

# EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL DOS BOMBEIROS À POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA

IMPACTO NA DPOC E ASMA

Sofia I. V. Sousa, Joana V. Barbosa, Pedro T. B. S. Branco,  
Fernando G. Martins, Maria Conceição M. Alvim-Ferraz



TÍTULO:

## **Exposição ocupacional dos bombeiros à poluição atmosférica: impacto na DPOC e asma**

AUTORES:

**Sofia I. V. Sousa<sup>1,2</sup> (coordenadora), Joana V. Barbosa<sup>1,2</sup>, Pedro T. B. S. Branco<sup>1,2</sup>,  
Fernando G. Martins<sup>1,2</sup>, Maria Conceição M. Alvim-Ferraz<sup>1,2</sup>**

AFILIAÇÃO DOS AUTORES:

- 1 LEPABE – Laboratory for Process Engineering, Environment, Biotechnology and Energy, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal
- 2 ALiCE – Associate Laboratory in Chemical Engineering, Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Rua Dr. Roberto Frias, 4200-465 Porto, Portugal

**Estudo desenvolvido no âmbito do projeto de investigação ArRiscO (PCIF/SSO/0101/2017).**

Parceiros:

- Faculdade de Medicina da Universidade do Porto (FMUP)
- Centro Hospitalar Universitário de São João (CHUSJ)

Com a colaboração de:

- Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil (ANEPC)
- Professora Doutora Isabella Annesi-Maesano, consultora do projeto ArRiscO, Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM), França







# Índice

|   |    |
|---|----|
| <b>1. / INTRODUÇÃO</b>  | 09 |
| <b>Capítulo 1.</b> Enquadramento  | 10 |
| <b>2. / EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL</b>   | 13 |
| <b>Capítulo 2.</b> Poluição Atmosférica   | 14 |
| <b>Capítulo 3.</b> Exposição no interior dos quartéis                                 | 18 |
| <b>Capítulo 4.</b> Exposição em ações de fogos controlados                            | 20 |
| <b>3. / EFEITOS DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL</b>  | 29 |
| <b>Capítulo 5.</b> Efeitos da exposição ocupacional na função pulmonar – Meta-Análise | 30 |
| <b>Capítulo 6.</b> Saúde respiratória dos bombeiros                                   | 37 |
| <b>4. / CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b>  | 41 |
| <b>Capítulo 7.</b> Conclusões   | 42 |
| <b>Capítulo 8.</b> Recomendações  | 44 |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>   | 46 |



## Agradecimentos

O trabalho desenvolvido no âmbito deste projeto, não teria sido possível sem a contribuição e empenho das seguintes pessoas e entidades:

- Sr. Comandante Miguel David, Comandante Sub-Regional de Emergência e Proteção Civil, Viseu Dão Lafões
- Dra. Sandra Nunes Alves, Chefe da Divisão de Segurança, Saúde e Estatuto Social, Autoridade Nacional de Emergência e Proteção Civil
- Associações Humanitárias, Senhores Comandantes e corpo de bombeiros das seguintes cooperações:
  - Bombeiros Voluntários de Cabanas de Viriato
  - Bombeiros Voluntários de Canas de Senhorim
  - Bombeiros Voluntários de Carregal do Sal
  - Bombeiros Voluntários de Moimenta da Beira
  - Bombeiros Voluntários de Nelas
  - Bombeiros Voluntários de Nespereira
  - Bombeiros Voluntários de Oliveira de Frades
  - Bombeiros Voluntários de Penedono
  - Bombeiros Voluntários de S. Pedro do Sul
  - Bombeiros Voluntários de Tabuaço
  - Bombeiros Voluntários de Tondela
  - Bombeiros Voluntários de Vila Nova de Paiva
  - Bombeiros Voluntários de Vouzela
- Eng. Paula Gonçalves da Ribaflo - Associação Florestal das Terras de Ribadouro
- Eng. Paula Pereira e Eng. André Mota da Unidade de Ambiente e Proteção Civil Intermunicipal Viseu Dão Lafões
- Professora Doutora Isabella Annesi-Maesano, consultora científica do projeto ArRiscO

Este trabalho foi financiado por:

- projeto ArRiscO (PCIF/SSO/0101/2017), com apoio financeiro da FCT/MCTES através de fundos nacionais (PIDDAC);
- LA/P/0045/2020 (ALiCE), UIDB/00511/2020 e UIDP/00511/2020 (LEPABE), financiado por fundos nacionais através da FCT/MCTES (PIDDAC).



## Prefácio

Os bombeiros estão entre os profissionais mais corajosos e mais dedicados da nossa sociedade. Todos os dias, põem as suas vidas em risco para proteger as nossas comunidades dos efeitos devastadores dos incêndios e de outras emergências. Ao fazer isto, estão altamente expostos, pois o combate a incêndios é uma profissão altamente perigosa que expõe os bombeiros a uma vasta gama de riscos profissionais, incluindo a poluição do ar.

Estudos recentes demonstraram que os bombeiros que estão expostos à poluição do ar enquanto combatem incêndios florestais estão em risco acrescido de desenvolver problemas de saúde respiratória, tais como sintomas respiratórios (sibilância, tosse, expetoração) ou doenças (doença pulmonar obstrutiva crónica (DPOC) e asma). Isto deve-se aos elevados níveis de poluentes atmosféricos perigosos que são libertados durante os incêndios florestais, e que são inalados durante o esforço físico do combate. Além disso, os bombeiros podem também ser expostos a outros riscos profissionais, tais como stress térmico e esforço físico, o que pode agravar ainda mais os riscos para a saúde associados à exposição à poluição atmosférica.

Embora a maioria da literatura atual venha de países repetidamente atingidos por enormes incêndios florestais, nomeadamente os Estados Unidos da América (EUA) e a Austrália, esta temática tem recebido uma atenção crescente nos últimos anos na Europa. Dada a crescente ameaça de incêndios florestais em muitas partes do mundo e particularmente no Sul da Europa devido às alterações climáticas, há necessidade de mais investigação e ação política para abordar os riscos específicos da saúde ocupacional enfrentados pelos bombeiros, particularmente no contexto do combate aos incêndios florestais. É crucial desenvolver estratégias eficazes para proteger a saúde respiratória dos bombeiros e reduzir a sua exposição à poluição atmosférica durante as operações de combate a incêndios.

É com grande interesse que tenho vindo a acompanhar o projeto de investigação ArRiscO desde a sua origem. A nível científico, os resultados do ArRiscO contribuirão para os avanços no estado da arte, e estão previstos estudos subsequentes. A nível prático, o projeto ArRiscO irá certamente contribuir para uma maior compreensão dos riscos profissionais enfrentados pelos bombeiros, bem como para a sensibilização e para o desenvolvimento de medidas mais direcionadas e mais eficazes para proteger a sua saúde e bem-estar.

**Professora Doutora Isabella Annesi-Maesano**  
(texto traduzido)

Diretora Adjunta, Institut Desbrest d'Epidémiologie et de Santé Publique (IDESP)  
Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM)  
Université de Montpellier, França  
Consultora do projeto ArRiscO

## Nota de Abertura

As alterações climáticas e do uso do solo estão a agravar os incêndios florestais e antecipam um aumento global de incêndios e da sua gravidade, mesmo em áreas anteriormente não afetadas. Os incêndios florestais incontroláveis e extremos podem ser devastadores para as pessoas, a biodiversidade e os ecossistemas, e um enorme desafio para quem os tenta combater. Dados os eventos de poluição do ar associados aos incêndios, os bombeiros estão em particular risco de vir a desenvolver doenças crónicas, que tem tendência a aumentar com o aumento do número e gravidade dos incêndios florestais. É por isso fundamental conhecer com maior profundidade quais os poluentes a que estão expostos e em que quantidades, em estudos a longo prazo.

A call de Projetos de Investigação Científica e Desenvolvimento Tecnológico no âmbito da Prevenção e Combate de Incêndios Florestais, lançada pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, deu-nos a oportunidade de estudar a exposição dos bombeiros à poluição do ar na tentativa de perceber de que forma afeta a sua saúde respiratória. Existem inúmeros desafios relacionados com a avaliação dos riscos e impactos na saúde associada à exposição ao fumo de incêndios florestais, incluindo a caracterização e estimativa precisas da exposição ao fumo dos incêndios florestais e o acesso a dados sobre vários resultados de saúde respiratória nos bombeiros expostos. A acrescentar ao já enorme desafio de desenvolvimento do projeto ArRiscO, o aparecimento da pandemia por COVID-19 veio tornar este estudo ainda mais desafiante, mas também veio mostrar-nos, uma vez mais, o quão importante é apostar no estudo dos riscos a que os bombeiros estão sujeitos visando uma melhoria contínua na saúde e bem-estar destes profissionais.

Desta forma, com este livro pretende-se contribuir para o desenvolvimento de conhecimento científico sobre os efeitos da exposição aos poluentes do ar durante o combate aos incêndios florestais. Pretende-se ainda contribuir para a formação dos bombeiros a nível da sua exposição ao fumo dos incêndios florestais e de como esta pode afetar a sua saúde, e apresentar recomendações que possam vir a contribuir para a diminuição da exposição dos bombeiros e consequentemente para a redução dos seus riscos para a saúde.

**Sofia Sousa**

Coordenadora do Projeto ArRiscO

1







# INTRODUÇÃO

## Capítulo 1

### Enquadramento

Todos os anos os incêndios florestais são responsáveis pela destruição de milhares de hectares de floresta, libertando para a atmosfera quantidades substanciais de poluentes perigosos e toneladas de carbono, que contribuem para a deterioração da qualidade do ar [1]. Dependendo da região, da vegetação ou do combustível, diferentes tipos de poluentes podem ser emitidos para a atmosfera, como por exemplo, partículas em suspensão (PM), monóxido de carbono (CO), óxidos de azoto ( $\text{NO}_x$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (PAHs) e compostos orgânicos voláteis (COVs) [2]. De entre os principais poluentes emitidos estão as  $\text{PM}_{2,5}$  e as  $\text{PM}_{10}$  (partículas em suspensão com diâmetro aerodinâmico menor que 2,5  $\mu\text{m}$  e 10  $\mu\text{m}$ , respectivamente), ambas nocivas para a saúde.

Estudos recentes concluíram que existe uma forte associação entre a exposição ao fumo dos incêndios florestais e a morbidade respiratória, especialmente a nível de Doença Pulmonar Obstrutiva Crónica (DPOC) e exacerbações de asma [3,4]. A asma ocupacional geralmente não é detetada, no entanto estima-se que 5-20% dos novos casos de asma com início na idade adulta possam ser atribuídos à exposição ocupacional [5]. As elevadas concentrações de poluentes atmosféricos, a queima de biomassa, o fumo do tabaco e as poeiras de madeira são potenciais causas de DPOC [6].

Os grupos mais vulneráveis à exposição do fumo são as crianças, os idosos, as grávidas, os indivíduos com doenças cardiopulmonares pré-existentes e grupos específicos, como bombeiros, forças policiais, equipas de resgate e profissionais de saúde [7–9].

Embora o combate a incêndios continue a estar entre as atividades mais perigosas e menos estudadas em termos de exposição e da sua relação com doenças ocupacionais [10], os bombeiros correm maior risco de sofrer efeitos adversos na sua saúde devido à exposição a substâncias potencialmente nocivas durante a sua atividade profissional. Em particular, os bombeiros que combatem incêndios florestais constituem um grupo ocupacional com elevada exposição ao fumo resultante da queima de biomassa. Esta preocupação, aliada ao consenso existente entre a comunidade científica que admite que o número e a intensidade dos incêndios florestais tendem a aumentar devido às alterações climáticas, têm provocado, nos últimos anos, um interesse crescente sobre o impacto dos incêndios florestais na saúde [11].

O projeto "ArRiscO – Exposição ocupacional dos bombeiros à poluição atmosférica – impacto na DPOC e asma" ([arrisco.fe.up.pt](http://arrisco.fe.up.pt)), desenvolvido pelo LEPABE - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), surgiu da necessidade de acrescentar conhecimento à literatura existente, sobre os efeitos da exposição a longo prazo à poluição atmosférica proveniente do combate a incêndios florestais nos bombeiros. Assim, o projeto teve como principal objetivo avaliar os efeitos da exposição a longo prazo ao fumo dos incêndios florestais, em bombeiros,

sobretudo no que diz respeito à DPOC e asma. O ArRiscO foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e decorreu entre 2019 e 2023, com a colaboração do Centro Hospitalar Universitário de São João (CHUSJ) e a Faculdade de Medicina da Universidade do Porto (FMUP). O estudo foi implementado no distrito de Viseu, que tem sido consistentemente o distrito de Portugal com maior número de fogos florestais e área ardida (2009-2015) [12]. Em linhas gerais, foram medidos os poluentes atmosféricos com monitores de exposição pessoal durante o combate aos incêndios florestais e nos quartéis para comparação. Além disso, com base nas respostas de questionários validados, o estudo avaliou a prevalência da DPOC e asma, assim como a sintomatologia respiratória nos bombeiros do Distrito de Viseu.

