de QAI críticos, pelo que uma ventilação controlada por sensores pode ser uma boa solução. Numa análise feita entre vários sistemas de ventilação, as taxas de ventilação foram superiores às mínimas regulamentares. Porém, o facto de existirem excessos de CO_2, prova que as taxas de ventilação não são aplicadas no local correto nem no tempo adequado (Li, Valk e Kornaat, 2016).

2.2.2.$PM_{2.5}$

Entre as diferentes fontes de poluentes no ar, as partículas de matéria com um diâmetro aerodinâmico inferior a 2.5 µm ($PM_{2.5}$) são uma preocupação especial. O seu pequeno tamanho permite alcançar facilmente os alvéolos pulmonares e assim causar doenças respiratórias e cardiovasculares graves (Costanzo et al., 2019; Katsouyanni et al., 2001). A presença de $PM_{2.5}$ também foi encontrada como estando relacionada a danos oxidativos do ADN e cancro do pulmão. Adicionalmente, foi determinado que uma melhoria da mortalidade global está associada a uma diminuição da concentração do poluente em questão (Dai et al., 2018).

Estudos comprovam que $PM_{2.5}$ provém do ar exterior e, dessa forma, a concentração do mesmo num ambiente externo, influencia significativamente a sua concentração no interior (Dai et al., 2018).

De acordo com Dai et al. (2018), existem diversos estudos que constatam que as atividades que decorrem no interior das habitações, como cozinhar ou limpar, podem resultar na geração de $PM_{2.5}$. A título ilustrativo, o trabalho realizado por Wan et al. (2011), tendo como amostra 12 habitações em Hong Kong, avalia as concentrações de partículas ultrafinas e $PM_{2.5}$ geradas através de um total de 33 episódios de cocção de alimentos. Estes autores concluem que durante tais atividades, as concentrações de $PM_{2.5}$ atingem valores máximos de 160 µg/m^3 na cozinha e cerca de 60 µg/m^3 na sala, o que revela que existe uma dispersão rápida destas partículas da cozinha e que, dessa forma, o impacto na saúde não é limitado aos utilizadores desse espaço.

Outros autores afirmam que cozinhar é das atividades que apresenta o contributo mais significativo na geração de PM dentro de habitações, particularmente com o uso de fogão a gás (Escobedo et al., 2014; See e Balasubramanian, 2008). Fumar também contribui para níveis elevados de PM, especialmente a fração mais fina ($PM_{2.5}$) (Stamatelopoulou, Asimakopoulos e Maggos, 2019).

Numa investigação realizada em 117 habitações, analisaram-se as concentrações interiores de CO_2 e $PM_{2.5}$. Relativamente ao poluente $PM_{2.5}$, para o critério de 75 µg/m^3, apenas 2% das habitações conseguem manter concentrações inferiores a este limite. Quando o valor de referência desce para 25 µg/m^3, nenhuma das casas é capaz de obter concentrações inferiores ao limite (Fig.6) (Dai et al., 2018).

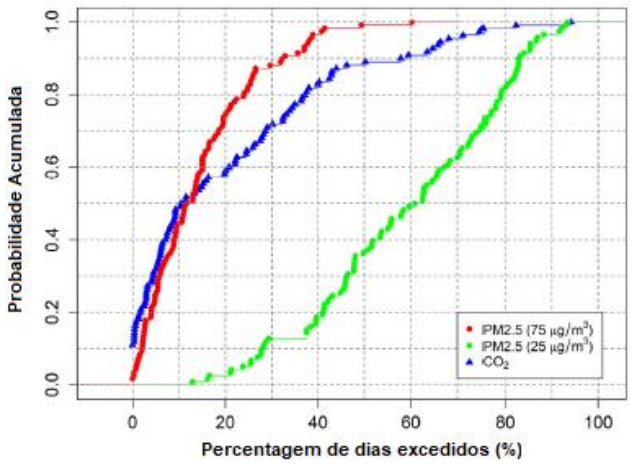


Fig.6 – Percentagem de dias em que a concentração média diária de $PM_{2.5}$ e concentração média noturna de CO_2 se encontram acima dos níveis de referência (adaptado de Dai et al. (2018))

Foram registadas concentrações médias de $PM_{2.5}$ e PM_{10} na maior parte das salas de aulas, superiores aos valores de referência de 10 µg/m^3 e 20 µg/m^3, definidos pela WHO (2010). Os valores resultantes são superiores em períodos de aquecimento comparativamente aos períodos de não aquecimento (Chatzidiakou, Mumovic e Summerfield, 2015).

Num estudo realizado em 13 residências foram detetadas médias horárias de $PM_{2.5}$ entre 3.8 e 18.6 µg/m^3, sendo que a média registada foi de 10.6 µg/m^3. Em duas das residências, no período de inverno, as concentrações foram superiores às registadas no período de verão. Uma das habitações utilizava uma lareira, pelo que os valores durante o período de inverno foram 3 vezes superiores ao de verão. Por outro lado, numa das habitações, durante o período de verão, a média de valores foi o dobro comparativamente ao inverno, devido à concentração externa observada durante as medições. Neste estudo foi comprovado que durante o verão os níveis de infiltração do ar exterior são superiores. De salientar que existiram também médias diárias deste poluente superiores ao limite exterior europeu de 25 µg/m^3 em 3 das habitações (Stamatelopoulou, Asimakopoulos e Maggos, 2019).

Adicionalmente, uma investigação realizada em França em edifícios com ventilação mecânica em 44 habitações recentemente construídas (edifícios unifamiliares e multifamiliares), 27 habitações reformadas (edifícios multifamiliares) e 16 habitações em edifícios unifamiliares, constatou pela existência de valores medianos de 18.5, 13.2, 15.5 µg/m^3, num período de aquecimento, respetivamente (Derbez et al., 2018).

Kim, Hong e Kim (2019) estudaram um edifício educacional de 6 andares na Coreia do Sul alcançando valores médios da concentração de $PM_{2.5}$ de 12.6 µg/m^3, com a abertura de portas e janelas e um acréscimo de +2.85µg/m^3 (15.45 µg/m^3) com portas e janelas fechadas. Os valores analisados são inferiores aos 25 µg/m^3 propostos pela agência ambiental alemã relativa aos standards da QAI.

Sob diversas condições de medição, o sistema de ventilação natural pode provocar poluição interior, ao atrair partículas externas para o ambiente interno ou, por outro lado, pode diluir a poluição de partículas internas se o ar externo estiver livre de poluentes. Muitos dos habitantes que estão de certa forma sensibilizados com alguns destes aspetos, estão a ter especial atenção aos purificadores de ar e aos sistemas de ventilação mecânica para regular a QAI. O Quadro 5 apresenta uma comparação resumo dos diferentes modos de ventilação (Zhao, Liu e Ren, 2018).

Quadro 5 - Comparação de três modos de ventilação (adaptado de (Zhao, Liu e Ren, 2018))

Modo de Ventilação	Vantagens	Desvantagens
Ventilação Natural	Conveniente Económico	Insuficiente ar exterior Penetração de $PM_{2.5}$ Baixo nível de conforto térmico
Ventilação Natural com dispositivos de purificação de ar	Eficaz a remover partículas Flexibilidade de utilização	Consumo energético Desempenho influenciado pelas características físicas de partículas, tecnologia de purificação, posição e hábitos de utilização
Ventilação Mecânica	Ar exterior Impede a penetração de $PM_{2.5}$ (no caso de VMC de duplo fluxo)	Consumo energético Desempenho influenciado pelo sistema de manutenção, modo de operação e filtros

2.2.3.COVs

A QAI é fortemente dependente da ocorrência e do aparecimento de certos químicos ou classes de químicos entre os quais se destacam os compostos orgânicos voláteis (COVs). Estes, representam uma das categorias mais importantes de poluentes relacionada com a qualidade do ar e, consequentemente, com a saúde humana (Rovelli et al., 2019).

Os COVs são compostos orgânicos que contêm moléculas de carbono presentes no ar interior, apresentando um ponto de ebulição entre 50-260ºC, integrando um grupo extenso de compostos que se volatilizam no ar à temperatura ambiente. Dado o elevado número de fontes poluentes no interior dos edifícios, é nestes locais que se observa uma maior concentração de COVs, comparativamente ao exterior (Proença e Cano, 2010).

Uma exposição prolongada a estes poluentes está associada ao aumento do risco de cancro assim como à ocorrência de irritações sensoriais e de sintomas no sistema nervoso central (Song et al., 2017).

Alguns dos COVs mais comuns encontrados em ambientes internos são: benzeno, tolueno, etilbenzeno, xilenos (BTEX), juntamente com estirenos, n-hexano 2-etil-hexanol, 2-butoxietanol, aldeídos e alguns terpenos. Todos estes são conhecidos pelos seus potenciais impactos na saúde humana e por serem emitidos por fontes interiores. A presença destes compostos deve-se muito à sua volatilidade e também ao elevado número de produtos aplicados em habitações, como tintas, solventes, detergentes, vernizes, produtos de limpeza e equipamentos eletrónicos como fotocopiadoras e impressoras. Estes químicos podem ser considerados omnipresentes em todos os edifícios, embora a sua especificação, abundância e concentração varie de acordo com os fatores mencionados anteriormente (Rovelli et al., 2019). Devido á existência de diversos COVs e, por serem necessários sensores específicos para a sua medição individualizada, é usual o uso do nível total de COVs (COVTs) como indicador da salubridade do edifício, na medida em que existe uma correlação de sintomas *SBS* ou queixas com COVTs (Song et al., 2017).

Num estudo realizado por Park e Ikeda (2006) foram analisadas as tendências de COVTs em mais de 300 habitações. Os valores de COVTs analisados em períodos após renovações são aproximadamente duas vezes superiores a períodos anteriores as mesmas. Estes níveis caem drasticamente passado um ano. Outros autores chegaram a resultados idênticos (Fig.7).

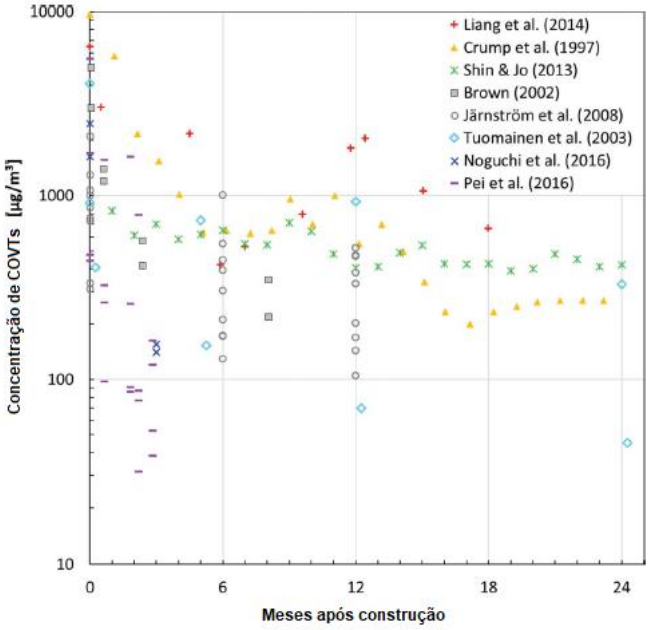


Fig.7 – Tendência da concentração COVTs em vários estudos (adaptado de Holøs et al. (2018))

O mesmo estudo realizado por Park e Ikeda (2006), permitiu também concluir que a tendência de queda das concentrações de COVTs é mais influenciada pelas próprias fontes de emissão do que pelos sistemas de ventilação. Um sistema mecânico de ventilação é sem dúvida benéfico para a QAI, mas na perspetiva de estratégia de controlo das emissões, a seleção de materiais de baixa emissão é mais vantajosa para o balanço da QAI.

Um estudo realizado em residências localizadas na Eslováquia avaliou o impacto da renovação energética dos edifícios e o seu potencial negativo em questões relacionadas à QAI. Neste estudo a concentração mediana de COVT foi superior depois das renovações (575 µg/m^3) do que num período anterior às renovações (500 µg/m^3). A concentração média em 80% dos casos antes e depois das renovações excedeu o limite superior de 300 µg/m^3 reconhecido pela Agência Ambiental Federal Alemã como nível de higiene seguro. Um aumento da média foi observado em alguns apartamentos após as renovações. O intervalo do rácio do valor posterior sobre o valor anterior das renovações está compreendido entre 1.01 e 8.41. Os três apartamentos que experienciaram rácios superiores a 6 vezes estão relacionados com a substituição de antigas mobílias e carpetes por outras novas (Földváry et al., 2017).

Em edifícios já estabelecidos as concentrações totais de COVTs são relativamente baixas, porém os valores são quatro vezes superiores ao encontrados no ar exterior, o que demonstra o efeito dominante das fontes interiores. Numa análise a 27 habitações, observou-se uma média geométrica da concentração de COVTs de 170 µg/m^3, valor significativamente abaixo do objetivo da QAI de 500 µg/m^3 definido pela *National Health and Medical Research Council 1982*.

Adicionalmente, foi estudada uma habitação nova e recentemente construída. As concentrações obtidas foram superiores durante a construção o que demonstra que muitos dos materiais são fontes de poluição significativos, provavelmente as tintas à base de água, adesivos e painéis à base de madeira. Os valores obtidos encontraram-se acima do valor de referência para casas estabelecidas (200 µg/m^3) até às 35 semanas posteriores à construção (Brown, 2002).

Derbez et al. (2014) relatam concentrações de COVTs de 1042 µg/m^3 em casas onde a atividade de pintura está presente e valores de 3087 µg/m^3 em casas onde para além de pinturas, há presença dos ocupantes e o sistema de ventilação se encontra desligado. Por outro lado, casas em condições de não ocupação, sem pinturas e com o sistema de ventilação em funcionamento, foram encontrados valores entre 130-525 µg/m^3.

Um estudo realizado em 58 habitações residenciais em Nova Iorque, registou concentrações de COVTs em divisões distintas. Os valores mais altos, foram superiores em média, na cozinha (366 ppb) seguidos pela entrada (346 ppb). Adicionalmente, as famílias que fumavam, apresentaram em média, nas respetivas habitações, um aumento de 20% dos níveis de COVTs comparados aos níveis médios anteriores (Grenga et al., 2011).

2.2.4. Legislação e Valores de Referência

A nível de legislação internacional existem limites para PM de diâmetro aerodinâmico de 2.5 µm e 10 µm (Quadro 6), COVs específicos (Quadro 7), formaldeído (Quadro 8), assim como para concentrações máximas de COVTs em µg/m^3 (Quadro 9) e em ppb (parte por bilião) (Quadro 10).

Quadro 6 - Químicos encontrados frequentemente em espaços interiores a concentrações potencialmente preocupantes para a saúde (WHO, 2006; WHO, 2010)

Agência	Poluente	Valor de referência [µg/m^3]	Tempo Médio
WHO	$PM_{2.5}$	10	1 ano
		25	24h (percentil 99)
	PM_{10}	20	1 ano
		50	24h (percentil 99)
International Well Building Institute	$PM_{2.5}$	< 15 µg/m^3	-
	PM_{10}	< 50 µg/m^3	-
WHO	Benzeno	-	Média anual
	Naftaleno	10	Média anual
	Tetracloroetileno	250	Média anual
	Formaldeído	100	Média de 30 min

Quadro 7 - Limites de exposição interiores de COVs [µg/m^3] (adaptado de Cheng et al. (2018))

Poluente	WHO	China	Japão
Benzeno	4,4-7,5x10^{-6}	110	-
Formaldeído	100	100	100
Tolueno	260	200	260
Xileno	870	200	870

Quadro 8 - Limites de exposição para Formaldeído

Organização	µg/m^3	ppb	Período de exposição
World Health Organization (WHO)	100	80	Período curto (0,5 h)
Building Research Establishment (BREEAM)	100	80	Mais de 30 min – pré ocupação
National Institute for Occupational Safety & Health (NIOSH)	20	16	REL (8 h)
	120	100	Limite (15 min)
Green Building Council – LEED (Leadership in Energy & Environmental Design)	32	27	4 h
Occupational Health & Safety Administration (OSHA)	630	500	Nível de ação (8 h)
	940	750	PEL (8 h)
	2.500	2.00	STEL (0,5 h)

PEL – Permissible Exposure Limit; REL= Recommended Exposure Level; STEL= Short-term Exposure Limit;

Quadro 9 - Limites de COVTs [µg/m^3] (adaptado de (Molhave et al., 1997; Yu e Kim, 2010))

Referência	COVTs [µg/m^3]
Alemanha	300
Sociedade Finlandesa de QAI e clima	600
Outros Especialistas Europeus	200-300
Ministério da Saúde, Trabalho e Bem Estar [Japão]	400
Austrália	500
China	500-600
Hong Kong	≤ 200 - excelente 600 - bom

Quadro 10 - Limites de COVTs [ppb] (Fujiwara, 2014)

Agência	Nível	Limite de exposição	COVTs [ppb]
Agência Ambiental Federal Alemã	5 – Pouco Saudável	horas	2200 - 5500
	4 - Fraco	< 1 mês	660 - 2200
	3 - Moderado	< 12 meses	220 - 660
	2 - Bom	Sem limite	65 - 220
	1 - Excelente	Sem limite	0 - 65
Diretrizes do ministério da saúde do Canadá (em unidades de isobutileno)	-	-	400

Os limites são apresentados em duas unidades diferentes, uma vez que as medições poderão ser volumétricas (ppb ou ppm), ou gravimétricas (mg/m^3 ou µg/m^3). As unidades volumétricas dependem da temperatura e da pressão, enquanto que, por sua vez, as unidades gravimétricas não dependem.

O quadro seguinte (Quadro 11) indica os fatores de conversão entre µg/m^3 e ppb (ou mg/m^3 e ppm) e vice-versa, de forma a comparar diretamente as leituras com as duas unidades, em unidades equivalentes. É considerado o peso molecular de cada composto em causa assim como uma temperatura de 20ºC e uma pressão de 1 atm = 101 325 Pa = 1013,24 mbar. Por sua vez, apresenta-se no Quadro 12, fatores de conversão para COVTs específicos de acordo com a WHO.

Quadro 11 - Fatores de conversão da concentração de poluentes gasosos comuns (Grzywacz, 2006)

Poluente	Peso Molecular (g/mol)	Para converter µg/m^3 para ppb ou mg/m^3 para ppm multiplicar por:	Para converter ppb para µg/m^3 ou ppm para mg/m^3 multiplicar por:
Aceitaldeído	44,05	0,55	1,83
Ácido etanoico	60,05	0,40	2,49
Formaldeído	30,03	0,80	1,25
Ácido metanoico	46,03	0,52	1,91
Sulfeto de hidrogénio	34,08	0,71	1,41
Dióxido de nitrogénio	46,01	0,52	1,91
Ozono	48,0	0,5	1,99
Dióxido de enxofre	64,07	0,38	2,66
N -Hexano	86,17	0,28	3,57

Quadro 12 - Fator de conversão para COVTs específicos

Poluente	WHO 25ºC e 1013 mbar
Ozono	1 ppb = 1,96 µg/m^3
Dióxido de nitrogénio	1 ppb = 1,88 µg/m^3
Monóxido de carbono	1 ppb = 1,15 µg/m^3
Dioxido de enxofre	1 ppb = 2,62 µg/m^3
Benzeno	1 ppb = 3,19 µg/m^3
1,3 - butadieno	1 ppb = 2,21 µg/m^3
Valor médio	1 ppb = 2,17 µg/m^3

De salientar que o valor médio apresentado no Quadro 12 é uma média geométrica dos poluentes mencionados. No entanto, a quantidade destes poluentes não é igualmente uniforme para todos eles, pelo que o correto seria calcular uma média ponderada de acordo com a quantidade de cada poluente de um determinado ambiente interno.

Num estudo onde foram realizadas medições contínuas de COVTs, foi assumido um peso molecular médio de 100 g/mol como representativo dos COVs presentes no ar (Haag, 2005). Assim, com uma T= 25ºC e uma P = 1013 mbar o fator de conversão é de aproximadamente 1 ppb = 4 µg/m^3. Caso o valor medido seja obtido em unidades do composto isobutileno (56,1 g/mol) a conversão é de 1 ppb = 2,3 µg/m^3, como acontece no Quadro 10.

Relativamente ao poluente CO_2, a ANSI/ASHRAE Standard 62-1989 indica que o critério relativo ao conforto de odores (bioefluentes humanos) é assegurado se a taxa de ventilação garantir que a concentração de CO_2 não exceda os 1000 ppm. Porém este valor não deve ser considerado um requisito *standard* obrigatório, mas apenas um valor de referência de forma a garantir níveis aceitáveis para o conforto humano.

Consequentemente, a ANSI/ASHRAE Standard 62-1999 não menciona o valor de 1000 ppm. Faz indicação a uma taxa de ventilação mínima de 7 l/s por pessoa de forma a ser mantido um diferencial de CO_2 entre o interior e o exterior de 700 ppm (Schell, Turner e Shim, 1998).

De acordo com as ASHRAE-62.1-FAQs, concentrações de CO_2 superiores a 5000 ppm poderão provocar sérios problemas de saúde.

Apresenta-se também um quadro resumo (Quadro 13) com os valores de concentração limite de acordo com as diferentes regulamentações, agências ou *standards* nacionais.

Quadro 13 - Limites de exposição de CO_2 para diferentes países (Foldbjerg, Rasmussen e Asmussen, 2013; Li, Valk e Kornaat, 2016)

País	Agência/Standard	Nível Máximo [ppm]
EUA	OSHA (Occupational Safety and Health Administration) Standards General Industry Air Contaminants Standard (29 CFR 1910.1000)	5.000 (PEL-TWA_8)
	NIOSH (2007)	5.000 (REL-TWA_{10}) 30.000 [STEL] [15 min]
	ACGIH (Association Advancing Occupational and Environmental Health)	5.000 30.000 [15min]
	ASTM-E741 (2011)	5.000
	ASTM-D6245 (2012)	1.000 (recomendado)
	ASHRAE Standard 62.1	1.000 (recomendado)
Alemanha	DIN 1946-6	1.000 (recomendado)
	DIN 1946-2	1.500 (limite superior)
UK	HSE (Health and Safety Commission)	5.000 (LTEL) 15.000 [STEL] [15 min]
	UK Building Bulletin 101	1.500
Bélgica	Active House (valores interiores)	850
Suíça	SIA 382	1.000 (recomendado)
Portugal	Portaria 353-A/2013	1250
	Categoria IV da QAI - EN 15251 CEN 2007	1200

PEL – Permissible Exposure Limit; TWA= Time-Weighted Average; REL= Recommended Exposure Level; STEL= Short-term Exposure Limit; LTEL= Long-term Exposure Limits

Em Portugal, a legislação aplicável a edifícios de comércio e serviços está presente na Portaria_n.º353-A/2013 (2013) (Requisitos de Ventilação e Qualidade do Ar Interior) onde estão definidas as condições de referência de determinados compostos poluentes físico-químicos (Quadro 14), e COVs específicos (Quadro 15). Todas as concentrações limite referem-se a uma média de 8 horas.

Quadro 14 - Concentração limite para determinados compostos físico-químicos – Portaria n.º353-A/2013

Composto	Concentração
Partículas em suspensão (PM_{10})	50 µg/m^3
Partículas em suspensão ($PM_{2,5}$)	25 µg/m^3
Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV_S)	600 µg/m^3
Monóxido de carbono (CO)	10 mg/m^3 9 ppm
Formaldeído (CH_2O)	100 µg/m^3 0,08 ppm
Dióxido de carbono (CO_2)	2250 µg/m^3 1250 ppm
Radão (Rn)	400 Bq/m^3

Quadro 15 - Concentrações limite para COVS específicos – Portaria n.º353-A/2013

Composto	Concentração [µg/m^3]
Benzeno	5
Tricloroetileno	25
Tolueno	250
Estireno	260
Tetracloroetileno	250

2.3. SENSORES DE MONITORIZAÇÃO QAI

A monitorização e medição das condições ambientais dentro de um determinado ambiente são muito importantes na avaliação da qualidade do mesmo. Existe necessidade de tomar conhecimento do nível de contaminantes no ar interno por meio de monitorização. Desta forma, através do *feedback* dos respetivos dados é possível implementar ações corretivas apropriadas, quando o nível aceitável de contaminantes é excedido, para obter condições ótimas de conforto.

As condições ambientais normalmente são monitorizadas utilizando sensores que detetam a presença de determinadas propriedades físicas que podem incluir som, intensidade da luz, calor, entre outros. Após a perceção, a propriedade física é convertida num sinal elétrico para facilitar a medição. Existem diversos tipos de sensores, porém os químicos, temperatura, humidade, partícula de matéria, luz, proximidade e pressão são os mais frequentemente utilizados para monitorização do ambiente (Afolaranmi, Ramis Ferrer e Martinez Lastra, 2018).

2.3.1. SENSORES PM

Através das tecnologias de monitorização e comunicação mais recentes, as medições de partículas de matéria (PM) estão a tornar-se mais recorrentes e, consequentemente, menos caras, com sensores mais pequenos e cada vez mais acessíveis. Deste modo, considera-se cada vez mais aplicável o uso destes sensores para uma monitorização em tempo real, informando os ocupantes sobre a QAI, e adicionalmente integrar os sistemas inteligentes dos edifícios de modo a possibilitar a adaptação dos edifícios em função das condições existentes e da demanda (Qian, Pang e O'Neill, 2018).

No entanto, existem diversos desafios relacionados com o uso prático de sensores de PM de baixo custo em ambientes internos para aplicações de edifícios inteligentes, entre as quais se destacam:

- Falta de informação sobre métricas de desempenho (precisão do sensor, tempo de resposta e integridade dos dados);
- Critérios técnicos relativos a dados de alta qualidade medidos com instrumentação de laboratório;
- Diversas fontes de partículas internas que apresentam distribuições, concentrações e composições de tamanhos muito variadas e que influenciam a resposta por parte dos sensores.

Num estudo realizado por Qian, Pang e O'Neill (2018), foram utilizados 3 tipos de sensores de baixo custo baseados na dispersão de luz e 2 produtos de monitorização PM comerciais de elevado custo. Foram investigadas as suas performances em 3 ambientes interiores realísticos (queima de incenso, pulverização de spray ambientador aerossol e um outro spray para apagadores de quadros brancos) de forma a perceber a sua disponibilidade, usabilidade e viabilidade geral. Os índices de avaliação selecionados seguem duas métricas, o tempo de resposta e linearidade da resposta. No Quadro 16 apresentam-se algumas das especificações dos sensores utilizados.

Os sensores D e E possuem um sistema de aquisição de dados juntamente com um software que permite o registo e visualização dos mesmos. Os sensores A, B, C apenas contêm o sensor em si. Porém, o custo aproximado apresentado de $40 já inclui o microprocessador (para aquisição dos dados) que converte o sinal de saída *lo pulse* para sinal digital para posterior leitura pelo computador (através de comunicação USB).

Através deste estudo foi possível concluir que os sensores B e C produzem boas linearidades com as medições de referência do sensor D, o que significa que uma medição mais precisa pode ser obtida calibrando-os com instrumentos de referência de alta qualidade.

Quadro 16 - Especificações dos sensores PM e monitores (adaptado de Qian, Pang e O'Neill (2018))

	Sharp GP2Y1010AU0F	Shinyei PPD42NS	Amphenol SM-PWM-01C	Dylos DC1100 pro	Thermo Scientific Data RAM 4
Símbolo	A	B	C	D	E
Figura					
Custo Aproximado	$40	$38	$40	$300	$4,000
Alcance Detetável	0 - 0,8 mg/m³	≥1,0 µm	1-2 µm 3-10 µm	≥0,5 µm ≥2,5 µm	0,04 – 4 µm
Unidade de Medida	mg/m³	pcs/m³	pcs/m³	pcs/m³	µg/m³
Tempo de Resolução	1s	5s	5s	1 min	1s
Outputs	Lo-pulse	Lo-pulse	Lo-pulse	Digital	Analógico

É essencial monitorizar o nível de partículas (principalmente as provenientes do fumo) uma vez que podem causar doenças pulmonares (Afolaranmi, Ramis Ferrer e Martinez Lastra, 2018). Por conseguinte, tem existido um elevado número de estudos que se focam na evolução e calibração de vários sistemas de sensores PM, mas a performance destes sistemas em situações reais continua desconhecida para a sociedade. É essencial testar os novos produtos de sensores em ambientes internos realistas de forma a entender a sua verdadeira aplicabilidade em edifícios. Existe também a necessidade de informar a comunidade AVAC sobre os custos, eficácia, usabilidade, compatibilidade de hardware dos sensores PM disponíveis comercialmente para monitorização e integração da QAI em sistemas de controle em edifícios comerciais e residenciais (Qian, Pang e O'Neill, 2018).

2.3.2. Sensores COVs

Os sensores químicos são importantes para a deteção e medição de contaminantes presentes no ar capazes de prejudicar os seres humanos. No que toca a sensores químicos comercialmente disponíveis para deteção de COVs, estes podem incluir-se no grupo de absorção infravermelha ou no grupo para identificação do risco de explosão que incluem sensores térmicos (PELLISTORS). As principais tecnologias para deteção da QAI em ambiente interno e externo incluem (Szulczynski e Gebicki, 2017):

- Sensores eletroquímicos (*EC*);
- Sensores semicondutores de óxido metálico;
- Sensores infravermelhos não dispersivos (*NDIR*);
- Sensor térmico (PELLISTOR);
- Sensor de Fotoionização (*PID*).

Algumas das vantagens a salientar destes sensores químicos incluem o baixo custo de fabrico, design relativamente simples e a possibilidade de miniaturização assim como a obtenção de bons parâmetros

(sensibilidade, seletividade, intervalo de medição, linearidade e tempo de resposta) (Szulczynski e Gebicki, 2017).

O principal objetivo dos fabricantes passa por elaborar um sensor com as melhores propriedades seletivas e com um baixo limite de quantificação – *low limit of quantification* (*LOQ*). A Fig.8 apresenta a faixa de concentração de COVs presentes no ar ambiente, ar no local de trabalho e nos gases de exaustão assim como alguns dos sensores disponíveis comercialmente e que são designados para deteção e medição de COVs nos mesmos locais mencionados. Pode observar-se que os sensores tipo *PID* e *EC* são caracterizados por terem os valores mais baixos do *LOQ*.

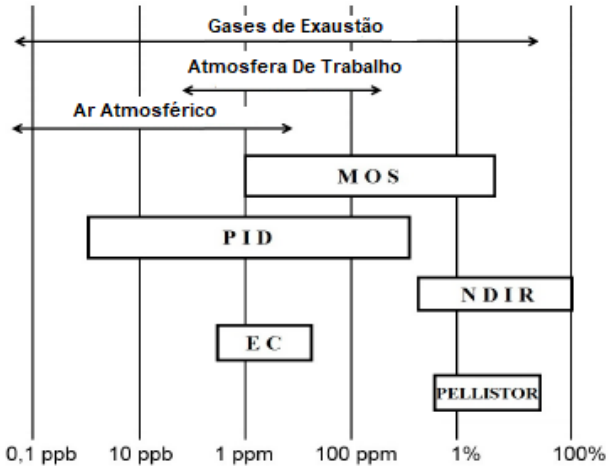


Fig.8 – Intervalo de concentração de COVs em diferentes momentos e sensores comerciais disponíveis para deteção e medição de COVs. MOS – Metal Oxide Semiconductor, PID – Photo-ionization Detectors, NDIR – Nondispersive Infrared sensors, EC- Electrochemical, PELLISTOR – Thermal sensor (adaptado de Szulczynski e Gebicki (2017))

Fabricante	Tipo de Sensor	Alcance	Precisão	Resolução	LOD	Sensibilidade	Tempo de Resposta
Aeroqual	MOS	0–500 ppm	<±5 ppm + 10%	1 ppm	1 ppm	nd	30 s
	MOS	0–25 ppm	<±0.1 ppm + 10%	0.1 ppm	0.1ppm	nd	60 s
AppliedSensor	MOS	450–2000 ppm	nd	nd	nd	nd	nd
AMS	MOS	10–5000 ppm	nd	nd	10 ppm	0.002 (R_s/R_o)/ppm	<10 s
Cambridge CMOS Sensors	MOS	10–400 ppm	nd	nd	10 ppm	0.005 (R_s/R_o)/ppm	nd
SGX Snesortech	MOS	10–500 ppm	nd	nd	nd	0.014 (R_s/R_o)/ppm	nd
Mocon Baseline Series	PID	2–20,000 ppm	nd	nd	1–250 ppb	nd	<5 s
Alphasense	PID	50 ppb–6000 ppm	nd	nd	1 ppb	nd	<3 s
	PID	1 ppb–50 ppm	nd	<50 ppb	nd	nd	<3 s
	NDIR	0%–2.5%	<±500 ppm	<400 ppm	<500 ppm	nd	<40 s
Winsen	EC	0–1 mg/dm^3	nd	nd	nd	nd	<20 s
Winsen	EC	0–10 ppm	nd	0.02 ppm	nd	nd	<60 s
Citytech	EC	0–14 ppm	nd	<0.5 mg/m^3	nd	nd	<90 s
Figaro	MOS	1–100 ppm	nd	nd	nd	0.06 (R_s/R_o)/ppm	30 s
Umweltsensortechnik	MOS	0.1–100 ppm	<±20%	nd	nd	nd	<100 s
Wuhan Cubic	NDIR	0%–100%	±1% full scale	0.1%	nd	2%	<25 s
Unietc SRL	MOS	0.1–30 ppb	0.2 ppb	0.1 ppb	0.1 ppb	nd	nd
	EC	0.6–25 ppm	0.1 ppm	0.1 ppm	0.6 ppm	nd	nd
Synkera	MOS	50–900 ppm	±5% full scale	nd	50 ppm	nd	<60 s
ION Science	PID	0.1–6000 ppm, 1 ppb–40 ppm, 5 ppb–100 ppm	nd	nd	0.1 ppm, 1 ppb, 5 ppb	25 mV/ppm, 0.7 mV/ppm, 10 mV/ppm	3 s
Gray Wolf	PID	0.1–10000 ppm	nd	nd	nd	nd	<1 min
Environmental Sensors CO	EC	0–30 ppm	nd	0.01 ppm	0.1 ppm	nd	60 s
Z.B.P. SENSOR GAZ	pellistor	0%–100% LEL	±1.5% LEL	nd	nd	>30 mV/%	nd
Figaro	pellistor	0%–100% LEL	nd	nd	nd	0.02 mV/ppm	<30 s
SGX Snesortech	pellistor	0%–100% LEL	nd	nd	nd	15 mV/%	<10 s
MICROcel	pellistor	0%–100% LEL	nd	nd	nd	5 mV/%	<5 s
Sixth Sense	pellistor	0%–10% LEL	±10% LEL	nd	nd	>25 mV/%	<10 s

Fig.9 – Sensores químicos disponíveis comercialmente para medição de COVs (adaptado de Szulczynski e Gebicki (2017))

A seleção de um sensor adequado depende do próprio gás que irá ser alvo de medição, do intervalo de medição pretendido, do facto se o sensor é suposto ser estacionário ou portátil, da identificação da presença de outros gases que podem influenciar a leitura ou danificar o dispositivo de medição.

Os sensores apresentados na Fig.9 são caracterizados por apresentarem vantagens em termos económicos, bons parâmetros metrológicos, funcionalidade, design simples, e possibilidade de miniaturização. No entanto existem alguns inconvenientes como um alto limite de deteção e quantificação (*MOS*, *NDIR*, *PELLISTOR*). Alguns dos sensores também apresentam fracas propriedades seletivas.

Os sensores químicos para deteção e medição de COVs têm vindo a ser cada vez mais desenvolvidos e melhorados, dada a sua elevada procura.

2.3.3. Sensores CO_2

Os sensores infravermelhos não dispersivos (*NDIR*) têm sido amplamente utilizados no monitoramento de CO_2 no ar ambiente (Yi et al., 2005). Este tipo de sensor apresenta algumas vantagens técnicas como uma longa estabilidade de duração, baixo consumo de energia e uma alta precisão (Park, Cho e Yi, 2010; Yasuda, Yonemura e Tani, 2012; Yi et al., 2005). No entanto, alguns autores constatam que uma variação na temperatura ambiente pode influenciar a precisão global do sensor *NDIR*. É necessário realizar uma adequada calibração de forma a melhorar os erros de medição dos sensores de CO_2 (Yasuda, Yonemura e Tani, 2012).

