



CIEEMAT`19

The 5th Ibero-American Congress on
Entrepreneurship, Energy, Environment
and Technology

PROCEEDINGS



5th Ibero-American Congress on

Entrepreneurship, Energy, Environment and Technology

11th – 13th September 2019

Portalegre, Portugal

ISBN 978-84-17934-30-9



Portugal, September 2019

ORGANIZING COMMITTEE

Conference Management

Chairman: Ronney Arismel Macnebo Boloy, PhD. (Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca (CEFET/RJ), Brasil)

Chairman: Paulo Brito, PhD. (Polytechnic Institute of Portalegre, Portugal)

Chairman: Luis Pais, PhD. (Polytechnic Institute of Bragança, Portugal)

Chairman: José Luis Calvo Rolle, PhD. (Universidade de La Coruña, España)

Vocal: Ramon Sanguino Galvan, PhD. (Universidade de Extremadura, España)

Vocal: João Leitão, PhD (Lisbon Technical University and University of Beira Interior, Portugal)

Conference Manager: Monica Martins
(Theorem Conferences, United Kingdom)

SCIENTIFIC COMMITTEE

- Ph.D. Eliseu Monteiro (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Isabel Machado (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. João Miranda (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Paulo Brito (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Luiz Rodrigues (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Valentim Realinho (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Nicolau Almeida (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Rato Nunes (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Luís Filipe Vieira Ferreira (Lisbon Technical University, Portugal)
- Ph.D. Mário Costa, M. (Lisbon Technical University, Portugal)
- Ph.D. António Macías García (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Josélia Pedro (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. José Luís Calvo Rolle (Coruña University, Spain)
- Ph.D. Margarida Gonçalves, (UNL-FCT, Portugal)
- Ph.D. Awf Al-Kassir Abdulla, (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Ronney Arismel Mancebo Boloy, (GEEMAT-CEFET/RJ, Brazil)
- Ph.D. Amílton Ferreira Junior, (GEEMAT-CEFET/RJ, Brazil)
- Ph.D. Daniel de Cerqueira Lima e Penalva dos Santos, (IFPE, Brazil)
- Ph.D. Abel Rouboa (UTAD, Portugal)
- Ph.D. Valter Silva (University of Porto, Portugal)
- Ph.D. Luís Tarelho (University of Aveiro, Portugal)
- Ph.D. Ricardo Chacartegui, (University of Seville, Spain)
- Ph.D. Tamer Ismail, (Suez Canal University , Egypt)
- Ph.D. Cândida Vilarinho, (CVR, Minho University, Portugal)
- Ph.D. Pedro RibeiroMucharreira (Institute of Education, University of Lisbon, ISCE-Institute for Education Sciences, Portugal)
- Ph.D. Marina Godinho Antunes (ISCAL-Lisbon Higher Institute for Accounting and Administration, Portugal)
- Ph.D. Ramón Sanguino Galván (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Eduardo Álvarez Álvarez (University of Oviedo, Spain)
- Ph.D. Manuel Rico Secades (University of Oviedo, Spain)
- Ph.D. António Navarro-Manso (University of Oviedo, Spain)
- Ph.D. Sílvia Román Suero (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Santiago Cambero Rivero (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. María Isabel Sánchez Hernández (University of Extremadura, Spain)
- Professor Claire Seaman (Queen Margaret University, United Kingdom)
- Ph.D. Luís Silva (Polytechnic Institute of Porto, Portugal)
- Ph.D. Aizhan Salimzhanova (Kazakh State Women's Teacher Training University, Kazakhstan)
- Ph.D. Luís Loures (C3i/IPP, Portugal)
- Ph.D. Abel Rodrigues (National Institute of Agrarian and Veterinary Research, Portugal)
- Ph.D. José Luis Canito Lobo (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Diego Carmona Fernández (University of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Christoper Sá (Polytechnic Institute of Porto, Portugal)
- Ph.D. Jerónimo González Cortés (Centre for Scientific and Technology Research of Extremadura, Spain)
- Ph.D. Muhammad Ghaffar Doggar (COMSATS, Pakistan)
- Ph.D. Naem Abas Kalair (University of Gujrat, Pakistan)
- Professor Artur Romão (Pro-President for Employment and Entrepreneurship at the Portalegre Polytechnic Institute and C3i/IPPPortalegre)

Características de três bacias hidrográficas de montanha ao longo de um gradiente climático: inferências quanto a riscos hidrológicos

Vinicius Okada, Tomas Figueiredo, Felícia Fonseca, Maurício dos Santos..... 312

Estudo Comparativo Da Microbiologia Do Solo Em Soutos Demonstração: Contributo Para O Desenvolvimento De Estratégias De Adaptação Sustentáveis

Samuel Diegues, Ermelinda Pereira, Sandra Afonso, Maria Patrício 319

Análise das Concentrações de Dióxido de Azoto (NO₂) no Concelho de Lisboa

Mark Farias, Ana Segatelli, Arthur Lima, Vinicius Okada, Manuel Feliciano 324

Technological Prospecting about the Biomass Use as a Source of Energy from the Bibliometric Analysis of Patents

Bárbara Martins, Daniel Santos, Cristina Souza, Ronney Boloy, Rafael Barbastefano, Carlos Correa 331

La Influencia de la Responsabilidad Social Gubernamental y la Legitimidad en la Imagen del gobierno Municipal. Un caso de estudio desde la perspectiva del ciudadano de Valle de Santiago, Guanajuato, México