O trabalho reportado neste livro reúne dois tópicos relevantes: a exposição ocupacional e os seus efeitos na saúde dos bombeiros.

Nesta Parte I é descrita a relevância do projeto, os objetivos e a estrutura do livro.

Na Parte II é apresentada uma visão geral sobre a poluição atmosférica, incluindo uma descrição de cada um dos poluentes estudados no projeto, e onde são introduzidos alguns conceitos gerais sobre o tema. Os resultados relativos à exposição no interior dos quartéis e durante o combate a incêndios florestais podem também ser encontrados nesta secção.

Na Parte III são discutidos os efeitos da exposição durante o combate aos incêndios florestais na função pulmonar dos bombeiros. Inicialmente é efetuada uma comparação entre estudos (meta-análise) publicados, seguida da análise às respostas obtidas nos questionários previamente validados.

Por último, na Parte IV, são apresentadas as conclusões do estudo e algumas recomendações.



2





# EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

## Capítulo 2

### Poluição Atmosférica

Respirar é tão natural como necessário à vida humana. Infelizmente, nem todo o ar que respiramos é saudável. A poluição do ar, também designada de poluição atmosférica, tem origem em inúmeras fontes de emissão, tanto naturais como antropogénicas, sendo que as últimas se tornaram globalmente dominantes desde o início da industrialização. O processo de combustão é o que mais contribui para a poluição do ar, em particular a combustão de combustíveis fósseis e biomassa para gerar energia. A combustão natural de biomassa nos incêndios florestais representa uma das principais fontes naturais de emissão de poluentes do ar.

Os poluentes atmosféricos originários das fontes e processos listados acima incluem partículas em suspensão (PM), poluentes gasosos (incluindo monóxido de carbono (CO), dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>), dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) e ozono (O<sub>3</sub>)), e poluentes orgânicos.

#### Partículas em Suspensão (PM)

As partículas em suspensão (PM), também designadas por poluentes atmosféricos particulados ou matéria particulada, compreendem material em fase sólida ou líquida suspenso no ar. Podem ser constituídas por muitos compostos químicos e biológicos (gotículas, fumos, poeiras, pólen, bactérias e esporos de fungos, entre outros) e, conseqüentemente, ser provenientes de várias fontes, e ter diferentes formas e tamanhos. O tamanho das partículas suspensas varia, de alguns nanómetros (nm) a dezenas de micrómetros (µm). Em termos práticos, as PM são normalmente classificadas em: PM<sub>10</sub> – partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 10 µm, também designadas de “partículas torácicas” por poderem penetrar no sistema respiratório inferior; e PM<sub>2,5</sub> – partículas com diâmetro aerodinâmico menor ou igual a 2,5 µm, também denominadas “partículas respiráveis”, pois podem penetrar na região de trocas gasosas dos pulmões [12,13]. De facto, as PM<sub>2,5</sub> são um importante indicador de risco para a saúde devido à poluição particulada, pois podem penetrar mais profundamente nos pulmões, ficar presas dentro dos alvéolos e são expectáveis piores efeitos na saúde humana [12,14]. As partículas podem ser primárias ou secundárias, dependendo da sua origem e processos de formação, e abrangem uma ampla gama de tamanhos. As partículas primárias são emitidas diretamente de fontes naturais e antropogénicas. As fontes naturais incluem os fogos florestais, mas também vulcões, spray marinho, fontes biológicas (bolor, pólen, bactérias, partes de plantas) e detritos meteóricas, enquanto as fontes antropogénicas incluem transportes, combustão de combustíveis em fontes estacionárias, uma variedade de processos industriais, deposição de resíduos sólidos e fontes diversas como atividades agrícolas e emissões fugitivas de rodovias. As partículas secundárias são produzidas a partir de substâncias gasosas naturalmente emitidas e de fontes antropogénicas como resultado de processos químicos envolvendo gases, partículas e vapor de água.

### Monóxido de Carbono (CO)

O monóxido de carbono (CO) é um gás tóxico, incolor, não irritante, inodoro e insípido, emitido por todas as fontes de combustão. É produzido pela combustão incompleta de compostos carbonáceos, como madeira, gasolina, carvão, gás natural e querosene. Não é detetável pelos humanos através da visão, paladar ou olfato, mas no corpo humano reage com a hemoglobina para formar carboxiemoglobina, interferindo na capacidade de transporte de oxigênio no sangue.

### Dióxido de Azoto (NO<sub>2</sub>)

Existem 7 óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>) que podem ser encontrados no ar ambiente, mas as espécies de poluentes atmosféricos de maior interesse do ponto de vista da qualidade do ar e saúde são o óxido de azoto (NO) e o dióxido de azoto (NO<sub>2</sub>). O primeiro é um gás relativamente não tóxico, produzido na reação de combustão a elevada temperatura entre azoto (N<sub>2</sub>) e oxigênio (O<sub>2</sub>), e é rapidamente oxidado a NO<sub>2</sub>, substância de maior toxicidade. O NO<sub>2</sub> é um gás solúvel em água, de cor castanha avermelhada, e com odor acre pungente. É consideravelmente insolúvel nos fluidos teciduais, pelo que entra nos pulmões atingindo as vias aéreas inferiores e o tecido alveolar.

### Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>)

O dióxido de enxofre (SO<sub>2</sub>) é um gás incolor, solúvel em água e com forte odor pungente em elevadas concentrações (detetado a 0,9 mg/m<sup>3</sup>). Este gás pode ser libertado diretamente na atmosfera por fontes naturais, como os incêndios florestais. A formação antropogénica de SO<sub>2</sub> deve-se geralmente à combustão de combustíveis fósseis contendo enxofre (petróleo, carvão e gás natural).

### Compostos Orgânicos Voláteis (COVs)

Os compostos orgânicos voláteis (COVs) possuem uma alta pressão de vapor sob condições normais pelo que volatilizam facilmente em contato com o ar. Os COVs estão presentes em diversos tipos de materiais sintéticos (solventes, tintas, colas, combustíveis) ou naturais (plantas). Os COVs são também produzidos na combustão e por isso têm origem em processos industriais que utilizem combustão, nos transportes e nos incêndios florestais [15].

Evidências significativas e crescentes têm associado concentrações elevadas de COVs a sintomas de irritação sensorial, que incluem irritação dos olhos, nariz, garganta e pele. No entanto, concentrações de alguns COVs específicos podem estar relacionadas com um conjunto mais amplo de sintomas, tais como dores de cabeça, fadiga, náuseas, danos no fígado, rins e sistema nervoso central e sintomas respiratórios [16].



## Exposição à poluição do ar

No início da década de 80 do século XX, Duan (1982) [17] e Ott (1982) [18] introduziram o conceito de “exposição humana” (ou simplesmente “exposição”), definida como “um evento que ocorre quando uma pessoa contacta com um poluente”. Assim, a exposição à poluição do ar ocorre sempre que um indivíduo respira ar num local onde existem pelo menos vestígios de poluentes atmosféricos. Conceitualmente, isso ocorre ao longo da “via ambiental”, conforme representado no esquema da Figura 1.



**Figura 1** | A “via ambiental” proposta pela Organização Mundial da Saúde [19] associada à poluição do ar.

**Emissão** é a quantidade de uma substância libertada para a atmosfera, enquanto **concentração** é uma característica física do ambiente num dado local e instante e está associada à emissão e à capacidade de dispersão da atmosfera. **Exposição** descreve a interação entre o ambiente e o ser vivo, pelo que implica o contacto de um indivíduo com um poluente. **Dose** é a quantidade de material absorvido ou depositado no organismo de um indivíduo durante um dado intervalo de tempo. Por fim, os **efeitos na saúde** podem ser agudos ou crónicos, e podem afetar diversos sistemas e órgãos.





## Exposição de bombeiros ao fumo dos incêndios florestais

O fumo dos incêndios produz diferentes compostos que são emitidos para a atmosfera, nomeadamente PM, vapor de água e gases orgânicos e inorgânicos, incluindo CO, NO<sub>2</sub> e SO<sub>2</sub> [1,20]. Estas emissões dependem de vários fatores, particularmente do tipo de material combustível (madeira, plásticos, óleos e outros compostos químicos tais como tintas, solventes, pesticidas e outros químicos).

Os bombeiros, cuja atividade envolve a exposição ao fumo dos incêndios, são um grupo de risco particular porque podem ser expostos várias vezes por períodos prolongados. Além disso, o combate a incêndios é uma atividade física extenuante, com concomitante aumento das frequências respiratória e cardíaca, além da exposição mais intensa do que a maioria da população devido também à proximidade das fontes emissoras dos poluentes [21].

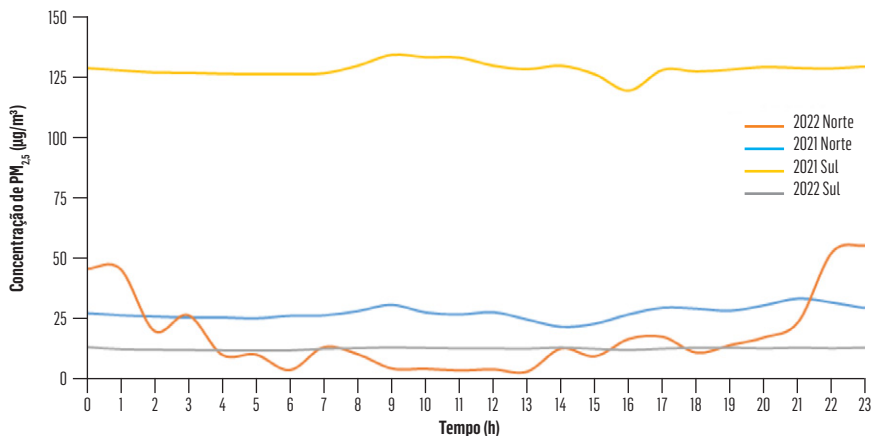
Apesar de ser reconhecidamente uma atividade ocupacional de elevado risco, os estudos de exposição ocupacional de bombeiros ao combate a incêndios florestais são ainda limitados quando comparados com os estudos de exposição em contexto de incêndio urbano. De facto, a grande maioria dos estudos na literatura está principalmente relacionada com o colapso do *World Trade Center*, em Nova Iorque, a 11 de setembro de 2001. Contudo, os riscos do combate a fogos florestais são necessariamente diferentes daqueles impostos pelos fogos urbanos. Durante o combate a incêndios florestais os bombeiros tipicamente trabalham por períodos de tempo mais prolongados, e realizam múltiplos turnos de combate com pouco tempo de intervalo para descanso.

Assim, compreender e quantificar a exposição ocupacional dos bombeiros no combate a incêndios florestais pode contribuir para desenvolver estratégias e políticas de mitigação para proteger a sua saúde.