Pandey, Kim e Lee (2007) avaliaram os erros de medição de CO_2 de dois diferentes tipos de sensores *NDIR* de diferentes fabricantes. Três unidades idênticas de cada um dos dois tipos de sensores foram

alvo de estudo tendo sido expostos a concentrações de CO_2 de 0, 500 e 1000 ppm. O estudo permitiu concluir que os sensores *NDIR* são altamente confiáveis e capazes de alcançar uma precisão de aproximadamente 5%.

De acordo com Martin et al. (2017) se este tipo de sensores for individualmente calibrado, selecionado para estabilidade e corrigido para a sensibilidade à variação de temperatura, pressão e humidade relativa, obtém-se um erro prático dos sensores inferior a 5 ppm, aproximadamente igual a 1% do valor observado.

Também os sensores *wireless* de ambiente interno que podem medir temperatura, humidade relativa e concentração de CO_2, têm sido recentemente desenvolvidos para poderem ser usados em Sistemas de Gestão de Edifícios *(BMS*) para controle de edifícios. Podem também ser utilizados para desenvolver um processo de comissionamento em edifícios sem *BMS*, propiciando, consequentemente, novas oportunidades para o envolvimento dos utilizadores e para a deteção de falhas. No entanto, se os sensores não forem precisos e confiáveis, podem promover falhas próprias ao seu sistema (Mylonas et al., 2019).

A determinação das capacidades e limitações deste tipo de sensores torna possível a quantificação dos efeitos na operação de um sistema AVAC, uso de energia e ambiente interno, se as suas medições forem utilizadas como *inputs* para o sistema AVAC.

Recentemente, Parkinson, Parkinson e de Dear (2019) descreveram o desenvolvimento e desempenho de um monitor de baixo custo *wireless* de QAI denominado SAMBA. Este sensor pode medir continuamente a temperatura do ar, humidade relativa, temperatura global, velocidade do ar, nível de pressão sonora, iluminância, concentração de CO_2 (com recurso a tecnologia *NDIR*), monóxido de carbono, formaldeído e COVs. Este dispositivo oferece visualização em tempo real de todos os parâmetros medidos da QAI através de uma plataforma online.

No núcleo das tecnologias utilizadas no desenvolvimento de novos protótipos estão o *Arduino* e o *Raspberry Pi*, devido aos seus atributos de processamento de dados. O *Raspberry Pi-based air quality monitoring system* que monitoriza diversos poluentes como O_3, PM, CO, NO_2, SO_2, COVs, CO_2, bem como a temperatura e humidade relativa em tempo real. Este, utiliza um sensor de internet *wireless* baseado num protocolo ZigBee que executa a gestão da rede de sensores, aquisição e transmissão de dados (Afolaranmi, Ramis Ferrer e Martinez Lastra, 2018).

Como soluções comerciais de diferentes empresas, que podem ser adquiridas no mercado, capazes de medir os mesmos poluentes mencionados anteriormente, destacam-se as seguintes:

- *AMS iAQ-Core IAQ sensor*
- *Foobot Air quality monitor*
- *Desktop air monitor AM6200*
- *Honeywell IAQPoint2*

2.4. Posicionamento de Sensores

É através de medições diretas que se conseguem obter informações relevantes no que concerne à concentração de contaminantes presentes no interior. Idealmente, de forma a obter uma informação completa da distribuição da poluição nos compartimentos, seria necessário recorrer a uma investigação experimental a uma escala total. No entanto, uma investigação desse tipo é considerada muito dispendiosa e morosa pelo que, previamente, deve ser adotada uma determinada estratégia, de forma a poupar tempo e custos (Mahyuddin e Awbi, 2012).

Segundo Pereira e Ramos (2018), o processo de instalação de um sistema de monitorização de dados relativo ao comportamento dos habitantes, não é uma tarefa simples. Problemáticas como a existência de dados corrompidos, períodos de não registo, falhas e *outliers*, exigem um cuidadoso pré processamento de dados. A escolha do sensor mais adequado e a necessidade de instalação de um sistema que seja capaz de funcionar corretamente com registo preciso dos dados, pouca manutenção e discrição para os ocupantes, constituem alguns dos objetivos prévios à recolha da informação propriamente dita. A localização do sensor para cada caso de estudo particular é também um fator a ter em consideração. Se o registo efetuado pelos sensores não for preciso, podem ocorrer perceções erradas relativas às condições interiores de uma habitação. Estes erros promovem a existência de patologias nos edifícios, má QAI (poluentes e CO_2) e baixo conforto térmico.

É fundamental ter conhecimento da taxa de ventilação de forma a controlar a QAI dos edifícios. Uma das abordagens frequentemente utilizada pelos investigadores para avaliar a ventilação e, consequentemente, a QAI é a medição da concentração de CO_2 que, por sua vez, é gerada metabolicamente (Bulińska, Popiołek e Buliński, 2014; Daisey, Angell e Apte, 2003).

De acordo com Mahyuddin e Awbi (2010), mesmo dentro de um edifício, a concentração de CO_2 pode variar de local para local. Isto deve-se a uma distribuição espacial não uniforme do ar e dos seus poluentes assim como a um assentamento gravitacional. Uma baixa taxa do fluxo de ar gera uma distribuição espacial não uniforme da concentração de CO_2. Elencam-se abaixo outros fatores que contribuem para esta não uniformidade:

- Nível de ocupação;
- Posição do ocupante;
- Taxa do fluxo do ar;
- Tipo de sistemas de ventilação;
- Localização/Posições de entrada e saída dos terminais de ar;
- Movimento do ar interior;
- Condições ambientais interiores e exteriores.

Desta forma é essencial que se escolha a localização mais adequada do sensor na obtenção de valores representativos próximos aos valores médios de concentração do compartimento (ASTM D6245-07-2007).

Fox et al. (2003) concluem que quando o sistema AVAC está em funcionamento, apenas é necessário a utilização de um local de amostragem na monitorização de dados de forma a caracterizar os níveis de poluentes no interior. No entanto, com o aumento da área e da densidade, uma amostra não seria o suficiente para alcançar resultados precisos, o que se deve à grande variação causada pelo aumento da fonte de poluentes assim como às grandes distâncias envolvidas.

Mahyuddin e Awbi (2012) abordam algumas particularidades relacionadas com aspetos de medição, locais de análise e o impacto que estes têm no registo das concentrações de CO_2 nos edifícios. O número de sensores, a altura e a localização destes também foram analisados.

O estudo consiste numa conjugação de duas abordagens. A primeira, reúne uma revisão de literatura de diversos artigos sobre o conhecimento relacionado com o tema, denominada por base de dados. Este estudo inclui pesquisas em 46 artigos, em diversos continentes, sendo que o mais representativo é o continente Asiático (41%) seguido do continente Europeu (26%). A segunda, comporta a realização de um questionário de forma a identificar os procedimentos e metodologias realizados por profissionais e investigadores (questionário). De salientar que o questionário ocorreu numa prestigiada conferência sobre QAI – "*Indoor Air*" em Copenhaga, Dinamarca.

Algumas das conclusões a evidenciar deste estudo revelam:

- Preferência maioritária na utilização de apenas um sensor, tanto da parte do questionário (59.4%) como da base de dados (43%). Esta preferência diminui com o aumento sucessivo do número de sensores.
- A utilização de 5 ou mais sensores compreendeu 18% nos questionários contra apenas 6% da base de dados. Esta diferença pode ser explicada pela influência da área do pavimento dos compartimentos.
- Correlação feita com o número de sensores e a área do quarto indica valores significativos de R^2 para a utilização de 1 sensor para uma área do pavimento inferior a 100 m^2.
- Preferência considerável para uma altura compreendida entre 1,0-1,2 m acima do pavimento, nas duas abordagens.
- Outra preferência significativa para uma altura de 1,3-1,8 m. Porém existe uma elevada diferença na percentagem das duas abordagens: 30% na base de dados comparados com os 9% do questionário. Estes dados comprovam a incerteza que existe na escolha de uma altura ótima do sensor.
- Escolha do centro do compartimento e uma posição próxima aos ocupantes como locais de eleição para amostragens. A preferência pelo centro do compartimento poderá estar relacionada com a pouca probabilidade de existência de padrões de comportamento humano, presença de mobílias e aberturas, padrão do fluxo do ar, entre outros.
- O número de ocupantes é o parâmetro que mais impacto significativo tem, embora seja também o que apresenta maior desvio padrão, o que indica alguma incerteza por parte dos investigadores quando relacionam o CO_2 com os padrões de ocupação.
- Número de ocupantes, tipo de ventilação e o efeito da intermitência do fluxo de ar devido à abertura de janelas e/ou portas durante o período de medição, são os parâmetros que mais têm influência na monitorização de CO_2 em quartos ocupados.
- Maior importância dada aos parâmetros relacionados com o fluxo de ar nos quartos do que os parâmetros relacionados com a posição dos sensores no mesmo.
- A escolha do melhor local para as amostras depende consideravelmente do conhecimento das fontes de concentração de CO_2 e a sua distribuição no compartimento. Ou seja, consoante o tipo de ventilação utilizado é importante conhecer o fluxo de ar dentro desse espaço, para uma melhor escolha do local mais adequado na obtenção de valores médios do mesmo.
- Segundo a base de dados existe a preferência na utilização de apenas um ponto de amostragem no compartimento como representativo desse local. Contudo, se existir uma elevada variabilidade da concentração de CO_2, os resultados obtidos irão ser desviados da média.

Numa outra investigação, realizada por Bulińska, Popiołek e Buliński (2014) recorreu-se a uma análise computacional de dinâmica de fluidos (*computational fluid dynamics – CFD*) para determinar a concentração média de CO_2 no interior de um espaço. Foram considerados diversos parâmetros nesta análise. Algumas conclusões que importam salientar destacam:

- Sensores podem ser posicionados no centro do quarto ou próximo da porta por onde o ar se escoa;
- Devem ser evitados locais próximos a janelas ou dispositivos de aquecimento (radiadores) assim como acima da fonte de emissão de CO_2 (zona respirável humana);
- É recomendado manter uma distância mínima de 40 cm do sensor às paredes do compartimento;
- As medições podem ser obtidas corretamente no centro do quarto independentemente da altura deste.

Os parâmetros relacionados com o fluxo do ar garantem de certa forma uma grande variabilidade no posicionamento de sensores de CO_2, porém é evidente que a escolha da localização e da altura do sensor pode ser crucial na obtenção de medições fiáveis.

3
METODOLOGIA

3.1. PLANO DE ENSAIO

O plano de ensaio compreende um estudo *in-situ* da qualidade do ar de habitações residências com recurso a dois tipos de equipamentos de monitorização contínua. No seu conjunto, os equipamentos de monitorização da QAI permitiram colecionar resultados ao nível da temperatura, humidade relativa, dióxido de carbono, partículas suspensas inferiores a 2.5 µm e compostos orgânicos voláteis totais. De forma a tornar mais completa a investigação, recorreu-se a um equipamento de medição da velocidade do ar (anemómetro) e a uma estação meteorológica para obtenção de dados climatéricos. O estudo decorreu em 10 habitações distintas, localizadas no distrito do Porto. Todas as casas em estudo possuem um sistema de ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples. De salientar que, em todas as habitações (salvo uma exceção) existem interrupções do sistema de ventilação, seja durante o período noturno e/ou durante certos períodos do dia. Os dois sensores foram utilizados em cada habitação e em diferentes compartimentos (quartos, cozinhas e casas de banho) ao longo de um período de 3 semanas.

A escolha destes compartimentos baseou-se no facto de tais divisões apresentarem, teoricamente, períodos de ocupação mais longos. Assim, torna-se relevante estudar estes espaços, tendo em atenção os fluxos de ar quando o sistema VMC está desligado, uma vez que poderão estar associados à presença de determinados poluentes e influenciar a saúde humana. Para o posicionamento dos sensores nos diversos espaços habitacionais, foram seguidas as diretrizes da ASTM D72974-4 *Standard Practice for Evaluating Residential Indoor Air Quality* (ASTM, 2014) com uma altura aproximada de 1m, medido a partir do pavimento.

3.2. CASOS DE ESTUDO

Os casos de estudo encontram-se num *template* desenvolvido e apresentado em anexos que inclui algumas informações relativas a cada habitação, como a planta da edificação, o nº ocupantes, alturas, pesos, idades, tipologia da habitação assim como a própria localização dos sensores utilizados e o caudal de extração do sistema VMC de fluxo simples em cada compartimento. Adicionalmente apresenta-se a estrutura do *template* no Quadro 17.

Quadro 17 - *Layout* de apresentação dos casos de estudo

Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
Homem Mulher Criança			

PLANTA

Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia

Interrupção ou Funcionamento da VMC
Compreendido entre:

3.3. DESCRIÇÃO DOS EQUIPAMENTOS

3.3.1. MÓDULO PROTÓTIPO CO_2

No estudo realizado recorreu-se a um sensor protótipo para a medição da concentração de CO_2 (Fig.10). Este sensor foi desenvolvido na secção de Construções Civis pelo Departamento de Engenharia Civil da FEUP. Este é constituído por:

- um sensor da marca Telaire do modelo T6713;
- um Arduino MKR1000 responsável pela aquisição e tratamento de dados, possuindo um módulo de Wi-Fi integrado;
- um *shield* que inclui um leitor de cartões microSD;
- um RTC;
- suporte e comunicação com o cartão microSD de memória para armazenamento de dados.

Fig.10 – Módulo protótipo de medição de CO_2.

Algumas das características do equipamento mencionado encontram-se no Quadro 18.

Quadro 18 - Características do módulo de CO_2

Parâmetro avaliado	Sensor	Intervalo de medição	Precisão	Resolução	Tempo de resposta
CO_2	NDIR (non dispersive infrared)	0-5000ppm	±25 ppm ou ±3% (0 – 2000 ppm) ±30 ppm ou ±3% (20000 – 5000 ppm)	1 ppm	3 min para 90%

De salientar que o módulo de CO_2 apresenta valores muito estáveis quando comparado com outros sensores, nomeadamente o Telaire 7001 e MG811, bem como tendências de evolução da concentração de CO_2 semelhantes entre sensores (Pereira Fernando Pedro, 2018).

Adicionalmente, existem outras particularidades relevantes:

- A comunicação do sensor de CO_2 é feita através da utilização da saída PWM regulada para 1 Hz, possibilitando medições precisas e simples da concentração de CO_2.
- Uma fonte de 5V é responsável pela alimentação do conjunto assim como um mínimo de 200 mA de corrente. Este consumo elevado exige a utilização da rede elétrica para alimentação do módulo (com recurso a cabo USB).
- A precisão máxima do sensor só é alcançada após cerca de 10 minutos (devido à necessidade aquecimento prévio do equipamento). Assim, os resultados obtidos até esse momento são descartados. Esta particularidade condiciona a existência de uma otimização do consumo do sensor, não sendo adequado colocar o sensor em hibernação devido às exigências definidas para os intervalos de medição.

Relativamente à medição, em cada intervalo definido no programa de interface do módulo, o microcontrolador faz a medição do *duty cycle* da onda de 1 Hz, presente no pino PWM do sensor e o tempo positivo da onda que indica o respetivo valor em ppm do CO_2 monitorizado, existindo uma pausa de 2 ms de uma medição para a seguinte. Assim, recorre-se à expressão seguinte (9) para definir o cálculo da concentração de CO_2:

$$C_{(t)} = \left(t_{pulse} - 2\right) * 5 \tag{9}$$

Em que,

C (t) – concentração de CO_2 no intervalo de tempo t [ppm]
tpulse – tempo em que a onda está no estado 1 [milissegundos]

De cada vez que o sensor entra em funcionamento, ocorrem diversos procedimentos:

- Verificação da presença, ou não, do ficheiro de configuração do relógio. Caso o mesmo esteja presente, o relógio é reconfigurado, caso contrário permanece inalterado.
- Verificação da existência do ficheiro de configuração do intervalo entre medições e configuração do tempo de intervalo;

- Regista no cartão (no ficheiro datalog.txt), a data e a hora, seguidas de um aviso relativo ao início do sensor e um outro aviso para a não consideração dos valores dos primeiros 10 minutos (aquecimento prévio) (Fig.11).
- Regista no cartão, em cada intervalo de tempo definido, uma nova linha de texto com a data, a hora e o valor respetivo de CO_2 em ppm,

O módulo protótipo de CO_2 exibe uma dimensão de 25x43x71 mm3, apresentando-se na Fig.12 uma comparação deste com uma moeda e uma ficha elétrica.

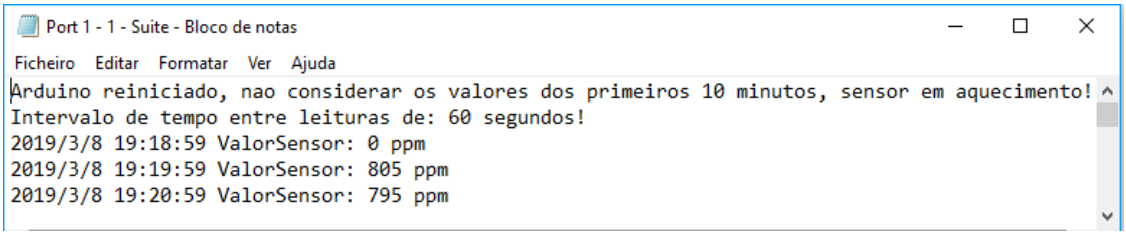


Fig.11 – Ficheiro bloco de notas obtido

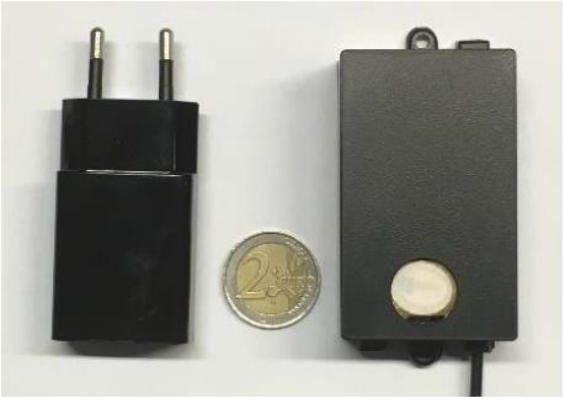


Fig.12 – Figura de comparação do módulo protótipo de CO_2

3.3.2. Equipamento Comercial Foobot

Neste estudo foi utilizado um sensor comercial denominado Foobot (Fig.13). Este sensor foi desenvolvido pela *AirboxLab* no Luxemburgo e faz a medição de um conjunto de parâmetros, entre os quais a temperatura (T), humidade relativa (HR), partículas em suspensão 2.5 µm ($PM_{2.5}$), compostos orgânicos voláteis totais (COVTs) e um valor estimado da concentração de CO_2. O mecanismo do dispositivo é simples; um microprocessador coleta as saídas elétricas dos sensores, converte-as em dados, que são então transmitidos via internet para um servidor remoto, onde um algoritmo é aplicado para derivar as concentrações medidas. Os dados podem ser perdidos se o sinal *wireless* for interrompido, pois o Foobot não possui armazenamento interno de dados. O fabricante hospeda um site onde os dados carregados podem ser visualizados e obtidos pelos utilizadores.

O equipamento não apresenta nenhum sensor específico para medição de CO_2, sendo que a leitura deste composto é realizada através de um algoritmo próprio. De salientar que o output referente ao CO_2 não foi utilizado uma vez que se recorreu ao módulo protótipo de medição de CO_2 (descrito anteriormente), que apresenta uma melhor precisão. O Foobot armazena dados dos seus sensores e fornece como *output* (em dispositivo móvel) um índice geral da qualidade do ar do compartimento da habitação, numa escala de 0 (melhor) a 100 (pior) (Fig.14).

Fig.13 – Equipamento comercial Foobot

Como principais características/critérios apresenta:

- Pontuação da qualidade do ar;
- Luz colorida (obtém uma leitura instantânea no dispositivo, sendo que a cor azul é considerada boa e laranja má);
- Monitorização através da aplicação móvel (de fácil configuração e conexão ao equipamento);
- Obtenção de gráficos de poluição em tempo real;
- Notificações instantâneas quando a QAI atinge valores preocupantes;
- Conetividade, armazenamento e acesso remoto aos dados;
- Facilidade de operação (sem necessidade de pessoal qualificado);
- À prova de água, robusto e resistente à corrosão;
- Baixo custo (200€, incluindo equipamento e software).
- Boa capacidade de resposta e qualidade do suporte técnico;
- Manutenção fácil e mínima.

Fig.14 – Layout da informação monitorizada em dispositivo móvel

Algumas particularidades técnicas são apresentadas no Quadro 19. Um excerto do ficheiro de dados obtido encontra-se na Fig.15.

Quadro 19 - Especificações técnicas do equipamento (Moreno-Rangel et al., 2018; Sousan et al., 2017)

Sensor	SENSIRION SHT20
T	[-40 – 125 ºC] ± 0.4 ºC
HR	[0 – 100 % HR] ± 4.0 % HR
CO_2 eq	[400 – 6000 ppm]
Sensor	AMS iAQ-CORE-C
COVTs	[125 – 1000 ppb] ± 1.0 ppb
$PM_{2.5}$	
Modelo sensor integrado OEM	Sharp GP2Y1010AU0F
Intervalo de concentração	[0 – 1300 µg/m^3] ± 4 µg ou ±20%
Intervalo de alcance/sensibilidade	0.3 – 2.5 [µm]
Armazenamento Remoto	Sim
Armazenamento Interno	Não
Conexão Wi-Fi	Sim
Recuperação Remota de Dados	Sim
Frequência de registo [min]	5
Dimensões [mm]	71 x 172
Peso [g]	475

1	Reading Time	Global Pollution	PM Value	VOC Value	CO2 Value	Tmp Value	Hum Value
2	March 2, 2019 at 11:33AM	29.58	16.44	217	783	19.88	64.33
3	March 2, 2019 at 11:38AM	29.44	16.44	216	782	19.88	64.55
4	March 2, 2019 at 11:43AM	28.98	15.98	216	779	19.88	64.89
5	March 2, 2019 at 11:48AM	28.98	15.98	216	780	19.88	65.11

Fig.15 – Ficheiro Excel obtido

3.3.3. Estação Meteorológica da Constituição (Porto)

De forma complementar, considerou-se relevante obter informação relativa ao clima exterior, mais especificamente dos dados da temperatura exterior (Text) e humidade relativa exterior (HR) coincidentes com o período de monitorização dos sensores utilizados em cada caso de estudo. Desta forma recorreu-se à estação meteorológica SMPC-PORTO (Fig.16) localizada na Rua da Constituição, na cidade do Porto para obtenção desses dados. Esta estação apresenta sensores disponíveis para a medição da humidade, precipitação, pressão atmosférica, radiação, temperatura e vento, sendo que a marca da estação é a *Davis Vantage Pro2 Plus.*

Fig.16 – Estação meteorológica utilizada

Com os dois parâmetros mencionados inicialmente foi calculada a pressão parcial de vapor de água (P), obtida através da expressão (10) (Künzel, 1995). Adicionalmente, foi calculada a variação de pressão parcial de vapor de água (ΔP) no interior das habitações, sendo que esta é obtida quando se subtrai P exterior a P interior (ΔP= P interior – P exterior).

$$P = \frac{HR}{100} \times 611 \times e^{\left(\frac{a \times T}{t' + T}\right)} \tag{10}$$

Em que:
P – pressão parcial de vapor de água [Pa]
e – número de Nepper
a= 22.44; t´= 272.44 se T < 0ºc ou a= 17.08; t´=234.18 se T ≥ 0ºC
HR – humidade relativa [%]
T – temperatura [ºC]

3.3.4.Equipamento de Medição Pontual - Anemómetro

Para medição da velocidade e direção do fluxo de ar dos sistemas de ventilação em diferentes compartimentos, recorreu-se ao equipamento de medição pontual anemómetro. Neste estudo o anemómetro utilizado foi do tipo digital (Fig.17). Este equipamento possui algumas caraterísticas específicas:

- Permite regular as unidades de leitura da velocidade (km/h, m/s, milhas/h, pés/min).
- Apresenta leitura digital e é de fácil manuseio.
- Permite a medição de outros parâmetros meteorológicos (temperatura, humidade relativa).

Fig.17 – Anemómetro digital utilizado

Através da velocidade foi possível calcular o caudal de extração do sistema de ventilação, multiplicando a velocidade pela área de secção (circular) do sistema de condutas de cada espaço, expressão (11):

$$\mathrm{Qextr} = \mathrm{U} * \mathrm{S} \tag{11}$$

Em que:
Q extr – caudal de extração [m^3/s]
U – velocidade do fluxo de ar [m/s]
S – área da secção [m^2]

4
RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. PARÂMETROS ESTUDADOS E SÍNTESE DOS RESULTADOS

4.1.1. PARÂMETROS ESTUDADOS

Após uma análise das diversas habitações estudadas, escolheu-se a utilização da habitação PORT1 para apresentação dos resultados dos diversos parâmetros recolhidos. De salientar que estes dados correspondem a um dia tipo do período de monitorização das 3 semanas, dia 12/03/2019 00:00 – 13/03/2019 00:00. Os dados do equipamento Foobot são extraídos de 5 em 5 minutos, enquanto que no módulo protótipo de CO_2 estes se encontram em intervalos de 1 minuto. Assim, de modo a apresentar os dados com intervalos temporais idênticos, ambas as variáveis foram corrigidas para intervalos equivalentes de 5 minutos.

Através da Fig.18 é possível constatar que durante o período noturno a temperatura diminui em todos os compartimentos, como seria de esperar. Adicionalmente, a partir das 09:00-10:00h a temperatura aumenta em todos os compartimentos, atingindo valores máximos de 21,7 ºC entre as 12:00h e as 18:00h sofrendo em seguida um decréscimo (com exceção da cozinha, que apresenta uma queda, seguida de uma subida, alcançando um máximo por volta das 20h, exibindo, posteriormente um novo decréscimo). De salientar que a cozinha apresenta os valores mais altos da temperatura ao longo das 24h.

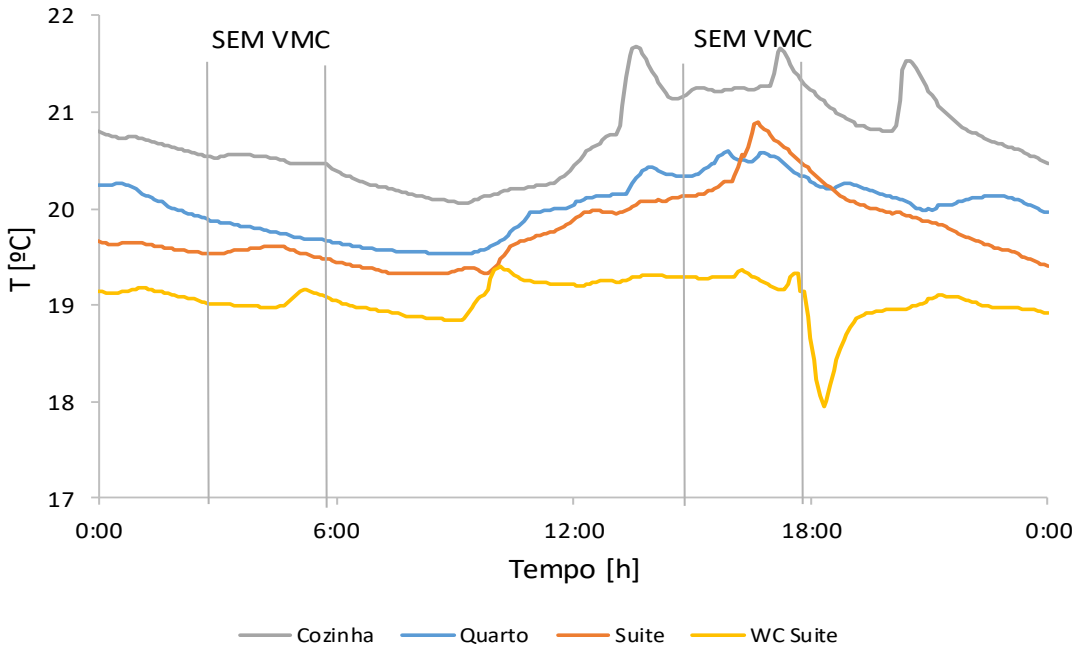


Fig.18 – Temperatura (T) PORT1

Relativamente à humidade relativa (Fig.19) o WC suite é o compartimento que apresenta maior percentagem deste parâmetro ao longo das 24 horas, sendo o máximo de 84 %, obtido no intervalo entre as 17:00h e as 18:00h. Por sua vez, a cozinha é a divisão que apresenta menores valores durante o período de monitorização, com valores mínimos de 52 % às 11:30h e às 13:30h, aproximadamente.

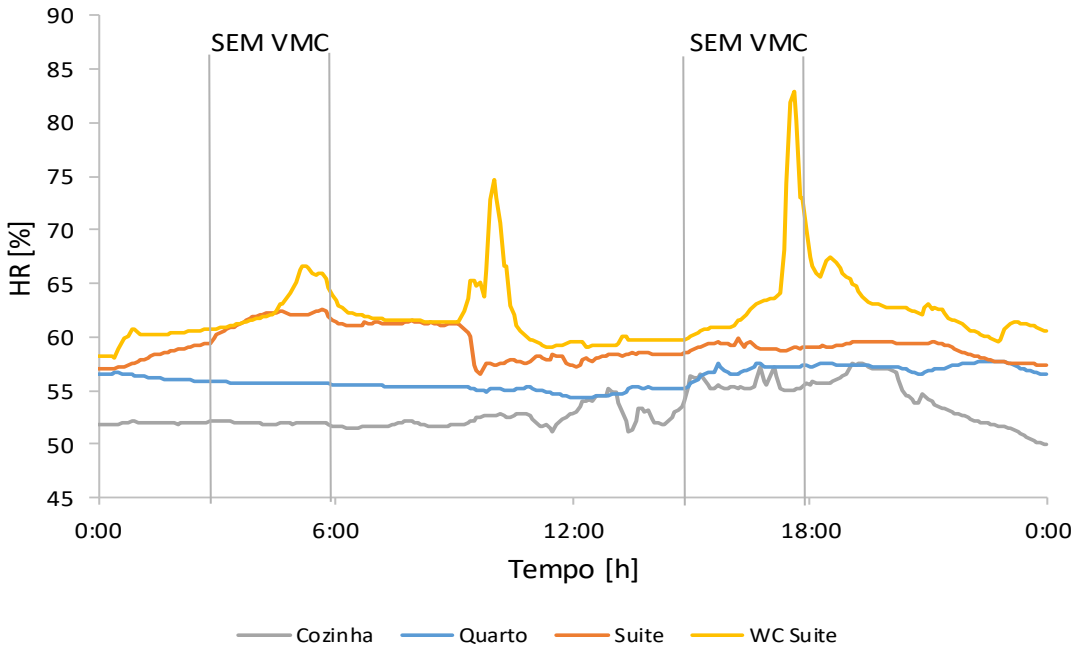


Fig.19 – Humidade Relativa (HR) PORT1

Para a variação de pressão parcial de vapor de água (ΔP) (Fig.20), durante as 24 horas, a suite e o WC suite, apresentam os valores mais elevados deste parâmetro. Os valores mais baixos ocorrem aproximadamente às 11:00h e às 19:00h com valores a rondar os -40 Pa. Isto significa que a pressão parcial de vapor de água exterior foi superior à pressão interior durante este período. A partir das 19:00h existe um crescimento acentuado em todos os compartimentos com valores máximos de 400 Pa ao final do dia.

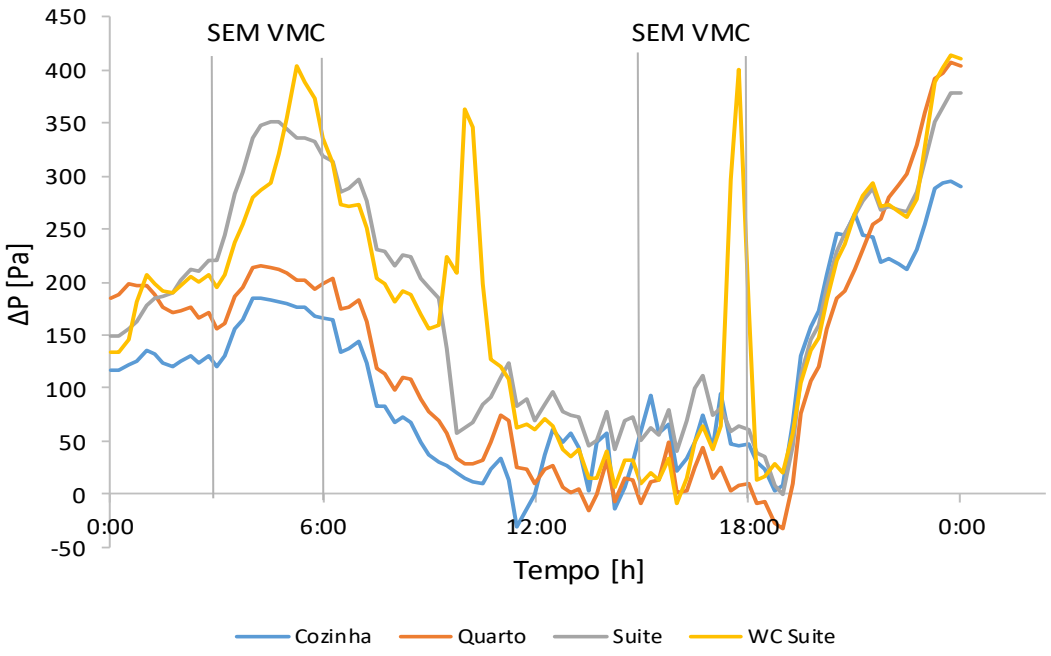


Fig.20 – Variação de pressão parcial de vapor de água (ΔP) PORT1

Relativamente às partículas $PM_{2.5}$ (Fig.21) durante o período noturno (00:00h – 6:00h) os valores são reduzidos nos 4 compartimentos (aproximadamente 10 µg/m^3). Existe um pequeno aumento deste poluente pela parte da manhã (10:00h) e ocorre um crescimento abrupto durante o período de almoço com valores máximos de 290, 200, 180 e 170 µg/m^3, na cozinha, quarto, suite e WC suite, respetivamente. Adicionalmente, durante o período de jantar são alcançados valores superiores a 100 µg/m^3 na cozinha.

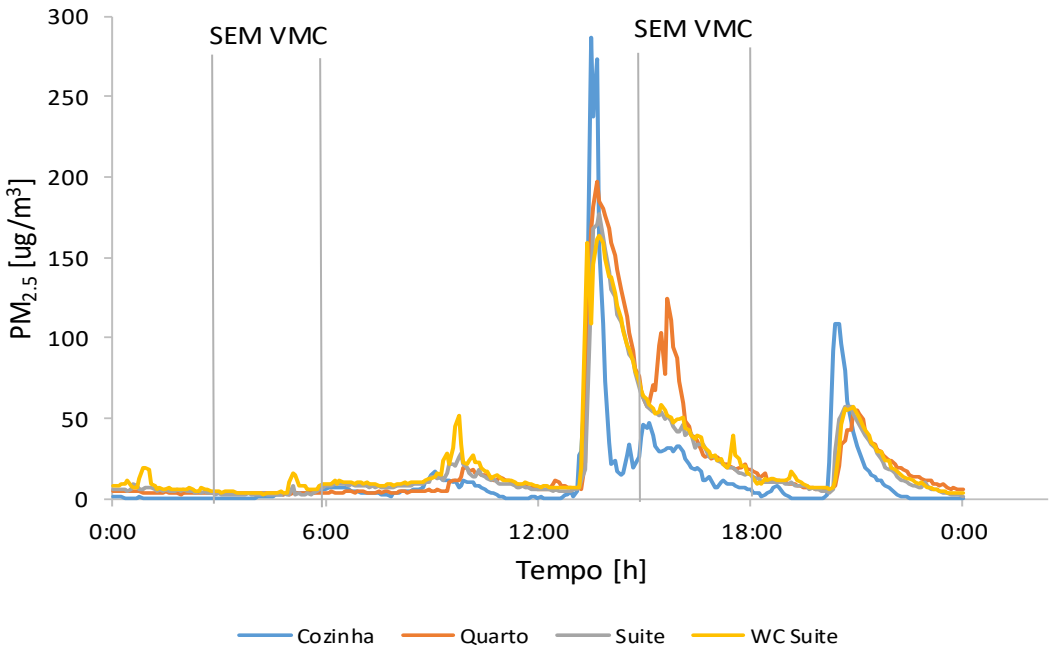


Fig.21 – Partículas $PM_{2.5}$ PORT1

Nos compostos orgânicos voláteis totais (COVTs) (Fig.22) é possível verificar que durante a noite não existem valores superiores a 400 ppb, sendo a sua evolução considerada estável. É a partir das 10:00h que ocorre um pico de, aproximadamente, 1000 ppb na suite e 800 ppb no WC suite. É também a partir desta hora que a evolução dos COVTs se torna irregular com algumas oscilações consideráveis. Às 14:00h ocorre um máximo de 1600 pbb na cozinha e um valor de 1200 ppb na suite.