Jessica Quiroz-García 338

Microrganismos aerotransportados e material particulado em ambiente hospitalar

Lucas D'avila, Manuel Feliciano, Marcia Agustini, Paula Baptista, Cristina Cameirão, Maria Domingues, Vanessa Yamanaka, Ermelinda Pereira..... 362

Sales and prices of still wine from the Portuguese wine regions: Insights for entrepreneurship plans

Vítor João Pereira Domingues Martinho..... 369

Cualidades Térmicas Del Sillar De Arequipa Perú

Luis Carlos Sosa, Edgar Montalvo, Karin Neira 373

A influência dos sistemas de aquecimento doméstico na Qualidade do Ar Interior em habitações

Fabiana Lira, Rafael Arioli, Manuel Feliciano..... 381

Resíduos de Desflurano e Sevoflurano em Bloco Operatório de uma Unidade Hospitalar

Vanessa Yamanaka, Ermelinda Pereira, Joseane Theodoro, Lucas D'avila, Maria Domingues, Manuel Feliciano 389

Análise da Eficiência do Tratamento de Eletrocoagulação de Efluente de Indústria Alimentícia: Eletrodos de Alumínio

Larissa da Silva, Tayla da Luz, Vanessa Yamanaka, Joseane Theodoro 397

Reduction of total phenols, total phosphorus and turbidity by uncatalytic oxidation processes in cheese whey wastewater

Ana Prazeres, Silvana Luz, Fálvia Fernandes, Eliana Jerónimo 403

Uso eficiente da água em condições de clima Mediterrânico. Um caso de estudo na cultura da romãzeira.

Ramôa, Parenzan, Fialho, Guerreiro, Soldado, Catronga, Gonzalez García, Jerónimo, Oliveira e Silva 409

Biogas and Biodiesel Production for Use in Urban Bus Fleet: A Panoramic View in the city of Volta Redond-RJ, Brazil

Kátia de Oliveira, João Travessa, Fernanda Figueiredo, Aldara César, Ronney Boloy..... 415

Avaliação de fluxos de CO₂ do solo de um sistema agroflorestral do Nordeste de Portugal

Luciléia Reis, Maria Patrício, Samuel Diegues, Giovanna Poggere, Manuel Feliciano 424

Análise dos indicadores de Qualidade do Ambiente Interno nas ferramentas de certificação ambiental de edifícios

Isabel Consoli, Carlos Andrade, Ney Tabalipa 431

Evaluación del potencial de tres azúcares simples para la producción hidrógeno por vía fermentativa

A influência dos sistemas de aquecimento doméstico na Qualidade do Ar Interior em habitações

Fabiana Lira, Rafael Arioli, Manuel Feliciano

1st Fabiana Lira
 Instituto Politécnico de
 Bragança
 Bragança, Portugal
fabianoaireslira@gmail.pt

2nd Rafael Arioli
 Universidade Tecnológica
 Federal do Paraná, Campus
 de Medianeira
arioli@utfpr.edu.br

3rd Manuel Feliciano
 Centro de Investigação de
 Montanha (CIMO), Instituto
 Politécnico de Bragança
msabenca@ipb.pt

Abstract— Este estudo teve por objetivo caracterizar a Qualidade do Ar Interior (QAI) e avaliar a influência dos sistemas de aquecimento em várias tipologias de habitações localizadas na cidade de Bragança, Portugal. O estudo envolveu uma amostra de 25 habitações, 13 moradias unifamiliares e 12 apartamentos, equipadas com sistemas de aquecimento representativos da área de estudo como lareiras abertas, recuperadores de calor, salamandras, caldeiras, alimentados a biomassa vegetal (lenha, pellets), gás natural ou gasóleo. Em cada residência foi realizada a monitorização da fração fina de material particulado (PM_{2,5}), dióxido de carbono (CO₂), monóxido de carbono (CO), Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COVT), temperatura e humidade relativa do ar por um período de aproximadamente 24 horas, entre janeiro a março de 2018. Os resultados mostram que as situações mais críticas de qualidade do ar interior foram observadas em residências que utilizam biomassa lenhosa como fonte de energia térmica em lareiras abertas, estando particularmente relacionadas com concentrações mais elevadas de PM_{2,5} e CO. Durante o período de funcionamento destes sistemas de queima, registaram-se concentrações horárias máximas de aproximadamente 1500 µg/m³ e de 80 ppm, para PM_{2,5} e CO, respectivamente. Para os COVT, além dos sistemas de aquecimento interferirem na magnitude dos seus níveis, os valores mais elevados foram associadas a outros fatores como a queima de incenso, ambientadores e utilização de produtos de limpeza.

Keywords— Monitorização, residências, sistemas de combustão, material particulado, contaminantes gasosos, Nordeste de Portugal.

^a INTRODUÇÃO

Uma série de medidas implementadas para aumentar a eficiência energética dos edifícios, face à crise ocorrida no último quarto do século XX, contribuíram para uma acumulação de poluentes no ar interior [1].

A qualidade do ar interior (QAI) nesses espaços apresenta elevada correlação com a saúde dos seus ocupantes [2], uma vez que a atmosfera encontrada nesses ambientes contém poluentes prejudiciais à saúde humana, entre eles a fração fina de material particulado (PM_{2,5}), os Compostos Orgânicos Voláteis (COVs) e o monóxido de carbono (CO) [3].

A emissão destes poluentes está relacionada com vários processos como sistemas de aquecimento, confeção de alimentos, utilização de produtos de limpeza, entrada de ar exterior contaminado, entre outros. A queima de combustíveis para o aquecimento das habitações e das águas sanitárias, bem como na confeção de alimentos é considerada uma das principais fontes de poluição do ar interior [4].