## Capítulo 3

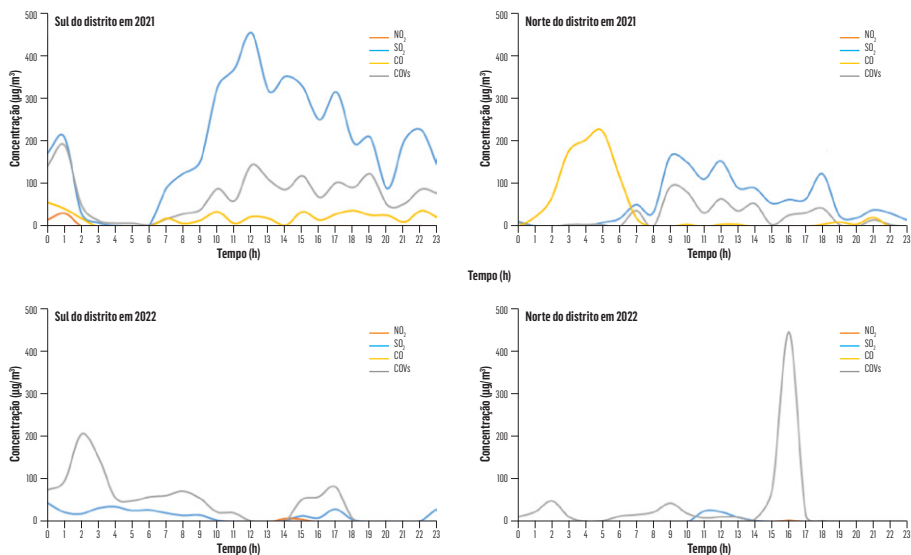
### Exposição no interior dos quartéis

A monitorização das concentrações de poluentes no interior dos quartéis de bombeiros foi realizada antes e durante a época oficial de incêndios florestais em corporações a norte e a sul do distrito de Viseu, em zonas onde os bombeiros permanecem grande parte do tempo. No norte do distrito foi monitorizada a corporação dos Bombeiros Voluntários de Tabuaço (em 2021 e 2022) e no sul do distrito foram monitorizadas as corporações dos Bombeiros Voluntários de Canas de Senhorim (em 2021) e dos Bombeiros Voluntários de Cabanas de Viriato (em 2022). A medição de todos os poluentes estudados foi efetuada em contínuo (registo a cada 1 minuto), entre junho e setembro de cada um dos anos em estudo (Figuras 2 e 3). As concentrações de  $PM_{2,5}$  foram medidas usando um monitor de aerossol (TSI DustTrak™ DRX 8533, TSI Incorporated), enquanto que as concentrações de  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO e COVs foram efetuadas usando equipamentos de monitorização pessoal (MultiRAE Lite, Honeywell International Inc).



**Figura 2 |** Concentrações médias horárias de  $PM_{2,5}$  registadas nas corporações do norte e sul do distrito de Viseu, em 2021 e 2022.

As concentrações médias horárias de  $PM_{2,5}$  evidenciaram um comportamento diferente nos dois anos estudados. Em 2022, na corporação a norte do distrito, a gama de valores atingida foi mais próxima (menor amplitude de valores), mantendo-se entre 21,6 e 33,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enquanto que em 2021 verificou-se uma grande oscilação nos valores medidos, com concentrações entre 2,9 e 55,2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . No sul do distrito, verificou-se a mesma tendência registada no norte, tendo sido atingidas concentrações de  $PM_{2,5}$  mais elevadas em 2022 (variação entre 118,7 e 133,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) do que em 2021 (variação entre 11,9 e 13,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Figura 3** | Concentrações médias horárias de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO e COVs registadas nas corporações do distrito de Viseu.

Na corporação dos Bombeiros Voluntários de Tabuaço (a norte do distrito) as concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> e COVs em 2021 e 2022 foram muito semelhantes, na mesma ordem de grandeza. No entanto, os valores médios de CO foram muito mais elevados em 2022, tendo sido registados valores máximos de 1771,3 µg/m<sup>3</sup> em 2022 e de 101,1 µg/m<sup>3</sup> em 2021.

Relativamente às corporações do sul do distrito, as concentrações médias horárias de SO<sub>2</sub> e CO (8,1 e 191,3 µg/m<sup>3</sup> respetivamente) em 2022 foram superiores às de 2021 (2,3 e 73,3 µg/m<sup>3</sup> respetivamente), e as de NO<sub>2</sub> foram superiores em 2021 (188,9 µg/m<sup>3</sup>).



## Capítulo 4

### Exposição em ações de fogos controlados

As concentrações de  $PM_{2.5}$ ,  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO e COVs foram monitorizadas em ações de fogos controlados (incêndio intencional de baixa intensidade para ordenamento do território). Assim, foram acompanhadas 7 ações de fogos controlados, 2 no norte do distrito em 2021 e 2022 (Fogos controlados 1 e 2), e 5 no sul do distrito em 2023 (Fogos controlados 3 a 7). A vegetação queimada era constituída essencialmente por urze, giesta, mimosas, pinheiro e medronho, na zona norte, enquanto que na zona sul do distrito ardeu essencialmente carqueja e pinheiro.

Em cada uma das ações foram utilizados 6 equipamentos de monitorização pessoal para  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO e COVs (MultiRAE Lite, Honeywell International Inc) e 6 para partículas  $PM_{2.5}$  (TSI SidePak™ AM520, TSI Incorporated). Os bombeiros foram selecionados de acordo com suas tarefas/posições no incêndio, nomeadamente, pinga-lume (ignição), batedor (contenção com ferramentas manuais) e segurança (água). Um conjunto de equipamentos foi colocado a cerca de 50 metros do fogo para controlo (P6 e G6). As Tabelas 1 e 2 resumem os valores da exposição monitorizados para  $PM_{2.5}$  (P1 a P6) e para os gases (G1 a G6) nos fogos controlados do norte (Fogo 1 e 2) e sul (Fogo 3 a 7) do distrito de Viseu, respetivamente, com cada um dos cinco equipamentos utilizados.

**Tabela 1** | Valores médios, mínimos e máximos de exposição (1 minuto) de  $NO_2$ ,  $SO_2$ , CO, COVs e  $PM_{2.5}$  durante as ações de fogos controlados realizados no norte do distrito (Fogo 1 e 2).

|               | Monitor | $NO_2$<br>( $\mu g/m^3$ ) | $SO_2$<br>( $\mu g/m^3$ ) | CO<br>( $\mu g/m^3$ ) | COVs<br>( $\mu g/m^3$ ) | Monitor | $PM_{2.5}$<br>( $\mu g/m^3$ ) |
|---------------|---------|---------------------------|---------------------------|-----------------------|-------------------------|---------|-------------------------------|
| <b>Fogo 1</b> |         |                           |                           |                       |                         |         |                               |
| G1            | Média   | 612                       | 574                       | 9318                  | 396                     | P1      | 202                           |
|               | Min-Máx | 200-900                   | 300-5200                  | 3000-105000           | 1000-11000              |         | 12-2450                       |
| G2            | Média   | ND                        | 1521                      | 13469                 | 2237                    | P2      | 15526                         |
|               | Min-Máx | ND                        | <LD-6500                  | <LD-361000            | 0-66000                 |         | 42-96800                      |
| G3            | Média   | 671                       | 1324                      | 17119                 | 689                     | P3      | 4464                          |
|               | Min-Máx | 200-1300                  | 300-9400                  | 2000-159000           | 1000-8000               |         | 32-48600                      |
| G4            | Média   | 4                         | 350                       | 2740                  | 352                     | P4      | 23552                         |
|               | Min-Máx | <LD-200                   | <LD-9400                  | <LD-92000             | <LD-13000               |         | 100-100000                    |
| G5            | Média   | 191                       | 321                       | 1366                  | 727                     | P5      | 1532                          |
|               | Min-Máx | 0-800                     | 0-3700                    | <LD-50000             | <LD-30000               |         | 29-35700                      |
| G6            | Média   | 74                        | ND                        | ND                    | ND                      | P6      | 105                           |
|               | Min-Máx | <LD-100                   | ND                        | ND                    | ND                      |         | 5-764                         |

Tabela 1 (cont.)

| Monitor       | NO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | SO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | CO<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | COVs<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Monitor | PM <sub>2,5</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---|---|----------------------------|------------------------------|---------|---|
| <b>Fogo 2</b> |   |   |                            |                              |         |   |
| G1            | Média                                   | 89                                      | 309                        | 10976                        | P1      | 18690                                     |
|               | Min-Máx                                 | <LD-1300                                | <LD-2100                   | <LD-148000                   |         | <LD-46000                                 |
| G2            | Média                                   | 107                                     | 107                        | 10269                        | P2      | 55887                                     |
|               | Min-Máx                                 | <LD-2100                                | <LD-800                    | <LD-142000                   |         | <LD-18000                                 |
| G3            | Média                                   | 118                                     | 2159                       | 85                           | P3      | 21279                                     |
|               | Min-Máx                                 | <LD-500                                 | <LD-7100                   | <LD-1000                     |         | <LD-3000                                  |
| G4            | Média                                   | 169                                     | 490                        | 14119                        | P4      | 48549/60819                               |
|               | Min-Máx                                 | <LD-1300                                | <LD-3400                   | <LD-137000                   |         | <LD-50000                                 |
| G5            | Média                                   | 460                                     | 1069                       | 41404                        | P5      | 37133                                     |
|               | Min-Máx                                 | <LD-3200                                | <LD-9400                   | <LD-573000                   |         | <LD-38000                                 |
| G6            | Média                                   | 42                                      | 87                         | 252                          | P6      | 37133                                     |
|               | Min-Máx                                 | <LD-100                                 | <LD-600                    | <LD-900                      |         | <LD-200                                   |

ND – Não disponível; <LD – inferior ao limite inferior de deteção do sensor

**Tabela 2** | Valores médios, mínimos e máximos de exposição (1 minuto) de NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, CO, COVs e PM<sub>2,5</sub> durante as ações de fogos controlados realizados no sul do distrito (Fogo 3 a 7).

| Monitor       | NO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | SO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | CO<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | COVs<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Monitor | PM <sub>2,5</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---|---|----------------------------|------------------------------|---------|---|
| <b>Fogo 3</b> |   |   |                            |                              |         |   |
| G1            | Média                                   | 120                                     | 490                        | 9130                         | P1      | 7111                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-600                                 | <LD-5200                   | <LD-113000                   |         | <LD-9000                                  |
| G2            | Média                                   | 170                                     | 40                         | 1760                         | P2      | 7512                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-1700                                | <LD-1800                   | <LD-134000                   |         | <LD-12000                                 |
| G3            | Média                                   | 400                                     | 490                        | 9630                         | P3      | 7512                                      |
|               | Min-Máx                                 | 0-3600                                  | <LD-7600                   | <LD-239000                   |         | <LD-16000                                 |
| G4            | Média                                   | 60                                      | ND                         | 50                           | P4      | 259                                       |
|               | Min-Máx                                 | 0-400                                   | ND                         | <LD-2000                     |         | <LD-3000                                  |
| G5            | Média                                   | 520                                     | 470                        | 22380                        | P5      | 11827                                     |
|               | Min-Máx                                 | <LD-2100                                | <LD-5000                   | <LD-318000                   |         | <LD-26000                                 |
| G6            | Média                                   | 124                                     | ND                         | ND                           | P6      | 202                                       |
|               | Min-Máx                                 | <LD-200                                 | ND                         | ND                           |         | ND  |



Tabela 2 (cont.)

| Monitor       | NO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | SO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | CO<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | COVs<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Monitor | PM <sub>2,5</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---|---|----------------------------|------------------------------|---------|---|
| <b>Fogo 4</b> |   |   |                            |                              |         |   |
| G1            | Média                                   | 290                                     | ND                         | ND                           | P1      | 24  |
|               | Min-Máx                                 | <LD-800                                 | ND                         | ND                           |         | 3-59                                      |
| G2            | Média                                   | 50                                      | 600                        | 3440                         | P2      | 936                                       |
|               | Min-Máx                                 | 0-4100                                  | 0-800                      | 0-120000                     |         | 0-12700                                   |
| G3            | Média                                   | 40                                      | 140                        | 3390                         | P3      | 2440                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-3600                                | <LD-7600                   | <LD-239000                   |         | <LD-16000                                 |
| G4            | Média                                   | 60                                      | 60                         | 2960                         | P4      | 4591                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-400                                 | <LD-2400                   | <LD-133000                   |         | <LD-13000                                 |
| G5            | Média                                   | 10                                      | 10                         | 1530                         | P5      | 9393                                      |
|               | Min-Máx                                 | 0-800                                   | 0-2100                     | 0-10000                      |         | 0-4000                                    |
| G6            | Média                                   | 290                                     | ND                         | ND                           | P6      | 8   |
|               | Min-Máx                                 | <LD-800                                 | ND                         | ND                           |         | ND  |
| <b>Fogo 5</b> |   |   |                            |                              |         |   |
| G1            | Média                                   | 111                                     | 540                        | <LD-64000                    | P1      | 4229                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-900                                 | <LD-8900                   | 3220                         |         | <LD-21000                                 |
| G2            | Média                                   | 180                                     | 190                        | <LD-97000                    | P2      | 3535                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-600                                 | <LD-2900                   | 100                          |         | <LD-23000                                 |
| G3            | Média                                   | ND                                      | 830                        | <LD-64000                    | P3      | 13599                                     |
|               | Min-Máx                                 | ND                                      | <LD-8900                   | 10000                        |         | <LD-9000                                  |
| G4            | Média                                   | 220                                     | 610                        | <LD-199000                   | P4      | 7300                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-3200                                | <LD-15500                  | 11050                        |         | <LD-46000                                 |
| G5            | Média                                   | 20                                      | 280                        | <LD-374000                   | P5      | 6576                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-400                                 | <LD-2100                   | 40                           |         | <LD-19000                                 |
| G6            | Média                                   | 150                                     | ND                         | <LD-300                      | P6      | 187                                       |
|               | Min-Máx                                 | <LD-100                                 | ND                         | ND                           |         | <LD-400                                   |



