

## INVERSÃO DE FLUXO EM APARELHOS DOMÉSTICOS DE COMBUSTÃO EM PORTUGAL: ESTUDO EXPERIMENTAL

Pinto, M.<sup>1\*</sup>, Viegas, J.<sup>2</sup>

1: Departamento de Engenharia Civil  
Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Viseu, Campus de Repeses, 3504-510 Viseu, Portugal  
mpinto@estv.ipv.pt, <http://www.estgv.ipv.pt/estgv/>

2: Departamento de Edifícios  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal  
jviegas@lnec.pt, <http://www.lnec.pt>

**PALAVRAS CHAVE:** habitações; sistemas de ventilação; aparelhos a gás; permeabilidade ao ar; inversão de fluxo

### RESUMO

Os sistemas de ventilação assumem uma grande importância no consumo de energia de climatização e na definição das condições higrotérmicas e da qualidade do ar interior dos edifícios. Entre outras funções, são absolutamente necessários para garantir os níveis de oxigénio necessários aos aparelhos domésticos de combustão.

Em Portugal é usual instalar, em edifícios de habitação multifamiliar e com sistemas de ventilação natural, um exaustor mecânico individual em cada cozinha (ventilação descentralizada). Os aparelhos de aquecimento de água para aquecimento ambiente ou para águas quentes sanitárias, do tipo B, não devem ser instalados em locais onde existam exaustores com ventiladores mecânicos. O desrespeito desta incompatibilidade acarreta frequentemente a paragem dos aparelhos a gás em função da inversão do fluxo dos gases de combustão na conduta de exaustão.

Neste artigo, avalia-se o impacto do funcionamento do exaustor mecânico no desempenho do aparelho a gás do tipo B normalmente instalado na cozinha. A combinação da ventilação natural ou mecânica na cozinha com a exaustão natural dos produtos de combustão do aparelho a gás foram ensaiadas bem como a avaliação das condições críticas que conduzem à paragem em segurança do aparelho a gás ou à inversão dos produtos da combustão na respetiva conduta de exaustão. Uma das principais conclusões a retirar é que para o caso da exaustão mecânica na cozinha, em simultâneo com a exaustão natural dos produtos de combustão do aparelho a gás, a grelha exterior da cozinha é um dispositivo fundamental para assegurar as condições adequadas para uma boa exaustão dos produtos da combustão e nas situações limite (reduzida admissão de ar por outros meios ou caudais de extração elevados) pode impedir a paragem em segurança do aparelho ou mesmo a inversão dos produtos da combustão. Para este efeito, também deve ser limitado o caudal máximo dos exaustores mecânicos.

### 1. INTRODUÇÃO

O uso de aparelhos a gás de combustão do tipo B [PD CEN/TR 1749], quando mal instalados, pode contaminar o ambiente interior com poluentes, reduzindo a qualidade do ar interior, devido à insuficiente

admissão de ar ou à exaustão deficiente dos produtos de combustão. A contaminação do ar interior pode ocorrer neste tipo de aparelhos quando a pressão no interior da habitação é mais baixa do que a pressão nas condutas de exaustão. Em habitações sujeitas às ações naturais do vento e da impulsão tal diferença desfavorável de pressão entre o interior e o exterior dificilmente terá condições para ocorrer; é mais provável ocorrer devido ao uso incorreto de dispositivos mecânicos de extração, desrespeitando os requisitos dos sistemas de ventilação natural.

No âmbito de um projeto de investigação, foi possível avaliar o desempenho da exaustão dos produtos da combustão em duas habitações ventiladas naturalmente e com um exaustor mecânico instalado na cozinha (analisou-se também a interação da ventilação entre as duas habitações). Neste artigo pretende-se continuar a apresentar os resultados já anteriormente divulgados [1], nomeadamente alguns resultados experimentais com a combinação de ventilação natural e ventilação mecânica em espaços interligados por dutos que podem levar a situações perigosas quando são usados aparelhos de aquecimento de água a gás do tipo B.

Os resultados experimentais incluíram a velocidade do vento e do escoamento nas condutas e temperaturas (no interior das condutas, nas habitações e no exterior). Com base nestes dados, foram realizadas estimativas dos caudais. Foram evidenciados os problemas que podem ocorrer devido a esta combinação inadequada entre modos de ventilação. Em particular, foi possível avaliar os problemas que podem advir quando o aparelho de aquecimento de água a gás se encontra em funcionamento simultâneo com a ventilação mecânica da cozinha onde o aparelho a gás está instalado. São também discutidos os requisitos que proporcionam uma ventilação adequada dos produtos de combustão.