Segundo [5], os dispositivos de aquecimento mais utilizados, na cidade de Bragança, são os recuperadores de calor e as caldeiras, na sua maioria alimentados por lenha, pellets e gás natural. As lareiras têm também uma presença considerável em algumas moradias urbanas e suburbanas.

Apesar de culturalmente bem aceites pela população e de contribuírem para a mitigação das alterações climáticas, o uso de sistemas de aquecimento, em particular os que recorrem a biomassa lenhosa, na forma de lenha ou pellets, são fontes de material particulado e outros contaminantes impactantes para a qualidade do ar interior e exterior [6] e, consequentemente, para o conforto e a saúde humana.

A tomada de consciência deste problema de escala global tem conduzido à definição de políticas de gestão do ar interior e ao estabelecimento de limiares de proteção para várias tipologias de edifícios. Na tabela I encontram-se os limiares de proteção nacionais e internacionais, para os principais poluentes do ar interior.

LIMIARES DE PROTEÇÃO NACIONAIS E INTERNACIONAIS PARA OS PRINCIPAIS POLUENTES DE QAI.

Poluente	Limites de proteção nacionais (8h) ^(a)	Limites de proteção internacional (8h)
CO ₂	2250 mg/m ³ 1250 ppmv	1800 mg/m ³ ^(b)
CO	10 mg/m ³ 9 ppmv	10 mg/m ³ (8h) 7mg/m ³ (24h) ^(c)
CH ₂ O	100 µg/m ³	0,1 mg/m ³ ^(c)
COVs	600µg/m ³	0,3 mg/m ³ ^(d)
PM ₁₀	50µg/m ³	20µg/m ³ (ano) 50µg/m ³ (24h) ^(d)

PM _{2,5}	25µg/m ³	10µg/m ³ (ano) 25µg/m ³ (24h) ^(d)
-------------------	---------------------	--

Fonte: ^a Portaria 353-A/2013; ^b [7]; ^c [8]; ^d [9].

Neste contexto, este estudo teve por objetivos centrais caracterizar a qualidade do ar interior, através dos parâmetros de PM_{2,5}, CO, CO₂, COVT, humidade relativa e temperatura do ar, em diferentes tipologias de habitações localizadas na cidade de Bragança e arredores, Portugal, e avaliar a influência relativa de diferentes sistemas de aquecimento doméstico, visto que um aumento na concentração desses poluentes pode trazer danos irreversíveis para a saúde dos ocupantes desses espaços.

^bMATERIAIS E MÉTODOS

a. Características gerais da área de estudo

Este estudo de QAI foi realizado em habitações da cidade de Bragança e arredores, localizada no Nordeste de Portugal. Esta cidade apresenta uma população residente de aproximadamente 23000 habitantes [10]. O clima é temperado, com influências atlânticas e continentais, com elevadas amplitudes térmicas, sendo os períodos de invernos frios e húmidos, e os verões quentes e secos. As suas influências atlânticas são advindas da sua altitude e da sua distância à costa. Já os traços continentais são característicos da Terra Fria Transmontana [11].

b. Seleção e descrição da amostra

Para a escolha das habitações foram enviados e-mails, com uma breve apresentação do estudo, a solicitar colaboradores voluntários. Os interessados tiveram que preencher um pequeno formulário com dados pessoais, local e tipo de residência, tipo de sistema e combustível utilizado no aquecimento da habitação. Após esta etapa, foram selecionadas 25 habitações. O principal critério de seleção foi a tipologia do sistema de aquecimento e combustível utilizado. A amostra também integrou habitações sem sistemas de aquecimento.

As habitações selecionadas foram distintas na tipologia (12 apartamentos e 13 moradias), na área (90 a 400 m²), no número de ocupantes (1 a 5), no ano de construção (a maior parte no início do sec. XXI), na localização (umas mais centrais e outras mais periféricas), entre outras. As principais características das habitações encontram-se plasmadas na Tabela II.

c. Descrição experimental

Este trabalho envolveu a realização de medições e a aplicação de questionários em cada uma das 25 habitações avaliadas, entre janeiro e março de 2018. Em cada habitação, foi realizada a monitorização das PM_{2,5}, CO₂, CO, COVT, T e HR, por um período de aproximadamente 24 horas em cada habitação. Também se realizaram

medições no exterior de cada habitação, mas ao longo de um período mais curto.

As medições foram efetuadas com recurso a dois equipamentos: um para medir as PM_{2,5}, assente num princípio de operação ótico (*light-scattering*) da empresa Thermo Scientific® (ADR 1200S); um outro para medir os restantes parâmetros identificados anteriormente, a sonda IQ610 da Graywolf Sensing Solutions.

Os equipamentos foram instalados no compartimento da habitação onde se encontrava instalado o sistema de aquecimento, usualmente, na sala de estar. Excepcionalmente, quando os sistemas se encontravam em áreas de serviço ou em garagens com ligação à área habitacional, além da medição nesses espaços, também se realizaram na sala de estar.

Ambos os aparelhos foram montados em tripés independentes, posicionados a cerca de 1,5 metros de altura. Os instrumentos foram regularmente calibrados para o zero (ambos) e para uma concentração span (sonda IQ610).