Tabela 2 (cont.)

| Monitor       | NO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | SO <sub>2</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) | CO<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | COVs<br>(µg/m <sup>3</sup> ) | Monitor   | PM <sub>2.5</sub><br>(µg/m <sup>3</sup> ) |
|---------------|---|---|----------------------------|------------------------------|-----------|---|
| <b>Fogo 6</b> |   |   |                            |                              |           |   |
| <b>G1</b>     | Média                                   | 290                                     | ND                         | ND                           | <b>P1</b> | 24  |
|               | Min-Máx                                 | <LD-800                                 | ND                         | ND                           |           | 3-59                                      |
| <b>G2</b>     | Média                                   | 50                                      | 600                        | 3440                         | <b>P2</b> | 936                                       |
|               | Min-Máx                                 | 0-4100                                  | 0-800                      | 0-120000                     |           | 0-12700                                   |
| <b>G3</b>     | Média                                   | 40                                      | 140                        | 3390                         | <b>P3</b> | 2440                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-3600                                | <LD-7600                   | <LD-239000                   |           | <LD-16000                                 |
| <b>G4</b>     | Média                                   | 60                                      | 60                         | 2960                         | <b>P4</b> | 4591                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-400                                 | <LD-2400                   | <LD-133000                   |           | <LD-13000                                 |
| <b>G5</b>     | Média                                   | 10                                      | 10                         | 1530                         | <b>P5</b> | 9393                                      |
|               | Min-Máx                                 | 0-800                                   | 0-2100                     | 0-100000                     |           | 0-4000                                    |
| <b>G6</b>     | Média                                   | 290                                     | ND                         | ND                           | <b>P6</b> | 8   |
|               | Min-Máx                                 | <LD-800                                 | ND                         | ND                           |           | 3-53                                      |
| <b>Fogo 7</b> |   |   |                            |                              |           |   |
| <b>G1</b>     | Média                                   | 120                                     | 111                        | 3090                         | <b>P1</b> | 3286                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-4100                                | <LD-1300                   | <LD-81000                    |           | <LD-17000                                 |
| <b>G2</b>     | Média                                   | ND                                      | ND                         | 250                          | <b>P2</b> | 1986                                      |
|               | Min-Máx                                 | ND                                      | ND                         | 0-5000                       |           | ND  |
| <b>G3</b>     | Média                                   | 20                                      | ND                         | 170                          | <b>P3</b> | 2823                                      |
|               | Min-Máx                                 | 0-400                                   | ND                         | <LD-5000                     |           | ND  |
| <b>G4</b>     | Média                                   | 120                                     | 140                        | 5240                         | <b>P4</b> | 4991                                      |
|               | Min-Máx                                 | <LD-6800                                | <LD-4500                   | <LD-158000                   |           | <LD-7900                                  |
| <b>G5</b>     | Média                                   | ND                                      | ND                         | ND                           | <b>P5</b> | 60  |
|               | Min-Máx                                 | ND                                      | ND                         | ND                           |           | ND  |
| <b>G6</b>     | Média                                   | ND                                      | ND                         | ND                           | <b>P6</b> | 15  |
|               | Min-Máx                                 | ND                                      | ND                         | ND                           |           | ND  |

ND – Não disponível; <LD – inferior ao limite inferior de deteção do sensor



Os resultados obtidos mostraram que no sul do distrito as concentrações de  $PM_{2.5}$  variaram entre 2-99600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enquanto que as concentrações de  $\text{NO}_2$  variaram entre <LD-6800  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de  $\text{SO}_2$  entre <LD-15500  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de CO entre <LD-374000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e de COVs entre <LD-26000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . No norte do distrito as concentrações de  $PM_{2.5}$  variaram entre 12-66000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , enquanto que as concentrações de  $\text{NO}_2$  variaram entre <LD-3200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de  $\text{SO}_2$  entre <LD-9400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , de CO entre <LD-361000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  e de COVs entre <LD-110000  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

A título de exemplo, as Figuras 4 e 5 mostram as concentrações de  $PM_{2.5}$  e de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO e COVs monitorizadas durante um dos fogos controlados realizado no sul do distrito de Viseu em 2023.

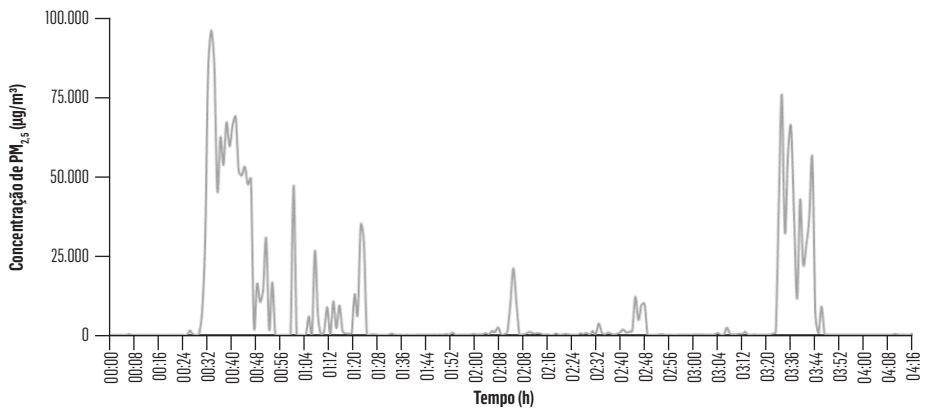


Figura 4 | Concentração média horária de  $PM_{2.5}$  monitorizadas no sul do distrito, durante um fogo controlado em 2023.

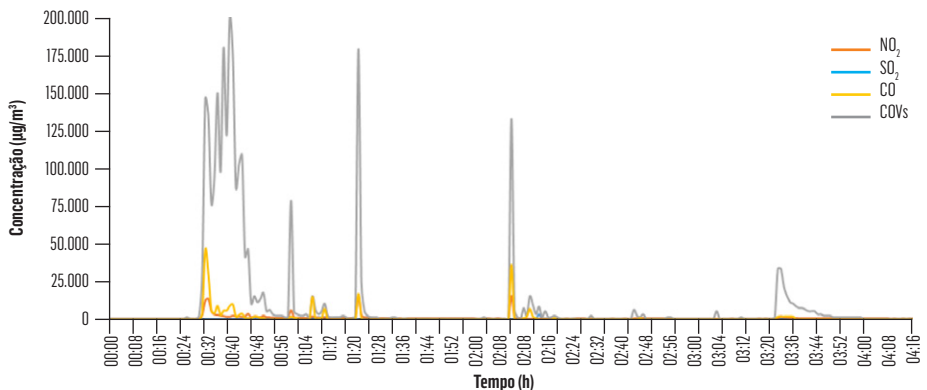
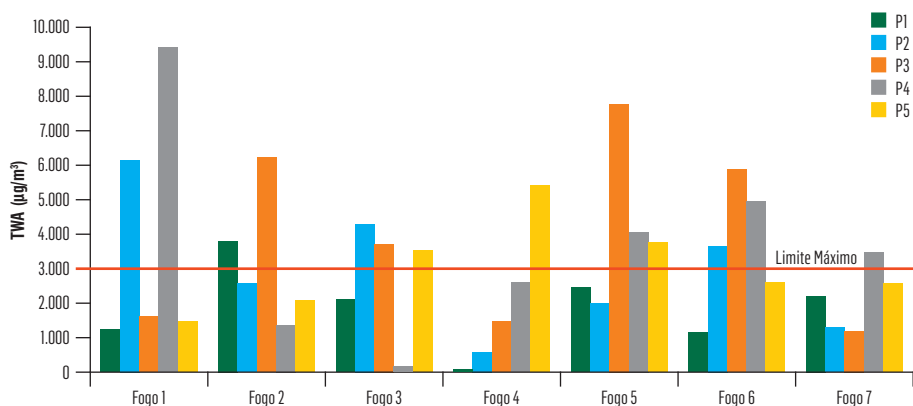


Figura 5 | Concentração média horária de  $\text{NO}_2$ ,  $\text{SO}_2$ , CO e COVs monitorizada no sul do distrito, durante um fogo controlado em 2023.

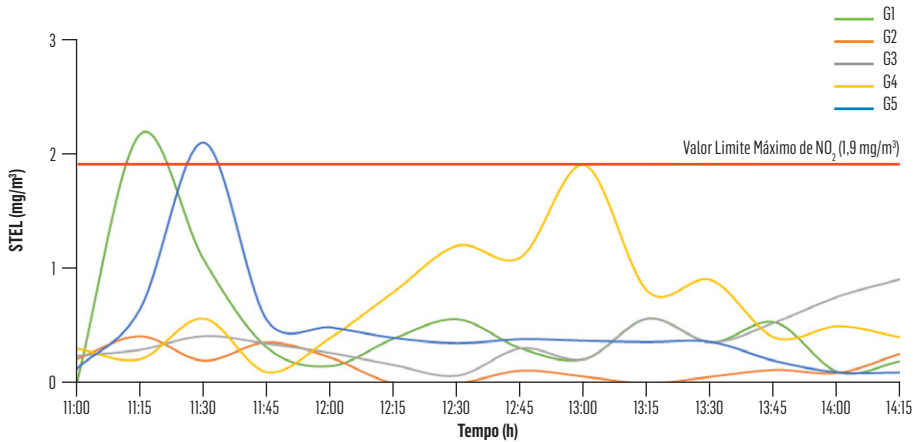
Para avaliar a proteção da saúde dos trabalhadores, os valores de exposição dos bombeiros aos diferentes poluentes emitidos pelo fumo dos incêndios florestais, foram comparados com os valores limite de exposição ocupacional (OEL — Occupational Exposure Limits) descritos na literatura [22]. Estes são valores regulamentados pela União Europeia e indicam os níveis de exposição considerados seguros para saúde, para determinadas substâncias químicas presentes no ar [23]. Os valores obtidos foram comparados com os valores de referência para um dia de trabalho de 8 horas (média ponderada de 8 horas, TWA) e com os valores de limite de exposição de curto prazo (15 minutos) (STEL). Os valores limite de TWA indicam o valor ao qual os trabalhadores podem estar expostos, sem que haja efeitos adversos para a saúde. Os valores de STEL indicam que a exposição não deve ser excedida pelo trabalhador, em nenhum momento, durante um dia de trabalho, mesmo que o valor de TWA medido seja inferior ao TWA legislado. A Figura 6 mostra os valores de TWA para  $PM_{2.5}$  obtidos em cada um dos fogos controlados (Fogo 1 a Fogo 7) e monitorizados com cada um dos equipamentos (P1 a P5). Os resultados evidenciam que os valores legislados foram excedidos 15 vezes (em 35) e que em 5 dessas vezes o valor foi superior ao dobro do TWA.



**Figura 6** | Valores de TWA relativos a  $PM_{2.5}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) obtidos em cada um dos fogos controlados (Fogo 1 a Fogo 7) com cada um dos equipamentos (P1 a P5).

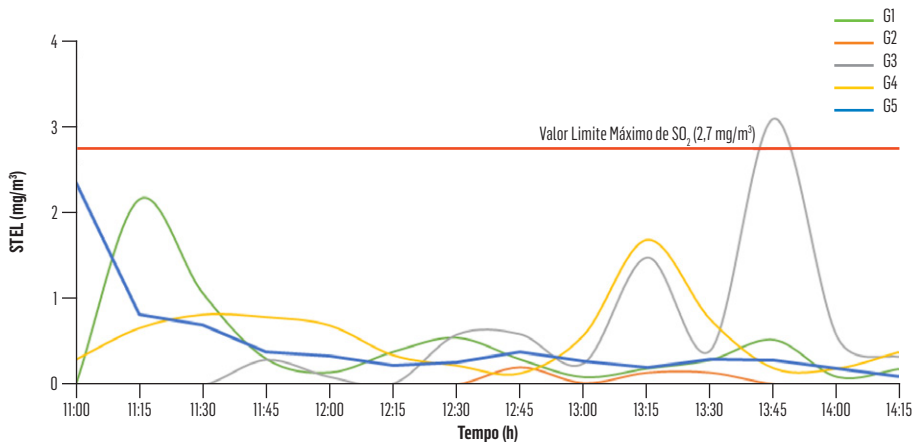
Os valores de exposição de curto prazo (15 minutos), STEL, foram calculados para o  $\text{NO}_2$ , para o  $\text{SO}_2$  e para o CO, para cada um dos fogos e para cada um dos equipamentos. Os resultados indicam que os valores de STEL foram excedidos em 3 bombeiros para o  $\text{NO}_2$  e em 2 bombeiros para o  $\text{SO}_2$ .