## 2. EXAUSTÃO DE APARELHOS DOMÉSTICOS A GÁS

As preocupações com os impactes na saúde pública devidos à exposição ao monóxido de carbono (CO) produzido por aparelhos a gás, apesar de serem antigas, continuam atuais. A maior parte dos acidentes estão relacionados com a insuficiente admissão de ar ou com as deficientes condições de instalação e exaustão dos aparelhos a gás, como por exemplo, as condutas de exaustão servirem simultaneamente para a exaustão mecânica do fogão [2].

Todos os aparelhos a gás da cozinha precisam de um determinado caudal de ar para alimentar a reação química de combustão. Este caudal de ar designa-se por "ar de combustão". Podem surgir alguns problemas de segurança quando a admissão de ar não é suficiente ou quando o escoamento não ocorre adequadamente através do aparelho e das condutas de exaustão para o exterior do local. Na segunda situação, ocorre inversão de fluxo quando o aparelho de combustão não é capaz de manter um fluxo ascendente, provocando a entrada de gases de combustão para o ar interior da habitação.

De acordo com o documento PD CEN / TR 1749, a classificação de aparelhos a gás de acordo com o método de evacuação dos produtos de combustão é a seguinte:

- tipo A: aparelhos "não ligados" (ex.: fogões). Estes aparelhos não têm uma conduta para a exaustão dos produtos de combustão. A exaustão deve ser realizada, preferencialmente, na sua vizinhança utilizando para isso os meios de ventilação corrente da habitação;
- tipo B: "aparelhos ligados" (ex.: caldeiras e esquentadores de água). Neste caso, os produtos da combustão são evacuados através de condutas ligadas diretamente ao aparelho e o ar de admissão é capturado a partir do compartimento onde estão instalados;
- tipo C: "aparelhos isolados" (ex.: caldeiras). Estes aparelhos têm uma combustão em câmara estanque, o que significa que a admissão de ar e os produtos da combustão não se misturam com o ar interior.

Frequentemente, em Portugal, os sistemas de ventilação natural e mecânica encontram-se associados, recorrendo à extração mecânica individual na cozinha e extração natural nas instalações sanitárias. Os

aparelhos do tipo B não devem ser instalados em locais onde existam exaustores com ventiladores mecânicos, conforme Figura 1.

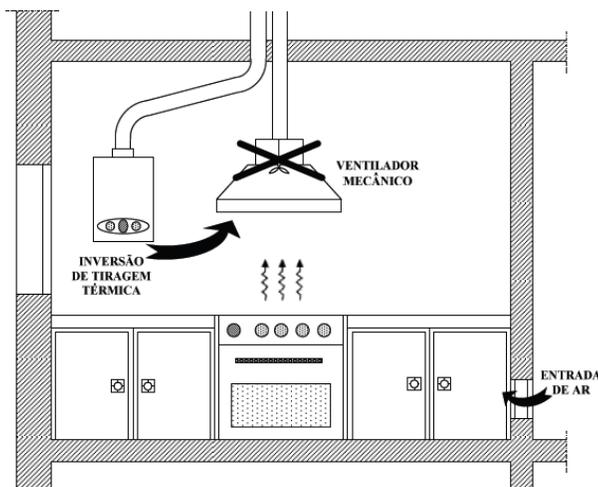


Figura 1: Impossibilidade de combinação de exaustão mecânica com ventilação natural [3]

O desrespeito desta incompatibilidade acarreta frequentemente a paragem dos aparelhos a gás em função da inversão do escoamento dos gases de combustão na conduta de exaustão. Com base nesta constatação, e no âmbito de um projeto de investigação, procurou-se avaliar experimentalmente o desempenho da exaustão dos produtos da combustão numa habitação naturalmente ventilada e com um exaustor mecânico instalado na cozinha. Nos pontos seguintes, apresenta-se a habitação ensaiada e os respetivos resultados experimentais. O edifício escolhido foi estudado no âmbito de um projeto de investigação mais vasto do qual já foram apresentados resultados relativos à permeabilidade dos componentes do sistema de ventilação e das habitações [4].