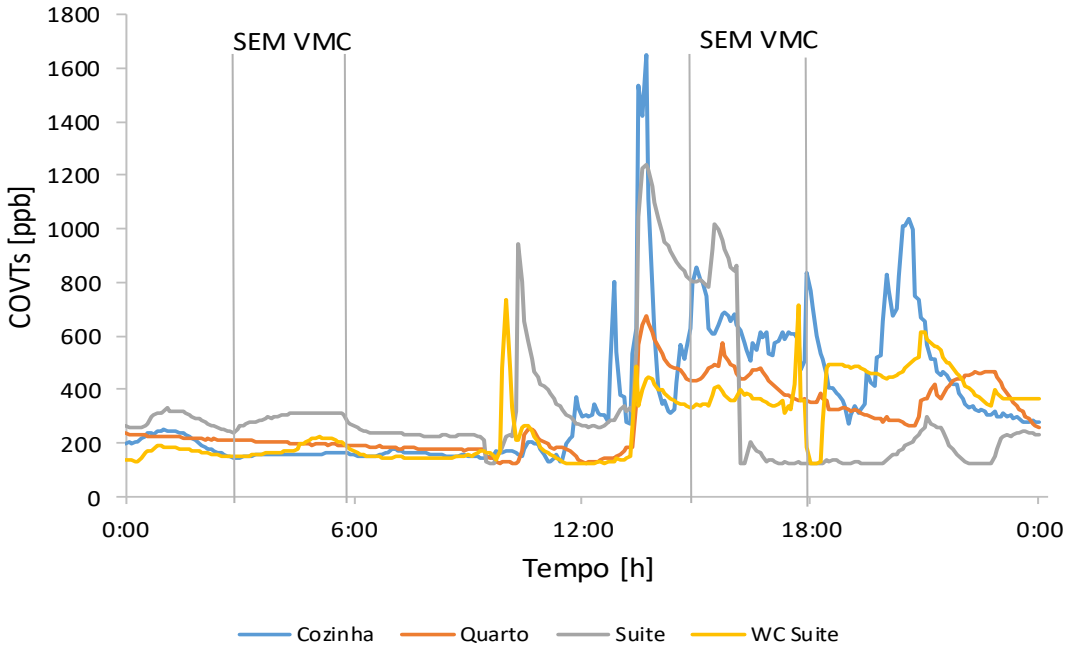


Fig.22 – Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVTs) PORT1

Para o poluente CO_2 (Fig.23), é na suite e durante o período noturno que se atingem as concentrações mais elevadas deste composto. A partir das 03:00h a concentração sobe consideravelmente atingindo um pico de 1600 ppm às 06:00h, sofrendo posteriormente um decréscimo acentuado. Por sua vez, a cozinha apresenta os valores mais baixos e uma evolução mais estável, não ultrapassando os 900 ppm de concentração ao longo das 24h.

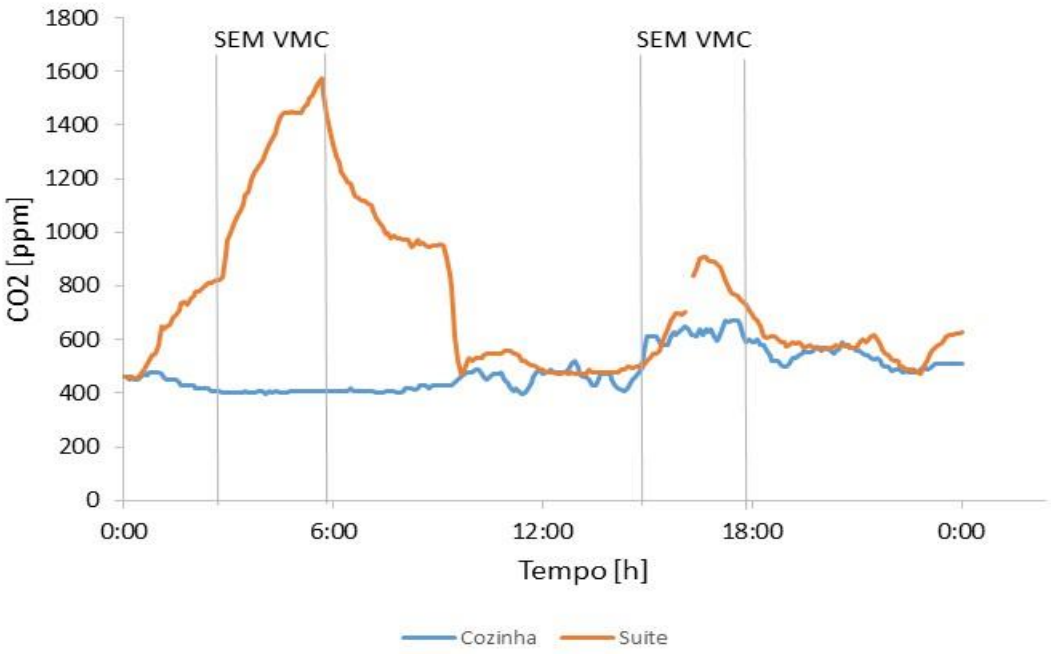


Fig.23 – Dióxido de Carbono (CO_2) PORT1

4.1.2. Síntese dos Resultados

O estudo realizado nas diversas habitações, permitiu reunir um elevado número de dados dos parâmetros mencionados para os diferentes compartimentos ao longo das 3 semanas de monitorização. De forma a ser possível apresentar os dados de forma sintética, são apresentados em anexos os dados dos parâmetros medidos, recorrendo a caixas de bigodes com médias horárias. Esta apresentação foi a escolhida uma vez que permite sintetizar a informação de forma adequada e sem envolver a utilização de muitos gráficos. Adicionalmente, apresentam-se também *boxplots* que fazem uma separação entre o período de funcionamento da VMC e o período de interrupção da mesma.

Na Fig.24 (gráfico localizado à esquerda) é possível observar-se a evolução diária da concentração de CO_2 ao longo das 3 semanas de análise, na cozinha e suite da habitação PORT1. É a partir da 1h da manhã que ocorre um crescimento acentuado deste parâmetro, atingindo um máximo superior a 1500 ppm entre as 5 e as 6h. A partir das 10h a concentração deste poluente não ultrapassa os 1000 ppm, em nenhum dos compartimentos.

No gráfico da direita existe a separação do período onde existe VMC e o período no qual há uma interrupção da mesma. Comparativamente aos dados obtidos com VMC, a cozinha apresenta um valor mediano ligeiramente inferior sem VMC, enquanto que a suite exibe valores muito superiores sem VMC. De salientar que é durante o período noturno que o sistema VMC é interrompido e é também durante este período que o número de ocupantes estabiliza.

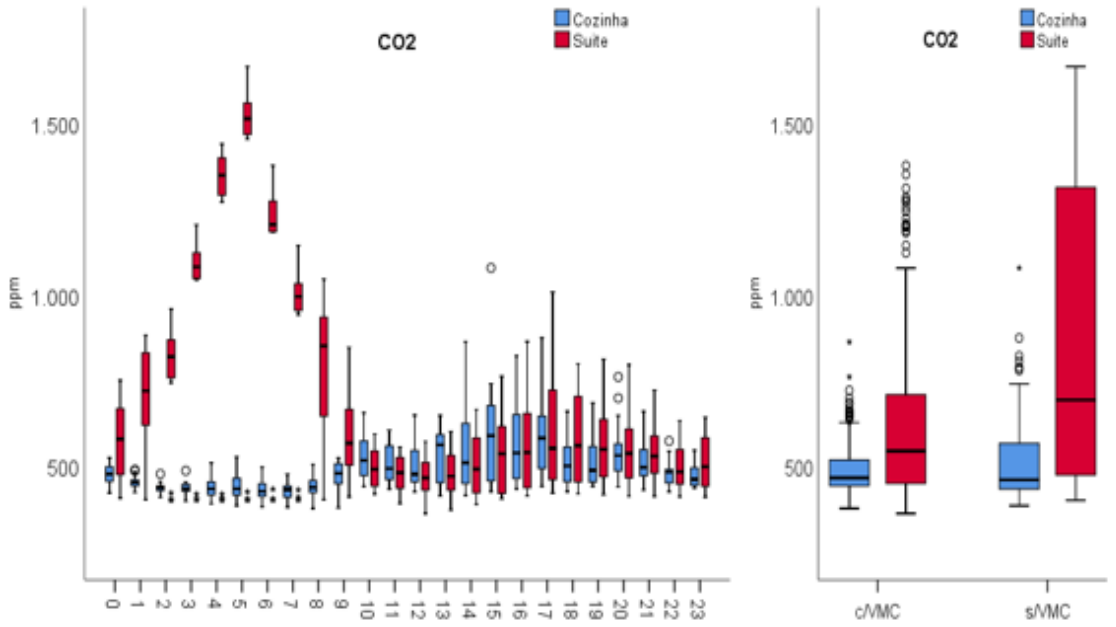


Fig.24 – Evolução de CO_2 diária e separação de períodos com e sem VMC

4.2.DISCUSSÃO - AMBIENTE INTERIOR OBSERVADO

Neste subcapítulo é realizada uma análise geral da QAI para todas as habitações nos diferentes compartimentos. Em primeira instância, realiza-se uma aferição dos valores mais frequentemente encontrados nos diversos casos de estudo o que permite realizar uma comparação com os limites e valores de referência referenciados na literatura. A apresentação dos gráficos não é efetuada de forma homogénea, uma vez que alguns dos resultados obtidos apresentam certas particularidades.

Através da Fig.25 é possível constatar que o compartimento WC, é a divisão que apresenta uma maior temperatura, com valores medianos a rondar os 22ºC e, por outro lado, a WC Suite apresenta os valores mais baixos (19ºC). Relativamente à HR, o valores medianos mais altos e baixos, são observados na WC Suite e na cozinha, respetivamente. Observou-se também que, as divisões que possuem menores temperaturas, apresentam valores elevados da humidade relativa, como já seria de esperar.

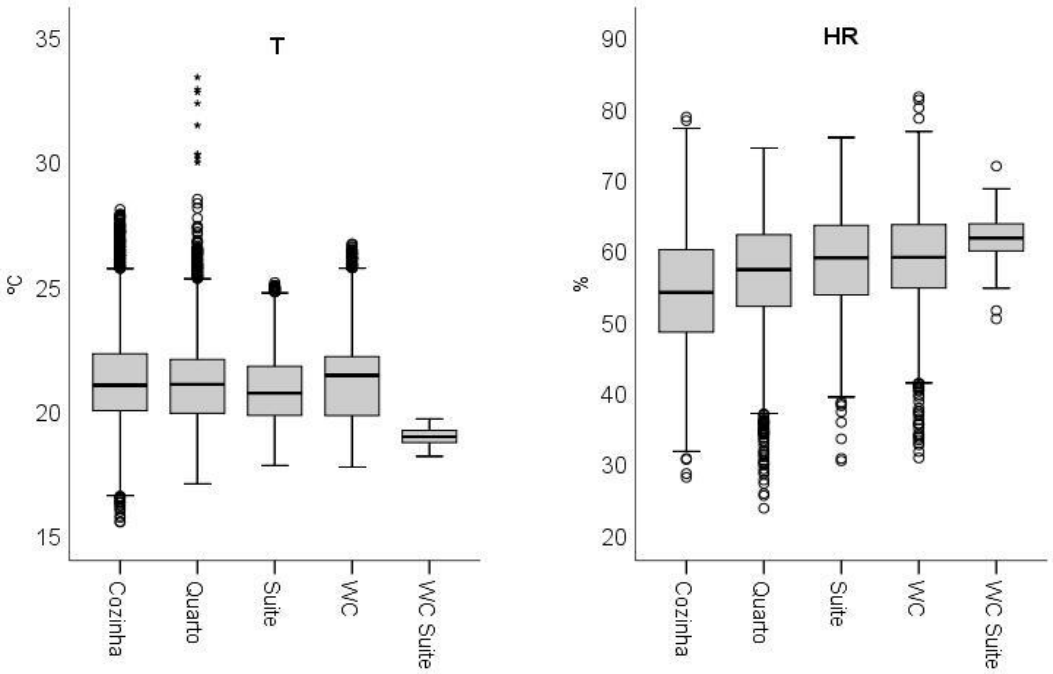


Fig.25 – T e HR Total

Relativamente à variação de pressão parcial de vapor de água (Fig.26), os valores medianos estão compreendidos entre os 200 e os 300 Pa. A suite é o compartimento que apresenta valores máximos superiores, enquanto que a cozinha apresenta os menores valores mínimos.

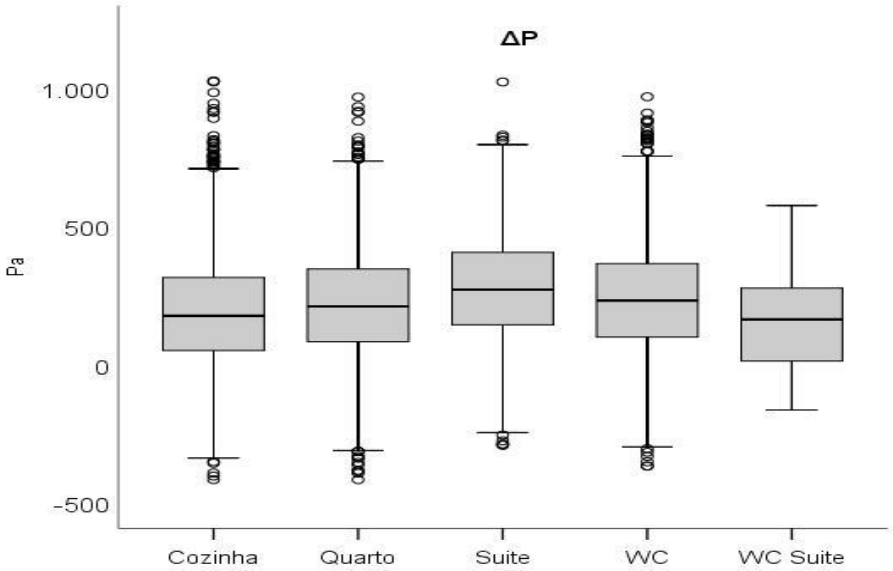


Fig.26 – ΔP Total

Após uma observação detalhada dos registos das concentrações dos poluentes e de uma comparação entre os diversos casos de estudo, foi notória a existência de valores de $PM_{2.5}$ muito elevados nas habitações PORT2 e PORT3 comparativamente às demais, o que poderá influenciar as respetivas médias e a apresentação dos resultados. Por tal motivo, os dados estatísticos desse parâmetro são apresentados separadamente para PORT2 e PORT3.

Através da Fig.27 é possível concluir que a maioria dos compartimentos apresenta concentrações de $PM_{2.5}$ medianas aproximadas a 10 µg/m^3. A cozinha e o quarto apresentam valores do 1º quartil próximos de 5 µg/m^3 e valores próximos a 11 µg/m^3 no 3º quartil. De salientar que o WC juntamente com a suite apresenta valores do 3º quartil a rondar os 13 µg/m^3, o que significa que 75% das habitações apresentam concentrações até esse valor nos mesmos compartimentos, e 25% das mesmas ultrapassam esse valor. Adicionalmente a suite é o espaço que apresenta as concentrações máximas mais elevadas (25 µg/m^3).

Relativamente ao limite de referência para estas partículas, o valor de 25 µg/m^3, assumido tanto pela WHO como pela Portaria 353-A/2013, todas as habitações com exceção do PORT2 e PORT3 cumprem este limite na sua globalidade. Os *outliers* são registados maioritariamente, em momentos onde ocorrem atividades de cocção de alimentos nos períodos de pequeno-almoço, almoço e jantar (como é comprovado nos dados em anexos).

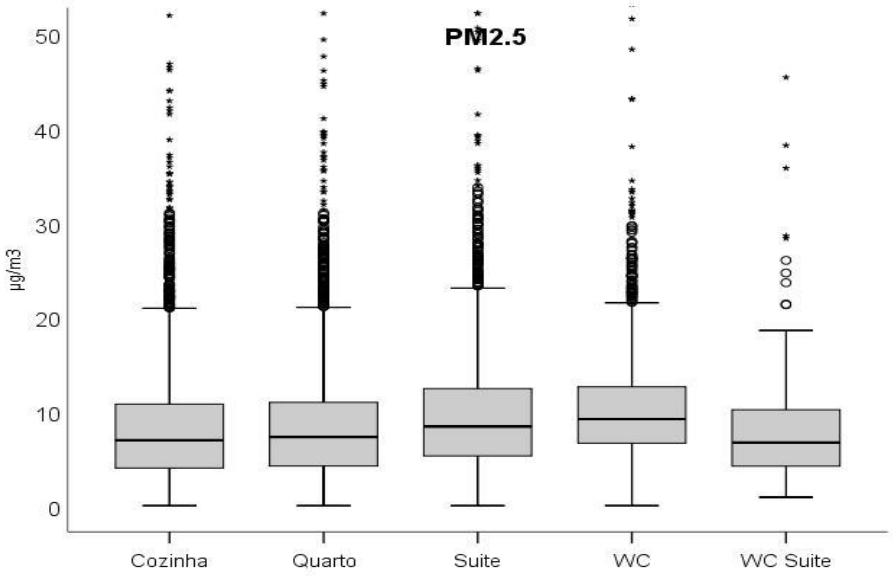


Fig.27 – Variação de $PM_{2.5}$ Total (sem PORT2, PORT3)

Na Fig.28 é possível comprovar a afirmação feita inicialmente, de que o registo elevado das concentrações deste poluente nas habitações PORT2 e PORT3 estaria a influenciar as restantes, uma vez que os seus resultados são claramente superiores. Comparativamente à Fig.27, a Fig.28 apresenta valores medianos superiores em todos os compartimentos. O WC apresenta valores máximos a rondar os 70 µg/m^3 e valores medianos superiores a 20 µg/m^3.

Nesta situação, o limite de referência de 25 µg/m^3 também não é ultrapassado em valores medianos em nenhum dos compartimentos, no entanto, em 25% dos registos para as duas habitações, no quarto o limite é alcançado (25 µg/m^3) e no WC é ultrapassado (valores próximos de 35 µg/m^3).

De salientar que as habitações PORT2 e PORT3, embora sejam de edifícios diferentes, estão localizadas em arruamentos perpendiculares. Estas têm a particularidade de estarem interligadas através de uma porta comum, pois os seus habitantes são familiares e optaram por efetuar esta alteração após a construção dos edifícios. As duas famílias que ocupam as diferentes habitações são fumadoras, o que poderá explicar a presença de níveis bastante elevados de $PM_{2.5}$, assim como a dispersão destas partículas pelos diferentes compartimentos. Também é importante referenciar a existência de uma cadeia de restaurantes muito próxima a estas duas habitações o que poderá estar na origem da existência de valores considerados excessivos. Estes resultados estão de acordo com os de outras investigações que comprovaram que as concentrações de $PM_{2.5}$ provêm maioritariamente do exterior, condicionando a sua concentração no interior.

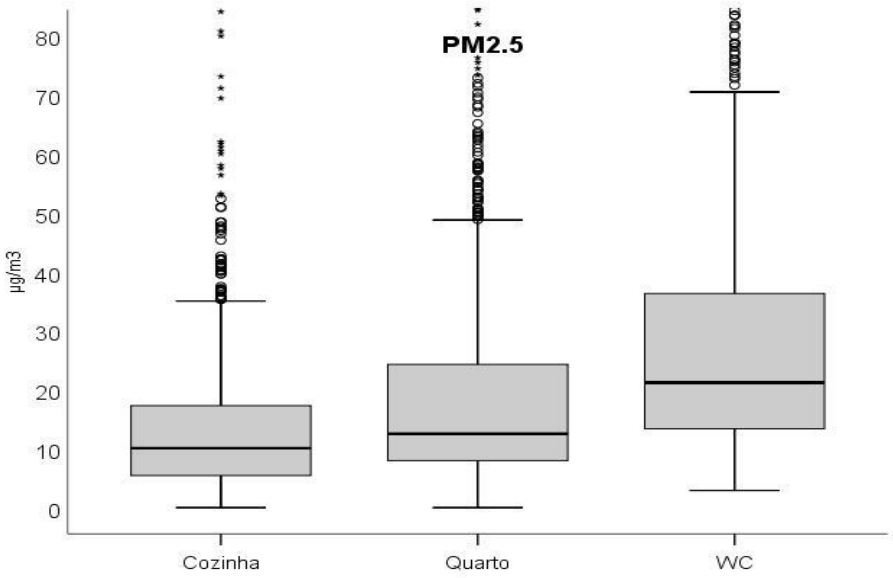


Fig.28 – Variação de $PM_{2.5}$ (PORT2+PORT3)

Adicionalmente, foram também analisadas, na cozinha, as concentrações de partículas $PM_{2.5}$ (Fig.29) em períodos de não cocção e em períodos de cocção, sendo estes o período de almoço e de jantar, como sendo os períodos mais significativos, tendo sido excluído o período de pequeno almoço. Ao nível dos resultados, os valores medianos são mais elevados em períodos de cocção (9 µg/m^3) comparativamente aos períodos de não cocção (6 µg/m^3). O mesmo acontece com os valores máximos registados, 22 µg/m^3 contra 22 µg/m^3. De salientar que os *outliers* presentes em ambos os períodos poderão resultar também, da atividade de fumar e/ou de poluição exterior (uma vez que todas as atividades mencionadas poderão ocorrer em momentos simultâneos).

Estes resultados estão de acordo com outros estudos realizados, onde se conclui e constata que a atividade de cocção de alimentos é das atividades que apresenta o contributo mais significativo na geração de partículas PM dentro das habitações.

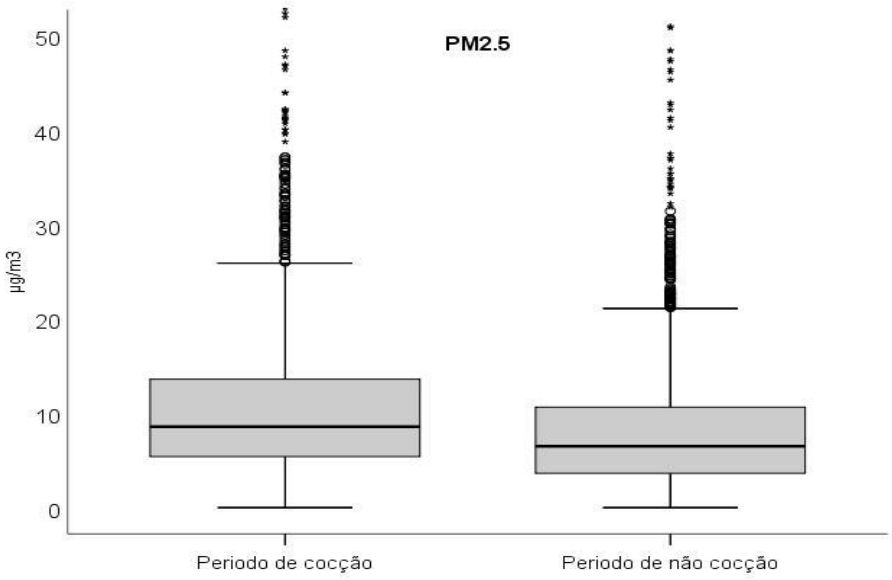


Fig.29 – $PM_{2.5}$ Cozinha

Relativamente aos COVTs (Fig.30) identificam-se valores medianos muito próximos dos 300 ppb em todos os compartimentos. De salientar que o quarto é o espaço habitacional que apresenta uma maior amplitude de resultados (com valores no 1º e 3º quartil de 250 e 500 ppb, respetivamente) assim como uma deteção de valores máximos superiores (1000 ppb) e um maior número de *outliers*. Os valores mínimos registados de 125 ppb correspondem ao valor mínimo de deteção do sensor Foobot.

Os valores da concentração de COVTs são medidos em parte por bilião de volume (ppb), sendo necessário reduzir esta unidade para µg/m^3 (massa por unidade de volume) de forma a ser comparável com os valores da revisão de literatura, tanto em unidades ppb como µg/m^3. De uma forma geral, não existe nenhum acordo que defina quais os compostos que devem estar incluídos nos COVs para gerar o valor representativo de COVT, uma vez que o número e a natureza dos mesmos variam de estudo para estudo. Por outro lado, existem alguns procedimentos que sugerem a separação da mistura química e identificação das componentes individuais para posteriormente ser utilizado um valor médio ponderado, o que não é possível neste estudo. O valor de COVT deve representar, o melhor possível, a total concentração de VOCs presentes no ar de forma a favorecer a possível utilidade para avaliação da QAI.

No entanto, alguns estudos, com outra tipologia de sensores, fornecem as concentrações de COVTs (ppb) equivalentes a um determinado composto (frequentemente o isobutileno), utilizando a massa molecular (g/mol) do mesmo para fazer a conversão (ppb para µg/m^3). Neste caso, o Foobot não especifica qual o composto que é utilizado como representativo do valor de COVT. Assim, o valor limite apresentado corresponde ao limite assumido pelo sensor Foobot que, segundo as informações técnicas do sensor, corresponde a um valor médio dos limites referência globais (tendo em conta também a WHO).

Deste modo, os valores medianos encontrados em todos os compartimentos são coincidentes com o limite de 300 ppb e existem 25% das habitações que excedem este limite em todos os compartimentos, acontecendo o mesmo com os valores máximos e *outliers*. Na revisão de literatura é indicado que os COVTs provêm essencialmente de fontes de poluição interiores, períodos de obras e renovações, materiais de construção, produtos de limpeza, perfumes e equipamentos, como fotocopiadoras.

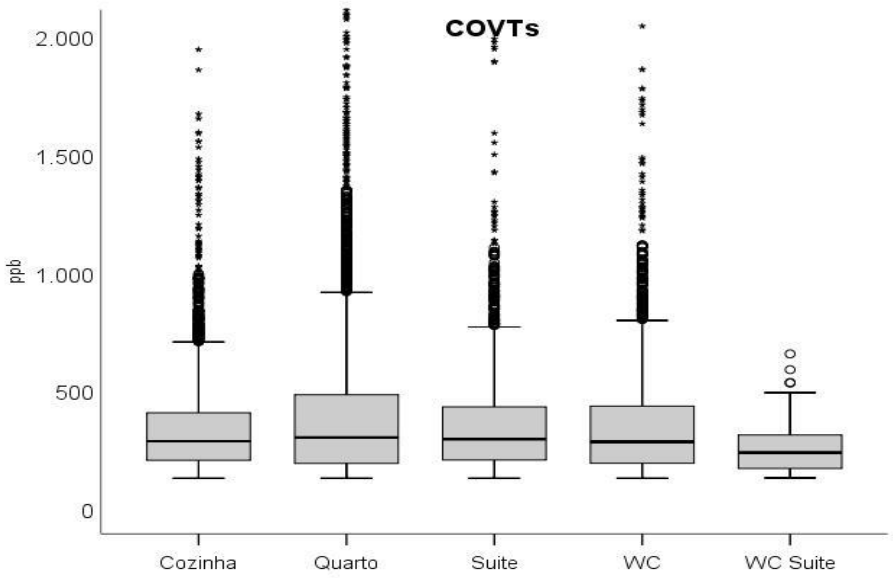


Fig.30 – Variação de COVTs Total

Relativamente à variação de CO_2 (Fig.31) é possível constatar que é no quarto e na suite que se observam os valores mais altos da concentração do poluente, com valores medianos próximos dos 800 e 700 ppm, respetivamente. O quarto apresenta valores máximos superiores a 2000 ppm, sendo que 25% dos casos de estudo apresentam valores superiores a 1200 ppm. É também neste compartimento que existe um maior número de *outliers*.

Por sua vez, na mesma figura também é possível observar-se a variação de CO_2 nas divisões quarto e suite, em diferentes períodos horários. O 1º, considerado período noturno, apresenta valores muito superiores comparativamente com o 2º, considerado período diurno. Estes valores devem-se ao facto de ser durante o período noturno que o número de habitantes estabiliza assim como o poluente em causa resultar, essencialmente, da ocupação humana (metabolismo humano). Estes resultados estão de acordo as conclusões obtidas em diversos estudos anteriores.

De salientar que o valor de referência de 1000 ppm, assumido e recomendado por diversos países e agências é maioritariamente ultrapassado em todos os casos de estudo durante o período noturno, nas divisões quarto e suite.

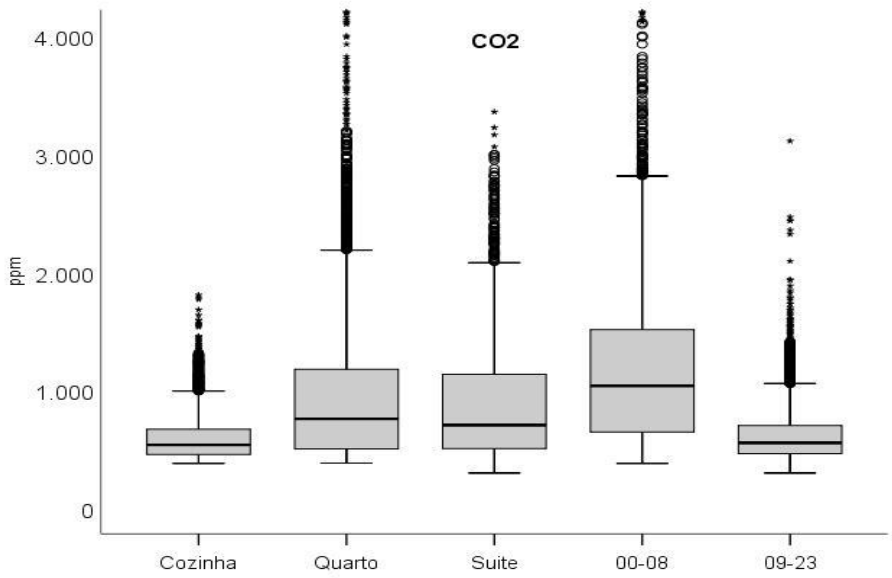


Fig.31 – Variação de CO_2 Total

4.3. ANÁLISE DOS PERFIS DIÁRIOS E EFEITO DA VMC

Neste subcapítulo faz-se uma análise detalhada dos perfis diários dos diversos parâmetros juntamente com o impacto que a ventilação VMC tem nos demais poluentes analisados. A habitação alvo de análise é a MAT1.

Na habitação MAT1 (Fig.32), ao longo do período de monitorização, para as partículas em suspensão ($PM_{2.5}$), a cozinha é o compartimento que apresenta concentrações mais elevadas comparativamente ao quarto. Na cozinha, os valores mais elevados são registados às 13h e às 20h, com valores medianos superiores a 10 µg/m^3 (aproximadamente 12 µg/m^3). Por sua vez, no quarto, por volta das 21h, encontram-se valores medianos igualmente superiores a 10 µg/m^3 (aproximadamente 13 µg/m^3).

De salientar que nesta habitação as medições se encontram dentro do limite de referência nacional (25 µg/m^3) apesar de existirem, excecionalmente, alguns valores máximos superiores.

Relativamente ao efeito da ventilação (VMC), é possível constatar que, sem ventilação, os valores registados são inferiores comparativamente a períodos onde o sistema VMC está em funcionamento. Um dos motivos principais para esta ocorrência, está associado ao facto de durante o período noturno existir interrupção do funcionamento da ventilação mecânica. É também neste período que existem valores mínimos deste poluente nos dois compartimentos analisados. Assim, o efeito da interrupção da VMC não é notório neste poluente uma vez que as concentrações mais baixas ocorrem durante o período em que o sistema VMC está desligado.

De salientar que os picos pontuais presentes no gráfico de médias horárias, resultam de atividades como cozinhar e fumar, como já foi mencionado.

Na Fig.33 e Fig.34 é possível constatar o afirmado anteriormente (valores superiores com VMC comparativamente aos valores sem VMC) para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 que possuem o mesmo período de interrupção do funcionamento VMC.

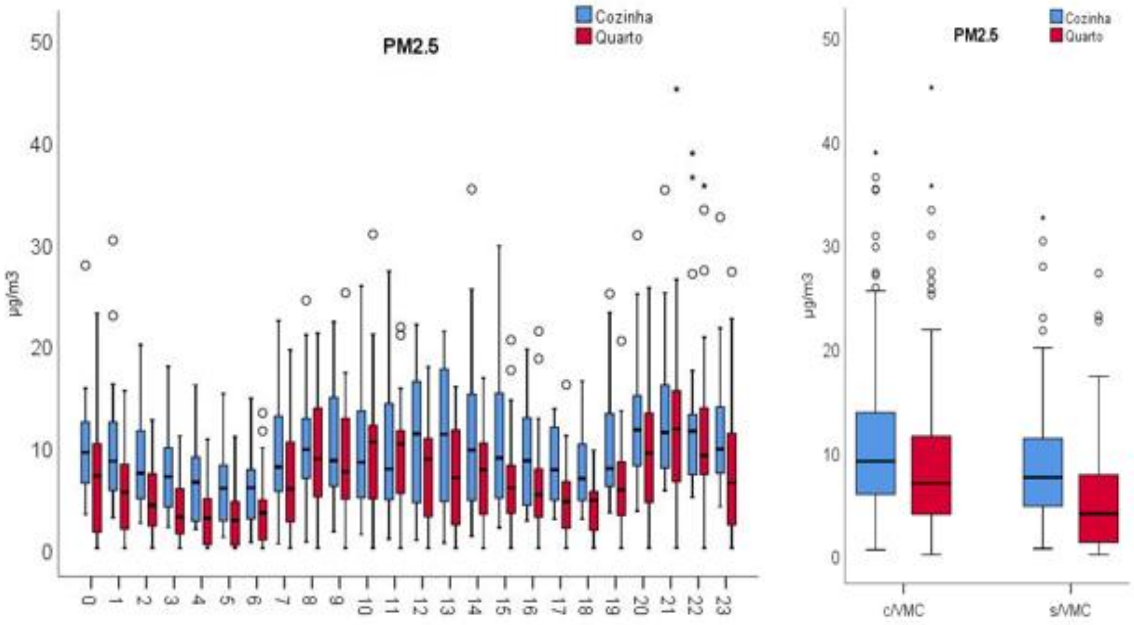


Fig.32 – Perfil $PM_{2.5}$ horário e respetivo *boxplot* MAT1

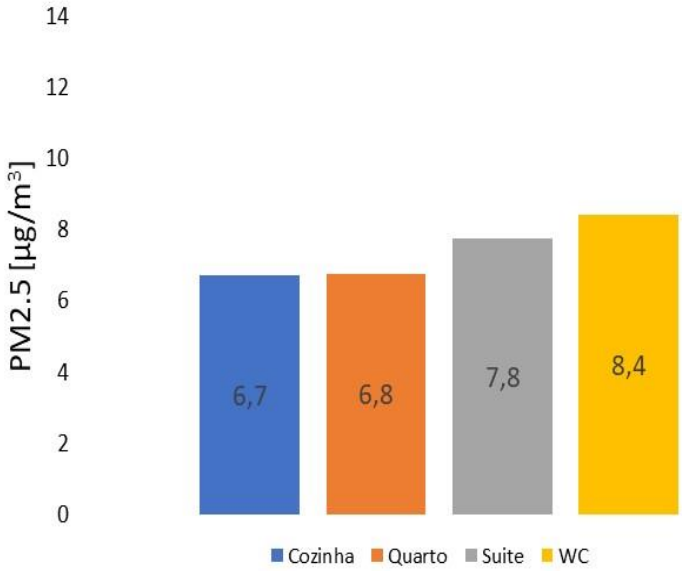


Fig.33 – Concentração de $PM_{2.5}$ média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 23h e as 7h (sem VMC)

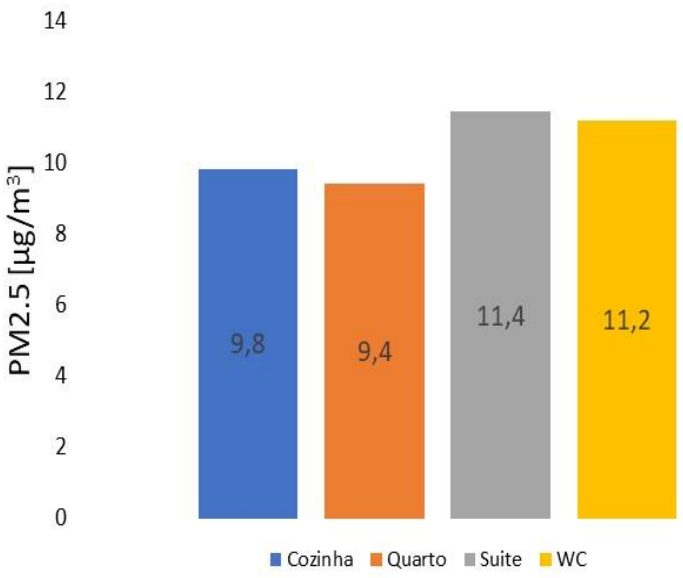


Fig.34 – Concentração de $PM_{2.5}$ média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 7h e as 23h (com VMC)

Relativamente aos COVTs (Fig.35), é possível constatar que os valores mais elevados deste poluente são registados durante o período noturno, com valores medianos próximos de 480 ppb e valores máximos de 800 ppb na cozinha e valores medianos de 800 ppb e valores máximos superiores a 1500 ppb no quarto.