Na Figura 7 são mostrados como exemplo os resultados obtidos para o  $\text{NO}_2$  no Fogo controlado 3. Neste fogo é possível verificar que o valor de STEL legislado foi ultrapassado duas vezes, quando os bombeiros desempenhavam funções de pinga-lume e batedor.



**Figura 7** | Valores de STEL relativos a NO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>) obtidos no Fogo controlado 3 com cada um dos equipamentos (G1 a G5).

Na Figura 8, a título de exemplo, são mostrados os resultados obtidos para o SO<sub>2</sub> também no Fogo controlado 3. Neste caso é possível observar que o valor de STEL legislado foi ultrapassado uma vez, quando o bombeiro exercia funções de pinga-lume e baterdor.



**Figura 8** | Valores de STEL relativos a SO<sub>2</sub> (mg/m<sup>3</sup>) obtidos no Fogo controlado 3 com cada um dos equipamentos (G1 a G5).

Apesar de terem sido registadas concentrações muito elevadas, os resultados mostram que os valores de STEL para o CO nunca foram excedidos (exemplo para o Fogo controlado 3 na Figura 9), o que pode estar relacionado com a duração dos fogos controlados analisados. Os valores de STEL para os COVs e PM<sub>2,5</sub> não foram calculados por não existir legislação para estes poluentes.

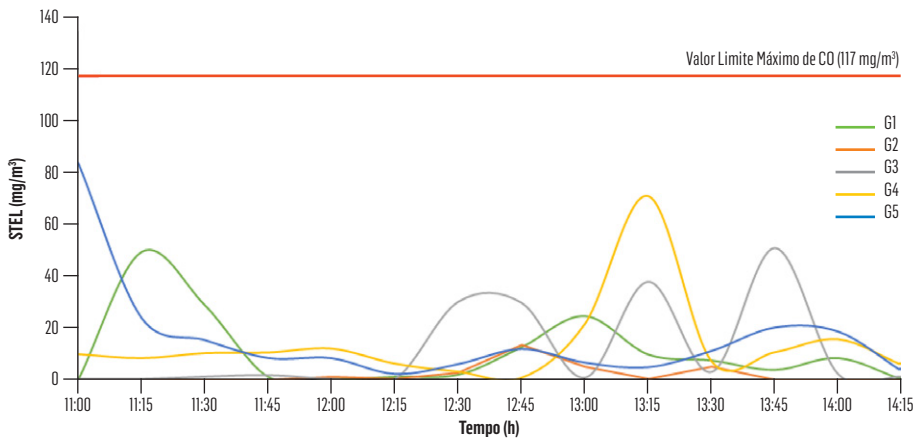


Figura 9 | Valores de STEL relativos a CO (mg/m³) obtidos no Fogo controlado 3 com cada um dos equipamentos (G1 a G5).

Globalmente, os resultados indicam que os bombeiros estão expostos a concentrações elevadas de poluentes nas ações de fogos controlados, e é expectável que no combate aos incêndios florestais estas concentrações possam ainda ser mais elevadas. Os incêndios sendo não controlados, podem ter uma maior dimensão e duração, e conseqüentemente os bombeiros terão um tempo de exposição superior. Assim, é provável que as excedências aos valores legislados sejam superiores colocando em risco a saúde respiratória dos bombeiros.



3







# EFEITOS DA EXPOSIÇÃO OCUPACIONAL

## Capítulo 5

### Efeitos da exposição ocupacional na função pulmonar – Meta-Análise<sup>1</sup>

Embora seja evidente que os bombeiros estão expostos a uma variedade de substâncias nocivas durante o combate a incêndios, e que a exposição ao fumo tem sido associada a uma diminuição da sua função pulmonar, ainda não foi demonstrada a relação entre estes dois fatores. Na tentativa de avaliar as possíveis associações entre a exposição ocupacional de bombeiros e a deterioração da sua função pulmonar, efetuou-se uma comparação dos estudos existentes na literatura.

Alguns estudos evidenciaram que o fumo emitido pelos incêndios pode causar embolia pulmonar, pneumonia, bronquite, DPOC e asma, bem como potenciar as suas exacerbações [21,24]. Algumas doenças pulmonares crônicas, nomeadamente, DPOC, enfisema e bronquite crônica, tendem a aumentar a resistência das vias aéreas ao fluxo aéreo expiratório, levando a variações de FEV<sub>1</sub> (volume expiratório máximo no 1º segundo após uma inspiração) e FVC (capacidade vital forçada) [25]. No entanto, em alguns casos, estas doenças respiratórias crônicas foram associadas à idade do paciente, hábitos tabágicos, ocupação ou distúrbios metabólicos, como diabetes [26,27]. Por outro lado, alguns estudos indicam que os bombeiros têm uma função pulmonar superior à da população em geral e atribuem isso ao "efeito do trabalhador saudável" [28,29]. O "efeito do trabalhador saudável" tem sido associado à redução da morbidade ou da mortalidade de trabalhadores quando são comparados dados de coortes ocupacionais e da população em geral [30,31]. Este efeito surge de serem privilegiados trabalhadores aptos fisicamente no momento da contratação ("contratação saudável"), enquanto que pessoas com problemas de saúde ou com hábitos menos saudáveis e limitações físicas, como peso elevado, consumo de álcool ou tabagismo, são excluídos [32]. Por outro lado, se o estado de saúde de um trabalhador saudável piora, existe uma grande possibilidade deste deixar a atividade profissional. Vários estudos reportaram que na Austrália o processo de seleção para se tornar bombeiro é bastante exigente, e inclui uma avaliação rigorosa do estado de saúde, aptidão física e psicológica dos candidatos e, uma vez aceites, os indivíduos selecionados têm de realizar exames médicos com regularidade. Além disso, se não forem suficientemente saudáveis e aptos, são excluídos e não podem prosseguir a sua carreira de bombeiro [33,34].

<sup>1</sup> Adaptado de Joana V. Barbosa, Mariana Farraia, Pedro T. B. S. Branco, Maria C. M. Alvim-Ferraz, Fernando G. Martins, Isabella Annesi-Maesano, Sofia I.V. Sousa, "The Effect of Fire Smoke Exposure on Firefighters' Lung Function: A Meta-Analysis", (Review) Int. J. Environ. Res. Public Health, 19 (24) 16799, 2022. doi: 10.3390/ijerph192416799 [66]



A maioria dos estudos que relacionam a exposição dos bombeiros ao fumo dos incêndios com a saúde descreve incêndios urbanos, principalmente relacionados com o colapso do *World Trade Center* (WTC) a 11 de setembro de 2001 [35,36], enquanto outros estão relacionados com incêndios florestais controlados [37,38] ou não [39,40]. Ainda assim, são poucos os estudos que correlacionam este tipo de incêndios com a função pulmonar dos bombeiros.

Na Tabela 3 encontra-se a lista dos estudos selecionados<sup>2</sup> para a realização de uma meta-análise e estão resumidas as suas principais características. Foram identificados 24 estudos, que foram divididos em “florestais” (9 estudos) e em “outros/incêndios urbanos” (15 estudos). Todos os estudos foram publicados nos últimos 31 anos, mas a maioria entre 2007 e 2018 (15 estudos, 71%). Os estudos foram realizados na Europa (11), Estados Unidos da América (10), Austrália (2) e Ásia (1). A idade dos participantes variou entre 20 e 30 anos (30%), 31 e 40 anos (35%) e acima de 41 anos (35%), e os participantes eram todos profissionais, excluindo os de Portugal [41], que também incluiu voluntários. Considerando os hábitos tabágicos, cerca de metade dos estudos incluiu participantes fumadores (48%) e os restantes (52%) avaliaram participantes não fumadores.

<sup>2</sup> Os estudos selecionados foram pesquisados em quatro bases de dados: *PubMed*, *Web of Science*, *Scopus* e *Science Direct*, em março de 2021. Os duplicados foram removidos. Apenas estudos de coorte ou caso-controlo, que avaliaram especificamente a função pulmonar e reportaram valores de FEV<sub>1</sub> e FVC foram incluídos. Os critérios de exclusão aplicados foram: (i) estudos não relacionados com a função pulmonar; (ii) estudos não referentes a bombeiros; (iii) estudos não relacionado com a exposição a incêndios; (iv) estudos sem valores de FEV<sub>1</sub> ou FVC; (v) sobreposição de população de estudo; e (vi) estudos publicados em livros/capítulos de livros, revisões, livros didáticos e relatórios.

**Tabela 3** | Principais características dos estudos incluídos na meta-análise.

| Estudo                     | Design                 | Local            | Tamanho da amostra | Idade média dos participantes (anos) | Objetivo principal  |
|----------------------------|------------------------|------------------|--------------------|--------------------------------------|---|
| <b>Florestais</b>          |                        |                  |                    |                                      |   |
| Almeida et al., 2007[41]   | <i>cross sectional</i> | Portugal         | 203                | 37,5                                 | Avaliar a função pulmonar de bombeiros ativos.  |
| Gaughan et al., 2008 [39]  | <i>cross-shift</i>     | EUA              | 58                 | 26,0                                 | Avaliar os efeitos respiratórios agudos manifestados pelos bombeiros.   |
| Gaughan et al., 2014[42]   | <i>cross-shift</i>     | EUA              | 17                 | 26,0                                 | Caracterizar a exposição dos bombeiros e avaliar o seu efeito nas alterações da função pulmonar.                                      |
| Gaughan et al., 2014[43]   | <i>cross sectional</i> | EUA              | 38                 | 29,0                                 | Avaliar a associação entre a exposição, o stress oxidativo, a função cardiorrespiratória e a manifestação de sintomas em bombeiros.   |
| Gianniou et al., 2018[44]  | <i>cross season</i>    | Grécia           | 60                 | 32,4                                 | Avaliar a saúde respiratória de bombeiros após exposição aguda ao fumo dos incêndios florestais.                                      |
| Jacquin et al., 2011[45]   | <i>cross season</i>    | Córsega, França  | 108                | 24,7                                 | Avaliar o declínio agudo da função pulmonar em bombeiros e a sua persistência após uma época de incêndios.                            |
| Rothman et al., 1991[46]   | <i>cross season</i>    | EUA              | 52                 | 26,0                                 | Avaliar os efeitos do combate a incêndios no fluxo expiratório forçado e na manifestação de sintomas respiratórios.                   |
| Serra et al., 1996[47]     | <i>cross sectional</i> | Sardenha, Itália | 92                 | 40,9                                 | Comparar a função respiratória de bombeiros com um grupo de controlo.   |
| Slaughter et al., 2004[48] | <i>cross-shift</i>     | EUA              | 65                 | 29,0                                 | Efeitos da exposição a curto prazo a poluentes de fumo de incêndios florestais na função pulmonar de bombeiros, em fogos controlados. |



Tabela 3 (cont.)