### 3. DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO E DO SISTEMA DE VENTILAÇÃO ENSAIADO

Selecionou-se um edifício multifamiliar de 4 pisos, localizado na periferia da cidade do Porto. O sistema de ventilação natural proposto pelo projetista apresentava as seguintes características (Figura 2) [4]:

- admissão de ar por grelhas autorreguláveis sob a caixa de estore; uma grelha por quarto e duas grelhas na sala de “módulo” 30 - caudal de referência ( $\text{m}^3/\text{h}$ ) sob a diferença de pressão de 20 Pa;
- admissão de ar por grelha fixa na porta exterior da cozinha instalada na zona inferior da porta com dimensões de  $55 \times 16,5 \text{ cm}^2$  e com permeabilidade ao ar de  $q = 59,312 \Delta p^{0,513} [\text{m}^3/\text{h}]$ ;
- extração da instalação sanitária com grelha fixa de alumínio; a conduta da instalação sanitária tinha um diâmetro de  $\phi 110$  e era encimada por um ventilador estático na cobertura;
- extração do fogão por conduta individual metálica ( $\phi 150$ ), por ação natural ou mecânica, conforme os ensaios (exaustor mecânico instalado na conduta, no entanto, com a possibilidade de estar ativo ou inativo - no máximo  $500 \text{ m}^3/\text{h}$ );
- extração do esquentador por ação natural, situado na lavandaria (a lavandaria e a cozinha formam um espaço comum - sem porta entre si), por conduta coletiva metálica, sem ramais individuais, de  $\phi 175$ .

O ensaio de permeabilidade ao ar total do apartamento foi realizado em conformidade com o método B da norma EN 13829: 2000. A permeabilidade ao ar ( $n_{50}$ ) em pressurização foi de  $4,5 \text{ h}^{-1}$  e de  $5,7 \text{ h}^{-1}$  em despressurização [4].

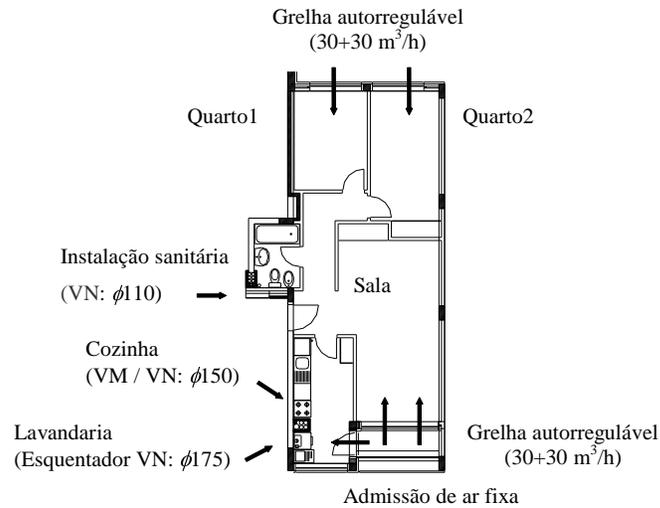


Figura 2: Apartamento do tipo T2 - sistema de ventilação

#### 4. ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO FUNCIONAMENTO DO ESQUENTADOR E EXAUSTÃO MECÂNICA

Realizaram-se vários ensaios que tiveram como objetivo determinar os caudais obtidos e temperaturas em cada conduta e a temperatura e humidade relativa nos vários compartimentos do apartamento. Simultaneamente, modificaram-se as condições de circulação do ar interior. Os ensaios foram realizados num apartamento do primeiro piso.

Na Tabela 1 apresentam-se resumidamente os ensaios levados a efeito na análise de sensibilidade apresentada.

Tabela 1: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador e exaustão mecânica/natural.