Analisando o efeito da VMC, com a interrupção desta, os valores encontrados são superiores, tanto na cozinha como no quarto. Nesta situação, as concentrações elevadas ocorrem no período noturno, coincidente com o período em que o sistema está desligado. Assim, os valores sem VMC são claramente superiores. Adicionalmente, a partir das 7h quando o sistema entra em funcionamento existe um decréscimo acentuado dos valores médios de COVTs no quarto.

É evidente que, durante a manhã, quando os ocupantes começam a abrir as janelas, existindo um maior número de renovações horárias e consequente diluição dos poluentes, os níveis dos mesmos tendem a diminuir. Apesar disto, o efeito de transição sem VMC para com VMC é mais que evidente e notório.

De seguida, apresenta-se uma vez mais na Fig.36 e Fig.37 o impacto do sistema VMC para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 com as concentrações médias nos diferentes períodos, juntamente com o limite de referência utilizado (300 ppb), apresentado a vermelho nas figuras.

Na Fig.36 (sem VMC), as concentrações de COVTs ultrapassam o limite de 300 ppb, em todos os compartimentos. Por sua vez, na Fig.37, apenas o quarto ultrapassa esse limite.

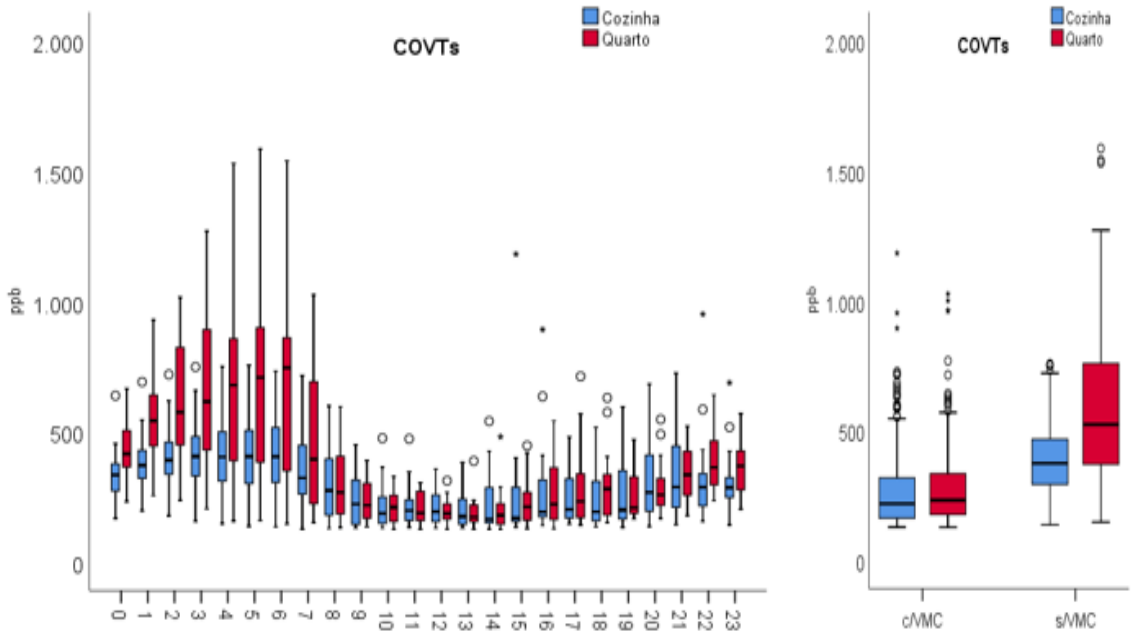


Fig.35 – Perfil COVTs horário e respetivo *boxplot* MAT1

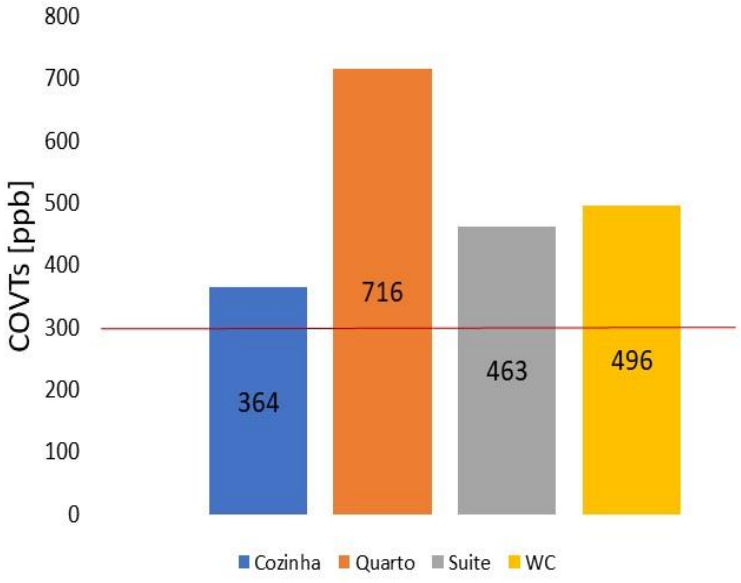


Fig.36 – Concentração de COVTs média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 23h e as 7h (sem VMC)

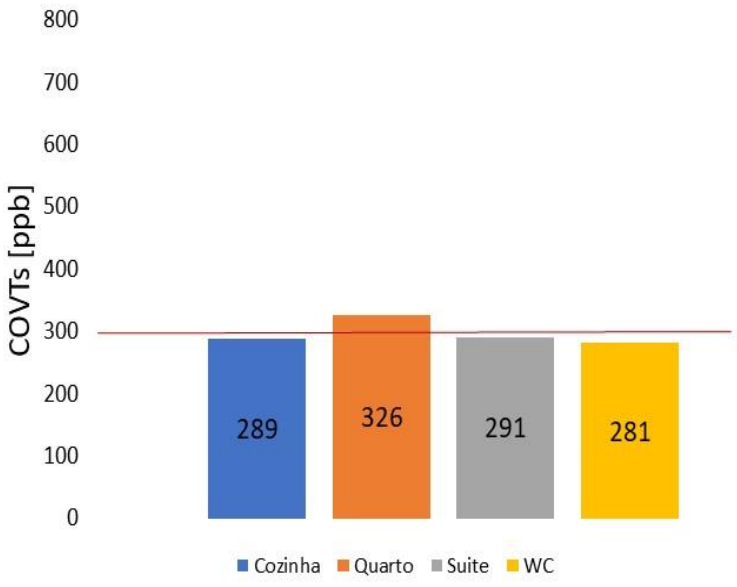


Fig.37 – Concentração de COVTs média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 7h e as 23h (com VMC)

Para o poluente CO_2 (Fig.38), os valores mais altos ocorrem também durante o período noturno, nas divisões quarto e suite. Os valores ultrapassam os 1250 ppm definidos pela portaria 353-A/2013 assim como os 1000 ppm definidos por diversas agências e *standards* europeias. Estes resultados estão de acordo com outros estudos previamente realizados.

Relativamente ao efeito da VMC, os valores são substancialmente superiores sem VMC, uma vez que correspondem ao período de maior produção de CO_2 (durante a noite), como já foi mencionado. Apesar disto, o efeito da VMC é visível quando a partir das 7h o sistema volta ao seu normal funcionamento, e existe um decréscimo acentuado de CO_2. Esta constatação traduz-se no facto de os valores medianos às 6h atingirem um pico de 2600 ppm, e a partir das 7h, quando já não existe interrupção do sistema VMC, os valores decrescerem para 1600ppm às 7h. Às 8h os valores medianos são inferiores a 1000 ppm, uma vez que entra em equação o comportamento dos ocupantes (como a abertura de janelas).

Na Fig.39 e Fig.40 é possível observar o efeito da VMC para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 nas concentrações médias de CO_2, sendo que a linha horizontal é referente ao limite de 1000 ppm.

Assim, sem VMC e nos compartimentos quarto e suite, os valores ultrapassam o limite de 1000 ppm (Fig.39), sendo que com VMC todos os compartimentos cumprem este limite, como é possível observar pela Fig.40.

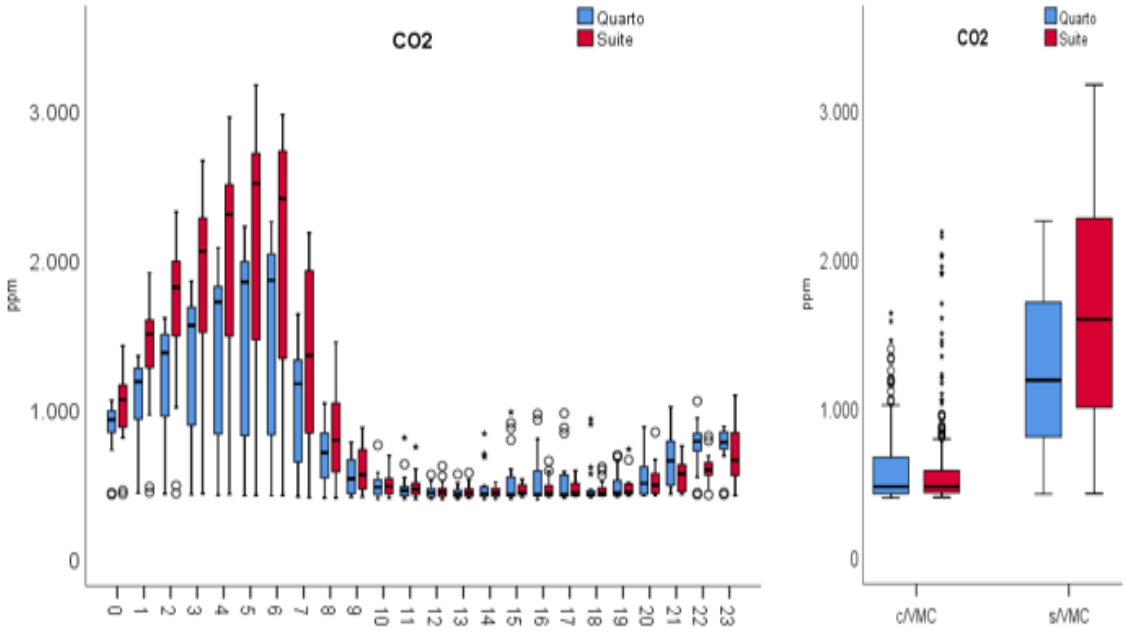


Fig.38 – Perfil CO_2 horário e respetivo *boxplot* MAT1

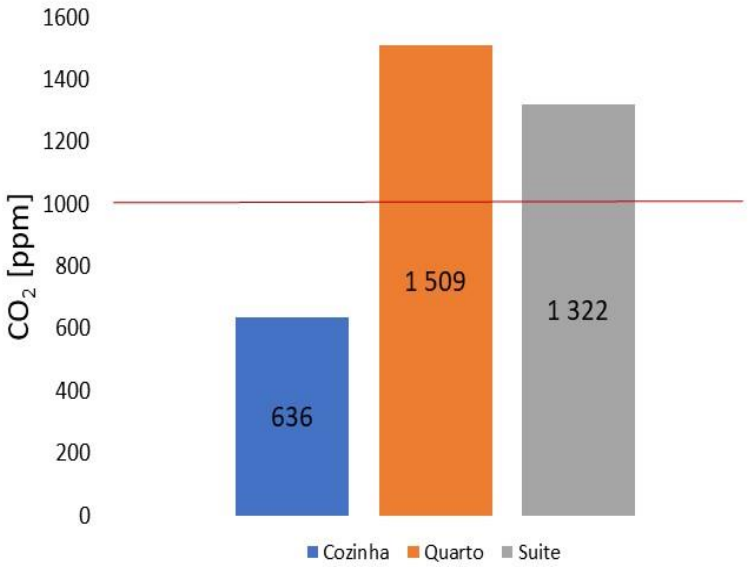


Fig.39 – Concentração de CO_2 média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre 23h e as 7h (sem VMC)

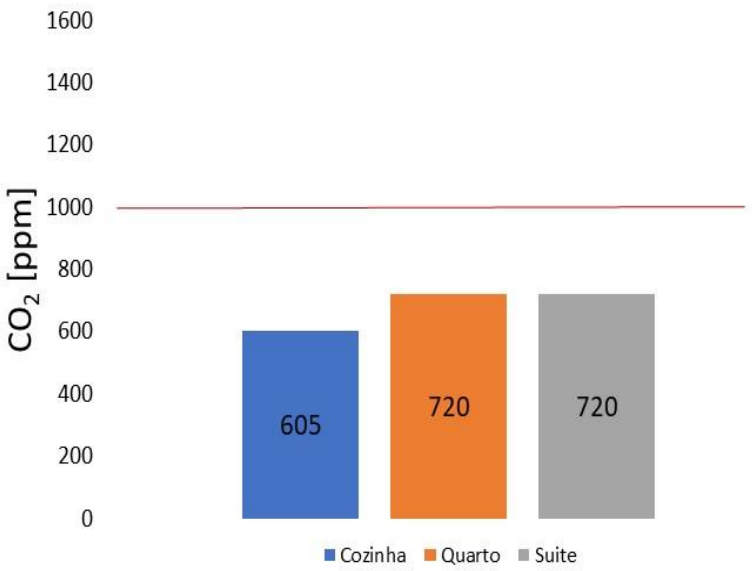


Fig.40 – Concentração de CO_2 média para as habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 para um intervalo horário entre as 7h e as 23h (com VMC)

O efeito da VMC também é notório quando se faz uma comparação entre a habitação PORT6, que apresenta um funcionamento continuo da VMC, com as habitações restantes. Relativamente aos COVTs o padrão diário é mais controlado e com valores mais baixos na habitação PORT6. Também para o poluente CO_2 se observam valores mais baixos na habitação PORT6, no quarto e durante o período noturno, sendo que estes valores são inferiores ao limite de referência de 1000 ppm.

No Quadro 20 apresenta-se um resumo das taxas de variação médias [%] entre o período 06-07h, que corresponde ao momento em que se dá a transição da interrupção da VMC para o funcionamento da mesma, nas habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5 (que têm o mesmo período de funcionamento e interrupção do sistema de ventilação).

Adicionalmente, para obtenção das taxas de variação médias e, de forma a interpretá-las de forma adequada, foram eliminadas taxas de variação superiores a 60% em todos os parâmetros, devido sobretudo à existência de valores que influenciavam as respetivas médias. De salientar que uma taxa positiva corresponde a um crescimento das concentrações registadas entre as 06-07h, o que significa que com o funcionamento do sistema VMC as concentrações aumentaram e, por sua vez, uma taxa negativa corresponde a um decréscimo das mesmas.

Assim, é possível constatar o seguinte: para a variação do coeficiente de pressão parcial (ΔP), existe um decréscimo da variação deste coeficiente em todos os compartimentos, sendo o maior de 7.28% na cozinha, e o menor de 1.4% na suite. Relativamente às partículas $PM_{2.5}$, e como já havia sido constatado anteriormente, existe um crescimento das suas concentrações, sendo que, entre as 06-07h a taxa de variação média percentual ronda os 10% em todas as divisões. Para o poluente COVT, em todos os espaços habitacionais (com exceção da suite) ocorrem decréscimos da concentração, no intervalo horário mencionado, sendo que a divisão que sofre um maior decréscimo é o quarto, com 9.53%. Relativamente ao composto CO_2 existe um ligeiro crescimento da taxa de variação na cozinha (0.5%), no entanto é nos compartimentos quarto e suite que ocorrem decréscimos de 10.5% e 9.5%, respetivamente. Na WC não existem valores (não aplicável), uma vez que não se utilizou o módulo protótipo de CO_2 nestes compartimentos.

Quadro 20 - Taxa de variação média [%] entre 06-07h (MAT1, MA2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5)

Compartimento	ΔP	$PM_{2.5}$	COVTs	CO_2
Cozinha	-7.28	10.15	-4.48	0.5
Quarto	-4.3	11.13	-9.53	-10.5
Suite	-1.4	8.27	0.07	-9.5
WC	-3.66	7.84	-3.55	n.a

No decorrer da investigação dos poluentes, foi calculada a correlação do coeficiente de *Spearman* entre o composto COVTs e CO_2 (Quadro 21), uma vez que, se observou uma possível existência de uma proporção relevante entre os mesmos. De salientar que o quadro apresentado resulta de uma análise de dados das habitações MAT1, MAT2, MAT3, MAT4, PORT4, PORT5.

Desta forma é possível constatar a existência de uma correlação moderada nos compartimentos cozinha e suite, sendo que no quarto a correlação poderá ser considerada forte.

Quadro 21 - Correlação entre COVTs e CO_2

Compartimento	Coeficiente de *Spearman*
Total	0,647
Cozinha	0,614
Quarto	0,723
Suite	0,619

5
CONCLUSÕES

5.1. CONSIDERAÇÕES FINAIS E SÍNTESE CRÍTICA

Com o terminar deste trabalho faz-se um balanço geral daquilo que foi alcançado, como principal objetivo desta dissertação. Foi analisado o impacto dos sistemas centralizados de ventilação na qualidade do ar das frações habitacionais, podendo afirmar-se que o objetivo foi alcançado com sucesso. Este tipo de investigação foca os aspetos da ventilação e o seu efeito na QAI, com a monitorização em tempo real de poluentes como o CO_2, $PM_{2.5}$ e COVTs e parâmetros ambientais como a T e a HR. O mesmo aconteceu para os objetivos considerados intermédios e propostos numa fase primária do trabalho. No entanto, existiram certas dificuldades, relacionadas com os próprios dados dos sensores, com a existência de erros, avarias, comportamentos dos ocupantes, entre outros, mas que tiveram que ser sucessivamente ultrapassadas para se conseguir uma correta gestão, apresentação e análise dos dados.

De acordo com o estado da arte, presente no capítulo 2, foi possível concluir o seguinte:

- A ventilação é necessária para diluir e remover os poluentes, e baixar os mesmos até níveis considerados aceitáveis. No entanto se não existir uma adequada conceção, instalação, manutenção e operação do sistema de ventilação, este poderá contribuir para efeitos preocupantes da QAI.
- A crescente estanqueidade dos edifícios tem contribuído para uma fraca QAI, uma vez que promove a acumulação de contaminantes no interior.
- Ainda não existe um consenso global que defina quais os compostos COVs que o valor COVT deve englobar.

No capítulo 3, na metodologia, promoveu-se o contacto com os sensores de monitorização e alargou-se o conhecimento relativo aos mesmos, nomeadamente em termos de:

- Especificidades técnicas;
- Questões particulares a cada equipamento;
- Funcionamento geral dos equipamentos;
- Correção de erros e forma de ultrapassar tais situações.

No capítulo 4 apresentam-se os principais resultados monitorizados e discussão dos mesmos. Algumas conclusões que importam salientar são:

- Para as partículas $PM_{2.5}$, em todos os compartimentos, os valores medianos rondam os 10 $\mu g/m^3$, sendo que é na cozinha onde se registam maiores picos pontuais, coincidentes com as atividades de cocção nos diferentes períodos do dia. Os valores medianos registados durante os períodos de cocção foram superiores aos períodos de não cocção (9 contra 6 $\mu g/m^3$), o mesmo aconteceu para os valores máximos (27 contra 22 $\mu g/m^3$). As habitações ocupadas por pessoas fumadoras

(PORT2, PORT3) apresentaram valores superiores às outras, com valores medianos superiores a 12 µg/m^3 em todos os compartimentos, e valores máximos registados de 70 µg/m^3 na WC. De uma forma geral e salvo certas exceções os valores observados cumprem o limite de referência de 25 µg/m^3.

- Relativamente aos COVTs, os valores medianos são próximos de 300 ppb, para todos os compartimentos (cumprindo o valor limite de 300 ppb indiretamente obtidos através da WHO). No entanto 25% das concentrações do poluente ultrapassam este limite, nas diversas divisões habitacionais. As concentrações mais altas foram observadas no quarto, compartimento que apresenta um maior número de *outliers* e valores máximos, corroborando as constatações de estudos anteriores, de que os compostos provêm maioritariamente da ocupação humana.
- Para o poluente CO_2, é durante o período noturno e sobretudo nos quartos que as concentrações excedem o limite de referência de 1000 ppm assumido por diversas agências e *standards*. Uma vez mais, estes valores estão de acordo com estudos anteriores, funcionado este composto como um bom indicador dos poluentes emitidos pelos humanos.
- Relativamente à VMC, 9 das 10 habitações têm interrupção da VMC durante o período noturno, sendo que 6 delas apresentam o mesmo período de interrupção.
- O efeito da VMC não é notório para as $PM_{2.5}$, em nenhum dos compartimentos, sobretudo devido ao facto de o período de não funcionamento da VMC coincidir com o registo das concentrações mais baixas do composto em causa.
- Nos COVTs o efeito da VMC é significativo e notório. As concentrações médias sem VMC ultrapassam o limite da Foobot de 300 ppb em todos os compartimentos sendo que, com a entrada em funcionamento da VMC, os valores caem significativamente. Adicionalmente, a taxa de variação média (%) entre as 06-07h (período de transição da interrupção para o funcionamento da VMC) no quarto, apresenta um decréscimo das concentrações a rondar os 9.5%.
- O funcionamento da VMC também é constatado para o composto CO_2. Os seus valores são de uma forma geral, muito elevados nos quartos (sem VMC), durante o período noturno sendo que, durante o dia, esses valores são muito inferiores, devido principalmente ao facto de não existir estabilização dos ocupantes e, consequentemente, não ocorrer uma elevada produção do composto em causa, conjuntamente com o efeito do funcionamento da VMC. No entanto, o efeito da VMC é comprovado através da taxa de variação média entre as 06-07h (período de transição), em que se observam decréscimos das concentrações de 10.5 e 9.5% no quarto e suite, respetivamente.
- Existência de uma correlação forte entre COVTs e o CO_2.

O funcionamento da VMC não permite eliminar os poluentes totais dos diversos espaços habitacionais. Os poluentes existem sempre, variando de local para local, estando sujeitos a outros fatores, como poluição proveniente do exterior, atividades e comportamento dos próprios ocupantes.

A qualidade do ar, de acordo com os poluentes analisados, é considerada, de uma forma geral, aceitável. No entanto, o funcionamento da VMC, que promove um aumento da ventilação e consequente diluição dos poluentes, é altamente recomendado devido às elevadas concentrações observadas de COVTs e CO_2. Este estudo permite também concluir que um funcionamento contínuo seria uma mais valia para a diluição dos poluentes, como foi comprovado para os COVTs e CO_2 e também na comparação feita com a habitação PORT6 (que apresenta funcionamento contínuo da VMC). De salientar que o composto CO_2 funciona como um bom indicador da taxa de ventilação dos edifícios, que tem um impacto na QAI.

Durante as atividades de cocção de alimentos e fumar, com o registo de valores pontuais, mas elevados, deve ser equacionada a utilização ou aumento da potência do ventilador comum, de forma a ser possível diminuir uma percentagem dos valores encontrados. No entanto, a decisão de tornar o funcionamento contínuo da VMC envolveria outras questões, nomeadamente a existência de ruído, como já documentado em outras investigações, e os custos globais de energia associados.

Posto isto, é importante que exista na sua globalidade, um equilibro ao nível de QAI, fatores energéticos, custos associados e que se retire o maior proveito da ventilação natural aliada à ventilação mecânica.

Uma limitação identificada nesta investigação, centra-se com o facto de se desconhecerem questões específicas da performance de cada sistema de ventilação, como potência, existência de patologias no sistema, entre outros.

5.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Um estudo de investigação nunca se dá por terminado, estando sempre sujeito a melhorias e continuidade da análise dos temas em questão.

Algumas temáticas que poderão ser alvo de estudo em investigações posteriores:

- Desenvolvimento de um outro estudo que envolva um maior número de casos de estudo, ou seja a uma escala mais representativa e comparativa e de preferência que abranja uma análise de um maior número de poluentes.
- Avaliação, conjuntamente com esta investigação, das taxas de renovações horárias em períodos de funcionamento do sistema de ventilação comparativamente a períodos de interrupção do mesmo.
- Utilização de outra tipologia de sensores, permitindo desenvolver a tecnologia associada e a sua a aplicabilidade em habitações assim como uma ampliação de deteção dos poluentes associados.
- Desenvolvimento de um estudo que foque as particularidades relativas ao comportamento dos habitantes (atividades como fumar e cozinhar) e o impacto destes na QAI e saúde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(APA), Agência Portuguesa do Ambiente; (LRA), Laboratório Referência do Ambiente (2009) - Qualidade do Ar em Espaços Interiores - Um Guia Técnico.

(IPQ), Instituto Português da Qualidade (2009) - NP 1037-2: 2009 - Ventilação e evacuação dos produtos da combustão dos locais com aparelhos a gás Parte 2 edificios de habitação. Ventilação mecânica centralizada (VMC) de fluxo simples IPQ.

AFOLARANMI, Samuel Olaiya; RAMIS FERRER, Borja; MARTINEZ LASTRA, Jose Luis (2018) - Technology review: prototyping platforms for monitoring ambient conditions. International Journal of Environmental Health Research [Em linha]. 28:3. 253-279. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/09603123.2018.1468423>. ISSN 0960-3123.

ALLARD, Francis; GHIAUS, Cristian (2006) - Natural Ventilation in the Urban Environment. In SANTAMOURIS, Mat & WOUTERS, Peter Building ventilation - the state of the art. p. 1-37.

AMARAL, Manuel António Pinto da Silva (2008) - Sistemas de ventilação natural e mistos em edifícios de habitação. Porto: FEUP.

ASTM (2014) - ASTM Volume 11.07 Air Quality - D7297-14, Standard Practice for Evaluating Residential Indoor Air Quality.

BEKÖ, Gabriel [et al.] (2010) - Ventilation rates in the bedrooms of 500 Danish children. Building and Environment [Em linha]. 45:10. 2289-2295. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310001216>. ISSN 0360-1323.

BOGERS, Rik [et al.] (2012) - Mechanical ventilation in recently built Dutch homes: technical shortcomings, possibilities for improvement, perceived indoor environment and health effects AU - Balvers, Jaap. Architectural Science Review [Em linha]. 55:1. 4-14. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/00038628.2011.641736>. ISSN 0003-8628.

BORNEHAG, C.G. [et al.] (2005) - Association between ventilation rates in 390 Swedish homes and allergic symptoms in children. Indoor Air [Em linha]. 15:4. 275-280. Disponível em WWW: <URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1600-0668.2005.00372.x>.

BORNEHAG, Carl-Gustaf [et al.] (2004) - The Association between Asthma and Allergic Symptoms in Children and Phthalates in House Dust: A Nested Case-Control Study. Environmental Health Perspectives [Em linha]. 112:14. 1393-1397.

BROWN, S. K. (2002) - Volatile Organic Pollutants in New and Established Buildings in Melbourne, Australia. Indoor Air [Em linha]. 12:1. 55-63.

BULIŃSKA, Anna; POPIOŁEK, Zbigniew; BULIŃSKI, Zbigniew (2014) - Experimentally validated CFD analysis on sampling region determination of average indoor carbon dioxide concentration in occupied space. Building and Environment [Em linha]. 72: 319-331. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313003119>. ISSN 0360-1323.

CHATZIDIAKOU, Lia; MUMOVIC, Dejan; SUMMERFIELD, Alex (2015) - Is CO2 a good proxy for indoor air quality in classrooms? Part 1: The interrelationships between thermal conditions, CO2 levels, ventilation rates and selected indoor pollutants. Building Services Engineering Research and Technology [Em linha]. 36:2. 129-161. Disponível em WWW: <URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0143624414566244>.

CHENG, Zhu [et al.] (2018) - Risk assessment of inhalation exposure to VOCs in dwellings in Chongqing, China. Toxicology Research [Em linha]. 7:1. 59-72. Disponível em WWW: <URL: http://dx.doi.org/10.1039/C7TX00191F>. ISSN 2045-452X.

CIBSE, Environmental Design. CIBSE Guide A (2006) - Ventilation and air infiltration. London: Chartered Institution of Building Services Engineers

CLAUDE-ALAIN, Roulet; FORADINI, Flavio (2002) - Simple and Cheap Air Change Rate Measurement Using CO2 Concentration Decays. International Journal of Ventilation [Em linha]. 1:1. 39-44. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/14733315.2002.11683620>. ISSN 1473-3315.

COLEY, David A.; BEISTEINER, Alexander (2002) - Carbon Dioxide Levels and Ventilation Rates in Schools. International Journal of Ventilation [Em linha]. 1:1. 45-52. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/14733315.2002.11683621>. ISSN 1473-3315.

CONCANNON, Peter (2002) - Residential Ventilation -Technical Note 57

COSTANZO, Vincenzo [et al.] (2019) - Natural ventilation potential for residential buildings in a densely built-up and highly polluted environment. A case study. Renewable Energy [Em linha]. 138: 340-

353. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148119301247>. ISSN 0960-1481.

CUI, Shuqing [et al.] (2015) - CO2 tracer gas concentration decay method for measuring air change rate. Building and Environment [Em linha]. 84: 162-169. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314003606>. ISSN 0360-1323.

DAI, Xilei [et al.] (2018) - Long-term monitoring of indoor CO2 and PM2.5 in Chinese homes: Concentrations and their relationships with outdoor environments. Building and Environment [Em linha]. 144: 238-247. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318304888>. ISSN 0360-1323.

DAISEY, JM; ANGELL, WJ; APTE, MG (2003) - Indoor air quality, ventilation and health symptoms in schools: an analysis of existing information. Indoor Air [Em linha]. 13:1. 53-64. Disponível em WWW: <URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1034/j.1600-0668.2003.00153.x>.

DERBEZ, M. [et al.] (2018) - Indoor air quality in energy-efficient dwellings: Levels and sources of pollutants. Indoor Air [Em linha]. 28:2. 318-338. [Consult. 2019/05/13]. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1111/ina.12431>. ISSN 0905-6947.

DERBEZ, Mickaël [et al.] (2014) - Indoor air quality and comfort in seven newly built, energy-efficient houses in France. Building and Environment [Em linha]. 72: 173-187. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313003089>. ISSN 0360-1323.

DIMITROULOPOULOU, C. (2012) - Ventilation in European dwellings: A review. Building and Environment [Em linha]. 47: 109-125. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132311002241>. ISSN 0360-1323.

DU BOIS, Delafield; DU BOIS, Eugene F. (1916) - Clinical Calorimetry: Tenth Paper A Formula To Estimate The Approximate Surface Area If Height And Weight Be Known. Archives of Internal Medicine [Em linha]. XVII:6_2. 863-871. [Consult. 3/20/2019]. Disponível em WWW: <URL: https://dx.doi.org/10.1001/archinte.1916.00080130010002>. ISSN 0730-188X.

ESCOBEDO, Luis E. [et al.] (2014) - Indoor air quality in Latino homes in Boulder, Colorado. Atmospheric Environment [Em linha]. 92: 69-75. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231014002283>. ISSN 1352-2310.

EVOLA, G. [et al.] (2017) - Controlled mechanical ventilation systems in residential buildings: Primary energy balances and financial issues. Journal of Building Engineering [Em linha]. 11: 96-107. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352710216303631>. ISSN 2352-7102.

FANGER, P. Ole (2006) - What is IAQ? Indoor Air [Em linha]. 16:5. 328-334. [Consult. 2019/02/05]. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00437.x>. ISSN 0905-6947.

FOLDBJERG, Peter; RASMUSSEN, Christoffer; ASMUSSEN, Thorbjørn (2013) - Thermal Comfort in two European Active Houses : Analysis of the Effects of Solar Shading and Ventilative Cooling.

FÖLDVÁRY, Veronika [et al.] (2017) - Effect of energy renovation on indoor air quality in multifamily residential buildings in Slovakia. Building and Environment [Em linha]. 122: 363-372. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132317302433>. ISSN 0360-1323.

FOX, Alvin [et al.] (2003) - Increased levels of bacterial markers and CO2 in occupied school rooms. Journal of Environmental Monitoring [Em linha]. 5:2. 246-252. Disponível em WWW: <URL: http://dx.doi.org/10.1039/B212341J>. ISSN 1464-0325.

FREITAS, Vasco (2010) - Ventilação de edifícios de habitação - Sistemas mistos. In VIEGAS, João Cadernos de Edifícios 6 - Ventilação e qualidade do ar interior. LNEC. p. 29-42.

FUJIWARA, David (2014) - INDOOR AIR QUALITY ASSESSMENT

GRENGA, Paolo N. [et al.] (2011) - Assessment of Airborne Total Volatile Organic Compounds of Niagara Falls Residences as Compared to Resident Lifestyle. Indoor and Built Environment [Em linha]. 20:2. 226-231. Disponível em WWW: <URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X10389277>.

GRZYWACZ, Cecily M. (2006) - Monitoring for Gaseous Pollutants in Museum Environments. Getty conservation institute.

HAAG, W (2005) - Rapid, continuous TVOC measurements using ppb-level PIDs. 2005.

HEISELBERG, Per (2006) - Hybrid ventilation in non-residential buildings. In SANTAMOURIS, Mat & WOUTERS, Peter Building ventilation - the state of the art. p. 191-216.

HOLØS, Sverre B. [et al.] (2018) - VOC emission rates in newly built and renovated buildings, and the influence of ventilation – a review and meta-analysis. International Journal of Ventilation [Em linha]. 1-14. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/14733315.2018.1435026>. ISSN 1473-3315.

ISO (2012) - Thermal performance of buildings and materials -- Determination of specific airflow rate in buildings -- Tracer gas dilution method.

JOHNSTON, David; STAFFORD, Anne (2017) - Estimating the background ventilation rates in new-build UK dwellings – Is n50/20 appropriate? Indoor and Built Environment [Em linha]. 26:4. 502-513. Disponível em WWW: <URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X15626234>.

JOSHI, Sumedha M. (2008) - The sick building syndrome. Indian Journal of Occupational and Environmental Medicine [Em linha]. 12:2.

KATSOUYANNI, K. [et al.] (2001) - Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: Results from 29 European cities within the APHEA2 project. Epidemiology [Em linha]. 12:5. 521-531.

KIM, Hakpyeong; HONG, Taehoon; KIM, Jimin (2019) - Automatic ventilation control algorithm considering the indoor environmental quality factors and occupant ventilation behavior using a logistic regression model. Building and Environment [Em linha]. 153: 46-59. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132319301350>. ISSN 0360-1323.

KÜNZEL, H. M. (1995) - Simultaneous Heat and Moisture Transport in Building Components. Stuttgart.

LAI, Dayi [et al.] (2018) - Ventilation behavior in residential buildings with mechanical ventilation systems across different climate zones in China. Building and Environment [Em linha]. 143: 679-690. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S036013231830475X>. ISSN 0360-1323.

LI, Ir William L.; VALK, Ir Harm J. J.; KORNAAT, Ing Wim (2016) - Improving the Energy and IAQ Performance of Ventilation Systems in Dutch Dwellings AU - Holsteijn, Ir. Rob C.A. van. International Journal of Ventilation [Em linha]. 14:4. 363-370. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/14733315.2016.11684093>. ISSN 1473-3315.