Com o objetivo de obter informações adicionais sobre as habitações (e.g. tipologia, área, isolamento), os hábitos e costumes dos habitantes no interior das suas habitações, em

CARACTERÍSTICAS GERAIS DAS HABITAÇÕES DA AMOSTRA

Nº	Tip.	S. A.	C	A m ²	Nº ocu.	F	Ano const.
1	Ap.	Rec./Cald.	L/GN	180	3	Não	2002
2	Ap.	Sal.	P	120	4	Sim	2000/ 2016*
3	Mor.	Sal.	P	400	2	Não	2007
4	Mor.	Rec.	L	360	5	Sim	2005
5	Ap.	Cald.	P	***	4	Não	2008
6	Mor.	Cald.	P	220	3	Não	2000
7	Ap.	Rec.	L	135	4	Não	2002
8	Mor.	Rec./Cald.	L/P	300	4	Não	2009
9	Ap.	Rec.	L	110	3	Não	2000
10	Mor.	Cald.	P	190	2	Não	1982
11	Mor.	**	**	100	4	Não	1986/ 2014*
12	Ap.	Cald.	GN	130	3	Sim	2003
13	Ap.	Rec.	L	170	3	Não	2004
14	Ap.	Cald.	P	110	4	Não	2001

15	Mor.	**	**	100	1	Não	1986/ 2014*
16	Ap.	Cald.	GN	122	3	Não	2002
17	Ap.	Cald.	GN	90	1	Não	2005
18	Ap.	Rec.	L	***	2	Sim	1992/ 2010*
19	Mor.	L.A.	L	120	2	Não	2008
20	Mor.	Cald.	D	360	2	Sim	1998/ 2017
21	Mor.	L.A.	L	***	2	Sim	2004
22	Mor.	Rec.	L	***	2	Não	1979
23	Mor.	Cald.	P	300	3	Sim	1981
24	Ap.	Cald.	GN	140	2	Não	2010
25	Mor.	L.A.	L	280	4	Não	1967/ 1997

Tip. – Tipologia; S.S. – Sistema de aquecimento; C – Combustível; A – Área; N° Ocu. N° de ocupantes; F – Fumadores; Ap – Apartamento; Mor – Moradia; Rec. – Recuperador de calor; L.A. Lareira Aberta; Cald. – Caldeira; L – Lenha; P – Pellets; GN – Gás natural; D – Diesel; *Ano de remodelação do imóvel **Sem sistema de aquecimento ***Sem informação

particular no que respeita às atividades quotidianas com influência na QAI, a percepção dos residentes relativamente a qualidade interior e a conforto térmico, foi aplicado um questionário aos habitantes das residências estudadas.

Durante as medições, os residentes desenvolveram as suas atividades quotidianas normalmente, ou seja, não foram impostas quaisquer regras comportamentais ou de utilização de fontes de poluição durante o período de medição, embora tivessem de preencher o campo VI do formulário relativo às condições prevalecentes durante o período de medição.

d. *Processamento e análise estatística dos dados*

Os dados obtidos nos diferentes ensaios foram organizados em folhas de cálculo do software Excel 2010 da Microsoft®, tendo sido elaborada uma folha de cálculo por habitação onde foi inserida toda a informação quantitativa e qualitativa relacionada com as medições e com os questionários aplicados. Em seguida, a informação foi organizada em 6 grupos, tendo por base o sistema de queima e o combustível usado: 1) lareira aberta-lenha; 2) recuperador de calor-Lenha; 3) caldeira-gás natural; 4)

Caldeira-Pellets e Salamandra-Pellets; 5) caldeira-gasóleo; 6) sem sistemas de aquecimento.

Adicionalmente construiu-se uma série de gráficos do tipo boxplot com recurso ao software R®, os quais apresentam um conjunto alargado de parâmetros estatísticos como o primeiro, segundo e terceiro quartil, máximos, mínimos e valores extremos, obtidos a partir das concentrações medidas e integradas de minuto a minuto.

As análises estatísticas foram realizadas através do software JMP v.11, Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e as médias foram comparadas através do teste de Tukey, considerando-se significativo um valor de $p < 0.001$.

e. *Métodos de Avaliação da estanqueidade das habitações*

O grau de estanqueidade das habitações foi avaliado de duas formas indiretas: uma de natureza qualitativa, através da recolha de informação relativa a características construtivas das habitações junto dos seus proprietários; outra de natureza quantitativa, através do cálculo da taxa de infiltração de ar obtida com base nos níveis CO₂ registados em cada uma das 25 habitações. Para esse cálculo, foi selecionado um período com um decaimento linear dos níveis de CO₂, usualmente registado durante o período noturno, após os ocupantes abandonarem o espaço das medições e se deslocarem para os seus quartos.

Em cada um desses períodos foi identificada a concentração de dióxido de carbono inicial (C₀) para o período inicial (T₀) e a concentração final (C_f), para o período (T_f), obtendo-se a taxa de infiltração através da aplicação da equação 1 [12].

$$TI = \frac{\ln(C_0) - \ln(C_f)}{T_0 - T_f} \quad (1)$$

As concentrações exteriores de CO₂ obtidas em cada uma das habitações foram subtraídas à concentração inicial e final para uma correção de fundo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

a. *Principais características das habitações*

Além das características já referidas na Tabela II, os formulários aplicados permitiram obter informação adicional relevante para se avaliar o fenómeno de QAI.

Um dos aspetos avaliados relacionou-se com as principais atividades desenvolvidas nas habitações com influência direta na QAI, cujas respostas mostraram que a limpeza (e.g. varrer, espanar, aspirar), a utilização de ambientadores (e.g. sprays, incenso, velas) e a confeção de alimentos foram atividades transversais e as mais

recorrentes, embora com uma frequência variável entre habitações. As respostas revelaram que a limpeza e o uso de ambientadores é realizada com uma frequência que varia de 1 a 5 vezes por semana, enquanto a confeção de alimentos entre 1 a 2 vezes por dia.