| Ref.       | Exaustor ativado no fogão? | Esquentador ativado? | Portas interiores abertas? | Grelha exterior da cozinha aberta? | Grelhas interiores de passagem abertas? |
|------------|----------------------------|----------------------|----------------------------|------------------------------------|---|
| 1.º ensaio |                            |                      |                            |                                    |   |
| A          | Não                        | Sim                  | Sim                        | Sim                                | Sim                                     |
| B          | Não                        | Sim                  | Não                        | Sim                                | Sim                                     |
| C          | Não                        | Sim                  | Não                        | Não                                | Sim                                     |
| D          | Não                        | Sim                  | Sim                        | Não                                | Sim                                     |
| 2.º ensaio |                            |                      |                            |                                    |   |
| E          | Sim                        | Sim                  | Não                        | Não                                | Não                                     |
| F          | Não                        | Sim                  | Sim                        | Sim                                | Sim                                     |
| 3.º ensaio |                            |                      |                            |                                    |   |
| G          | Sim                        | Sim                  | Sim                        | Sim                                | Sim                                     |
| 4.º ensaio |                            |                      |                            |                                    |   |
| H          | Não                        | Não                  | Sim                        | Sim                                | Sim                                     |
| 5.º ensaio |                            |                      |                            |                                    |   |
| I          | Sim                        | Sim (2.º piso)       | Não                        | Não                                | Sim                                     |

Por uma questão de limite de espaço de redação, não serão apresentados todos os ensaios (estes encontram-se na sua versão completa em [5]).

As condições do segundo ensaio encontram-se descritas na Tabela 2.

Tabela 2: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador à exaustão mecânica (tudo fechado)

| Horas (Ref.) | Condições do 2.º ensaio  |
|--------------|--|
| 12:32        | - Exaustor colocado;<br>- Portas interiores fechadas;<br>- Grelhas interiores de passagem fechadas;<br>- Grelha exterior da cozinha fechada. |
| 12:34        | - Ativação do esquentador (água quente na instalação sanitária).   |
| 12:38 (E)    | - Ativação do exaustor.  |
| 12:43        | - Incremento da velocidade do exaustor.  |
| 12:47        | - Incremento do exaustor (houve variações no exaustor entre as 12h50m e as 12h55m).  |
| 12:55        | - Fim do ensaio (o esquentador parou por ativação do dispositivo de segurança).  |

Na Figura 3 pode observar-se o momento provável da paragem do esquentador por ativação do dispositivo de segurança ( $\approx 12h:57m$ ) onde se observa simultaneamente um caudal reduzido de extração do esquentador (inferior ao início do ensaio) e o início da descida da temperatura na respetiva conduta (provável entrada de ar novo exterior). Sendo assim, pode-se concluir que a obstrução da alimentação da admissão de ar do esquentador em conjunto com a extração no fogão são fortes contributos para o funcionamento anómalo do esquentador (a situação apresentada assemelha-se bastante a anomalias registadas frequentemente em edifícios habitacionais).

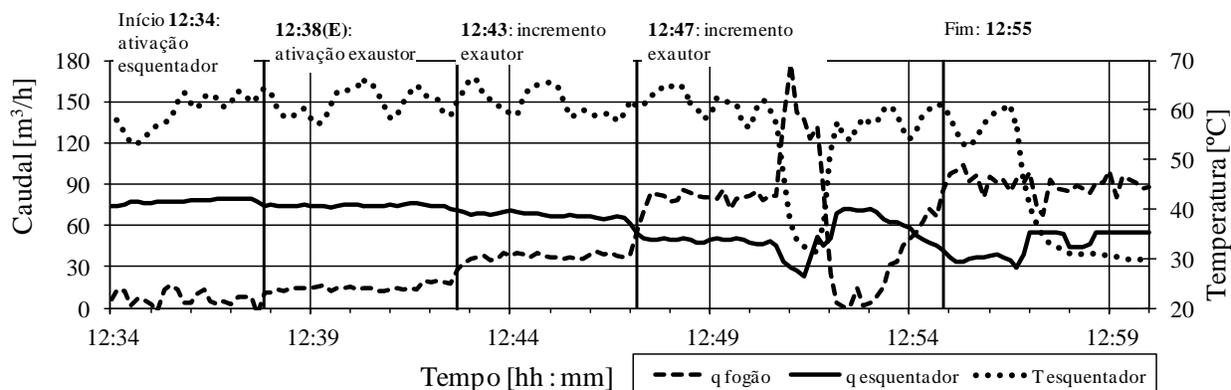


Figura 3: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador e exaustão mecânica. Caudais e temperatura do esquentador (tudo fechado)

As condições do terceiro ensaio encontram-se descritas na Tabela 3.