MAHYUDDIN, Norhayati; AWBI, Hazim (2010) - The spatial distribution of carbon dioxide in an environmental test chamber. Building and Environment [Em linha]. 45:9. 1993-2001. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132310000508>. ISSN 0360-1323.

--- (2012) - A Review of CO2 Measurement Procedures in Ventilation Research. International Journal of Ventilation [Em linha]. 10:4. 353-370. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/14733315.2012.11683961>. ISSN 1473-3315.

MARTIN, C. R. [et al.] (2017) - Evaluation and environmental correction of ambient CO2 measurements from a low-cost NDIR sensor. Atmos. Meas. Tech. [Em linha]. 10:7. 2383-2395. Disponível em WWW: <URL: https://www.atmos-meas-tech.net/10/2383/2017/>. ISSN 1867-8548.

MILITELLO-HOURIGAN, Ryan E.; MILLER, Shelly L. (2018) - The impacts of cooking and an assessment of indoor air quality in Colorado passive and tightly constructed homes. Building and Environment [Em linha]. 144: 573-582. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318305183>. ISSN 0360-1323.

MOLHAVE, L. [et al.] (1997) - Total Volatile Organic Compounds (TVOC) in Indoor Air Quality Investigations

MORENO-RANGEL, A. [et al.] (2018) - Field evaluation of a low-cost indoor air quality monitor to quantify exposure to pollutants in residential environments. J. Sens. Sens. Syst. [Em linha]. 7:1. 373-388. Disponível em WWW: <URL: https://www.j-sens-sens-syst.net/7/373/2018/>. ISSN 2194-878X.

MYLONAS, Angelos [et al.] (2019) - Capabilities and limitations of commercially available wireless indoor environment sensors.

PANDEY, S. K.; KIM, K. H.; LEE, S. H. (2007) - Use of a dynamic enclosure approach to test the accuracy of the NDIR sensor: Evaluation based on the CO2 equilibration pattern. Sensors [Em linha]. 7:12. 3459-3471.

PARK, J. S.; IKEDA, K. (2006) - Variations of formaldehyde and VOC levels during 3 yearsin new and older homes. Indoor Air [Em linha]. 16:2. 129-135.

PARK, JongSeon; CHO, HeeChan; YI, SeungHwan (2010) - NDIR CO2 gas sensor with improved temperature compensation. Procedia Engineering [Em linha]. 5: 303-306. Disponível em WWW:

<URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1877705810006557>. ISSN 1877-7058.

PARKINSON, Thomas; PARKINSON, Alex; DE DEAR, Richard (2019) - Continuous IEQ monitoring system: Context and development. Building and Environment [Em linha]. 149: 15-25. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318307467>. ISSN 0360-1323.

PEREIRA FERNANDO PEDRO, Fernandes (2018) - Avaliação do comportamento dos ocupantes no desempenho higrotérmico em edifícios residenciais. Porto: [Edição do autor].

PEREIRA, P. F.; RAMOS, N. M. M. (2018) - The Influence of Sensor Placement in the Study of Occupant Behavior in a Residential Building. 2018. [Consult. 10-12 Sept. 2018].

PINTO, Armando (2006) - Ventilação mecânica de edifícios de habitação - LNEC

PORTARIA_N.º353-A/2013 (2013) - Regulamento de desempenho energético dos edifícios de comércio e serviços (RECS) - Requisitos de ventilação e qualidade do ar interior.

PROENÇA, Maria do Carmo; CANO, Manuela (2010) - Qualidade do ar interior. In VIEGAS, João Cadernos de Edifícios 6 - Ventilação e qualidade do ar interior. LNEC. p. 173-190.

QIAN, Defeng; PANG, Zhihong; O'NEILL, Zheng (2018) - Evaluation of Low-cost Particulate Matter (PM) Sensors: A Preliminary Investigation. In 2018.

RAMALHO, Olivier [et al.] (2015) - Association of carbon dioxide with indoor air pollutants and exceedance of health guideline values. Building and Environment [Em linha]. 93: 115-124. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132315001274>. ISSN 0360-1323.

ROVELLI, Sabrina [et al.] (2019) - VOCs Measurements in Residential Buildings: Quantification via Thermal Desorption and Assessment of Indoor Concentrations in a Case Study. Atmosphere [Em linha]. 10:2. 1-15.

SAIJO, Y. [et al.] (2004) - Symptoms in relation to chemicals and dampness in newly built dwellings. International Archives of Occupational and Environmental Health [Em linha]. 77:7. 461-470. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1007/s00420-004-0535-0>. ISSN 1432-1246.

SANTAMOURIS, Matheos (2006) - Ventilation for Comfort and Cooling:The State of the Art. In SANTAMOURIS, Mat & WOUTERS, Peter Building ventilation - the state of the art. p. 217-245.

SCHELL, M. B.; TURNER, S. C.; SHIM, R. O. (1998) - Application of CO2-based demand-controlled ventilation using ASHRAE Standard 62: optimizing energy use and ventilation. 2. 1998.

SCHILD, Peter G. (2006) - Heat Recovery. In SANTAMOURIS, Mat & WOUTERS, Peter Building ventilation - the state of the art. p. 177-189.

SEE, Siao Wei; BALASUBRAMANIAN, Rajasekhar (2008) - Chemical characteristics of fine particles emitted from different gas cooking methods. Atmospheric Environment [Em linha]. 42:39. 8852-8862. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231008008388>. ISSN 1352-2310.

SEPPÄNEN, O. A.; FISK, W. J. (2004) - Summary of human responses to ventilation. Indoor air [Em linha]. 14:s7. 102-118.

SEPPÄNEN, Olli (2006) - The Effect of Ventilation on Health and Other Human Responses. In SANTAMOURIS, Mat & WOUTERS, Peter Building ventilation - the state of the art. p. 247-264.

SONG, Guirong [et al.] (2017) - Levels of volatile organic compounds in homes in Dalian, China. Air Quality, Atmosphere & Health [Em linha]. 10:2. 171-181. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1007/s11869-016-0422-3>. ISSN 1873-9326.

SOUSAN, Sinan [et al.] (2017) - Evaluation of consumer monitors to measure particulate matter. Journal of Aerosol Science [Em linha]. 107: 123-133. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002185021630338X>. ISSN 0021-8502.

STAMATELOPOULOU, A.; ASIMAKOPOULOS, D. N.; MAGGOS, T. (2019) - Effects of PM, TVOCs and comfort parameters on indoor air quality of residences with young children. Building and Environment [Em linha]. 150: 233-244. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318308230>. ISSN 0360-1323.

STEVENSON, Fionn; CARMONA-ANDREU, Isabel; HANCOCK, Mary (2013) - The usability of control interfaces in low-carbon housing. Architectural Science Review [Em linha]. 56:1. 70-82. Disponível em WWW: <URL: https://doi.org/10.1080/00038628.2012.746934>. ISSN 0003-8628.

SZULCZYNSKI, Bartosz; GEBICKI, Jacek (2017) - Currently Commercially Available Chemical Sensors Employed for Detection of Volatile Organic Compounds in Outdoor and Indoor Air.

WALLACE, L.A (1997) - Sick building syndrome. In BARDANA, E.J. & MONTANARO, A. Indoor Air Pollution and Health. New York: Marcel Dekker. p. 83-103.

WAN, Man-Pun [et al.] (2011) - Ultrafine particles, and PM2.5 generated from cooking in homes. Atmospheric Environment [Em linha]. 45:34. 6141-6148. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231011008600>. ISSN 1352-2310.

WHO (2006) - WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide.

--- (2010) - WHO guidelines for indoor air quality: Selected pollutants.

WOUTERS, Peter; DELMOTTE, Christophe; HEIJMANS, N. (2006) - Ventilation Standards and Regulations. In SANTAMOURIS, Mat & WOUTERS, Peter Building ventilation - the state of the art. p. 281-303.

YASUDA, T.; YONEMURA, S.; TANI, A. (2012) - Comparison of the characteristics of small commercial NDIR CO2 sensor models and development of a portable CO2 measurement device. Sensors [Em linha]. 12:3. 3641-3655.

YI, S. [et al.] (2005) - Novel NDIR CO2 sensor for indoor air quality monitoring. In International Conference on Solid State Sensors and Actuators and Microsystems, TRANSDUCERS '05. 2005. p. 1211-1214.

YU, Chuck Wah Francis; KIM, Jeong Tai (2010) - Building Pathology, Investigation of Sick Buildings — VOC Emissions. Indoor and Built Environment [Em linha]. 19:1. 30-39. Disponível em WWW: <URL: https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/1420326X09358799>.

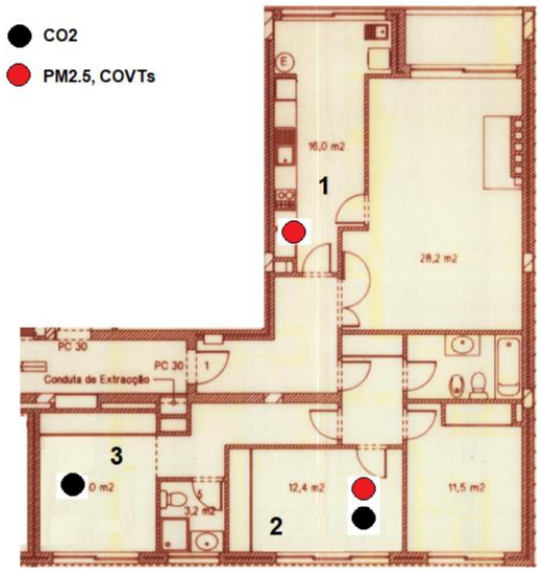
ZHANG, Tengfei [et al.] (2018) - Ventilation, indoor particle filtration, and energy consumption of an apartment in northern China. Building and Environment [Em linha]. 143: 280-292. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318304281>. ISSN 0360-1323.

ZHAO, Lei; LIU, Junjie; REN, Jianlin (2018) - Impact of various ventilation modes on IAQ and energy consumption in Chinese dwellings: First long-term monitoring study in Tianjin, China. Building and Environment [Em linha]. 143: 99-106. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132318304013>. ISSN 0360-1323.

NIKOLOPOULOS, Nikos [et al.] (2012) - Experimental and numerical investigation of the tracer gas methodology in the case of a naturally cross-ventilated building. Building and Environment [Em linha]. 56: 379-388. Disponível em WWW: <URL: http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132312001229>. ISSN 0360-1323.

ANEXOS

MAT1

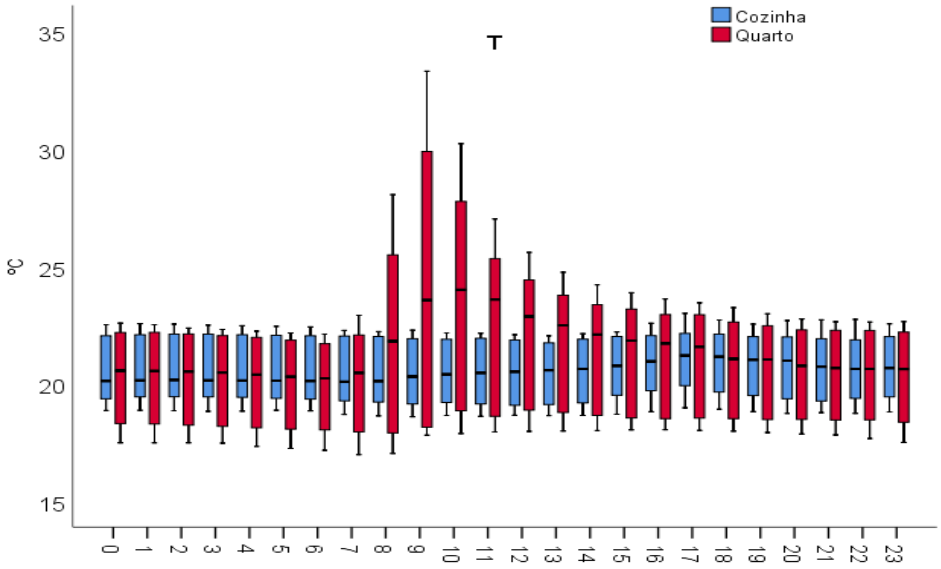


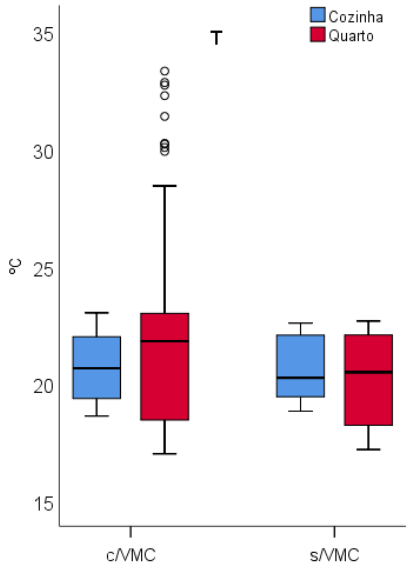
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem	33	1,8	70
1 Mulher	35	1,7	57
2 Crianças	3; 2	-	-

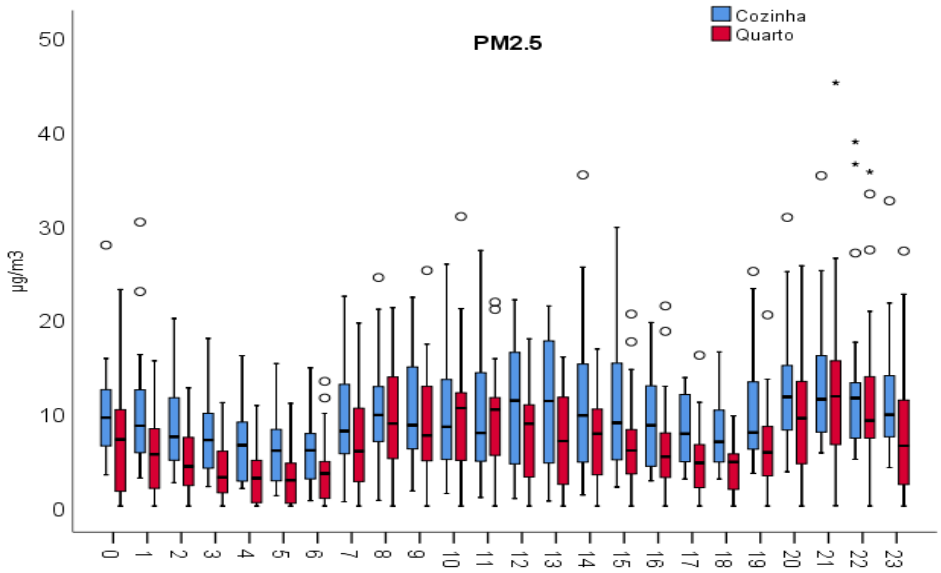
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	27,3	16	93	T3 (5º andar)
2	Quarto	n.a	12		
3	Suite	n.a	17		

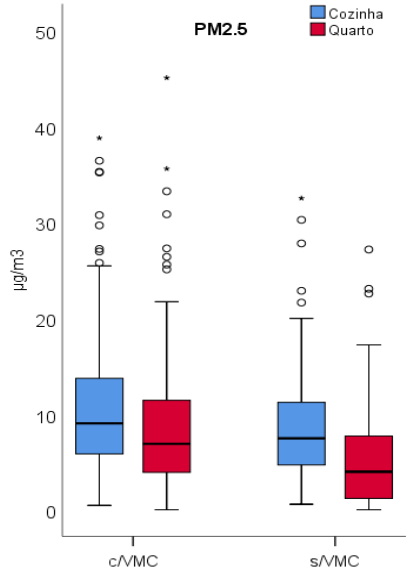
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 23:00h – 07:00h

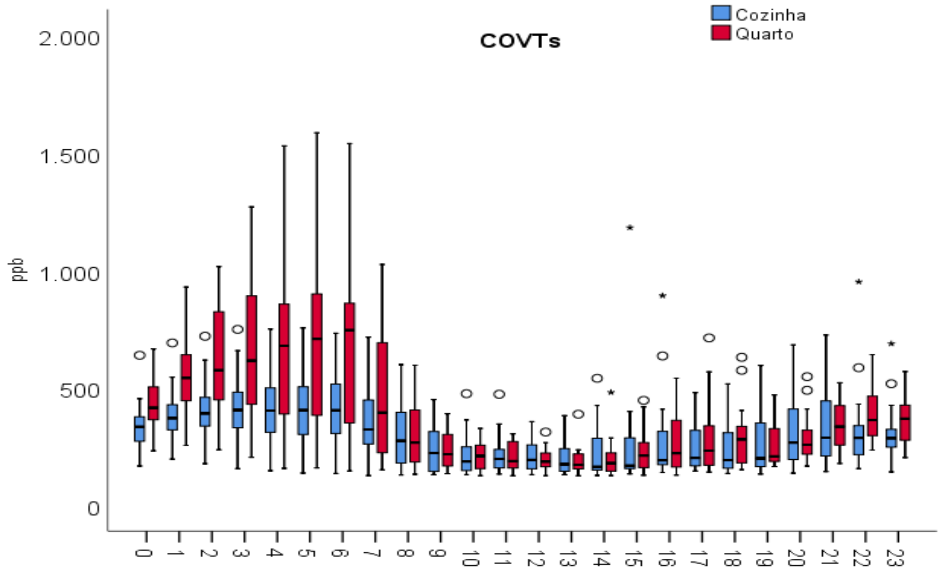
n.a – não aplicável

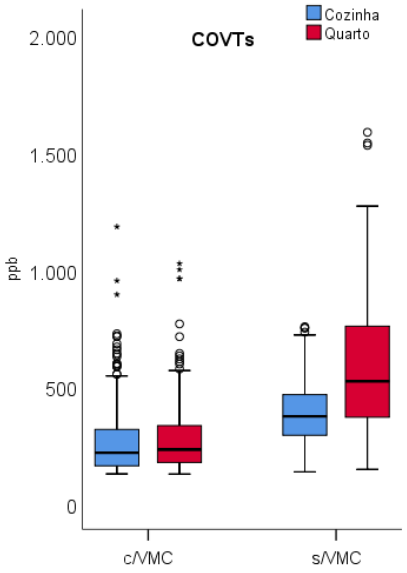


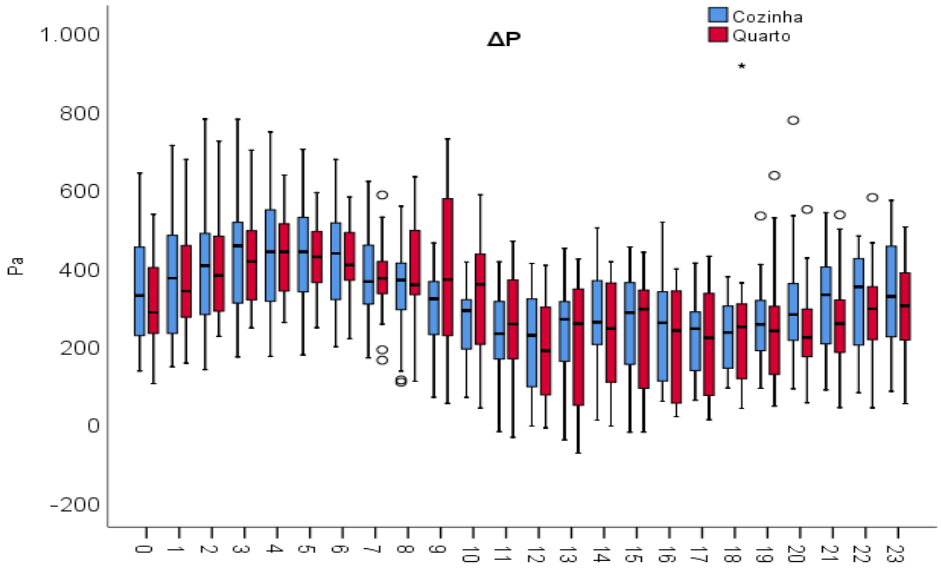


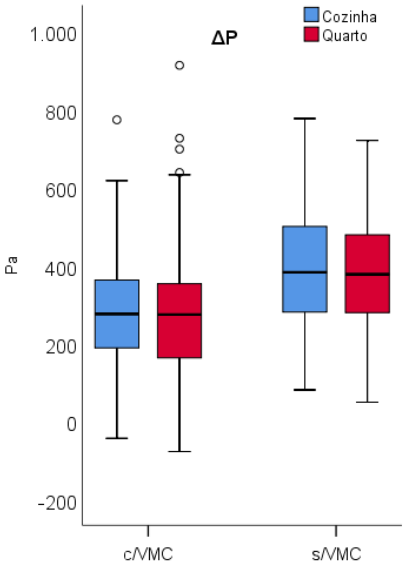


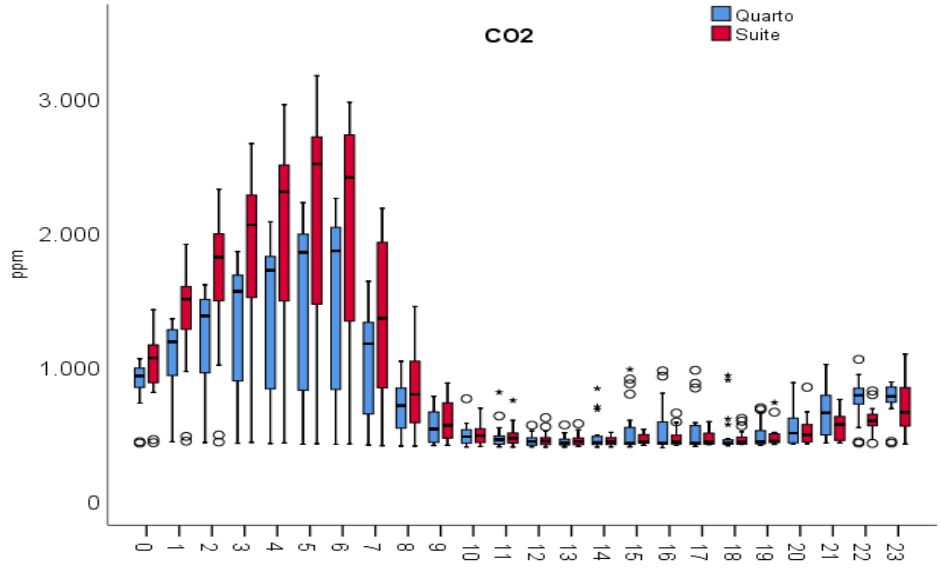


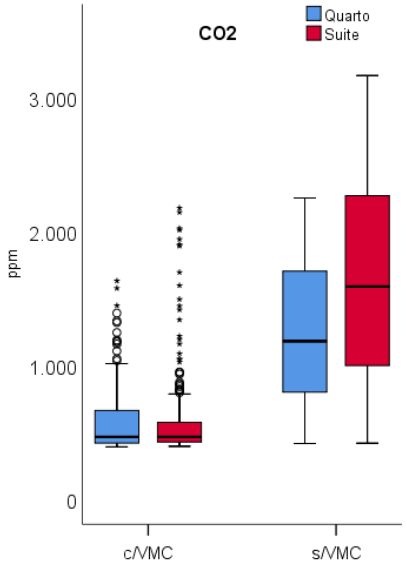

COVTs
Cozinha
Quarto
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

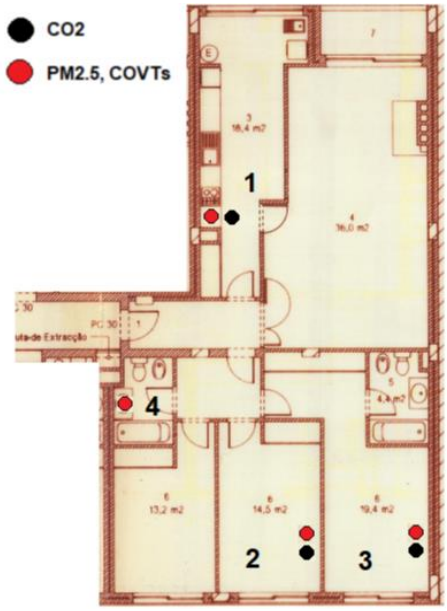

ΔP
Cozinha
Quarto
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
c/VMC
s/VMC


CO2
Quarto
Suite
ppm
3.000
2.000
1.000
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Quarto
Suite
ppm
3.000
2.000
1.000
0
c/VMC
s/VMC

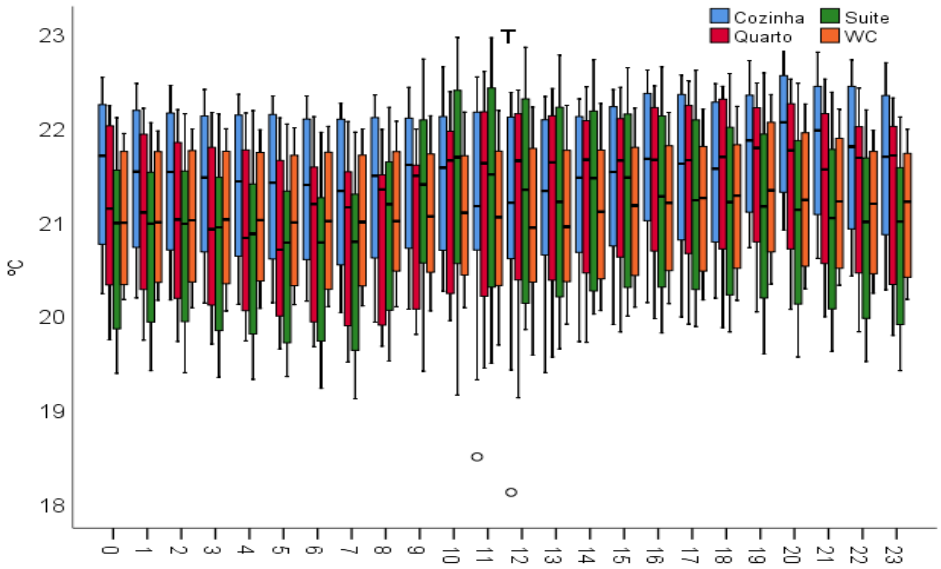
MAT2

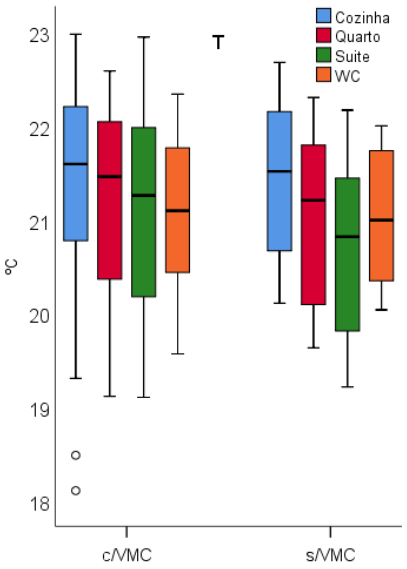


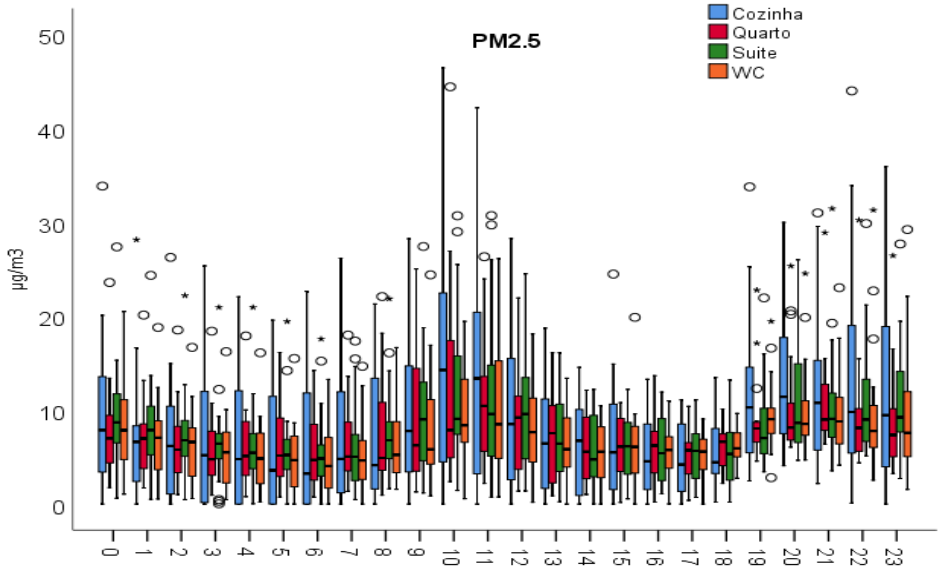
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem	35	1,75	75
1 Mulher	37	1,67	60
1 Criança	2	-	-

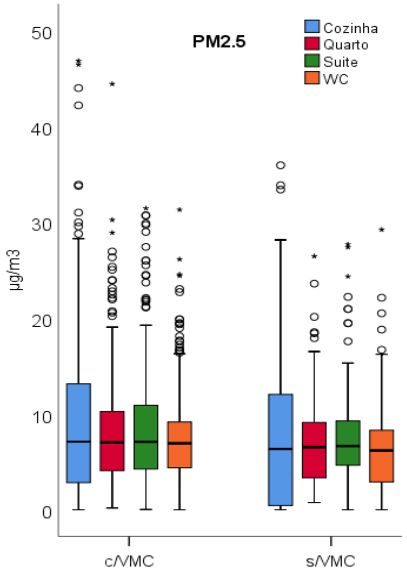
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	21,1	18	110	T3 (1º andar)
2	Quarto	n.a	15		
3	Suite	n.a	19		
4	WC	44,4	4		

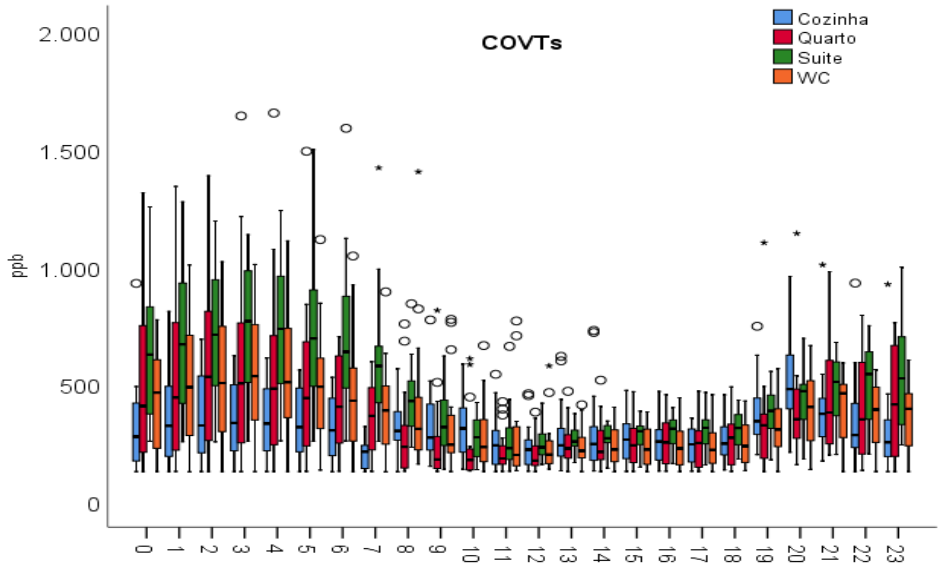
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 23:00h – 07:00h

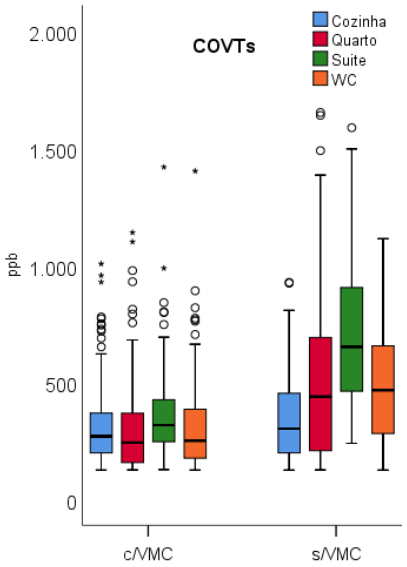


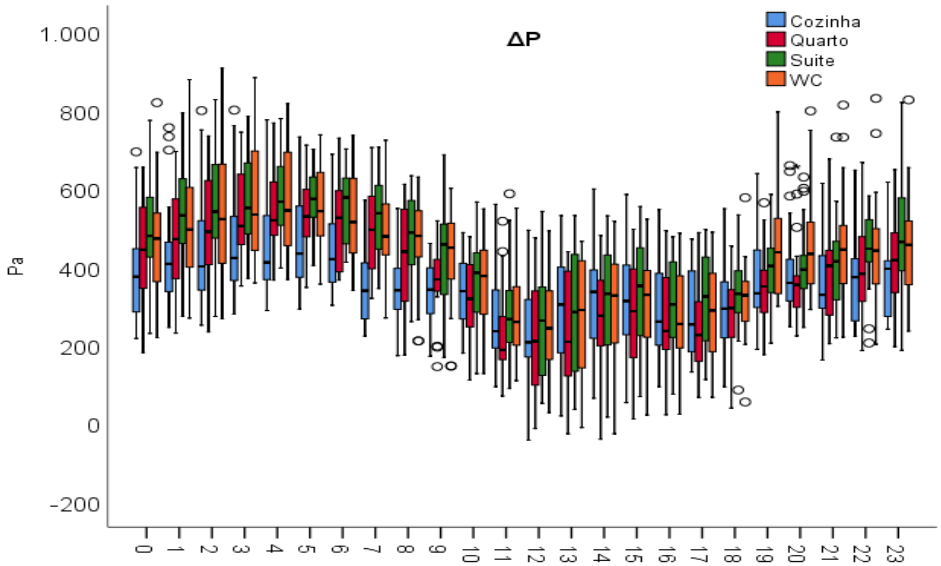


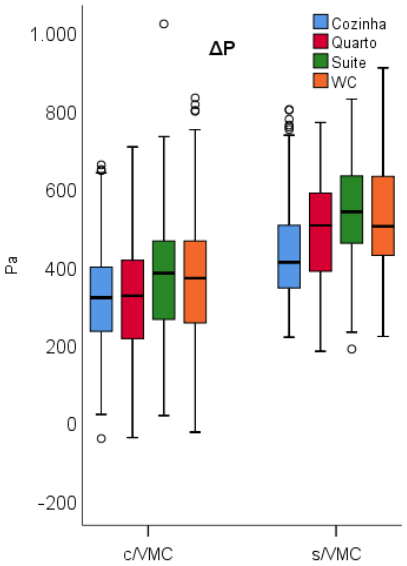


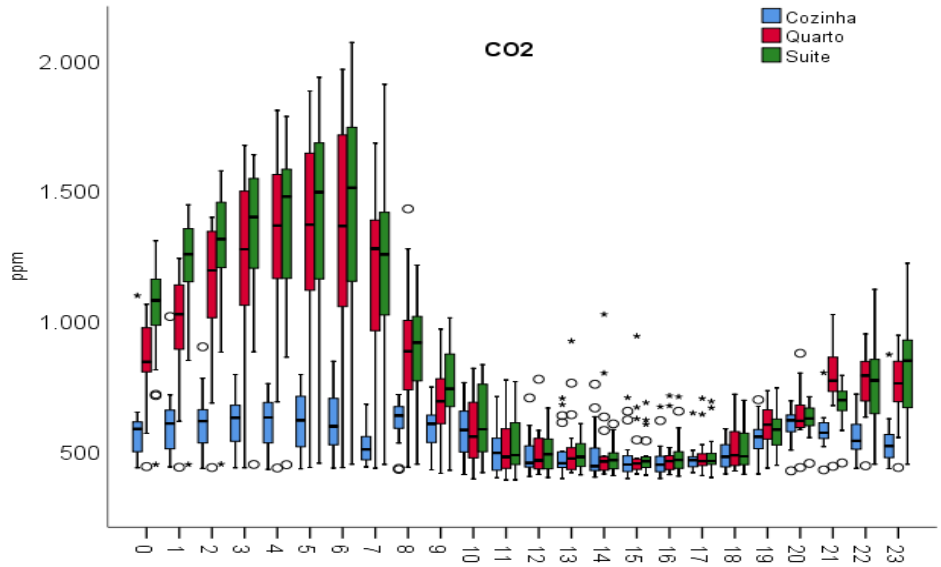


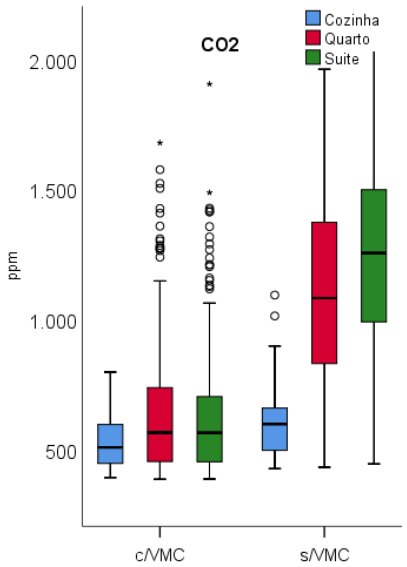

COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

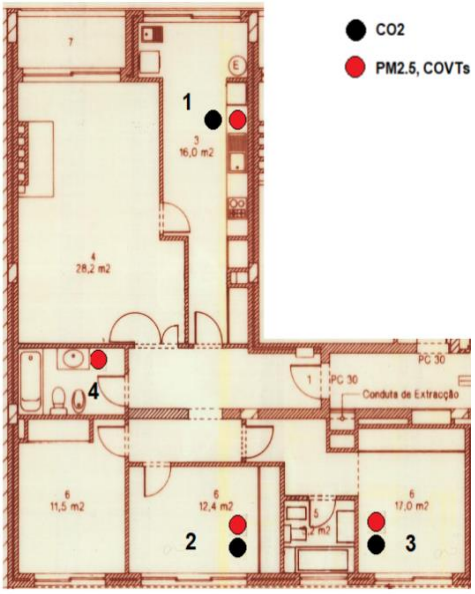

ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
c/VMC
s/VMC


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
2.000
1.500
1.000
500
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
2.000
1.500
1.000
500
c/VMC
s/VMC