No que concerne aos sistemas de aquecimento mais utilizados e às suas principais fontes de energia constatámos que 40% utilizam caldeira, 20% recuperadores de calor e 16% lareira aberta. Dos recuperadores, 72% utilizam a lenha como combustível principal para o aquecimento e 28% pellets.

Outro aspeto avaliado foi a perceção dos ocupantes relativamente à qualidade do ar interior, tendo sido avaliada como boa, por 60% dos indivíduos, e como média por 28%. Já a qualidade do ar ambiente (exterior), foi classificada como média por 20% e como muito boa por 48%.

b. Avaliação do nível de estanqueidade das habitações

A recolha de informação junto dos proprietários das habitações relativamente ao tipo e isolamento das paredes, tipo de caixilharia e tipo de envidraçados, indicia estarmos perante uma grande maioria de habitações com características construtivas adequadas para enfrentar invernos longos e rigorosos na região de estudo. Segundo os resultados do inquérito 56% das habitações possuíam paredes duplas, 28% paredes duplas com isolamento térmico e 88% com caixilharias de vidro duplo.

Relativamente aos resultados das taxas de infiltração (Fig. 1), constatou-se que a maior parte das habitações apresentam um grau de estanqueidade muito bom, com 50% das habitações a apresentarem taxas de renovação de ar, expressas em renovações por hora (RPH) inferiores a $0,2 \text{ h}^{-1}$ e 96% inferiores a $0,6 \text{ h}^{-1}$. Apenas a habitação 22, de construção mais antiga, exhibe um valor aproximadamente de $1,7 \text{ h}^{-1}$. Estes valores estão em conformidade com o deduzido pela informação fornecida pelos questionários, encontrando-se na gama de valores reportados por [12] para habitações do Canadá, cujos valores médios de RPH foram abaixo de $0,6 \text{ h}^{-1}$.

Os valores de RPH estimados, embora interessantes do ponto de vista térmico, indicam a necessidade de incluir nas rotinas diárias outras formas de ventilação como a abertura de janelas, ainda que, em alguns casos, tenha de ser por um período relativamente curto.

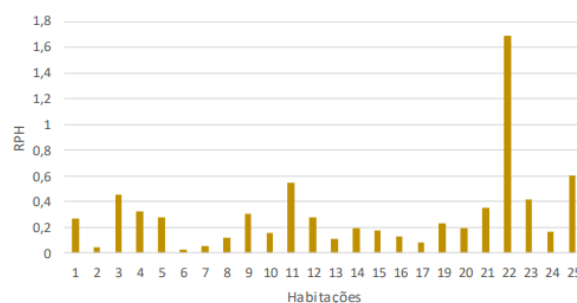


Fig. 1. Taxas de infiltração de ar na amostra de estudo.

c. Evolução temporal de parâmetros de QAI por tipologia de sistema de combustão e combustível

Nesta secção apresentam-se os principais resultados decorrentes da monitorização de parâmetros físico-químicos de QAI, conduzida em cada uma das habitações.

A evolução temporal das concentrações médias horárias de $\text{PM}_{2,5}$ e CO podem ser observadas na Fig. 2, na qual se observa que os sistemas alimentados a biomassa lenhosa estão associados a concentrações de $\text{PM}_{2,5}$ mais elevadas.

Nas habitações com lareiras abertas foram registadas concentrações máximas horárias de aproximadamente $1500 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (habitação 19), e de $260 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (habitação 22). A habitação 25, apesar de estar equipada com lareira aberta, apresentou baixas concentrações, com um valor máximo horário de $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$, evidenciando ser possível reduzir a interferência das lareiras abertas na QAI.

Nas habitações com recuperador de calor, as concentrações foram globalmente mais baixas, mas em alguns casos as concentrações médias horárias aproximaram-se das $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (e.g. habitação 9), motivadas usualmente pelo abrir da porta aquando da alimentação do sistema com lenha. O mesmo comportamento foi observado em residências na Alemanha onde também se constatou que as lareiras a lenha eram importantes fontes de material particulado e de poluentes gasosos, principalmente em momentos em que a câmara de combustão era aberta para colocar mais lenha [13]. Para as habitações 7 e 21, também com recuperador de calor, as concentrações mantiveram-se, por alguns momentos, em torno de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ e na habitação 13 foram encontradas concentrações bem mais baixas, próximas de $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Nas habitações com salamandras a pellets, os níveis de $\text{PM}_{2,5}$ mais elevados ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$) foram observados na habitação 2. Nas habitações com caldeiras a pellets, os valores horários foram bem mais elevados, atingindo, pontualmente, concentrações superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, nas

habitações 8 e 23. Os níveis mais elevados registados nestes sistemas a pellets estão associados, em particular, ao pó libertado, aquando da alimentação do sistema.

Analisando os valores de $PM_{2.5}$ registados nas habitações com caldeiras a gás natural, constata-se que os níveis de material particulado foram sistematicamente mais baixos. Apenas a habitação 12 apresentou concentrações relativamente elevadas na fase inicial do ensaio, com valores médios horários superiores a $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cuja ocorrência se deveu à queima de incenso no local da medição. Com a eliminação dessa fonte de poluição, os valores se estabilizaram e mantiveram-se numa faixa concentrações mais baixas.

Na habitação 24, as concentrações médias tenderam a ser ligeiramente mais elevadas do que nas outras habitações com caldeiras a gás, tendo-se registado valores próximos de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Esta situação pode ser explicada em parte pelo facto de a cozinha ser um espaço contíguo ao local de medição [14]. O processo de confeção de alimentos pode libertar vapores e fumos, que podem apresentar substâncias como COVs, HAPs, PM_{10} , $PM_{2.5}$, CO_2 e CO [10] [2] e gerar odores (alguns desagradáveis) que comprometem a QAI [3].