Tabela 3: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador à exaustão mecânica (tudo aberto)

| Horas (Ref.) | Condições do 3.º ensaio   |
|--------------|---|
| 13:02 (F)    | - Exaustor colocado;<br>- Esquentador ativado (água quente na instalação sanitária);<br>- Portas interiores abertas (grelhas interiores de passagem abertas);<br>- Grelha exterior da cozinha aberta. |
| 13:08        | - Exaustor parado.  |

| Horas (Ref.)  | Condições do 3.º ensaio                 |
|---------------|---|
| 13:13 (G)     | - Ativação do exaustor.                 |
| 13:17         | - Exaustor em funcionamento.            |
| 13:22 - 13:46 | - Incremento da velocidade do exaustor. |
| 13:50         | - Fim do ensaio.                        |

Os caudais registados nas várias condutas bem como a velocidade do vento são apresentados na Figura 4, donde se pode concluir que na posição de tudo aberto (portas interiores e grelha exterior da cozinha abertas) o incremento acentuado do caudal extraído pelo exaustor (caudal máximo aproximado de 380 m<sup>3</sup>/h) interfere ligeiramente com o caudal extraído pelo esquentador (decréscimo ao longo do tempo). Da mesma figura, também se pode concluir que não se faz sentir a influência da velocidade do vento ao nível do 1º piso (situação de ventilação mecânica) e que os caudais extraídos na instalação sanitária são baixos, caudal médio de 10 m<sup>3</sup>/h.

Uma análise comparativa entre os dois últimos ensaios revela que existe maior interferência do exaustor nos caudais do esquentador e da conduta da instalação sanitária na situação de tudo fechado (segundo ensaio). No terceiro ensaio, o esquentador, embora reduza o caudal extraído, não chega a ativar o dispositivo de segurança. Neste caso, temos um caudal no exaustor cerca de duas vezes maior do que no segundo ensaio, o que realça a importância das condições de admissão de ar para o esquentador.

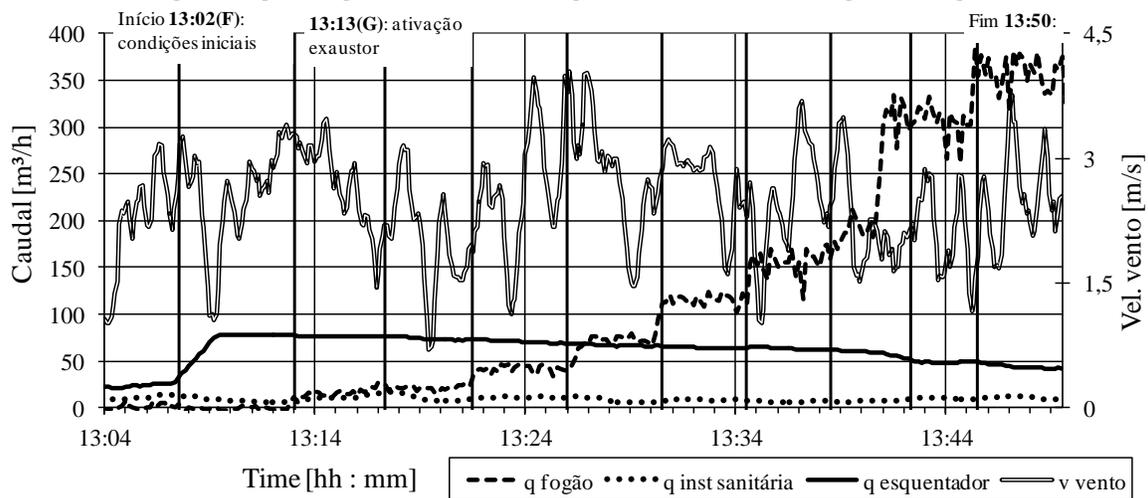


Figura 4: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador e exaustão mecânica. Caudais e velocidade do vento (tudo aberto)

As condições do quinto ensaio encontram-se descritas na Tabela 4.