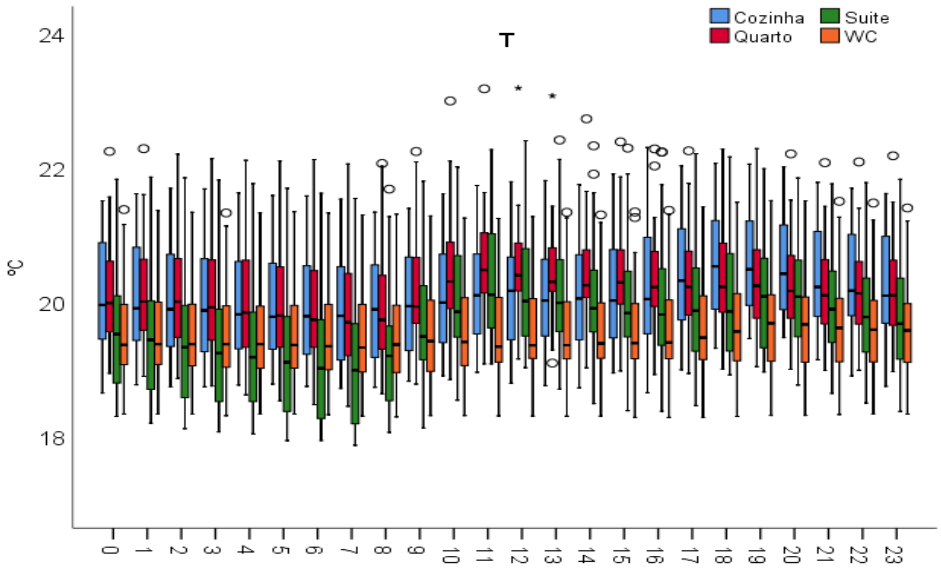
MAT3

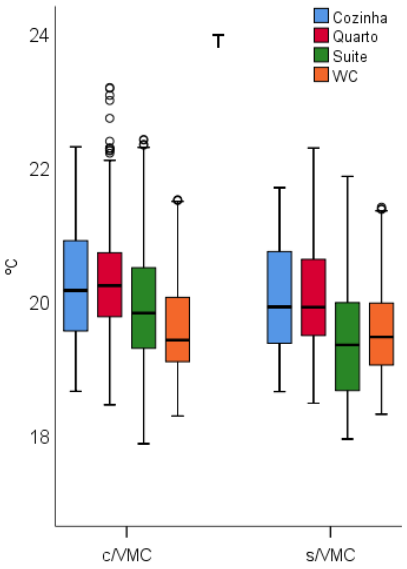


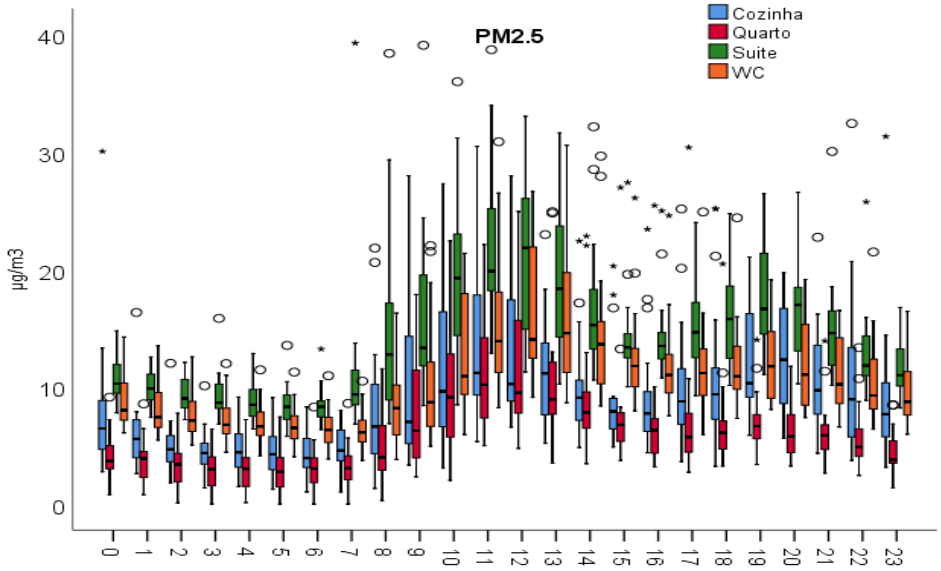
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem	50	1,70	75
1 Mulher	40	1,70	65
1 Criança	4	-	-

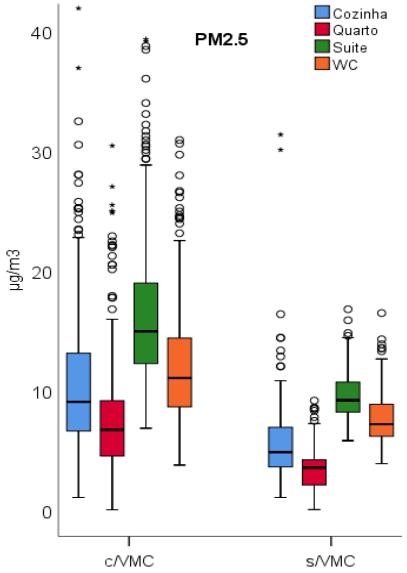
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	29,4	16	93	T3 (5º andar)
2	Quarto	n.a	12		
3	Suite	n.a	17		
4	WC	40,0	4		

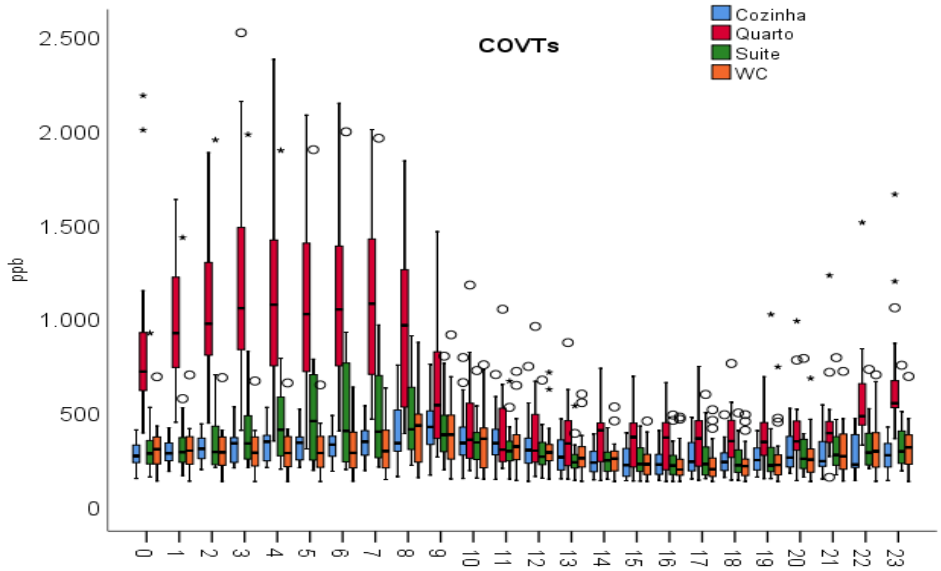
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 23:00h – 07:00h

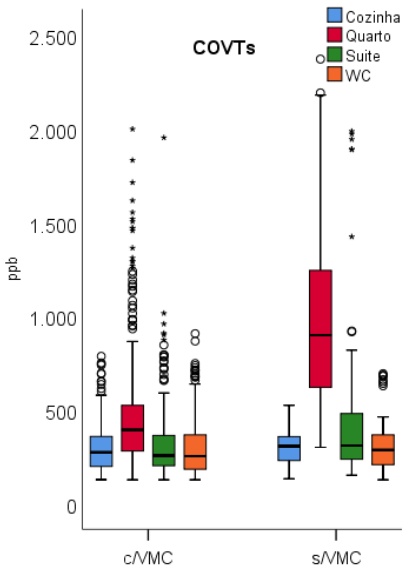


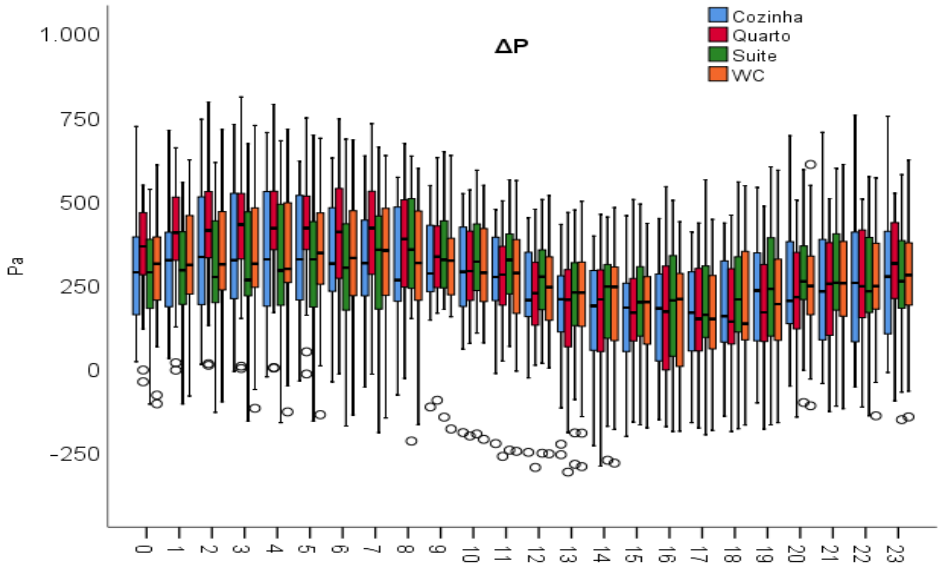


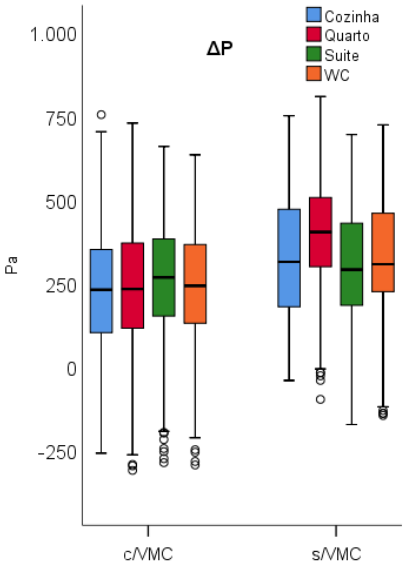


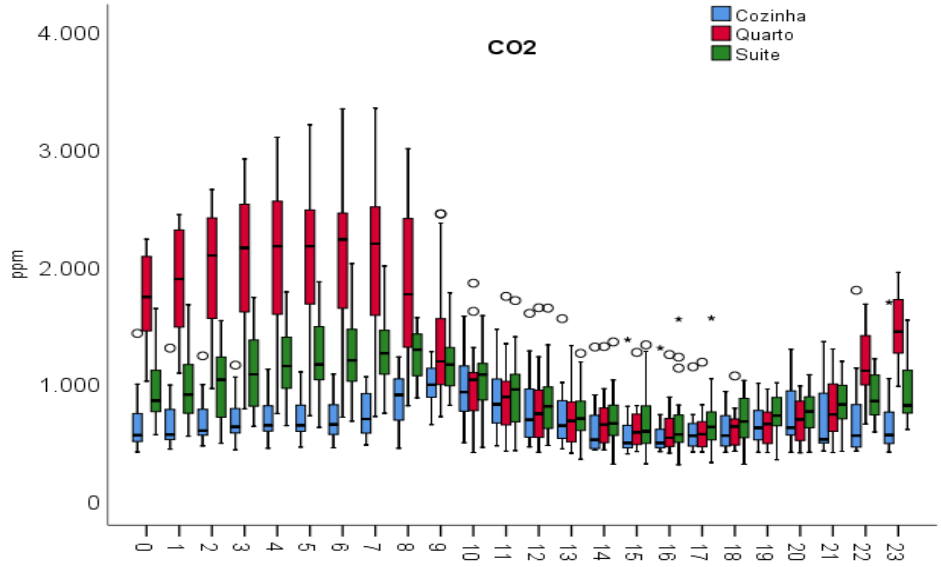


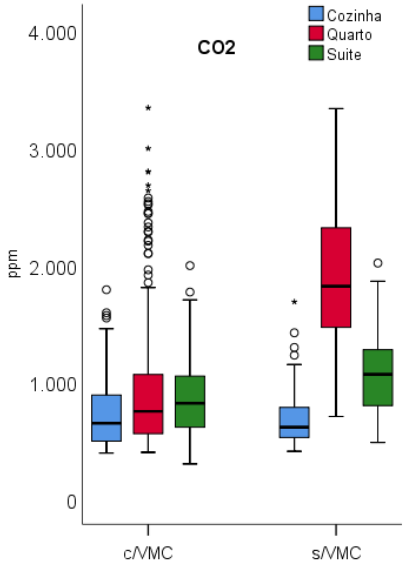

COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
2.500
2.000
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

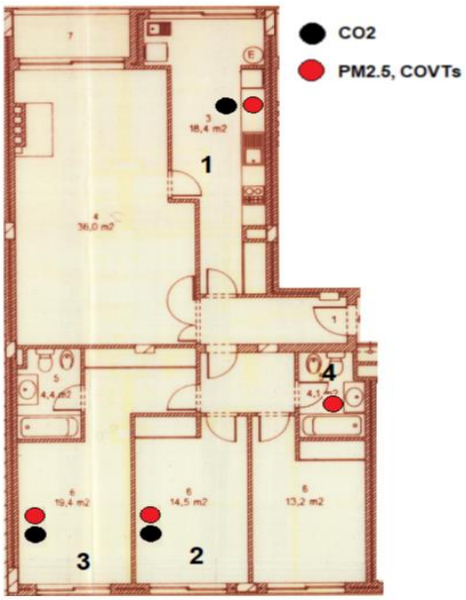

ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
1.000
750
500
250
0
-250
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
1.000
750
500
250
0
-250
c/VMC
s/VMC


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
4.000
3.000
2.000
1.000
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
4.000
3.000
2.000
1.000
0
c/VMC
s/VMC

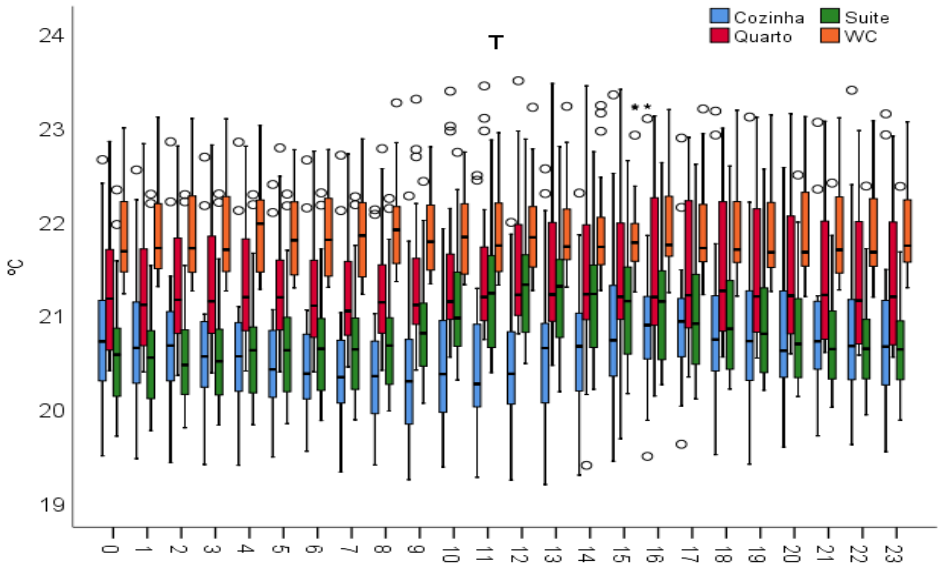
MAT4

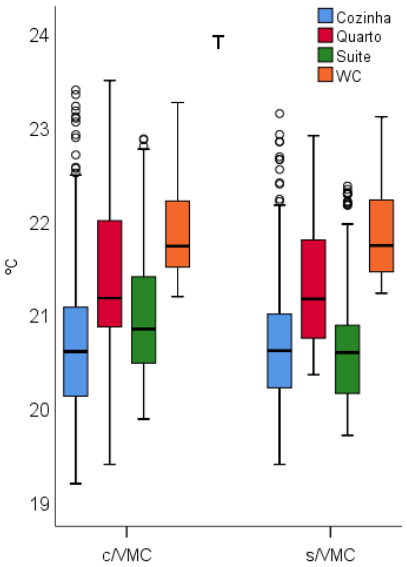


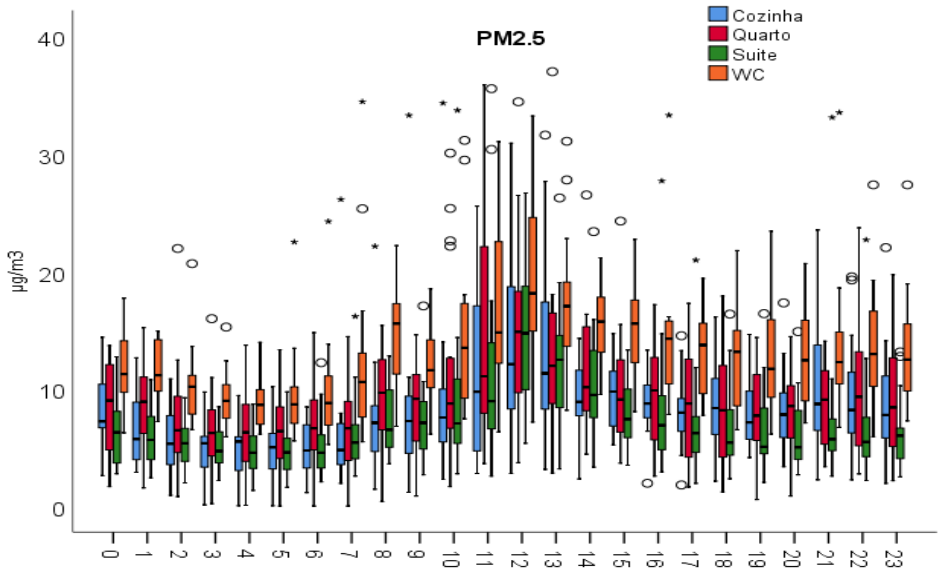
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem 2 Mulheres	66 65; 31	1,82 1,55; 1,80	95 55; 75

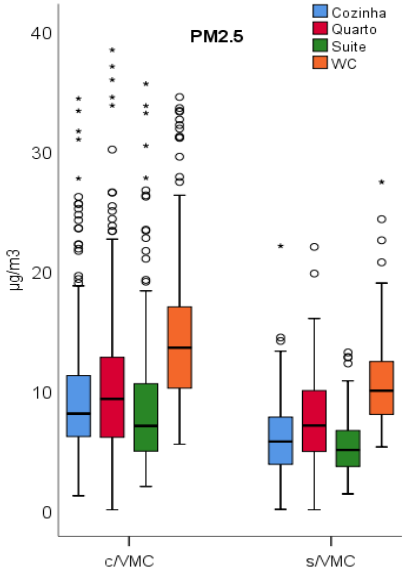
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	23,3	18	110	T3 (1º andar)
2	Quarto	n.a	15		
3	Suite	n.a	19		
4	WC	36,6	4		

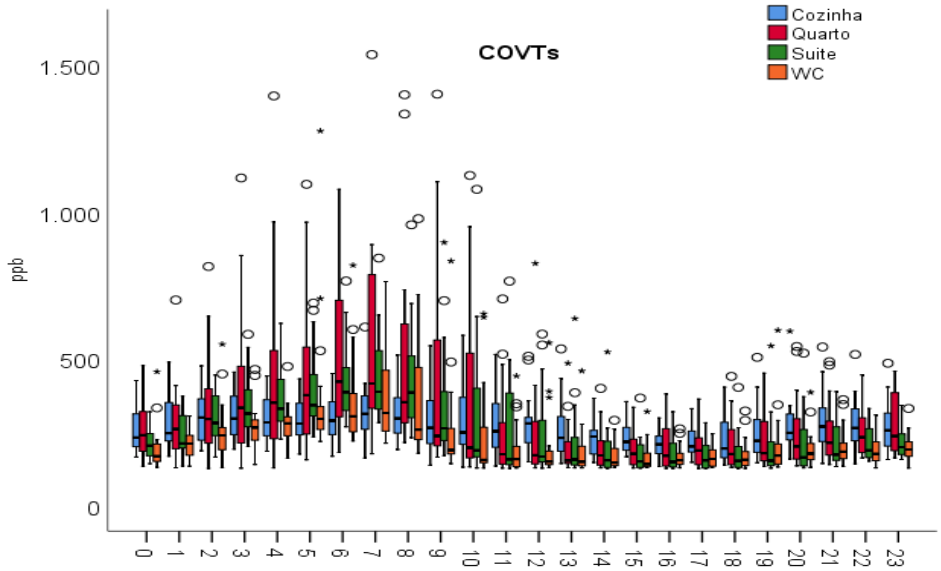
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 23:00h – 07:00h

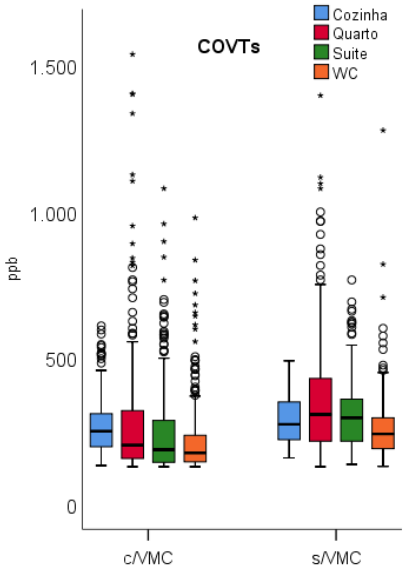


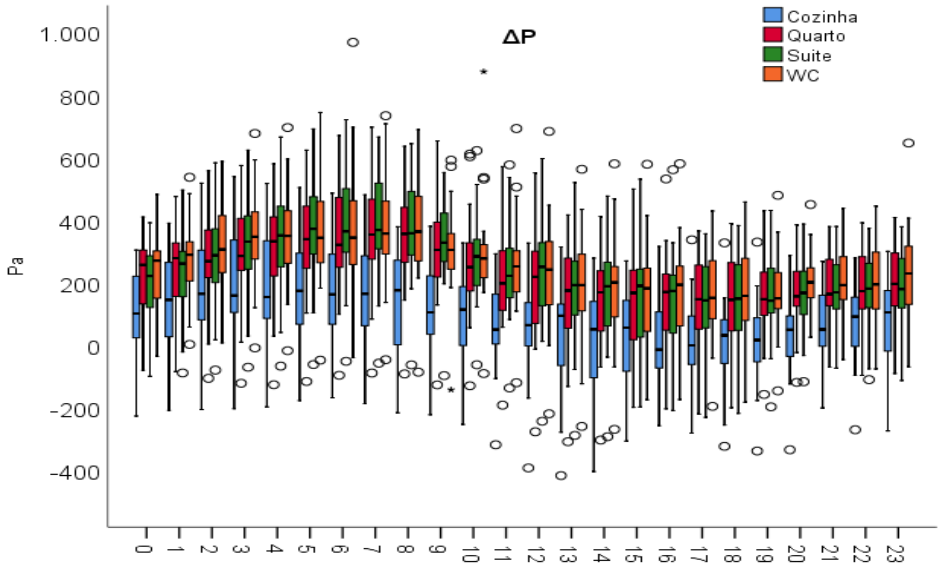


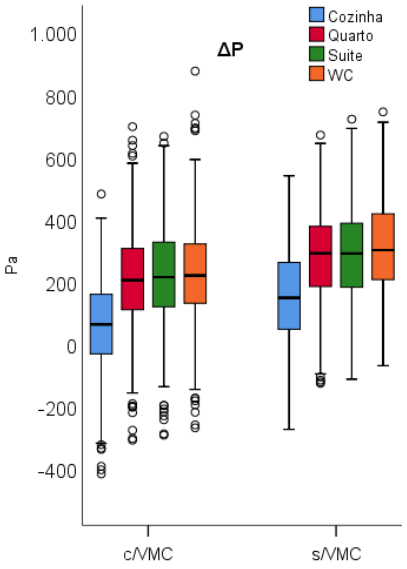


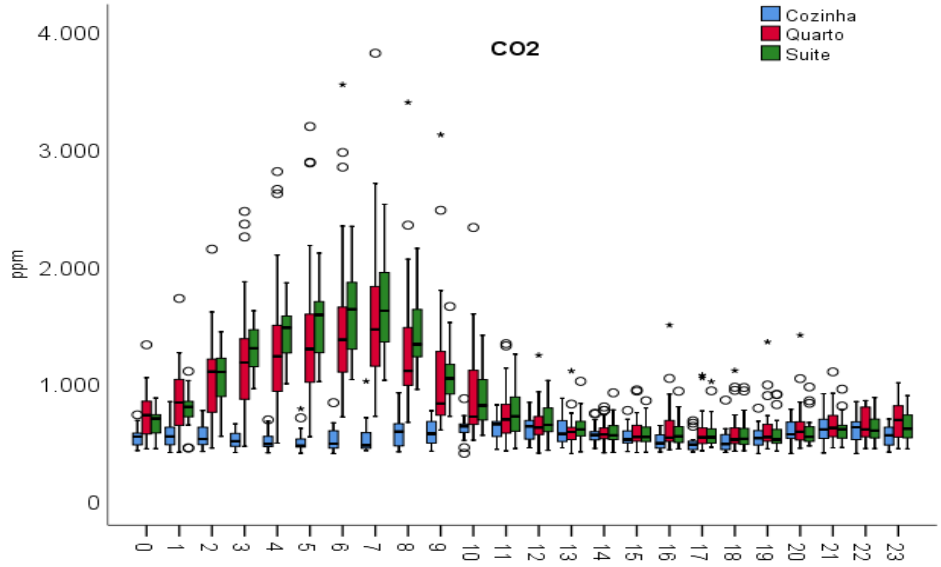


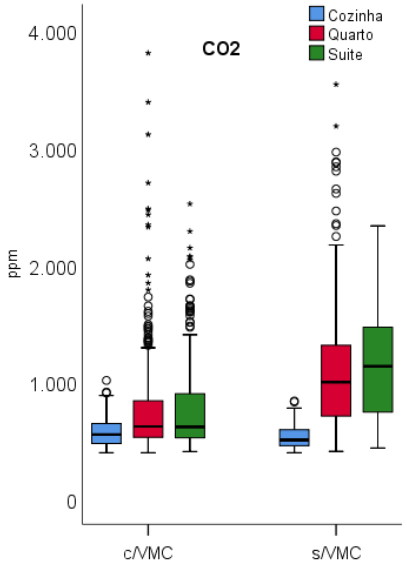

COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

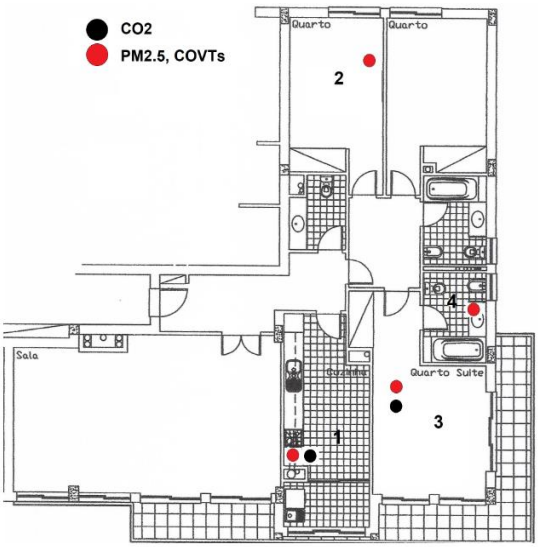

ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
-400
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
-400
c/VMC
s/VMC


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
4.000
3.000
2.000
1.000
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
4.000
3.000
2.000
1.000
0
c/VMC
s/VMC

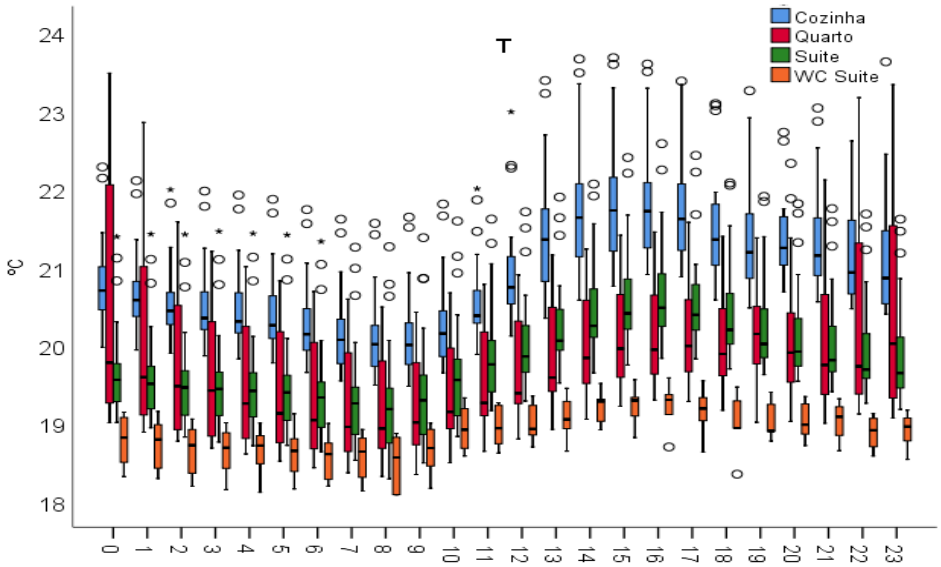
PORT1

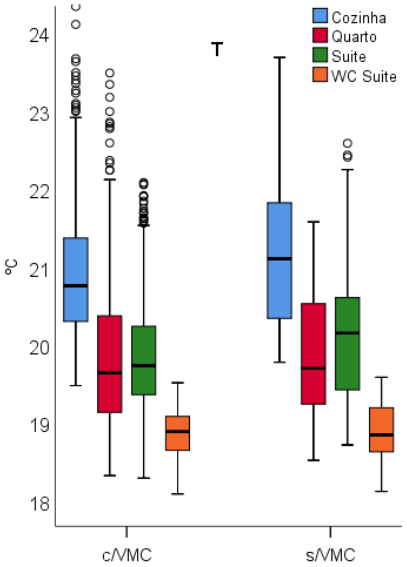


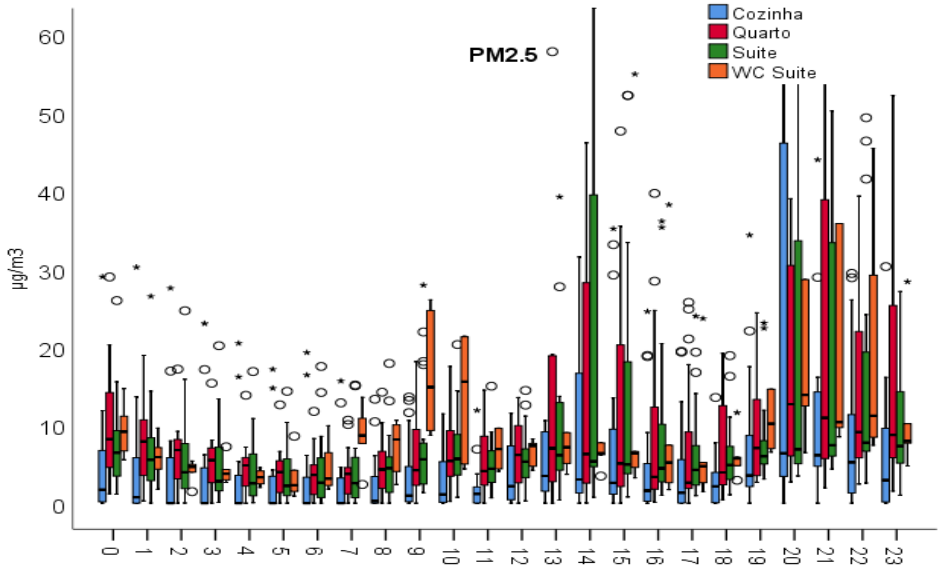
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem	75	1,70	72
1 Mulher	70	1,66	60

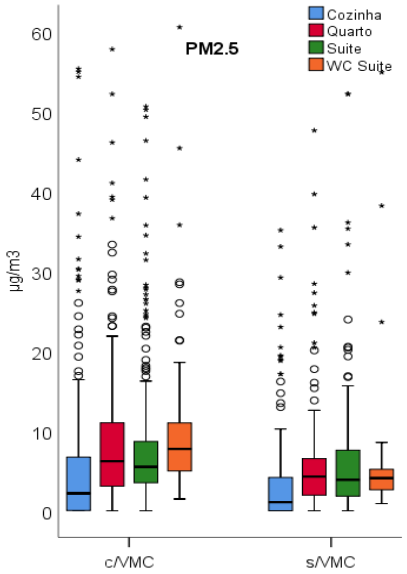
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	60,7	15	155	T3 (3º andar)
2	Quarto	n.a	14		
3	Suite	n.a	18		
4	WC Suite	41,4	5		

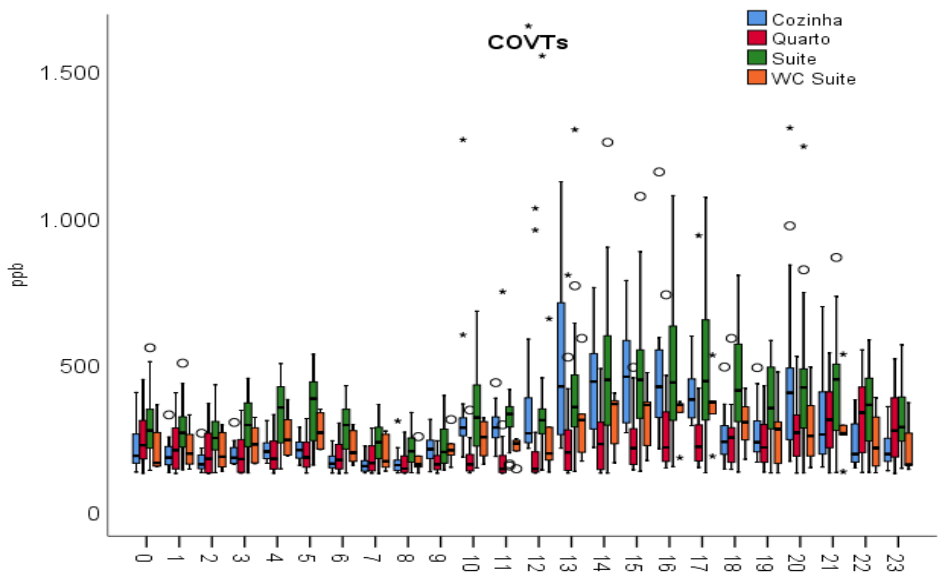
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 3:00h – 06:00h e 15:00h – 18:00h