| Estudo                    | Design                 | Local         | Tamanho da amostra | Idade média dos participantes (anos) | Objetivo principal   |
|---------------------------|------------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|--|
| <b>Outros / Urbanos</b>   |                        |               |                    |                                      |  |
| Andersen et al., 2017[49] | <i>cross-shift</i>     | Dinamarca     | 53                 | 21,4                                 | Investigar o efeito das atividades dos bombeiros na função pulmonar, na inflamação sistêmica e no DNA.   |
| Andersen et al., 2018[50] | <i>cross-shift</i>     | Dinamarca     | 22                 | 51,7                                 | Investigar a exposição a PAHs, função pulmonar, inflamação sistêmica e deterioração do DNA de bombeiros após um dia de trabalho.   |
| Burgess et al., 2003[51]  | <i>cross sectional</i> | EUA           | 105                | 39,8                                 | Avaliar os biomarcadores de lesão pulmonar decorrente da exposição ocupacional ao fumo, comparando diferenças entre bombeiros e policiais.   |
| Gaughan et al., 2014[52]  | <i>cross sectional</i> | EUA           | 401                | 36,0                                 | Avaliar a associação entre marcadores de inflamação sistêmica e a função pulmonar em bombeiros.  |
| Giannou et al., 2016[53]  | <i>cross sectional</i> | Grécia        | 92                 | 30,0                                 | Caracterizar a inflamação das vias aéreas de bombeiros com exposição ocupacional máxima de 1 ano (estagiários) em comparação com a exposição de bombeiros profissionais a longo prazo. |
| Greven et al., 2011[54]   | <i>cross sectional</i> | Países Baixos | 402                | 41,3                                 | Determinar as associações entre a função pulmonar e hiperreatividade brônquica dos bombeiros, com a exposição ao fumo dos incêndios.   |
| Greven et al., 2011[55]   | <i>cross-shift</i>     | Países Baixos | 43                 | 39,1                                 | Determinar as associações entre as respostas inflamatórias respiratórias agudas, as alterações na hiperreatividade brônquica e a exposição ao fogo em bombeiros.                       |



Tabela 3 (cont.)

| Estudo                         | Design                 | Local         | Tamanho da amostra | Idade média dos participantes (anos) | Objetivo principal  |
|--------------------------------|------------------------|---------------|--------------------|--------------------------------------|---|
| <b>Outros / Urbanos</b>        |                        |               |                    |                                      |   |
| Gu et al., 1996[56]            | <i>cross sectional</i> | Taipé, Taiwan | 149                | NA                                   | Avaliar os riscos na saúde dos bombeiros após o combate a um incêndio com duração de 40 horas.  |
| Hnizdo et al., 2011[57]        | <i>cross sectional</i> | EUA           | 2043               | 39,2                                 | Avaliar o impacto da intervenção exata e precisa das medidas da função pulmonar e a sua taxa estimada de declínio.  |
| Large et al., 1990[58]         | <i>cross sectional</i> | EUA           | 60                 | 42,0                                 | Avaliar se os bombeiros manifestaram uma mudança significativa nos valores espirométricos após a exposição ao fumo de um incêndio.  |
| Miedinger et al., 2007[59]     | <i>cross sectional</i> | Suíça         | 101                | 41,0                                 | Avaliar a saúde respiratória dos bombeiros profissionais.   |
| Mustajbegovic et al., 2001[60] | <i>cross sectional</i> | Croácia       | 128                | 37,0                                 | Determinar a prevalência de doença respiratória crônica (não-específica) e de outras disfunções pulmonares em bombeiros.  |
| Shermer et al., 2010[33]       | <i>cross sectional</i> | Austrália     | 488                | 43,8                                 | Analisar se o uso de oscilometria de impulso deteta alterações respiratórias que não foram detetadas durante a triagem de rotina com espirometria.  |
| Schermer et al., 2014[34]      | <i>cross sectional</i> | Austrália     | 570                | 46,6                                 | Avaliar a prevalência de doenças respiratórias crônicas e analisar a associação entre a exposição ocupacional e o uso de dispositivos de proteção respiratória na saúde de bombeiros com e sem doenças respiratórias crônicas pré-diagnosticadas. |
| Slattery et al., 2017[61]      | <i>cross sectional</i> | EUA           | 212                | 46,4                                 | Avaliar a validade do uso das equações da Global Lung Function Initiative (GLI) de 2012 para interpretar os dados da função pulmonar.   |

A Tabela 4 resume os resultados obtidos na análise agrupada<sup>3</sup>. Os valores médios de FEV<sub>1</sub> previsto variaram entre 82,94% e 113,39%. O valor médio global de FEV<sub>1</sub> previsto para os 24 estudos foi de 99,23% (IC 95%: 94,65–103,80%), com uma heterogeneidade de I<sup>2</sup> = 100%.

Por outro lado, os valores médios de FVC previstos variaram entre 83,68% e 121,76%. O valor médio global de FVC previsto foi de 103,08% (IC 95%: 99,83–106,32%), com uma heterogeneidade de I<sup>2</sup> = 99%.

Os resultados desta análise foram obtidos a partir de 24 estudos realizados ao longo de 31 anos, incluindo estudos com designs distintos, em diversos países e considerando diferentes tipos de incêndios e bombeiros de diferentes idades e com diferentes hábitos tabágicos.

<sup>3</sup> A meta-análise dos valores da função pulmonar foi realizada usando o método *generic inverse variance* no software R versão 3.6.1 (*R Foundation for Statistical Computing*, 2019), com o *meta package* [36]. A heterogeneidade entre os estudos foi avaliada usando a estatística I<sup>2</sup> quadrado (I<sup>2</sup>), Tau quadrado (τ<sup>2</sup>) e o teste qui-quadrado padrão (χ<sup>2</sup>). Os sub-grupos usados foram: ano da publicação, local do estudo, idade dos participantes, hábitos tabágicos ou tipo de incêndio.

Os resultados mostraram uma grande variabilidade nos valores médios previstos de FEV<sub>1</sub> e FVC. Além disso, nenhuma diferença estatisticamente significativa foi observada na média dos valores de FEV<sub>1</sub> em bombeiros (99,23%; IC 95%: 94,65–103,80%). Estes valores impediram obter conclusões definitivas sobre o impacto da exposição ao combate a incêndios na função pulmonar. Vários fatores podem ter contribuído para este resultado, nomeadamente as metodologias aplicadas, os equipamentos utilizados nas medições, as equações de referência utilizadas para as espirometrias (*Global Lung function Initiative* - 2012), as diferenças nas estratégias de recrutamento de bombeiros (de acordo com cada país) ou o ano de publicação do estudo, levando a uma inadequada comparação entre estudos. Ainda assim, a análise de subgrupo permitiu interpretações relevantes.

Em relação ao ano de publicação, verificou-se um aumento da função pulmonar dos bombeiros ao longo dos anos (em ambos os valores previstos de FEV<sub>1</sub> e FVC), embora sem significado estatístico. Relativamente à localização, com a exceção do estudo australiano, e embora as diferenças não sejam estatisticamente significativas, foram registados valores médios de FEV<sub>1</sub> previstos baixos (105,19%; IC 95%: 91,29–119,08%). Embora fumar seja um fator confundidor significativo, verificou-se uma ligeira redução dos valores médios de FEV<sub>1</sub> previstos dos bombeiros fumadores em comparação com os bombeiros não fumadores. A análise de grupos foi incapaz de demonstrar uma diferença significativa dos valores médios de FEV<sub>1</sub> previstos entre fogos florestais e urbanos. Embora esta análise tenha incluído 5562 participantes, apenas 693 eram bombeiros dedicados a incêndios florestais, o que provavelmente pode ter contribuído para superestimar os resultados obtidos. Por exemplo, os estudos da América do Norte avaliaram a função pulmonar de bombeiros que participaram em operações de resgate do WTC.

O colapso do WTC gerou um elevado nível de poluição, incluindo concentrações extremamente elevadas de PM, expondo a população a poluentes físicos e químicos extremamente perigosos [62]. Após o 11 de Setembro, as populações expostas à poluição do WTC, incluindo bombeiros, mostraram uma redução da sua função pulmonar, o que pode ter contribuído para mascarar os resultados obtidos [63]. Por outro lado, o "efeito do trabalhador saudável" e/ou os critérios de seleção a que os bombeiros estão sujeitos para ingressar na carreira, pode ter contribuído para este resultado.

**Tabela 4** | Resultados detalhados dos parâmetros de FEV<sub>1</sub> e FVC previstos obtidos na análise.

| Análise agrupada         |             |                                 |                    |             |                         |                    |
|--------------------------|-------------|---------------------------------|--------------------|-------------|-------------------------|--------------------|
|                          | N (Estudos) | Valores de FEV <sub>1</sub> (%) |                    | N (Estudos) | Valores de FVC (%)      |                    |
|                          |             | Média agrupada (95% CI)         | Sub-grupo, valor-p |             | Média agrupada (95% CI) | Sub-grupo, valor-p |
| <b>Total</b>             | 24          | 99,23 (94,65; 103,80)           | -                  | 23          | 103,08 (99,83; 106,32)  | -                  |
| <b>Sub-grupo</b>         |             |                                 |                    |             |                         |                    |
| <b>Ano de publicação</b> |             |                                 |                    |             |                         |                    |
| Antes de 1996            | 4           | 95,29 (90,11; 100,47)           | 0,07               | 4           | 98,10 (91,83; 104,37)   | 0,01               |
| Entre 1997–2006          | 3           | 96,40 (94,60; 98,20)            |                    | 3           | 99,85 (94,29; 101,40)   |                    |
| Entre 2007-2013          | 8           | 96,82 (89,82; 104,03)           |                    | 8           | 103,74 (101,23; 106,25) |                    |
| Depois de 2014           | 9           | 103,34 (98,41; 108,28)          |                    | 9           | 106,81 (100,03; 113,59) |                    |
| <b>Local</b>             |             |                                 |                    |             |                         |                    |
| Europa                   | 11          | 98,11 (91,81; 104,40)           | 0,01               | 11          | 102,65 (98,92; 106,39)  | 0,63               |
| América do Norte         | 10          | 99,18 (96,47; 95,08)            |                    | 10          | 101,60 (97,46; 105,74)  |                    |
| Ásia                     | 1           | 93,20 (91,32; 95,08)            |                    | 1           | 103,90 (101,78; 106,02) |                    |
| Austrália                | 2           | 105,19 (91,29; 119,08)          |                    | 2           | 111,10 (92,28; 129,91)  |                    |
| <b>Idade</b>             |             |                                 |                    |             |                         |                    |
| 20-30                    | 7           | 97,33 (90,76; 103,90)           | 0,49               | 7           | 100,24 (96,11; 104,38)  | 0,39               |
| 31-40                    | 8           | 98,04 (90,30; 105,77)           |                    | 8           | 103,51 (100,89; 106,13) |                    |
| Mais de 40               | 8           | 101,95 (96,92; 106,97)          |                    | 8           | 104,12 (100,89; 106,13) |                    |
| <b>Hábitos tabágicos</b> |             |                                 |                    |             |                         |                    |
| Não-fumador              | 12          | 101,28 (97,59; 104,96)          | 0,23               | 12          | 104,07 (99,09; 109,05)  | 0,47               |
| Fumador                  | 11          | 97,03 (91,09; 102,98)           |                    | 15          | 101,67 (97,73; 105,94)  |                    |
| <b>Tipo de fogo</b>      |             |                                 |                    |             |                         |                    |
| Florestal                | 9           | 97,64 (91,45; 103,82)           | 0,55               | 9           | 102,34 (98,29; 106,39)  | 0,74               |
| Outros/ Urbano           | 15          | 99,71 (96,75; 102,67)           |                    | 15          | 103,30 (99,45; 107,15)  |                    |

FEV<sub>1</sub> - volume expiratório máximo no 1º segundo após uma inspiração; FVC - capacidade vital forçada.

Embora existam algumas limitações, as conclusões deste estudo são de extrema importância porque destacam a necessidade de haver mais estudos que avaliem a função pulmonar dos bombeiros, especialmente dos que combatem incêndios florestais. Desta forma, será possível perceber os impactos do fumo na saúde dos bombeiros, que ainda são desconhecidos, e desenvolver estratégias para proteger a sua saúde.

## Capítulo 6

### Saúde respiratória dos bombeiros

Após aprovação por parte da Comissão de Ética do CHUSJ, foram selecionados os locais e a população de estudo. Das 33 corporações de bombeiros do distrito de Viseu contactadas, 13 aceitaram participar no estudo (Tabela 5). Os participantes foram selecionados de forma a incluir bombeiros expostos e não-expostos ao fumo dos incêndios florestais, tanto profissionais como voluntários. No total participaram 249 bombeiros.