Tabela 4: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador no 2.º piso e exaustão mecânica no 1.º piso (grelhas exteriores das cozinhas fechadas)

| Horas (Ref.) | Condições do 5.º ensaio   |
|--------------|---|
| 16:45(H)     | - Esquentador parado no 1º piso;<br>- Esquentador ligado no 2º piso (água quente na instalação sanitária);<br>- Portas interiores fechadas;<br>- Grelhas interiores de passagem abertas;<br>- Grelhas exteriores das cozinhas fechadas nas cozinhas do 1º e 2º pisos;<br>- Exaustor parado. |
| 16:48        | - Exaustor ligado na cozinha do 1º piso.  |

| Horas (Ref.)  | Condições do 5.º ensaio                 |
|---------------|---|
| 16:51 - 17:07 | - Incremento da velocidade do exaustor. |
| 17:12         | - Fim do ensaio.                        |

Neste ensaio, o esquentador foi ativado na cozinha do 2.º piso e também foi ativada a exaustão mecânica da cozinha do 1.º piso com um caudal crescente. Às 17h:07m, para um caudal de exaustão de cerca de 450 m<sup>3</sup>/h, a pressão no interior da cozinha do 1.º piso é suficientemente baixa para inverter o escoamento dos produtos da combustão do 2.º para o 1.º piso, pois a temperatura na conduta de exaustão da combustão do 1.º piso aumentou severamente (até cerca de 58 °C), conforme Figura 5.

Este ensaio mostra que a ativação da ventilação mecânica em apartamentos com ventilação natural (desde que se encontrem ligados entre si por condutas coletivas) pode criar condições perigosas devidas à inversão dos produtos da combustão. Note-se que este risco não é detetável pelo dispositivo de segurança do aparelho do tipo B, uma vez que não ocorre restrição ao caudal de exaustão; apenas ocorre uma alteração do caminho do escoamento. Apesar desta situação se ter verificado para um caudal bastante elevado (cerca de 450 m<sup>3</sup>/h), é demonstrativa do que pode acontecer nos sistemas de ventilação mistos em Portugal, pois os exaustores existentes normalmente têm caudais máximos equivalentes a este ou mesmo superiores.

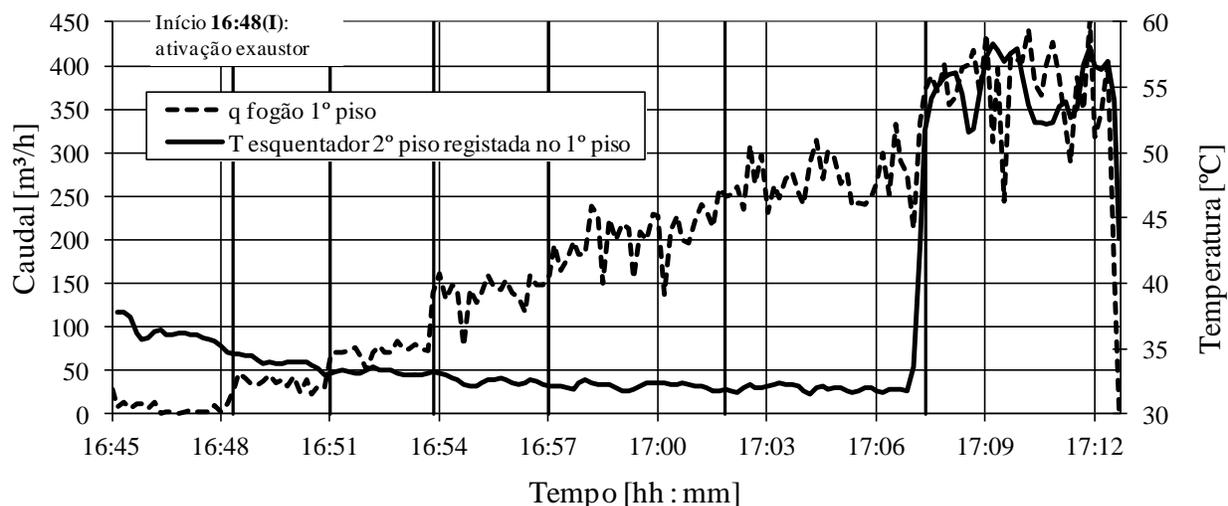


Figura 5: Análise de sensibilidade do funcionamento do esquentador no 2.º piso e exaustão mecânica no 1.º piso. Temperatura e caudal de exaustão, respetivamente, na conduta do esquentador e do fogão

## 5. RECOMENDAÇÕES EXISTENTES PARA A COEXISTÊNCIA NO MESMO ESPAÇO DE APARELHOS TIPO B E EXAUSTÃO MECÂNICA

A coexistência de aparelhos de combustão do tipo B com exaustores mecânicos não é recomendável. No entanto, esta coexistência pode ser resolvida do seguinte modo:

- aparelho do tipo B instalado num local exterior ao espaço aquecido com um sistema de ventilação próprio, por exemplo nas lavandarias (solução preferencial);
- utilização de aparelhos do tipo C (admissão e exaustão independentes);
- uso de um mecanismo (“discriminador”) que impeça o funcionamento simultâneo;
- uso de aparelhos elétricos de produção de água quente sanitária ou aquecimento ambiente;
- previsão de uma abertura de admissão de ar na cozinha.