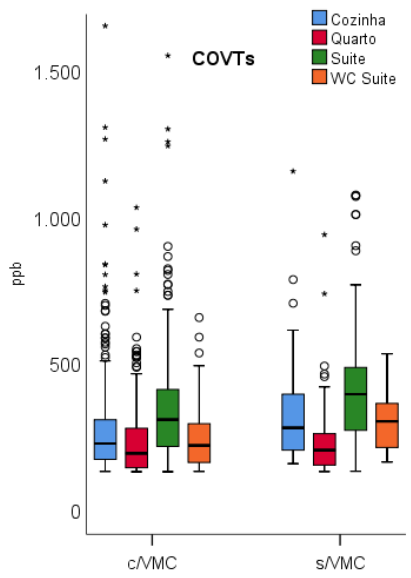


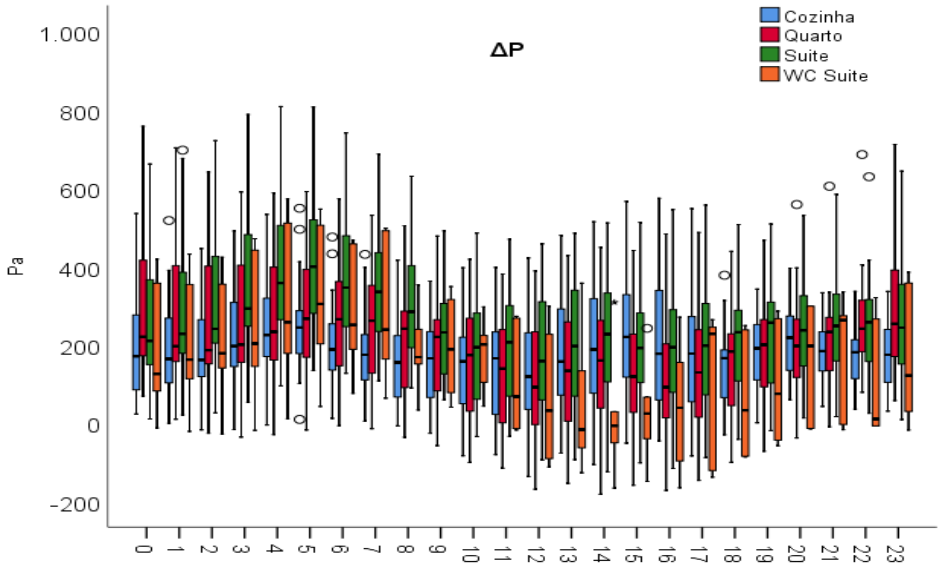


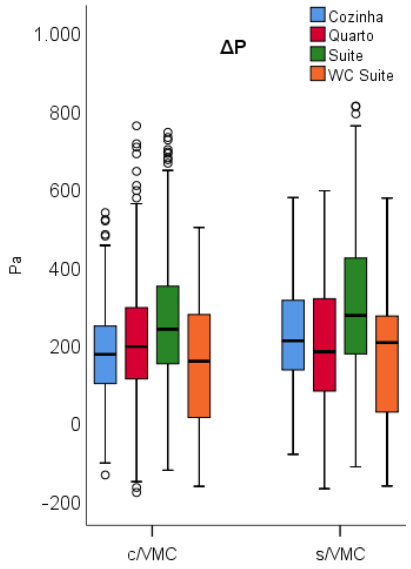


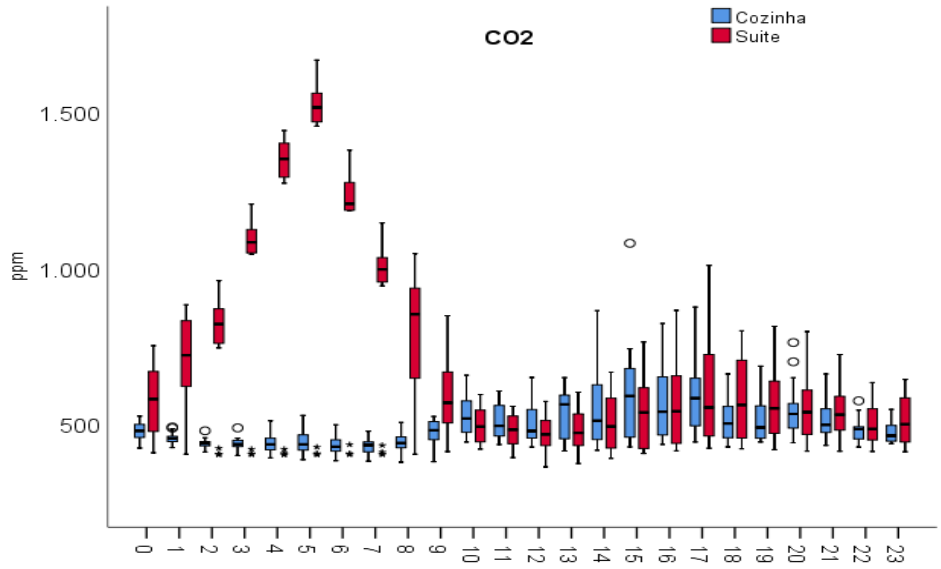


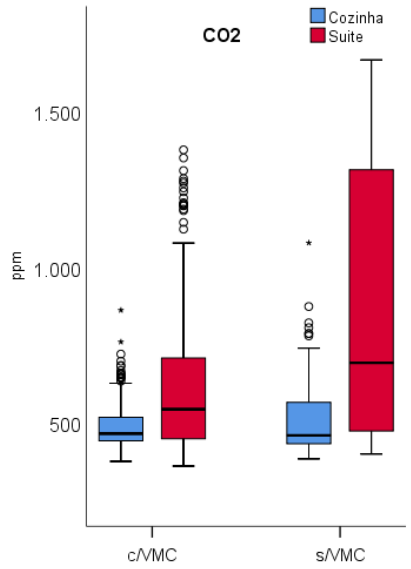

COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC Suite
ppb
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC Suite
ppb
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

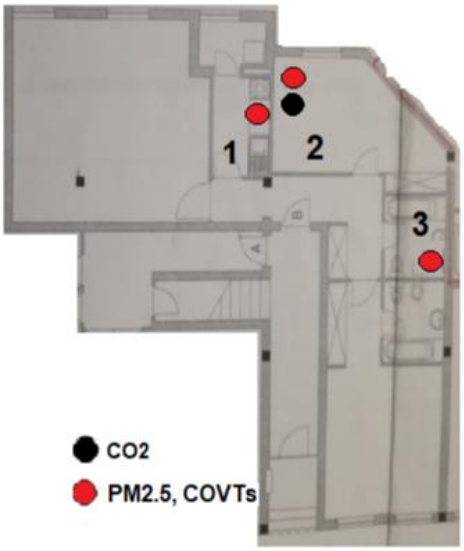

ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC Suite
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC Suite
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
c/VMC
s/VMC


CO2
Cozinha
Suite
ppm
1.500
1.000
500
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Cozinha
Suite
ppm
1.500
1.000
500
c/VMC
s/VMC

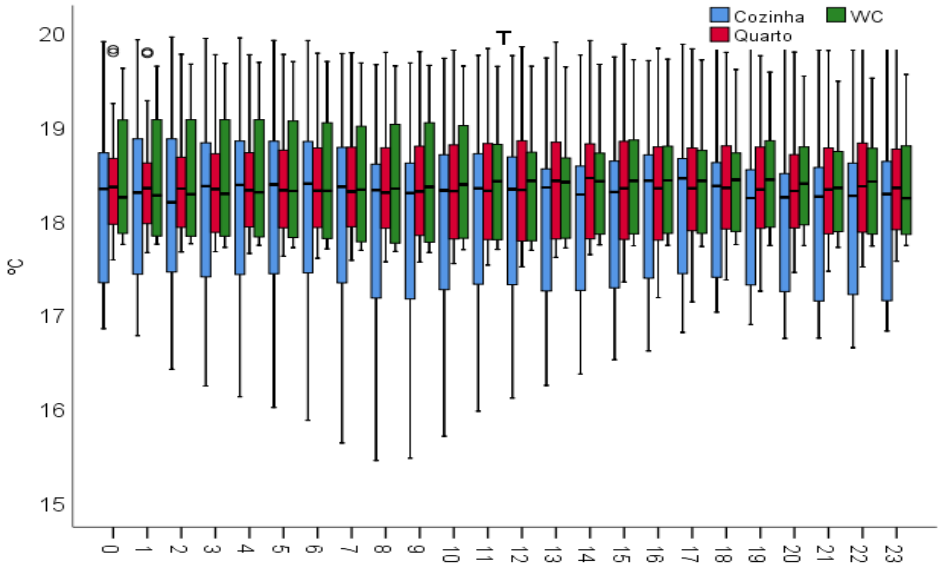
PORT2

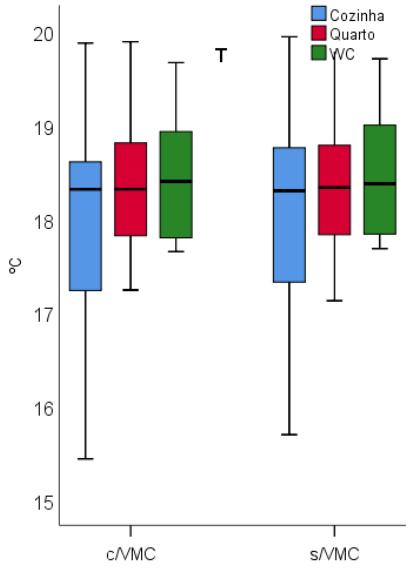


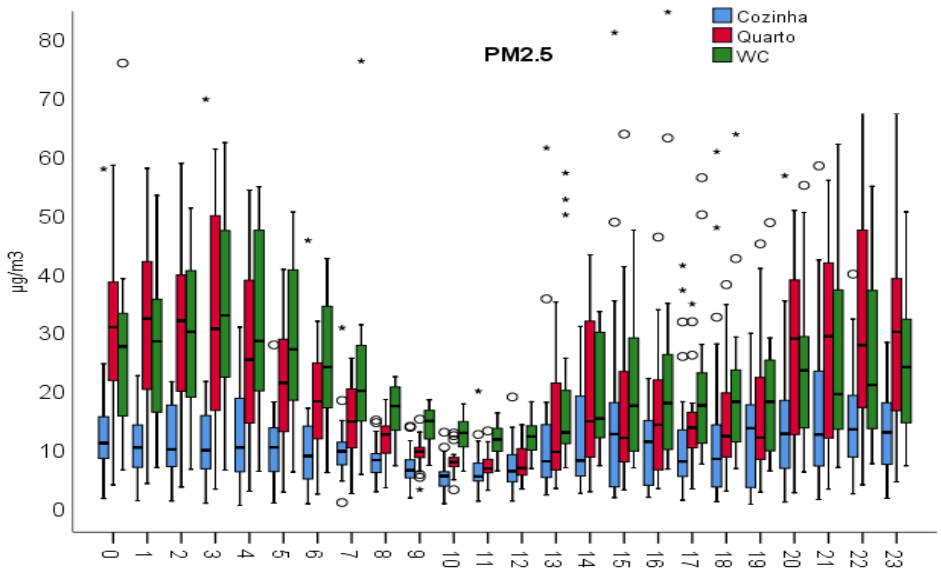
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Mulher	62	1,62	50

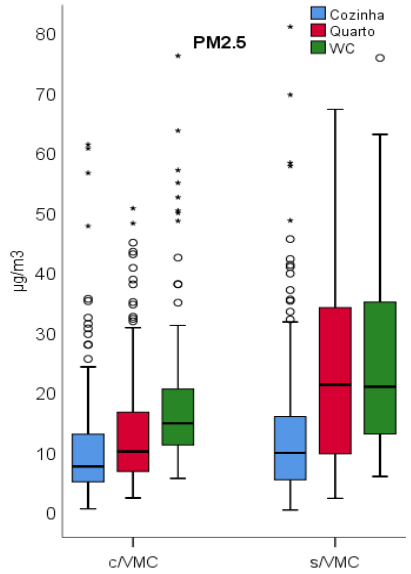
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	21,7	8		
2	Quarto	n.a	12	110	T2 (R/C)
3	WC	10,7	4		

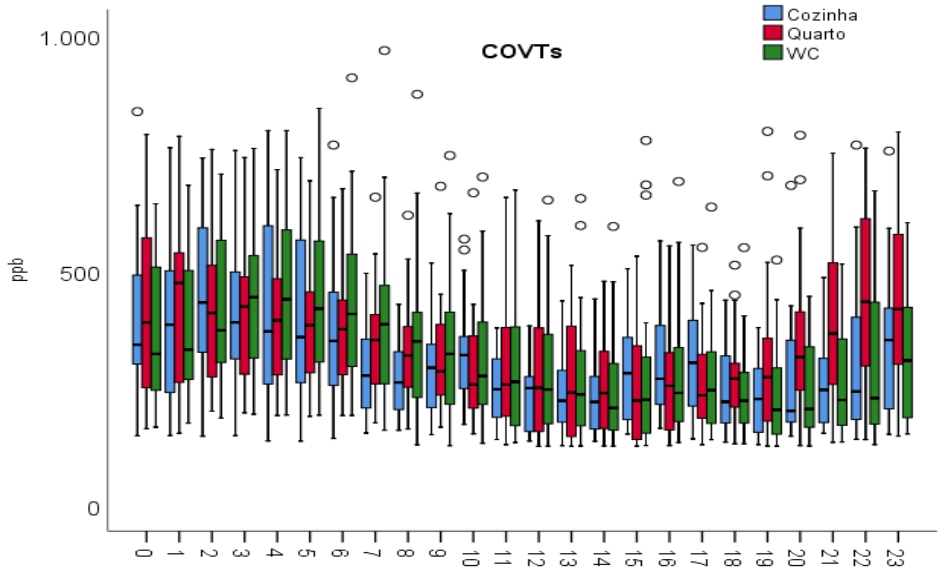
Funcionamento da VMC:
Compreendido entre:
07:00h – 10:00h; 11:00h –14:00h; 18:00h – 21:00h

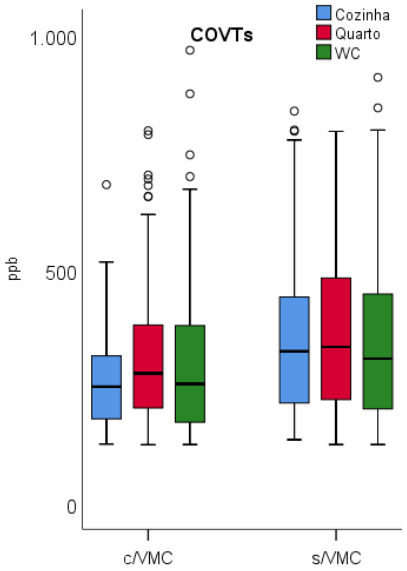


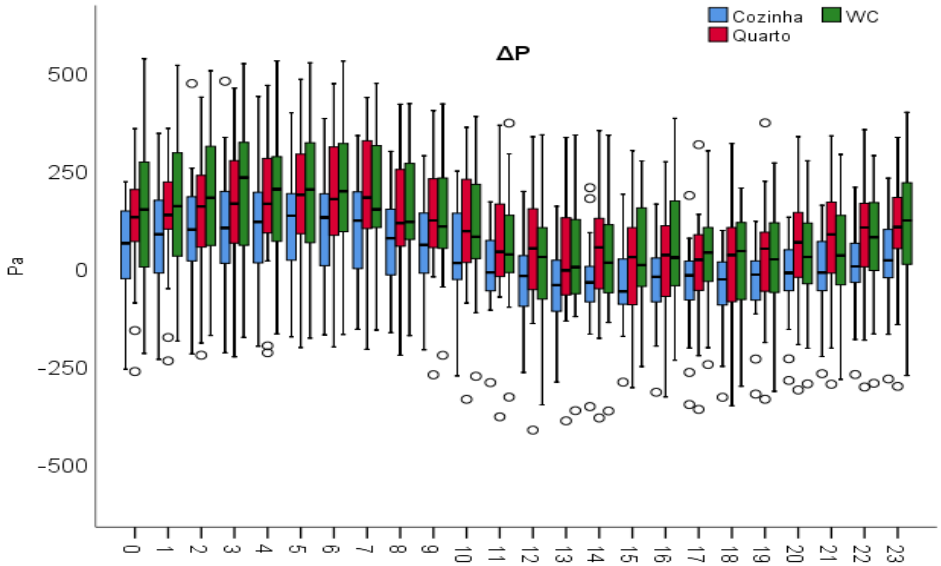


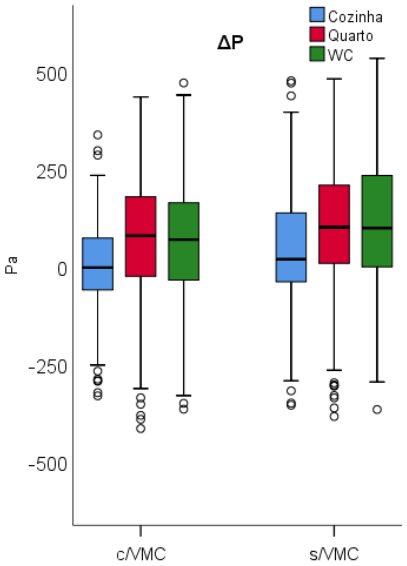


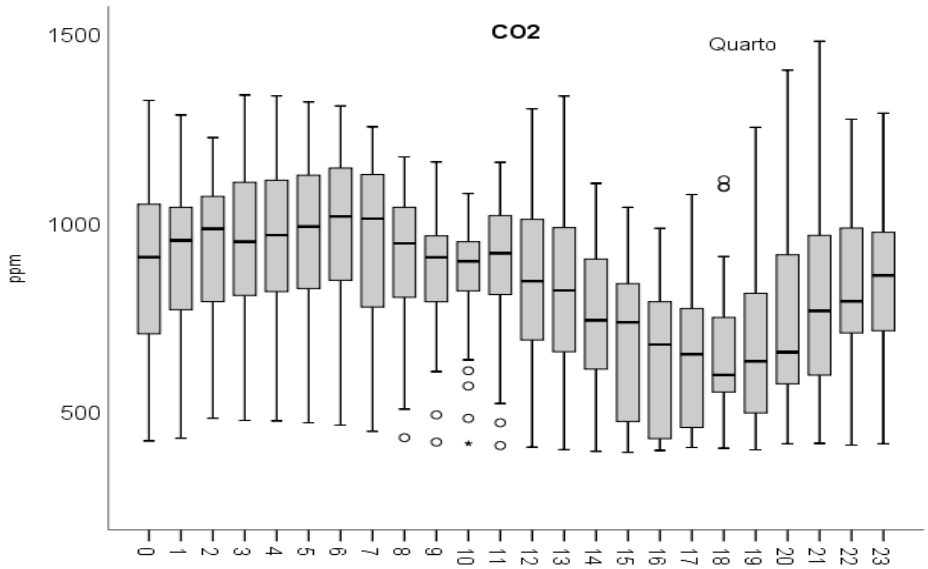


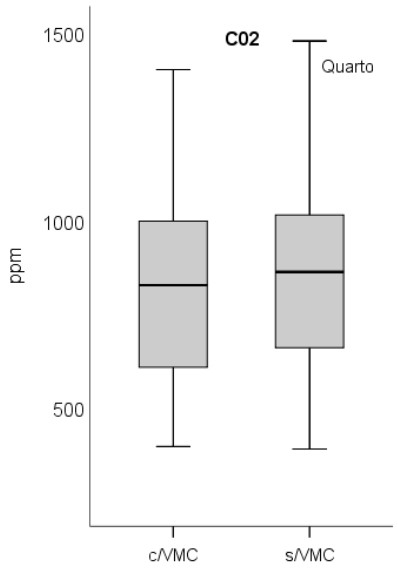

COVTs
Cozinha
Quarto
WC
ppb
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
WC
ppb
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

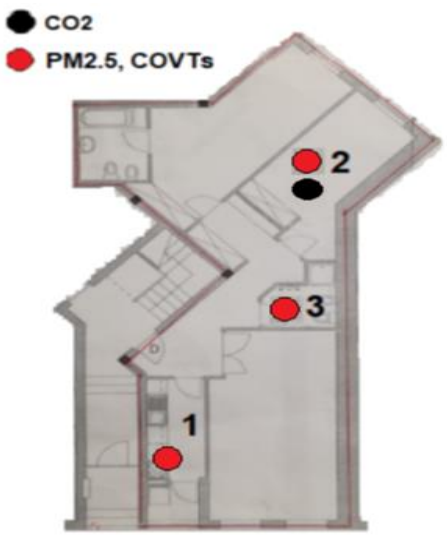

ΔP
Cozinha
Quarto
WC
Pa
500
250
0
-250
-500
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
WC
Pa
500
250
0
-250
-500
c/VMC
s/VMC


CO2
Quarto
ppm
1500
1000
500
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


C02
Quarto
ppm
1500
1000
500
c/VMC
s/VMC

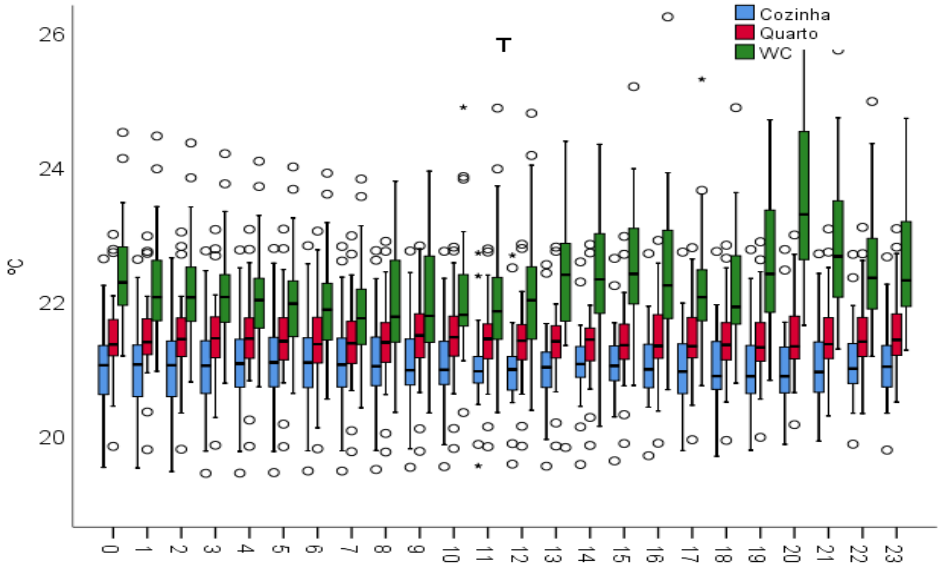
PORT3

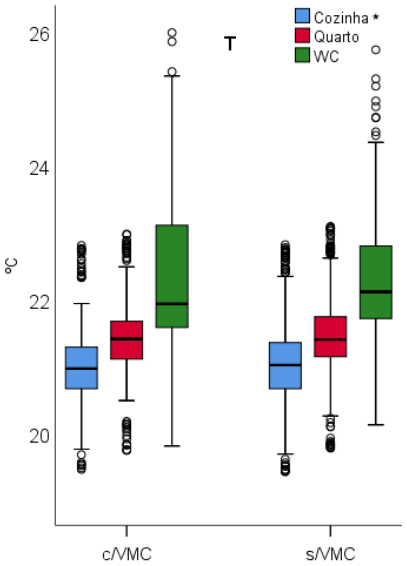


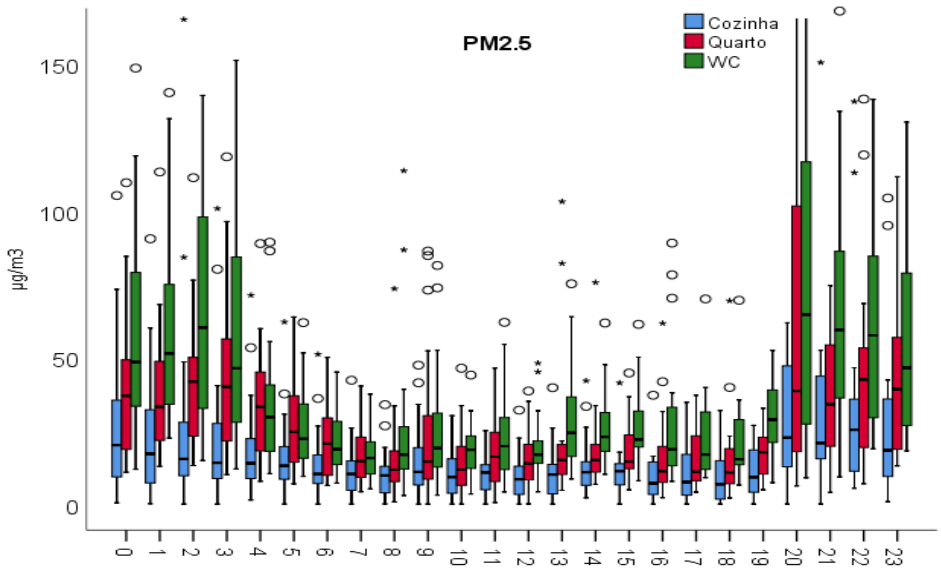
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
2 Mulheres	62; 29	1,62; 1,65	45; 60

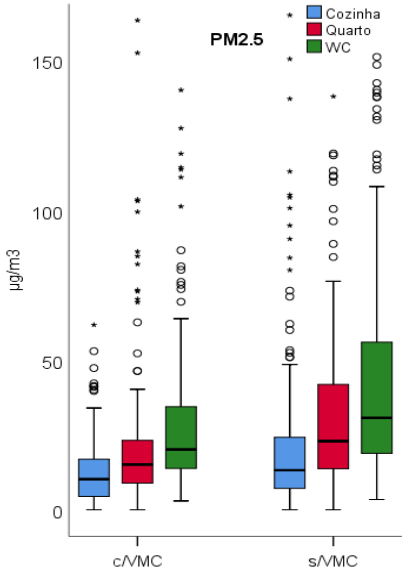
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	11,3	8		
2	Quarto	n.a	14	100	T2 (R/C)
3	WC	17,3	4		

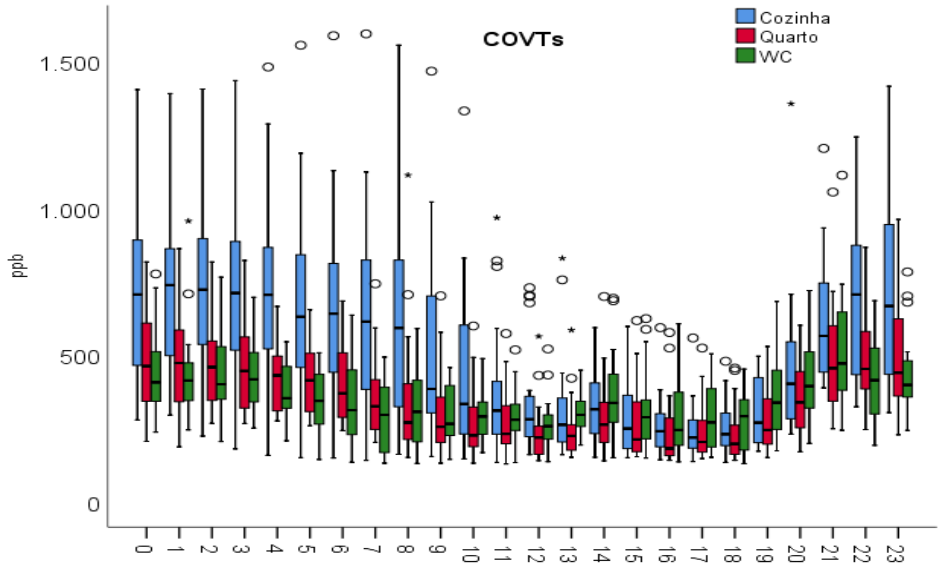
Funcionamento da VMC:
Compreendido entre:
07:00h – 10:00h; 11:00h –14:00h; 18:00h – 21:00h

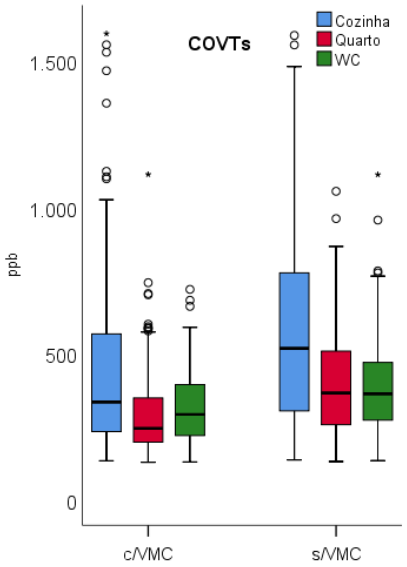


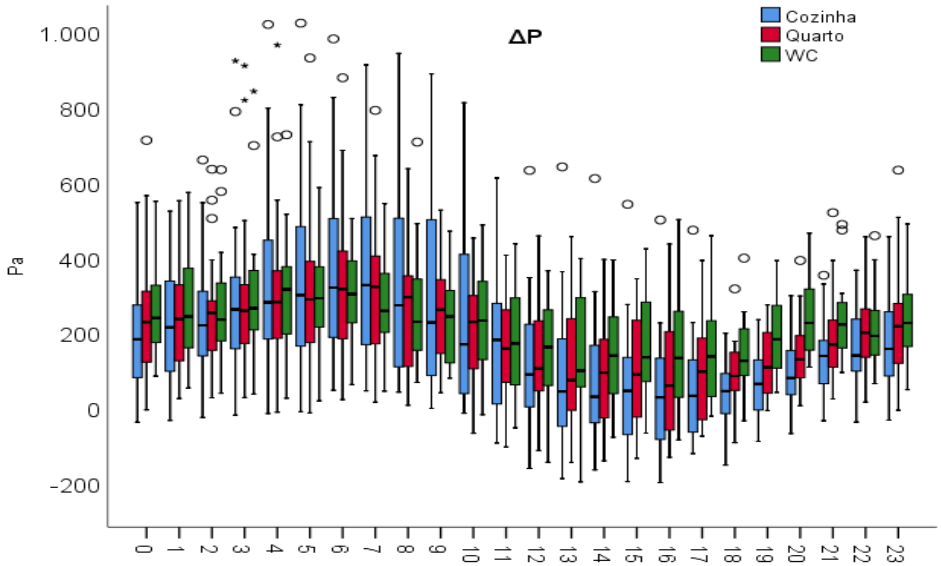


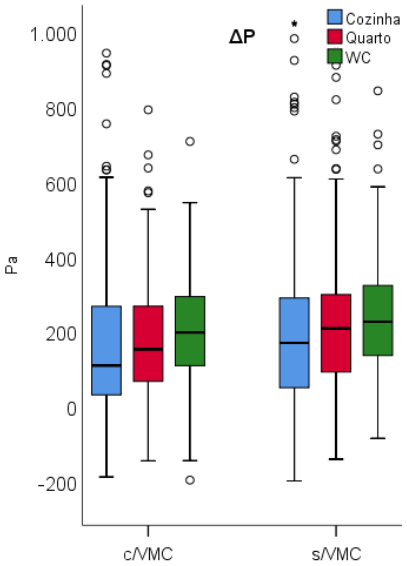


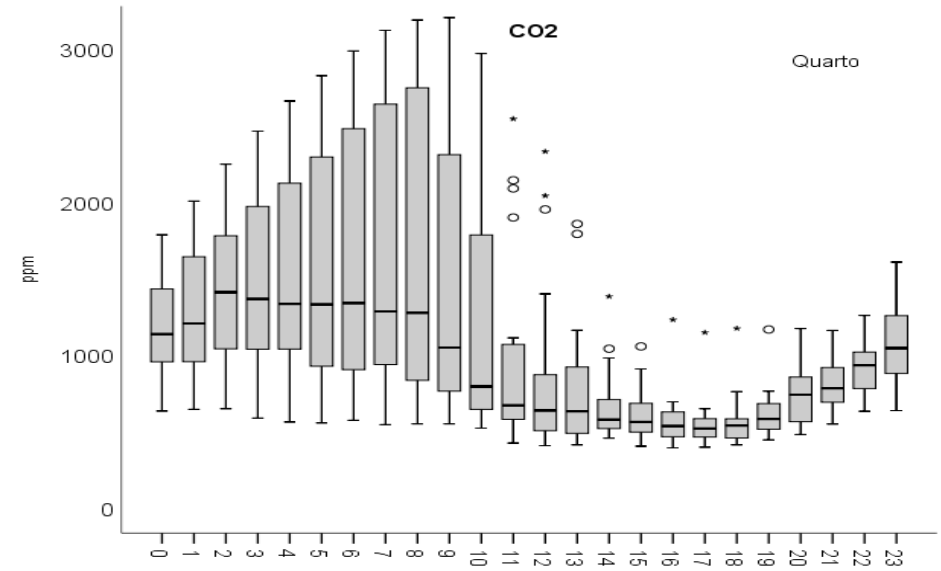


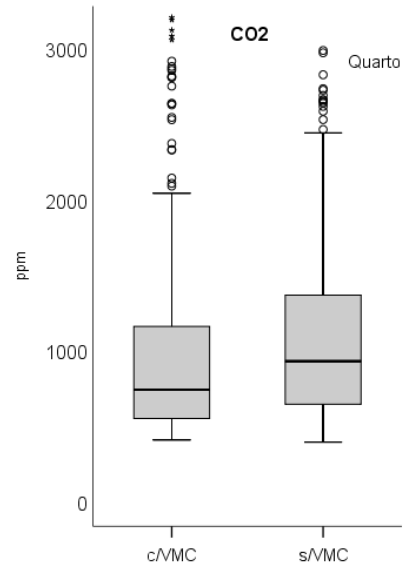

COVTs
Cozinha
Quarto
WC
ppb
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
WC
ppb
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

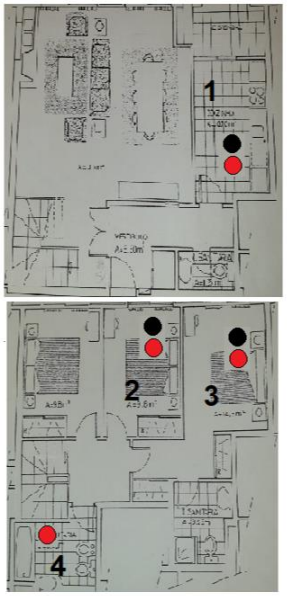

ΔP
Cozinha
Quarto
WC
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
WC
Pa
1.000
800
600
400
200
0
-200
c/VMC
s/VMC


CO2
Quarto
ppm
3000
2000
1000
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Quarto
ppm
3000
2000
1000
0
c/VMC
s/VMC