**Tabela 5** | Corporações e número de participantes no estudo.

| Nome da Corporação                          | Nº de participantes |
|---|---------------------|
| Bombeiros Voluntários de Cabanas de Viriato | 41                  |
| Bombeiros Voluntários de Canas de Senhorim  | 30                  |
| Bombeiros Voluntários de Carregal do Sal    | 24                  |
| Bombeiros Voluntários de Moimenta da Beira  | 24                  |
| Bombeiros Voluntários de Nelas              | 12                  |
| Bombeiros Voluntários de Nespereira         | 4                   |
| Bombeiros Voluntários de Oliveira de Frades | 27                  |
| Bombeiros Voluntários de Penedono           | 8                   |
| Bombeiros Voluntários de S. Pedro do Sul    | 14                  |
| Bombeiros Voluntários de Tabuaço            | 28                  |
| Bombeiros Voluntários de Tondela            | 20                  |
| Bombeiros Voluntários de Vila Nova de Paiva | 8                   |
| Bombeiros Voluntários de Vouzela            | 9                   |
| <b>TOTAL</b>                                | <b>249</b>          |

Na Tabela 6 está resumida a caracterização da população estudada. Todos os participantes, foram contactados, nas épocas de pré e pós-incêndio de 2021 e 2022, no sentido de preencherem os questionários previamente validados que avaliaram os sintomas de saúde respiratória e incluíram questões relativas à educação, estatuto socioeconómico, exposição ao fumo do tabaco, hábitos alimentares, alergias e outras doenças pré-diagnosticadas, e tempo passado no interior e exterior.



Com base nos resultados dos questionários pré-época de incêndio (Tabela 6) verificou-se que cerca de 13% dos bombeiros estudados apresenta alguma doença respiratória (asma, DPOC, bronquite crônica, tuberculose, pneumonia, outra) e cerca de 27% apresenta sintomas respiratórios como, tosse, expetoração e falta de ar. De acordo com as mais recentes diretrizes da *Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease* [64] para DPOC, os indivíduos com pelo menos um dos sintomas como tosse, falta de ar e expetoração devem realizar testes de diagnóstico para a DPOC. Os bombeiros que possuem frequente e continuada exposição ao fumo dos incêndios sendo uma população de risco, deveriam seguir esta recomendação para um diagnóstico o mais precoce possível.

**Tabela 6** | Caracterização da população em estudo (N=249) com base nos questionários de pré-época de incêndios.

|                                  | N   | %    |
|----------------------------------|-----|------|
| <b>Género</b>                    |     |      |
| Feminino                         | 57  | 22,9 |
| Masculino                        | 192 | 77,1 |
| <b>Idade</b>                     |     |      |
| <20                              | 8   | 3,2  |
| 20-30                            | 76  | 30,5 |
| 31-40                            | 68  | 27,3 |
| >40                              | 97  | 39,0 |
| <b>IMC</b>                       |     |      |
| Baixo peso                       | 1   | 0,4  |
| Normal                           | 82  | 32,9 |
| Excesso Peso                     | 115 | 46,2 |
| Obesidade                        | 51  | 20,5 |
| <b>Tabagismo</b>                 |     |      |
| Fumador                          | 95  | 38,2 |
| Não Fumador                      | 119 | 47,8 |
| Ex-Fumador                       | 35  | 14,1 |
| <b>Alergias respiratórias</b>    | 48  | 19,3 |
| <b>História familiar de asma</b> |     |      |
| Pais com asma                    | 18  | 7,2  |
| Pais sem asma                    | 229 | 92,0 |
| Não sabe                         | 2   | 0,8  |
| <b>História familiar de DPOC</b> |     |      |
| Pais com DPOC                    | 2   | 0,8  |
| Pais sem DPOC                    | 245 | 98,4 |
| Não sabe                         | 2   | 0,8  |

|  | N    | %    |
|--|------|------|
| <b>Asma diagnosticada na infância</b>                  | 9    | 3,6  |
| <b>Pieira</b>  | 10   | 4,0  |
| <b>Expetoração na maioria dos dias</b>                 | 36   | 14,5 |
| <b>Efetou espirometria</b>                             | 88   | 35,3 |
| <b>Doença respiratória diagnosticada (previamente)</b> |      |      |
| Asma   | 10   | 4,0  |
| DPOC   | 1    | 0,4  |
| Bronquite crônica                                      | 6    | 2,4  |
| Tuberculose  | 3    | 1,2  |
| Pneumonia  | 5    | 2,0  |
| Outra  | 8    | 3,2  |
| <b>Doença crónica diagnosticada (previamente)</b>      |      |      |
| Colesterol   | 26   | 10,4 |
| Diabetes   | 5    | 2,0  |
| Hipertensão  | 6    | 2,4  |
| Doença cardíaca/coronária                              | 3    | 1,2  |
| Outra  | 6    | 2,4  |
| <b>Falta de ar frequente</b>                           | 9    | 3,6  |
| <b>Cansaço relativamente a colegas da mesma idade</b>  | 50   | 20,1 |
| <b>Tosse na maioria dos dias</b>                       | 23   | 9,2  |
| <b>Expostos ao fumo de incêndios florestais</b>        |      |      |
| Bombeiros profissionais                                | 114  | 109  |
| Bombeiros voluntários                                  | 51,1 | 48,9 |

Nota: IMC - Índice de massa corporal

A população estudada registou uma prevalência de asma, de DPOC, de bronquite crónica, de tuberculose e de pneumonia (previamente diagnosticadas) de 4%, 1%, 3,2%, 1,2% e 2%, respetivamente, valores que estão abaixo da média da população geral em Portugal.

Na Tabela 7 estão resumidas algumas das respostas ao questionário da pós-época de incêndio efetuadas aos bombeiros que combateram incêndios florestais (cerca de 75% da população em estudo, N=186). Com base nos resultados destes questionários verificou-se que cerca de metade dos bombeiros esteve presente em menos de 5 incêndios.

Relativamente às queixas respiratórias após o combate, apenas 15% indicou sentir dificuldades respiratórias, e destes apenas 1% revelaram que as mesmas demoram mais de 24 horas a desaparecer. É de salientar que todos os bombeiros que participam no combate a incêndios florestais indicam que usam os equipamentos de proteção individual (EPI), nomeadamente, óculos, cogula, luvas e capacete.

**Tabela 7** | Caracterização da população em estudo (N=186) com base nos questionários de pós-época de incêndios.

|  | %   |  | %   |
|--|-----|--|-----|
| <b>Nº de Incêndios</b>                                 |     | <b>Alimentação adequada ao esforço (pré-combate)</b> | 0   |
| <5   | 49  | Não  | 29  |
| 5-10   | 22  | Nem sempre   | 71  |
| >10  | 9   | <b>Cinzas agarradas à farda</b>                      | 100 |
| não sei  | 4   | <b>Tempo para retirar a farda</b>                    |     |
| <b>Sintoma/queixa respiratória após combate</b>        | 15  | <1h  | 22  |
| <b>Sintomas terminam ao fim de</b>                     |     | >1h  | 78  |
| < 1h   | 81  | <b>Limpeza da farda</b>                              |     |
| >8h  | 18  | Pelo próprio   | 53  |
| >24h   | 1   |  |     |
| <b>Uso de equipamento de proteção individual (EPI)</b> | 100 |  |     |
| <b>Cansaço após combate</b>                            | 54  |  |     |

Cerca de 54% assumiu sentir-se cansado após o esforço a que são sujeitos durante o combate a incêndios florestais. Aproximadamente 71% disse não conseguir fazer na maioria das vezes uma alimentação adequada antes de ir para o combate, enquanto 29% assumiu não fazer uma alimentação adequada. Foi possível ainda perceber que, na sua maioria, os bombeiros não reportam queixas respiratórias graves (visita ao médico por queixas respiratórias e uso de inaladores/medicamentos para respirar melhor).

4





## CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

## Capítulo 7

### Conclusões

O projeto ArRiscO procurou aumentar o conhecimento sobre os efeitos do fumo dos incêndios florestais na saúde respiratória dos bombeiros.

Globalmente, os resultados comprovam que os bombeiros estão expostos a concentrações de poluentes atmosféricos extremamente elevadas durante o combate aos incêndios florestais, tendo sido observadas várias excedências aos valores limite de exposição ocupacional. A exposição a poluentes nocivos, que no caso concreto dos bombeiros ocorre com frequência e de forma continuada, contribui para a degradação da sua saúde respiratória.

Apesar de ultrapassados várias vezes os limites de exposição ocupacional, é importante referir que dada a natureza específica do trabalho dos bombeiros, e ainda as estimativas de que os fogos florestais irão aumentar em 50% até 2100 [65], deveria haver uma legislação própria que considerasse de forma específica o tempo a que podem estar expostos enquanto estão em combate.

No estudo participaram 249 bombeiros, de 13 corporações do distrito de Viseu, 123 profissionais, 126 voluntários, sendo a maioria bombeiros expostos ao fumo (226). Com base nos questionários de pré-época de incêndio verificou-se que cerca de 13% dos bombeiros apresenta alguma doença respiratória (asma, DPOC, bronquite crónica, tuberculose, pneumonia, outra) e que cerca de 27% apresenta sintomas respiratórios como, tosse, expetoração e falta de ar. A presença destes sintomas pode indicar a presença de doença respiratória crónica.

Relativamente às queixas respiratórias após o combate aos incêndios florestais, apenas 15% indicou sentir dificuldades respiratórias, no entanto 54% assumiu sentir-se cansado.

Embora existam algumas limitações, as conclusões deste estudo são de extrema importância, uma vez que evidenciam que estes profissionais estão expostos a níveis muito elevados de poluentes atmosféricos nocivos, e revelam ainda a necessidade de haver mais estudos que avaliem a função pulmonar dos bombeiros. Desta forma, será possível compreender os impactos do fumo na saúde dos bombeiros e desenvolver estratégias eficazes para proteger a sua saúde durante as operações de combate aos incêndios florestais.



No futuro seria importante:

- ▶ Realizar estudos longitudinais para investigar os efeitos a longo prazo da exposição à poluição atmosférica entre os bombeiros, incluindo o risco de desenvolver doenças respiratórias crônicas e outras condições de saúde.
- ▶ Investigar a eficácia de diferentes tipos de equipamento de proteção respiratória, tais como diferentes tipos de respiradores, na redução da exposição a poluentes atmosféricos durante as operações de combate a incêndios florestais.
- ▶ Desenvolver e avaliar novas tecnologias e estratégias para reduzir a exposição à poluição do ar durante as operações de combate a incêndios, tais como sistemas de purificação do ar, e avaliar a sua eficácia na proteção da saúde respiratória dos bombeiros.
- ▶ Investigar o impacto dos diferentes tipos de incêndios florestais nos níveis de poluição atmosférica e os riscos associados para a saúde dos bombeiros, incluindo incêndios florestais e fogos controlados.
- ▶ Avaliar a interação entre a exposição à poluição atmosférica e outros riscos profissionais enfrentados pelos bombeiros, tais como o stress térmico e o esforço físico, e o seu impacto combinado na saúde e bem-estar dos bombeiros, assim como o impacto de fatores individuais tais como idade, sexo, e condições de saúde subjacentes.



## Capítulo 8

### Recomendações

#### Proteção da saúde respiratória dos bombeiros durante as operações de combate a incêndios

Reduzir a exposição dos bombeiros à poluição do ar durante o combate aos incêndios rurais é fundamental para proteger a sua saúde. Com base nos resultados do projeto ArRiscO, sugerem-se as seguintes medidas para ajudar a minimizar a sua exposição:

1. **Usar equipamento de proteção individual (EPI) adequado** e de elevada qualidade para filtrar fumo e partículas perigosas emitidas pelos incêndios florestais, incluindo respiradores e óculos de proteção com manutenção regular.
2. **Monitorizar a exposição** à poluição do ar durante o combate pode ajudar os bombeiros a minimizar o tempo de exposição. A atualização de dados em tempo real permite uma melhor gestão da rotatividade dos bombeiros durante o combate.
3. Promover a **rotatividade do pessoal** para reduzir o risco de exposição prolongada.
4. Providenciar **pausas para descanso regular** em áreas com ar limpo que possam ajudar os bombeiros a recuperar dos efeitos da exposição ao fumo.
5. **Realizar exames médicos regularmente**, nomeadamente exames respiratórios, para identificar precocemente quaisquer problemas de saúde causados pela exposição ao fumo.
6. **Treinar os bombeiros**, profissionais e voluntários, para a identificação dos riscos da exposição ao fumo dos incêndios florestais e das medidas de prevenção e minimização da exposição e seus efeitos adversos na saúde. Recomenda-se que estas matérias façam parte, tanto quanto possível, da formação inicial e da formação contínua de todos os bombeiros.