Em relação à última solução, a abertura de admissão deve ser dimensionada para a admissão do ar de compensação (caudal máximo subtraído do caudal de base), deverá ser do tipo regulável (não obturável) e só deverá entrar em funcionamento para os caudais máximos (durante a confeção das refeições). A caracterização desta entrada de ar suplementar, é especificada em vários documentos:

- na norma ASHRAE 62.2: 2013 que aconselha a sua implementação para um caudal global de extração superior a  $270 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot 100 \text{ m}^2)$ ;
- na Bélgica recomenda-se que esta entrada de ar suplementar seja dimensionada para uma diferença de pressão de  $5 \text{ Pa}$  ( $\approx 160 \text{ cm}^2/(100 \text{ m}^3/\text{h})$ ) [6].

O caudal máximo a extrair não deve ultrapassar  $200 \text{ m}^3/\text{h}$  [5]. A norma ASHRAE 62.2: 2013 estabelece ainda a colocação de detetores de CO nas habitações.

## 6. CONCLUSÕES

Os ensaios de campo mostraram que a combinação da ventilação natural com a ventilação mecânica em espaços interligados por condutas pode conduzir a situações perigosas de utilização dos aparelhos a gás de aquecimento de água do tipo B. As situações mais gravosas registaram-se nas seguintes situações, dentro das condições anteriormente descritas [5]:

- paragem de segurança do aparelho do tipo B quando a exaustão mecânica foi da ordem dos  $180 \text{ m}^3/\text{h}$ , as portas interiores e as grelhas de passagem e de admissão à cozinha fechadas;
- inversão de tiragem dos produtos da combustão do aparelho do tipo B quando a exaustão mecânica foi da ordem dos  $450 \text{ m}^3/\text{h}$ , as portas interiores e a grelha de admissão à cozinha fechadas e as grelhas de passagem interiores abertas.

Como recomendação geral para a construção nova, recomenda-se a implementação de sistemas de ventilação natural adequadamente dimensionados e o impedimento de instalação de ventiladores mecânicos pelos utilizadores. Se houver o risco de instalação posterior de ventiladores mecânicos pelos utilizadores, recomenda-se a instalação de aparelhos do tipo C ou de aparelhos tipo B num local exterior ao espaço aquecido com um sistema de ventilação próprio, por exemplo nas lavandarias independentes do espaço de habitação. Caso se verifiquem condicionalismos de espaço ou no caso de reabilitação da habitação, recomenda-se a implantação de uma abertura de admissão de ar nas cozinhas, a qual deve ser dimensionada para a admissão do ar de compensação [5].

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Viegas J, Pinto M, Pinto A. The influence of ventilation in the work of domestic combustion appliances, Helsinki, Finland: Proceedings of 10<sup>th</sup> Roomvent conference; 2007.
- [2] Zorraquino J, Diaz V, San José R. Indoor air quality problems and solutions in the basque country (Spain) related to natural and/or liquid petroleum gas usage in individual heating installations. *Indoor Environment* 1994; 3: 286-291.
- [3] IPQ. Ventilação dos edifícios com aparelhos a gás. Parte 3-1: Edifícios de habitação. Instalação dos aparelhos a gás: volume dos locais; posicionamento dos aparelhos e suas ligações aos vários sistemas de alimentação; ligações ao sistema de ventilação. NP 1037-3-1. Monte da Caparica, Portugal: Instituto Português da Qualidade; 2002.
- [4] Pinto M, Viegas J, Freitas V. Air permeability measurements of dwellings and building components in Portugal. *Building and Environment* 2011; 46: 2480-2489.
- [5] Pinto M, Viegas, J. The influence of ventilation systems on domestic gas appliances: an experimental study, *Building and Environment* 2013; 69: 1-13.
- [6] CSTC. Ventilation des cuisines et hottes aspirantes. Note d'Information Technique 187. Bruxelles, Belgique: Centre Scientifique et Technique de la Construction; 1993.