Para a habitação com caldeira a gasóleo os valores mais elevados foram de $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$, que coincidiu com o momento em que estava a decorrer a limpeza da residência, sendo expectável um aumento na concentração de partículas, proporcionado pela varredura e espanção do ambiente [15].

As habitações sem sistema de aquecimento apresentaram no início das medições valores mais elevados de $PM_{2.5}$, com picos superiores a $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ na habitação 11, onde as condições de ventilação não eram as ideais, uma vez que os moradores relataram não abrirem as janelas e fumarem dentro da habitação.

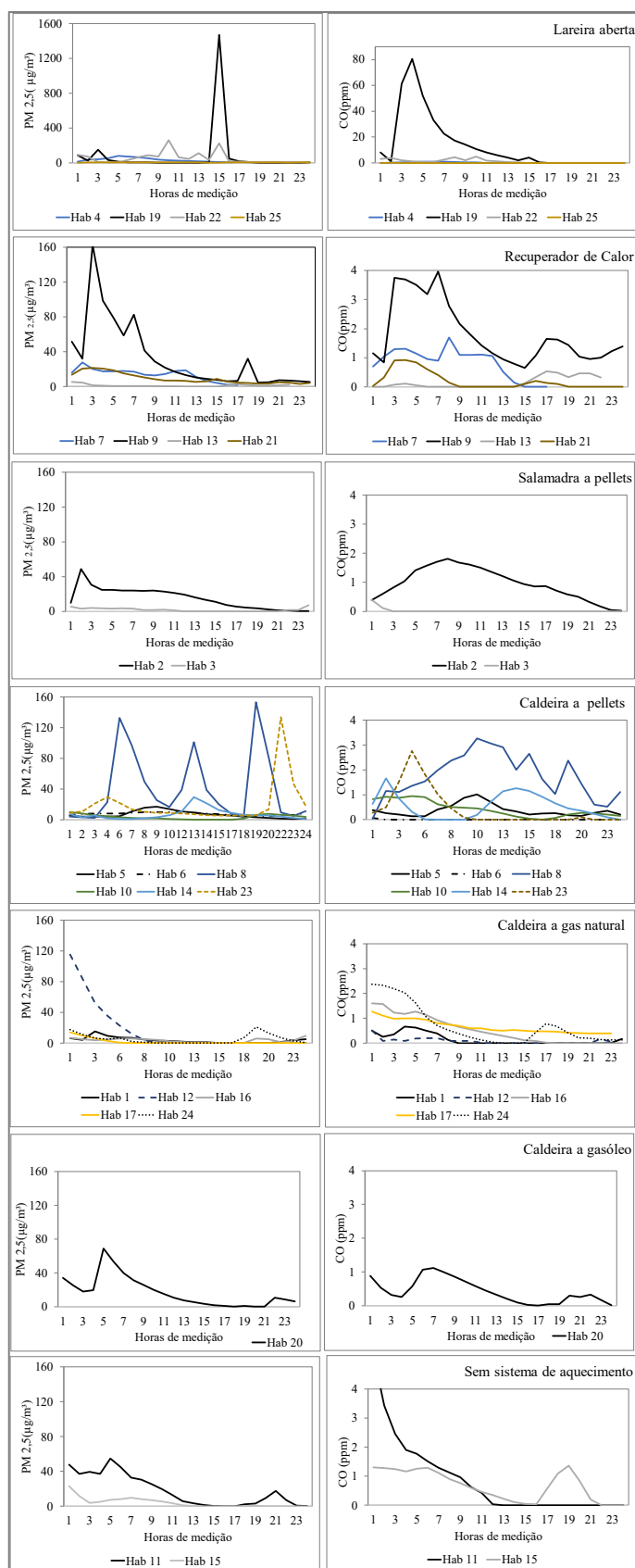


Fig. 2. Evolução das concentração média horária de $PM_{2.5}$ e CO para as diferentes habitações agrupadas por sistema de aquecimento e combustível.

Na habitação 15, também com ocupantes fumadores, as concentrações máximas foram de cerca de metade das observadas na 11, mas os ocupantes reportaram que abriam as janelas e evitavam fumar no interior da residência.

É importante notar que, em alguns momentos, as concentrações médias e principalmente as registadas durante o funcionamento das lareiras abertas e recuperadores de calor, apresentaram valores muito elevados quando comparados com os limiares de proteção da saúde humana. Estudos realizados em Portugal encontraram concentrações elevadas tal como as observadas nas habitações estudadas para emissão de $PM_{2.5}$ por lareiras, tendo sido registados valores máximos superiores a $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [14]. Num outro de âmbito mais alargado, realizado também em habitações portuguesas, os valores médios foram de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [16].

No que concerne ao monóxido de carbono constata-se que existe uma certa similaridade com as diferenças já identificadas para as $PM_{2.5}$. Ainda que sejam dois poluentes das atmosferas interiores e exteriores com fontes distintas, a combustão incompleta de combustíveis sólidos é uma das principais fontes de ambos os poluentes.

Assim, também é notório que as habitações com lareiras abertas tenham sido as que apresentaram as concentrações mais elevadas de CO, conduzindo a valores horários de aproximadamente 80 ppm, na habitação 19, durante o período de queima de biomassa, constituindo uma situação de risco para os ocupantes. Nas habitações com recuperadores, os valores foram bem mais baixos, mas ainda ligeiramente superiores aos registados em outros sistemas. Na habitação 9, a média diária foi de 4 ppm, embora durante o funcionamento do sistema de queima se tenha atingido os 12 ppm. Em geral, as concentrações para caldeiras e salamandras a pellets, caldeiras a gás natural e a gasóleo mantiveram-se inferiores a 3 ppm.