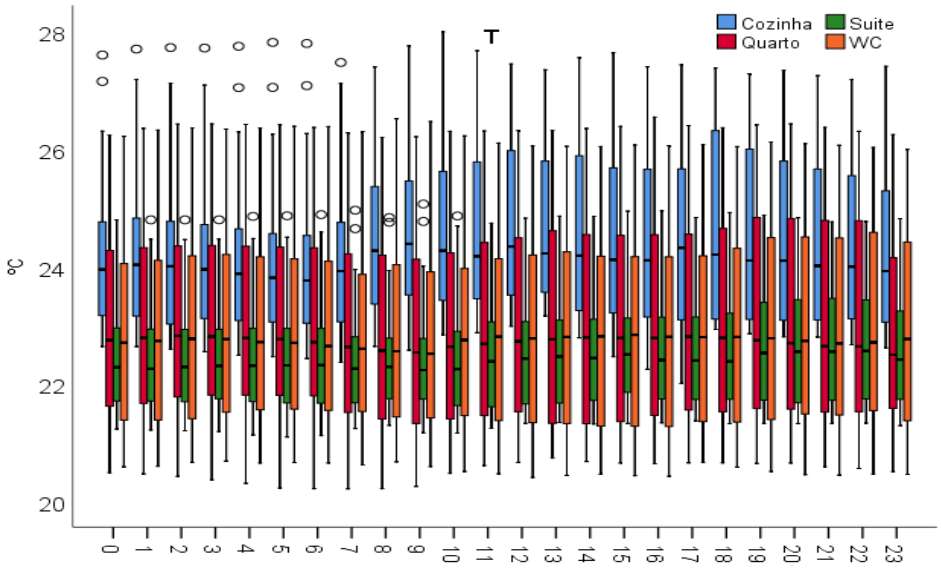
PORT4

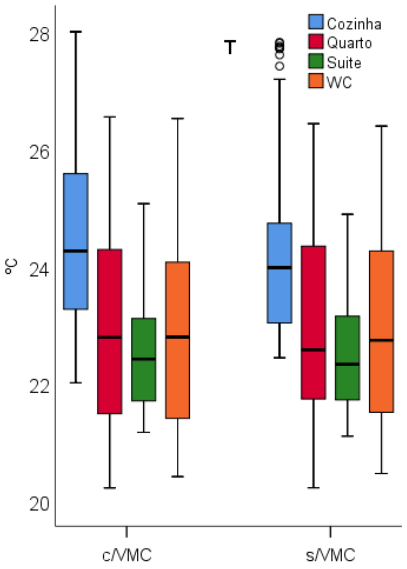


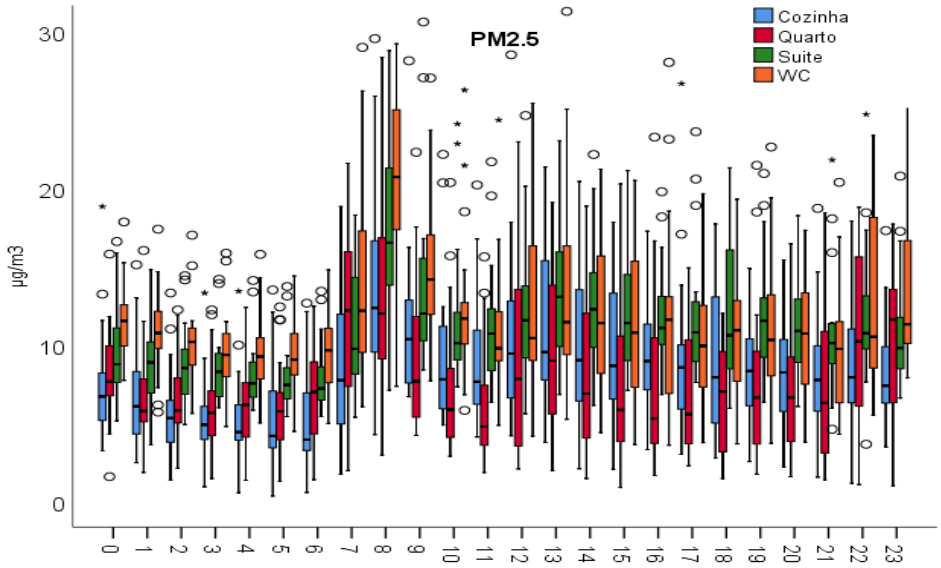
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem	45	1,74	76
1 Mulher	45	1,55	50
2 Crianças	9; 13	1,50; 1,74	60; 75

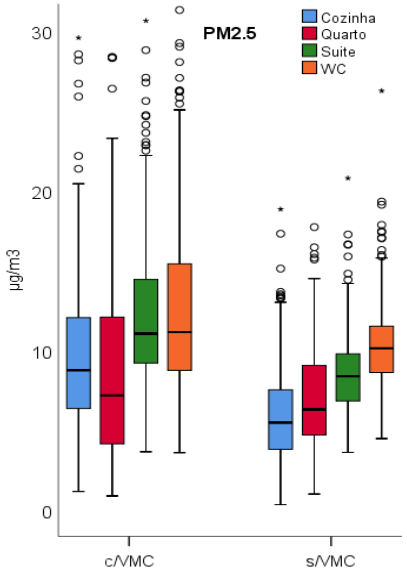
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	-	8,7	120	Duplex (6 e 7º andar)
2	Quarto	n.a	9,8		
3	Suite	n.a	14,5		
4	WC	40,6	5,4		

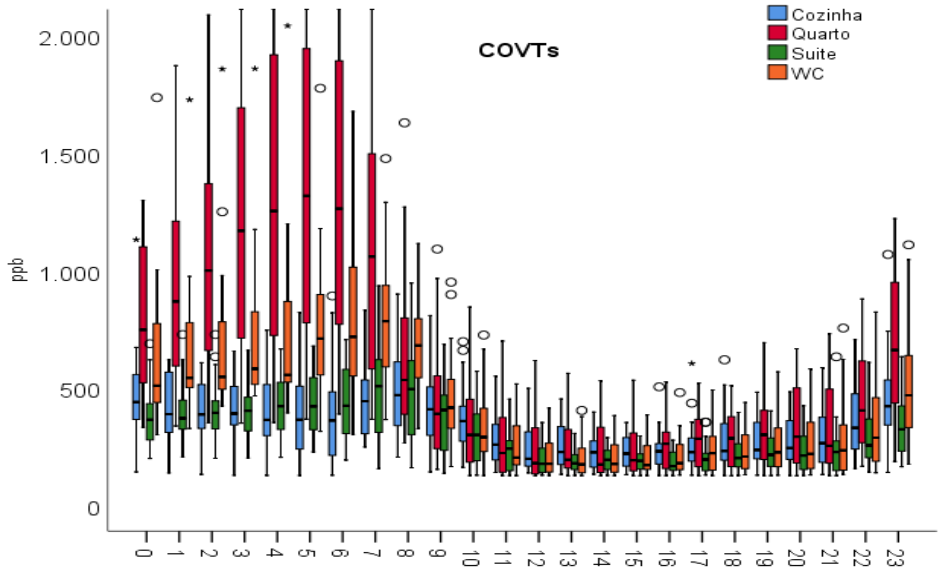
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 23:00h – 07:00h

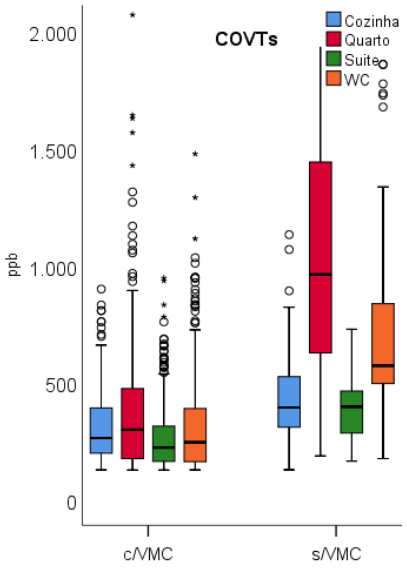


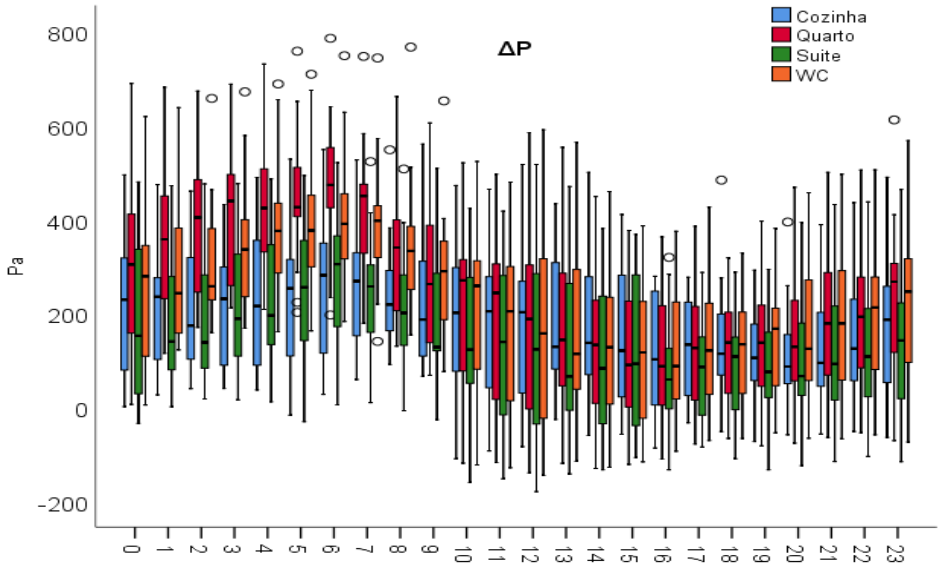


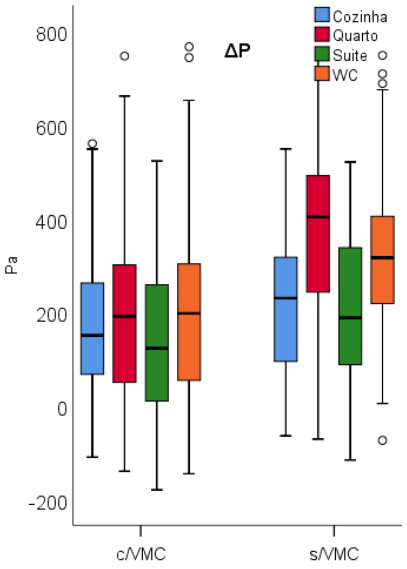


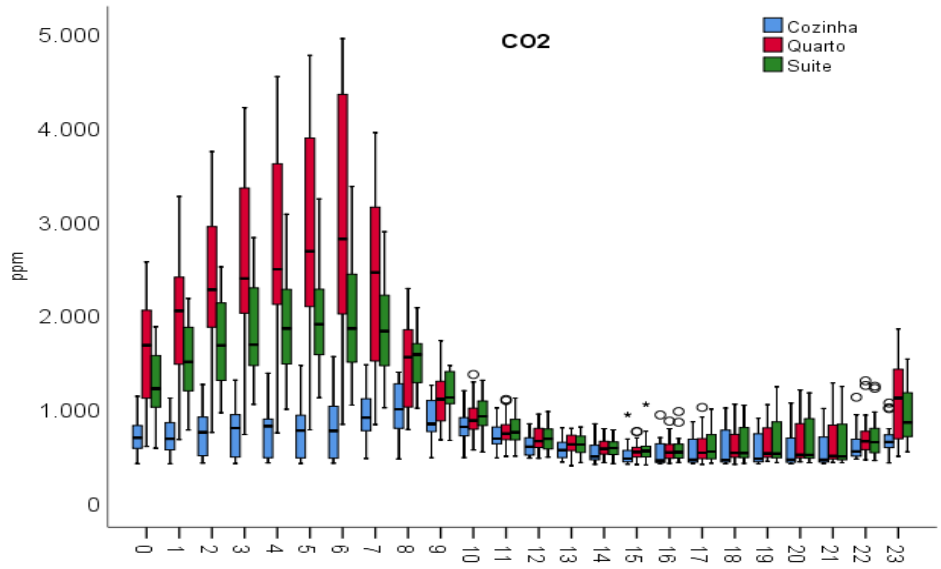


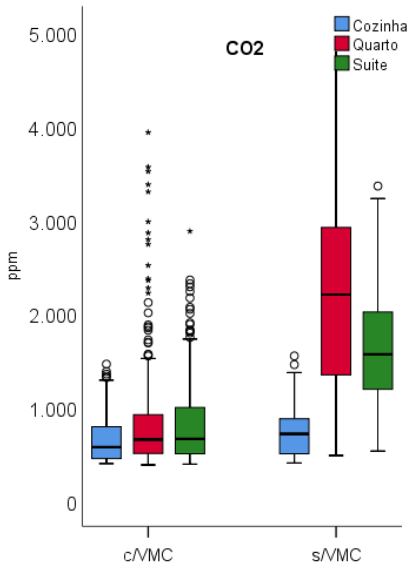

COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto
Suite
WC
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

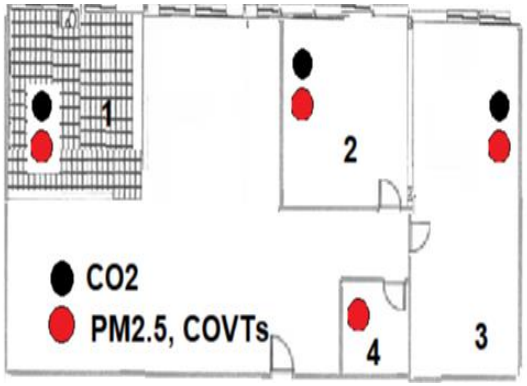

ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
800
600
400
200
0
-200
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto
Suite
WC
Pa
800
600
400
200
0
-200
c/VMC
s/VMC


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Cozinha
Quarto
Suite
ppm
5.000
4.000
3.000
2.000
1.000
0
c/VMC
s/VMC

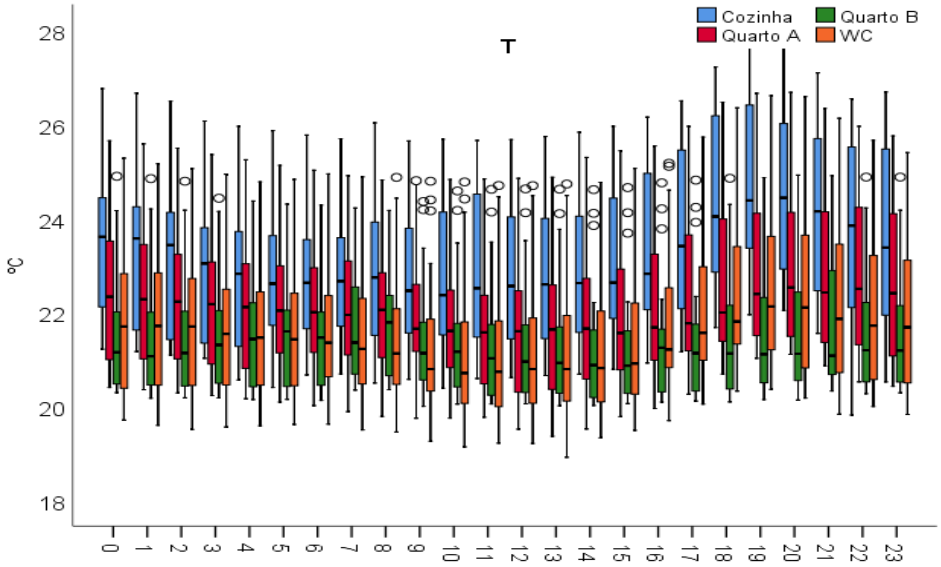
PORT5

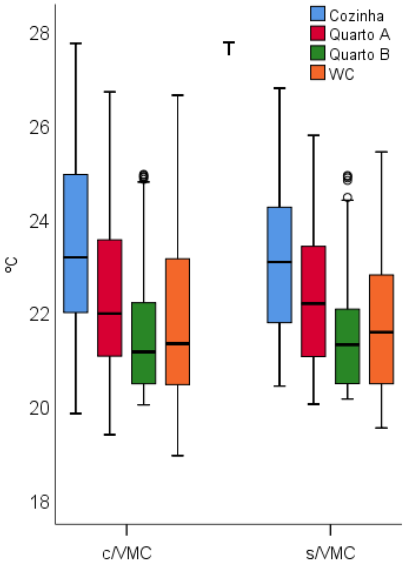


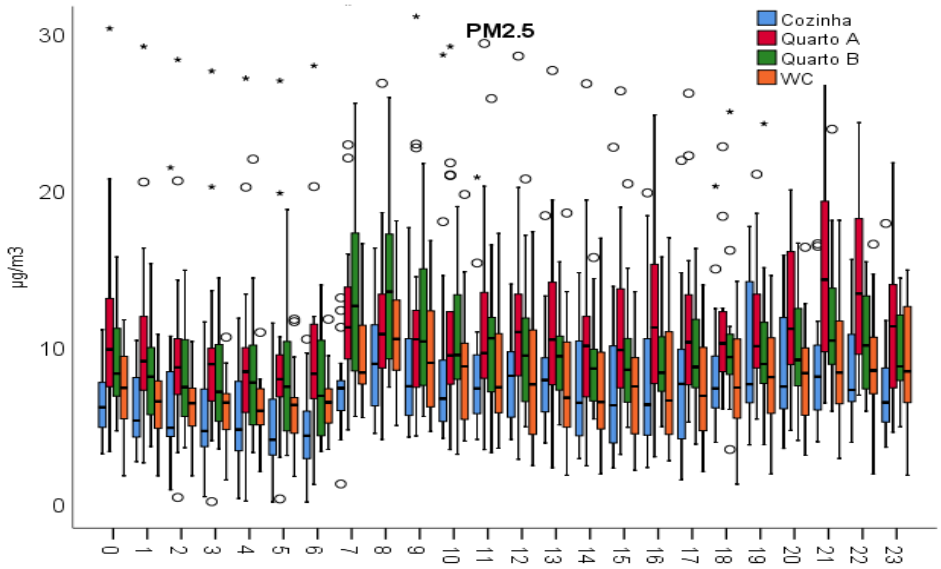
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Homem	35	1,8	68
1 Mulher	35	1,65	60
1 Criança	3	0,95	15

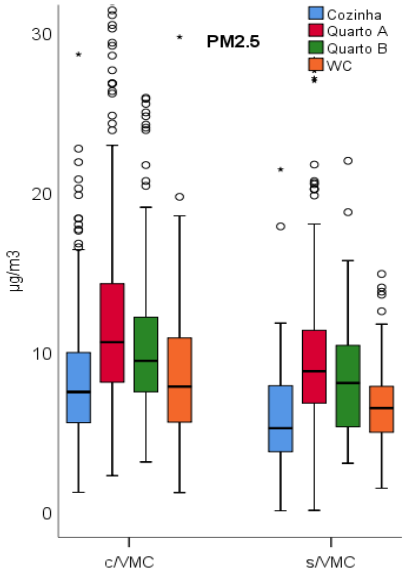
Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	8,2	20	85	T2 (4º andar)
2	Quarto A	n.a	16		
3	Quarto B	n.a	20		
4	WC	30,0	4		

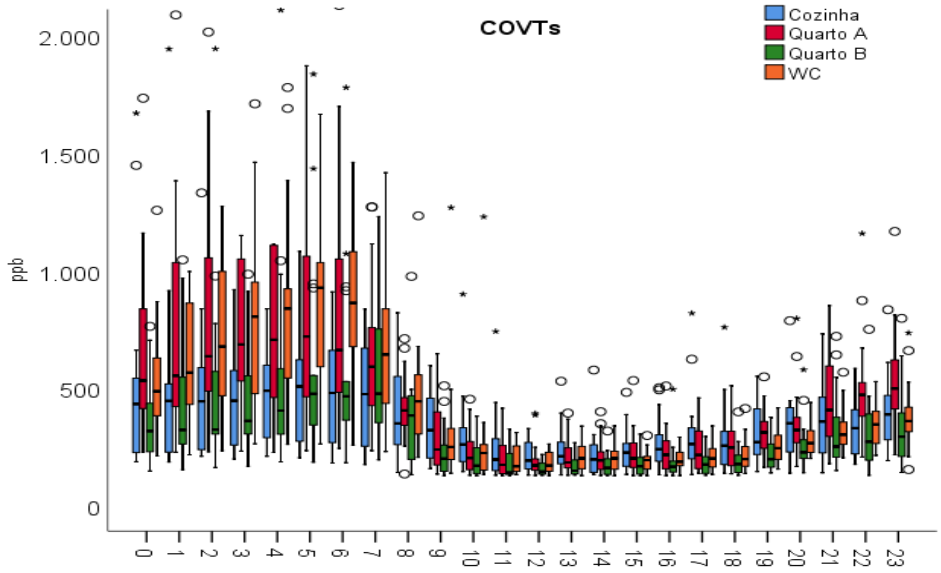
Interrupção do funcionamento da VMC:
Compreendido entre 23:00h – 07:00h

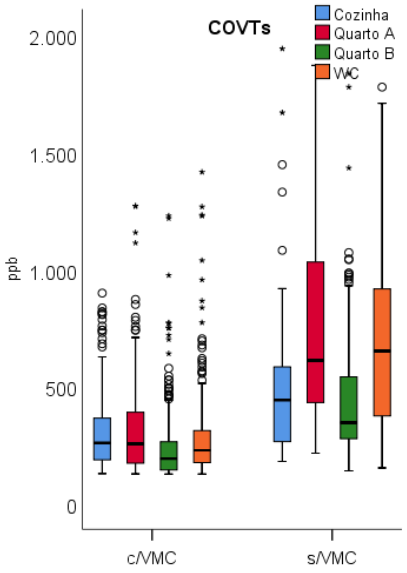


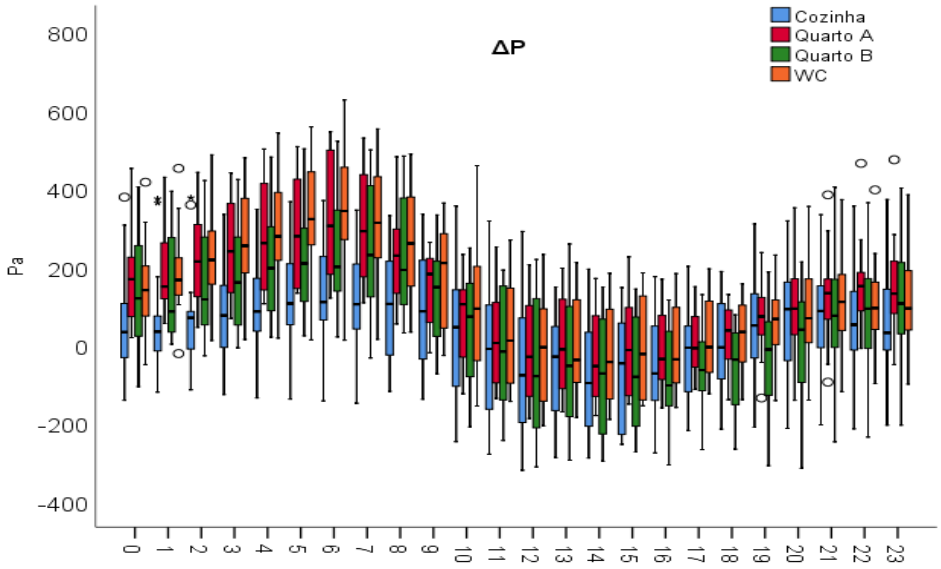


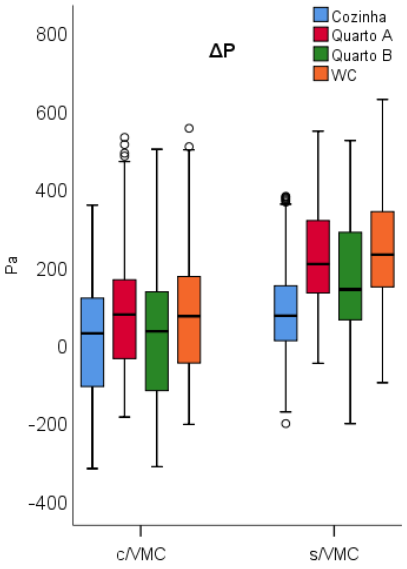


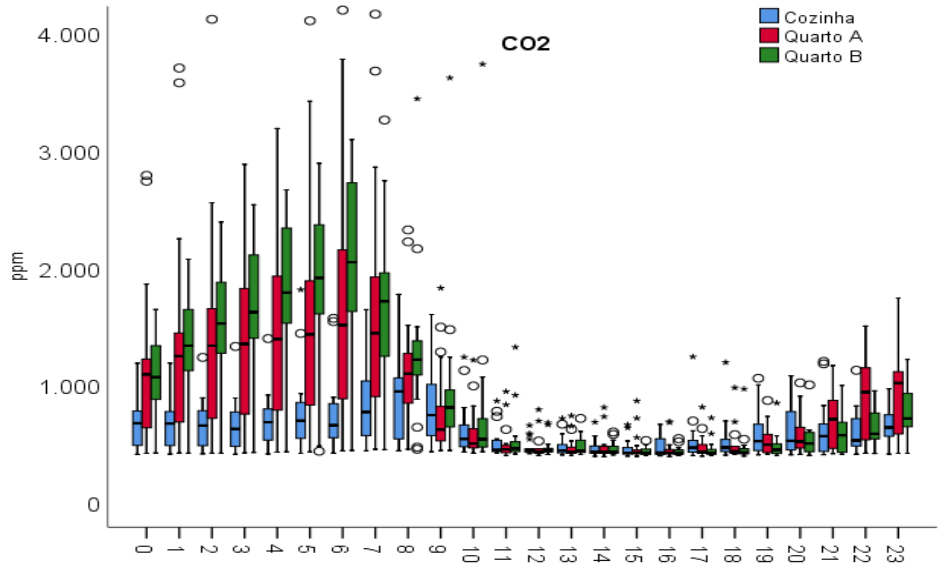


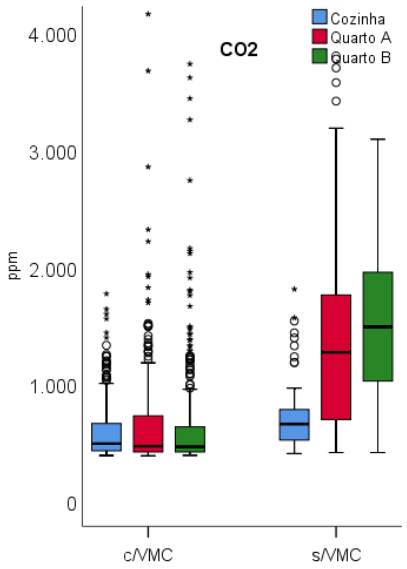

COVTs
Cozinha
Quarto A
Quarto B
WC
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


COVTs
Cozinha
Quarto A
Quarto B
WC
ppb
2.000
1.500
1.000
500
0
c/VMC
s/VMC

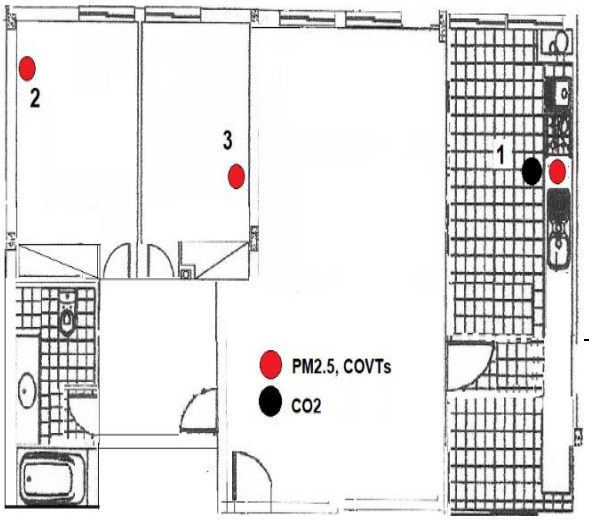

ΔP
Cozinha
Quarto A
Quarto B
WC
Pa
800
600
400
200
0
-200
-400
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


ΔP
Cozinha
Quarto A
Quarto B
WC
Pa
800
600
400
200
0
-200
-400
c/VMC
s/VMC


CO2
Cozinha
Quarto A
Quarto B
ppm
4.000
3.000
2.000
1.000
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23


CO2
Cozinha
Quarto A
Quarto B
ppm
4.000
3.000
2.000
1.000
0
c/VMC
s/VMC

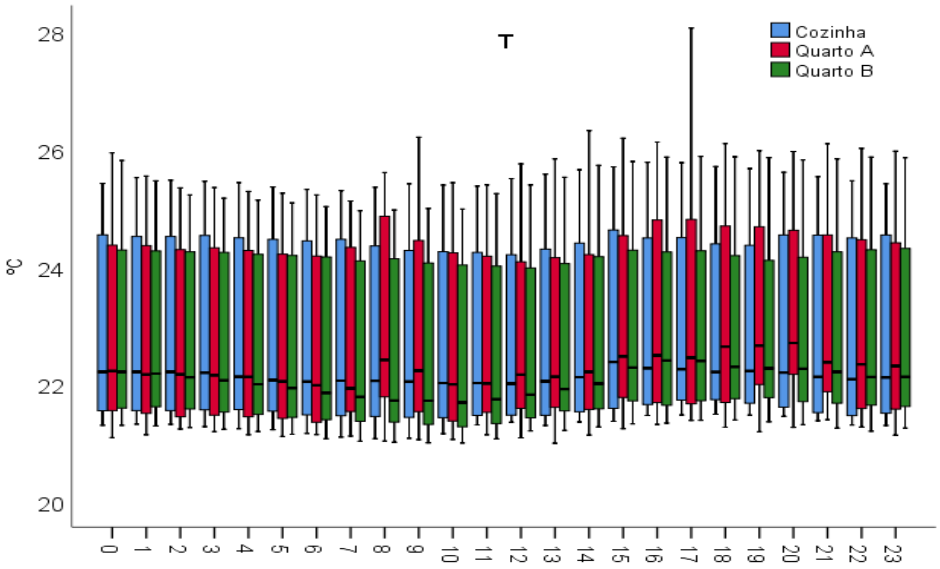
PORT6



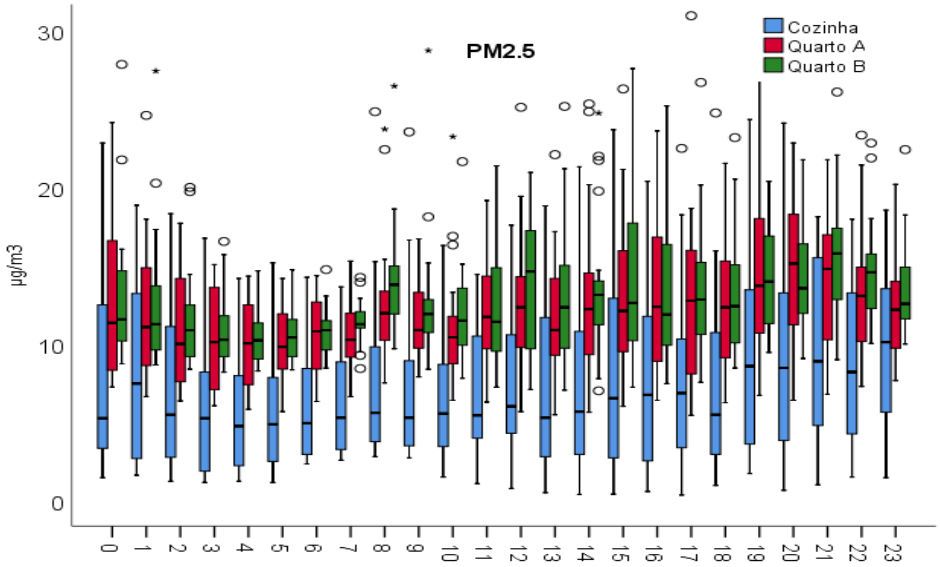
Ocupação	Idade	Altura (m)	Peso (kg)
1 Mulher	42	1,6	55
1 Criança	16	1,75	64

Nº	Compartimento	Q extração (l/s)	Área (m^2)	Área Total (m^2)	Tipologia
1	Cozinha	15,3	18	115	T2 (4º andar)
2	Quarto A	n.a	17		
3	Quarto B	n.a	16		

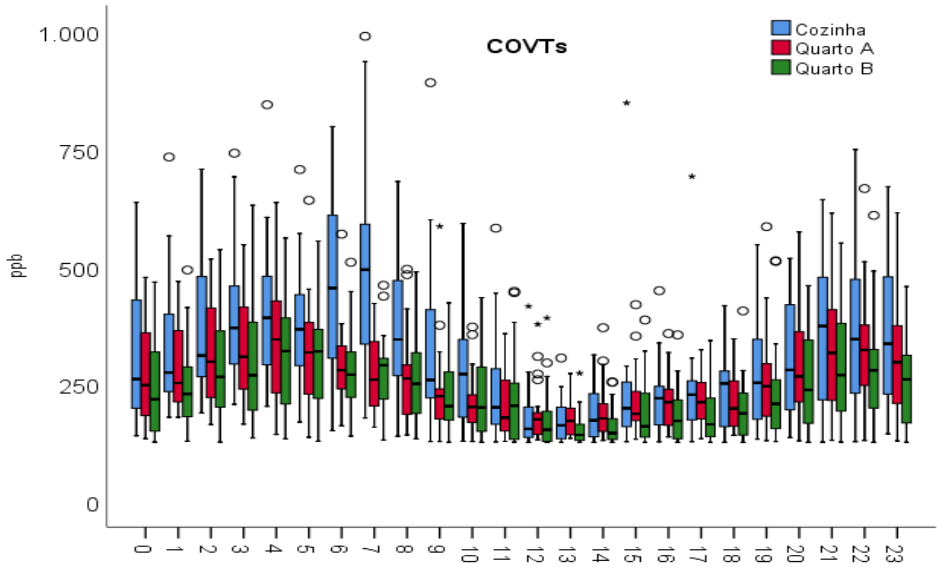
Funcionamento da VMC:
24h



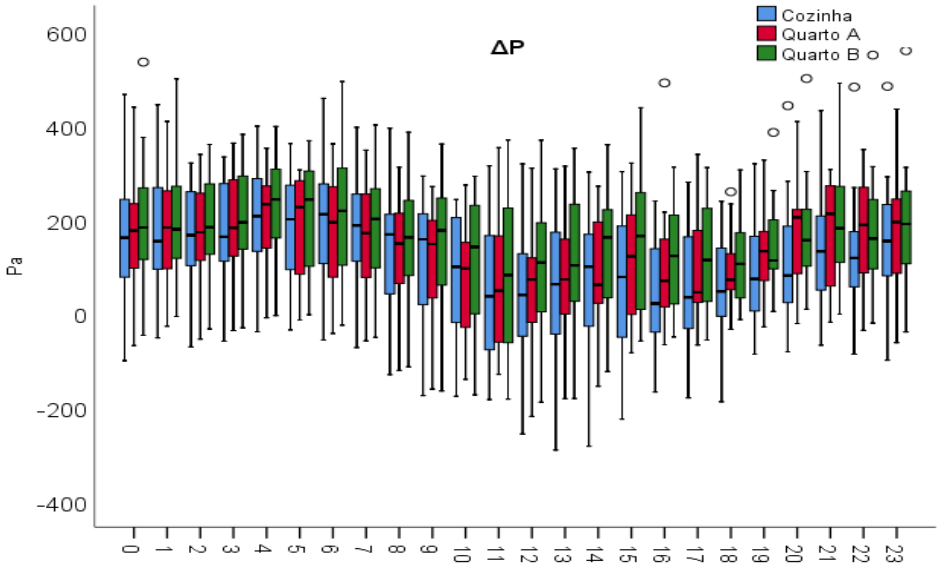
n.a



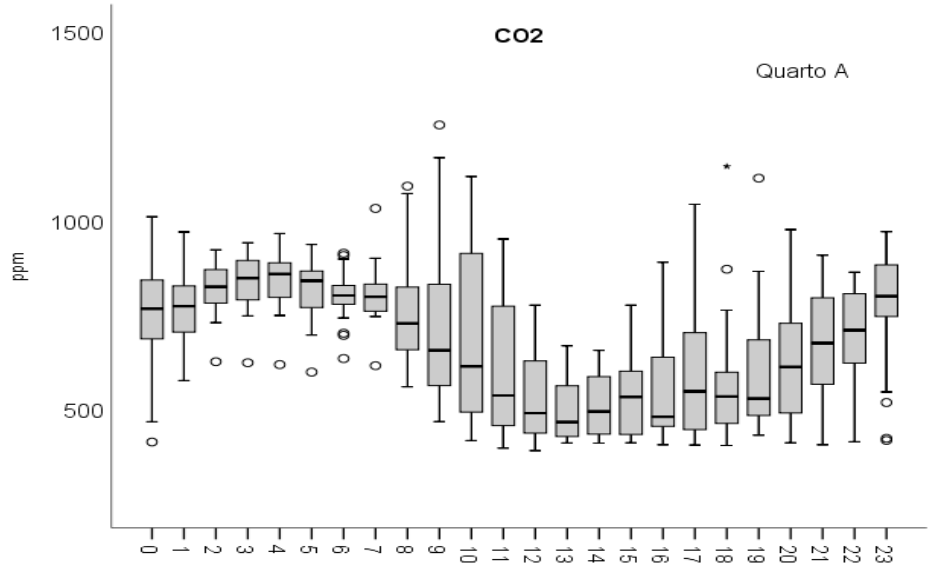
n.a


COVTs
Cozinha
Quarto A
Quarto B
ppb
1.000
750
500
250
0
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

n.a


ΔP
Cozinha
Quarto A
Quarto B
Pa
600
400
200
0
-200
-400
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

n.a


CO2
Quarto A
ppm
1500
1000
500
0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23

n.a