As concentrações de CO foram superiores ao limiar de 9 ppm, estabelecido na Portaria n.º 353-A/2013, apenas em duas habitações, uma com lareira aberta e outra com recuperador, o que em função do tempo de exposição pode ser prejudicial à saúde humana.

d. Avaliação da Influência dos sistemas de aquecimento na QAI

A distribuição interquartil das concentrações de $PM_{2.5}$, CO e COVs, em função das diferentes tipologias de sistemas de aquecimento e diferentes combustíveis, encontra-se na Fig. 3.

Os gráficos da direita mostram todos os valores obtidos com um intervalo de integração de 1 minuto, enquanto nos gráficos da esquerda foram excluídos os valores extremos

para uma melhor visualização dos parâmetros estatísticos utilizados.

Os resultados desta análise reforçam o que já foi referido anteriormente, demonstrando que os sistemas de queima de lenha em lareiras abertas são os que mais contribuem para o aumento das concentrações de $PM_{2.5}$.

Em relação ao CO verifica-se igualmente a influência negativa destes sistemas de queima, mas os recuperadores de calor a lenha e as caldeiras a pellets assumem uma contribuição relativa superior ao verificado para a fração fina das partículas.

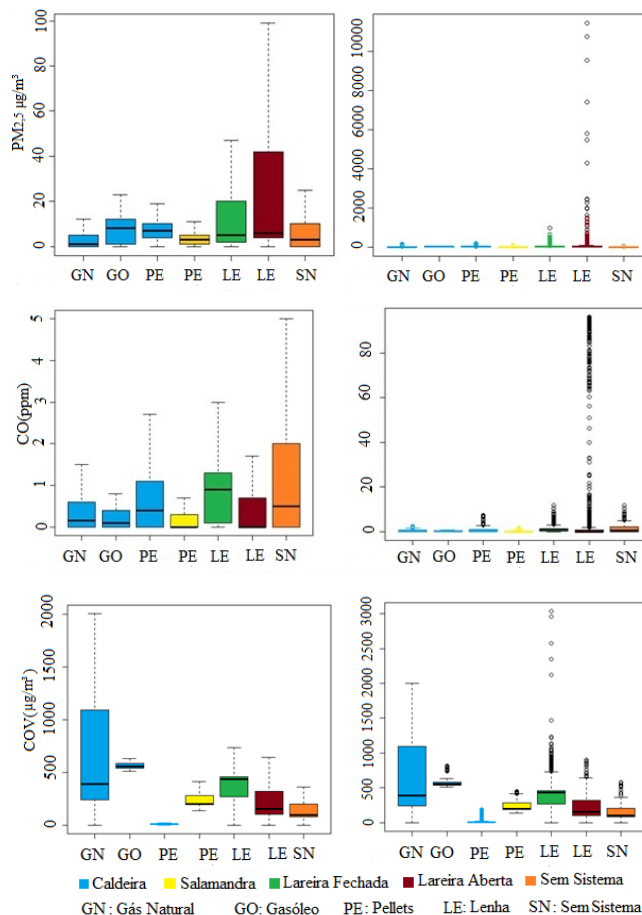


Fig. 3. Boxplots das concentrações dos principais poluentes da QAI registadas nas diferentes habitações estudadas. (Esquerda) sem valores extremos; (Direita) com valores extremos.

É igualmente notório, que as habitações sem sistemas de aquecimento apresentem uma contribuição considerável, motivada pela influência de outras fontes, como o fumo do tabaco, uma vez que nessas habitações, o ato de fumar era uma prática frequente. Relativamente às concentrações de COVs verifica-se que são influenciadas por outras fontes, além dos sistemas de aquecimento.

CONCLUSÕES

Relativamente à análise efetuada na secção anterior, importa ainda realçar que a Fig. 3 (gráficos da direita) mostram que por momentos curtos, da ordem dos minutos, as concentrações dos poluentes estudados atingiram valores 10 vezes mais elevados do que os valores horários. Este facto é particularmente evidente para as partículas PM_{2,5} em habitações com lareiras abertas.

As concentrações de PM_{2,5} registadas nas habitações com lareiras abertas e recuperadores apresentaram as médias mais elevadas, de respetivamente 41 e 59 µg/m³, não apresentando, todavia, diferenças significativas. Os demais sistemas diferiram significativamente dos anteriores em termos de emissões de material particulado PM_{2,5} e de CO, como se ilustra na Tabela III.

RESULTADOS DA ANOVA E TESTE TUKEY PARA OS DADOS DE QAI OBTIDOS NO ESTUDO

Parâmetro	PM _{2,5} (µg/m ³)	COV (µg/m ³)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)
Gás natural (Caldeira)(n=4865)	6±17 b	664±503 a	926±364 b	0,4±0,5 b
Pellets (Caldeira e Salamandra) (n = 5479)	10±17 b	365±115 c	858±331 c	0,5±0,7 b
Lenha (Recuperador de calor) (n = 2848)	41±55 a	345±203 c	737±334 d	4±15 a
Sem sistema de aquecimento (n = 2855)	10±14 b	141±80 e	1332±649 a	0,7±0,8 b
Lenha (Lareira aberta) (n = 2494)	59±457 a	257±228 d	653±241 e	4±16 a
Gasóleo(Caldeira) (n = 302)	8±7 b	599±99 b	565±117 f	0,3±0,3 b
Teste de Tukey Valor de p	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Obs. as letras diferentes por coluna indicam diferenças significativas pelo teste de Tukey.

Para as concentrações de COVT, os sistemas apresentaram maiores diferenças entre eles, havendo semelhança apenas para recuperadores e sistemas a pellets. Os COVT estiveram mais relacionados com fatores como utilização de produtos de limpeza e incenso, do que com o próprio sistema de aquecimento. Já para o CO₂ todos os sistemas apresentaram diferenças significativas entre si, iniciando sobretudo as diferentes formas de gerir a ventilação natural das mesmas.

Com o presente estudo foi possível avaliar a influência de diferentes fontes de poluentes de atmosferas interiores, com especial destaque para os sistemas de aquecimento das 25 habitações avaliadas na cidade de Bragança, Portugal.

Devido ao inverno muitas vezes rigoroso, a utilização de sistemas de aquecimento é uma prática habitual para a melhoria das condições de conforto térmico por parte da população, principalmente os abastecidos a biomassa.

Os resultados permitiram constatar que os sistemas de aquecimento exercem uma influência diferenciada nos níveis de alguns contaminantes do ar interior, em particular nos níveis da fração fina de material particulado (PM_{2,5}), tendo em algumas residências atingido concentrações horárias próximas das 100 µg/m³, e nos níveis de CO que atingiu máximos horários de 80 ppm, principalmente em lareiras abertas alimentadas a lenha.

Além dos sistemas de aquecimento, os COVs apresentaram foram influenciados por outras fontes como a utilização de produtos de limpeza, o uso de ambientadores, a queima de incenso e a confeção de alimentos.

Do ponto de vista energético, a construção de edifícios estanques é uma prioridade, porém podem contribuir para uma QAI de má qualidade, por não permitir taxas de renovação de ar novo adequadas, sendo necessário adotar práticas que proporcionem a ventilação do ambiente interior, através da abertura de janelas diariamente, nem que seja por curtos períodos de tempo.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT, Portugal) e FEDER ao abrigo do Programa PT2020 pelo apoio financeiro ao CIMO [UID / AGR / 00690/2019], assim como a todas as pessoas que disponibilizaram as suas habitações para tornarem possível a realização deste estudo.

REFERENCIAS

- Burroughs, H. E., Hansen, S. J. (2011). *Managing Indoor Air Quality*. 5th Edition. ISBN: 978-1-4398-7014-3. Taylor & Francis, Ltd.
- Committee on the Medical Effects of Air Pollution. (2010). *The Mortality Effects of Long-Term Exposure to Particulate Air Pollution in the United Kingdom*. <https://doi.org/10.1093/monographs/monograph10>
- Godish, T. (2004). *Air Quality. Sierra Nevada Ecosystem Project Final report to Congress, II: Assess(3)*, 1227–1261. <https://doi.org/10.5772/259>
- Wang, L.K., Pereira, N.C., Hung, Y.T., 2005. *Advanced Air and Noise Pollution Control* Human Press.
- Azevedo J. C., Castro J. P., Tarelho L., Escaldante E., Feliciano M., (2011). *Avaliação do potencial de produção e utilização sustentável de biomassa para energia no distrito de Bragança*. In Atas do 17º Congresso da APDR
- Chio, C. P., Cheng, M. T., & Wang, C. F. (2004). *Source apportionment to PM10 in different air quality conditions for Taichung urban and coastal*

- areas, Taiwan. Atmospheric Environment. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.08.041>
- ASHRAE Standard 62.2, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality, American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, USA (2013).
- World Health Organization. (2010). WHO guidelines for indoor air quality: selected pollutants. Bonn, Germany: In Puncto Druck+ Medien GmbH, 484.
- World Health Organization (2005). WHO Air Quality Guidelines : Particulate matter, ozone, nitrogen, dioxide and sulfur dioxide. Copenhagen, Denmark.
- INE, I.P. (2012). Censos 2011: Resultados Definitivos. ISBN: 978-989-25-0181-9. Instituto Nacional de Estatística, I.P. Lisboa, Portugal.
- Weichenthal, S., Dufresne, A., Infante-rivard, C., & Joseph, L. (2007). Indoor ultrafine particle exposures and home heating systems: A cross-sectional survey of Canadian homes during the winter months, 288–297. <https://doi.org/10.1038/sj.jes.7500534>
- AEMET/IM, (2011), Iberian Climate Atlas – Air Temperature and Precipitation (1971-2000), State Meteorological Agency of Spain/Institute of Meteorology of Portugal. <https://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/publicaciones/Atlas-climatologico/Atlas.pdf>.
- Salthammer, T., Schripp, T., Wientzek, S., & Wensing, M. (2014). Impact of operating wood-burning fireplace ovens on indoor air quality. *Chemosphere*, 103, 205–211. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.11.067>
- Coentro, S. R. C. (2015). Qualidade do Ar Interior em Habitações: Fontes Emissoras de Poluentes. (Dissertação de Mestrado). Faculdade de Ciência e Tecnologia- Universidade Nova de Lisboa – UN, Lisboa, Portugal. https://run.unl.pt/bitstream/10362/17472/1/Coentro_2015.pdf
- Batista, C. (2008). Poluição do Ar de Interiores : Uma avaliação de casos relacionados a climatização artificial. Trabalho de Conclusão de Curso para obtenção do título de Especialista em Análise Ambiental. Universidade Federal de Juiz de Fora, Brasil.
- Ginja, J., Borrego, C., Coutinho, M., Nunes, C., & Morais-Almeida, M. (2012). Qualidade do ar interior nas habitações Portuguesas. Congress of Innovation on Sustainable Construction, 1–1.