## Melhorar as normas de saúde e segurança no trabalho

Com base nos resultados do projeto ArRiscO e outros estudos sobre a exposição dos bombeiros à poluição atmosférica durante as operações de combate a incêndios, recomendam-se as seguintes diretrizes para melhorar as normas de saúde e segurança no trabalho dos bombeiros:

1. Desenvolver e aplicar regulamentos e diretrizes específicos para proteger a saúde respiratória dos bombeiros durante as operações de combate a incêndios, com enfoque na redução da exposição a poluentes perigosos do ar, tais como  $PM_{2,5}$ ,  $NO_2$  e  $SO_2$  e CO.
2. Proporcionar formação e educação abrangente e regular aos bombeiros sobre os riscos da exposição à poluição atmosférica e sobre os métodos mais eficazes para minimizar a exposição, incluindo a utilização adequada de equipamento de proteção pessoal (EPI).
3. Assegurar que os bombeiros tenham acesso a equipamento de proteção respiratória (EPI) de alta qualidade, incluindo respiradores adequados com a devida manutenção.
4. Realizar um controlo e vigilância regular da saúde dos bombeiros para identificar sinais precoces de problemas de saúde respiratória e fornecer tratamento e apoio médico atempado.
5. Investir na investigação para melhor compreender a exposição e os seus efeitos na saúde dos bombeiros, e investir na investigação e desenvolvimento de novas tecnologias e estratégias para reduzir a exposição à poluição do ar durante as operações de combate a incêndios, incluindo sistemas de purificação do ar.
6. Promover a colaboração e a partilha de informação entre bombeiros, investigadores, decisores políticos e outras partes interessadas para promover as melhores práticas e soluções inovadoras para proteger a saúde e o bem-estar dos bombeiros.

Espera-se que a implementação destas orientações permita melhorar as normas de saúde e segurança no trabalho dos bombeiros que estão empenhados no combate aos incêndios florestais e outras situações de emergência, assegurando a sua proteção contra os efeitos potencialmente perigosos da exposição à poluição atmosférica.

## Referências bibliográficas

1. Fann N, Alman B, Broome RA, Morgan GG, Johnston FH, Pouliot G, et al. The health impacts and economic value of wildland fire episodes in the U.S.: 2008–2012. *Sci Total Environ*. Elsevier B.V.; 2018;610–611:802–9.
2. Domitrovich JW, Broyles GA, Ottmar RD, Reinhardt TE, Naeher LP, Kleinman MT, et al. Wildland Fire Smoke Health Effects on Wildland Firefighters and the Public. 2017.
3. Reid CE, Brauer M, Johnston FH, Jerrett M, Balmes JR, Elliott CT. Critical Review of Health Impacts of Wildfire Smoke Exposure. *Environ Health Perspect*. 2016;1334:1334–43.
4. Youssouf H, Lioussé C, Roblou L, Assamoi EM, Salonen RO, Maesano C. Quantifying wildfires exposure for investigating health-related effects. *Atmos Environ* [Internet]. Elsevier Ltd.; 2014;97:239–51. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.07.041>
5. Global Initiative for Asthma. Global Strategy for Asthma Management and Prevention [Internet]. Glob. Initiati. Asthma. 2022. p. 225. Available from: <http://www.ginasthma.org>
6. Baur X, Sigsgaard T, Aasen TB, Burge PS, Heederik D, Henneberger P, et al. Guidelines for the management of work-related asthma. *Eur Respir J*. 2012;39:529–45.
7. Clements BW, Casani JAP. Disasters and Public Health: Planning and Response [Internet]. 2nd ed. Elsevier, editor. 2016. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-810980-1.00019-2>
8. Groot E, Caturay A, Khan Y, Copes RAY. A systematic review of the health impacts of occupational exposure to wildland fires. *Int J Occup Med Environ Health* [Internet]. 2019;32:121–40. Available from: <http://www.journalsystem.com/ijomeh/Systematic-review-of-the-health-impacts-of-occupational-exposure-to-wildland-fires,93189,0,2.html>
9. Rappold AG, Reyes J, Pouliot G, Cascio WE, Diaz-Sanchez D. Community Vulnerability to Health Impacts of Wildland Fire Smoke Exposure. *Environ Sci Technol*. 2017;51:6674–82.
10. Baxter CS, Hoffman JD, Knipp MJ, Reponen T, Haynes EN. Exposure of firefighters to particulates and polycyclic aromatic hydrocarbons. *J Occup Environ Hyg*. 2014;11.
11. Vardoulakis S, Jalaludin BB, Morgan GG, Hanigan IC, Johnston FH. Bushfire smoke: urgent need for a national health protection strategy. *Med J Aust*. 2020;212:349–353.e1.
12. Brunekreef B, Holgate ST. Air pollution and health. *Lancet*. 2002;360:1233–42.
13. Monn C. Chapter 4 Exposure assessment of air pollutants: a review on spatial heterogeneity and indoor/outdoor/personal exposure to suspended particulate matter, nitrogen dioxide and ozone. *Dev Environ Sci*. 2001;1:1–32.
14. Branco PTBS, Nunes RAO, Martins FG, Sousa SI V. Children's exposure to indoor air in urban nurseries – Part II: Gaseous pollutants' assessment. *Environ Res* [Internet]. Elsevier; 2015;142:662–70. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.08.026>
15. <https://apambiente.pt/ar-e-ruído/compostos-organicos-volateis-cov>. (accessed 1 March 2023).
16. Sá JP de. Quantificação da Aplicação de Medidas de Mitigação da Poluição do Ar Interior em Infantários e Escolas Primárias [Internet]. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto; 2016. Available from: [file:///C:/Users/User/Downloads/Dissertacao\\_Juliana\\_Sa.pdf](file:///C:/Users/User/Downloads/Dissertacao_Juliana_Sa.pdf)
17. Duan N. Models for human exposure to air pollution. *Environ Int*. 1982;8:305–9.
18. Ott WR. Concepts of human exposure to air pollution. *Environ Int*. 1982;7:179–96.
19. WHO. Air Quality Guidelines -Global Update 2005. World Health Organisation. Copenhagen, Denmark; 2005.
20. Miranda AI, Martins V, Cascão P, Amorim JH, Valente J, Borrego C, et al. Wildland smoke exposure values and exhaled breath indicators in firefighters. *J Toxicol Environ Heal - Part A Curr Issues*. 2012;75:831–43.
21. Adetona O, Reinhardt TE, Domitrovich J, Broyles G, Adetona AM, Kleinman MT, et al. Review of the health effects of wildland fire smoke on wildland firefighters and the public. *Inhal Toxicol*. 2016;28:95–139.
22. NP 1796:2013. Segurança e saúde do trabalho. Valores limite e índices biológicos de exposição profissional a agentes químicos. 2013.
23. <https://echa.europa.eu/pt/oeel>. ECHA. 2023.
24. Wettstein ZS, Hoshiko S, Fahimi J, Harrison RJ, Cascio WE, Rappold AG. Cardiovascular and cerebrovascular emergency department visits associated with wildfire smoke exposure in California in 2015. *J Am Heart Assoc*. 2018;7.
25. Halbeisen FS, Jose A, de Jong C, Nyilas S, Latzin P, Kuehni CE, et al. Spirometric indices in primary ciliary dyskinesia: systematic review and meta-analysis. *ERJ Open Res* [Internet]. 2019;5:00231–2018. Available from: <http://dx.doi.org/10.1183/23120541.00231-2018>
26. Divo MJ, Casanova C, Marin JM, Pinto-Plata VM, De-Torres JP, Zulueta JJ, et al. COPD comorbidities network. *Eur Respir J* [Internet]. 2015;46:640–50. Available from: <http://dx.doi.org/10.1183/09031936.00171614>
27. Raheerion C, Ouaalaya EH, Bernady A, Casteigt J, Nocent-Eijnani C, Falque L, et al. Comorbidities and COPD severity in a clinic-based cohort. *BMC Pulm Med*. *BMC Pulmonary Medicine*; 2018;18:1–10.
28. Slattery F, Johnston K, Paquet C, Bennett H, Crockett A. The long-term rate of change in lung function in urban professional firefighters: A systematic review. *BMC Pulm Med*. *BMC Pulmonary Medicine*; 2018;18:1–20.
29. Schermer TR, Malbon W, Adams R, Morgan M, Smith M, Crockett AJ. Change in lung function over time in male metropolitan firefighters and general population controls: A 3-year follow-up study. *J Occup Health*. 2013;55:267–75.
30. Li CY, Sung FC. A review of the healthy worker effect in occupational epidemiology. *Occup Med (Chic Ill)*. 1999;49:225–9.
31. Shah D. Healthy worker effect phenomenon. *Indian J Occup Environ Med*. 2009;13:77–9.
32. Chowdhury R, Shah D, Payal AR. Healthy Worker Effect Phenomenon: Revisited with Emphasis on Statistical Methods – A Review. *Indian J Occup Int Med*. 2017;23:8–13.
33. Schermer T, Malbon W, Newbury W, Holton C, Smith M, Morgan M, et al. Spirometry and impulse oscillometry (IOS) for detection of respiratory abnormalities in metropolitan firefighters. *Respirology*. 2010;15:975–85.
34. Schermer TR, Malbon W, Morgan M, Smith M, Crockett AJ. Chronic respiratory conditions in a cohort of metropolitan fire-fighters: associations with occupational exposure and quality of life. *Int Arch Occup Env Heal*. 2014;919–28.

35. Berninger A, Webber MP, Weakley J, Gustave J, Zeig-Owens R, Lee R, et al. Quality of life in relation to upper and lower respiratory conditions among retired 9/11-exposed firefighters with pulmonary disability. *Qual Life Res.* 2010;19:1467–76.
36. Soo J, Webber MP, Hall CB, Cohen HW, Schwartz TM, Kelly KJ, et al. Pulmonary function predicting confirmed recovery from lower-respiratory symptoms in world trade center-exposed firefighters, 2001 to 2010. *Chest.* 2012;142:1244–50.
37. Hejl AM, Adetona O, Diaz-Sanchez D, Carter JD, Commodore AA, Rathbun SL, et al. Inflammatory effects of woodsmoke exposure among wildland firefighters working at prescribed burns at the savannah river site, SC. *J Occup Environ Hyg.* 2013;10:173–80.
38. Wu CM, Warren SH, Demarini DM, Song CC, Adetona O. Urinary mutagenicity and oxidative status of wildland firefighters working at prescribed burns in a Midwestern US forest. *Occup Environ Med.* 2020;1–8.
39. Gaughan DM, Cox-Ganser JM, Enright PL, Castellan RM, Wagner GR, Hobbs GR, et al. Acute upper and lower respiratory effects in wildland firefighters. *J Occup Environ Med.* 2008;50:1019–28.
40. Harvey SB, Milligan-Saville JS, Paterson HM, Harkness EL, Marsh AM, Dobson M, et al. The mental health of fire-fighters: An examination of the impact of repeated trauma exposure. *Aust N Z J Psychiatry.* 2016;50:649–58.
41. Almeida AG, Duarte R, Mieiro L, Paiva AC, Rodrigues AM, Almeida MH. Pulmonary function in portuguese firefighters. *Rev Port Pneumol A.* 2007;XIII.
42. Gaughan DM, Piacitelli CA, Chen BT, Law BF, Virji MA, Edwards NT, et al. Exposures and cross-shift lung function declines in wildland firefighters. *J Occup Environ Hyg.* 2014;11:591–603.
43. Gaughan DM, Siegel ÁPD, Hughes MD, Chang C, Law BF, Campbell CR, et al. Arterial Stiffness, Oxidative Stress, and Smoke Exposure in Wildland Firefighters. *Am J Ind Med.* 2014;756:748–56.
44. Gianniou N, Giannakopoulou C-E, Dima E, Kardara M, Katsaounou P, Tsakatikas A, et al. Acute effects of smoke exposure on airway and systemic inflammation in forest firefighters. *J Asthma Allergy.* 2018;Volume 11:81–8.
45. Jacquin L, Michelet P, Brocq FX, Houel JG, Truchet X, Auffray JP, et al. Short-term spirometric changes in wildland firefighters. *Am J Ind Med.* 2011;54:819–25.
46. Rothman N, Ford DP, Baser ME, Hansen JA, O'Toole T, Tockman, Melvyn S Strickland PT. Pulmonary Function and Respiratory Symptoms in Wildland Firefighters. *J Occup Med.* 1991;33:1163–7.
47. Serra A, Mocchi F, Randaccio FS. Pulmonary function in Sardinian fire fighters. *Am J Ind Med.* 1996;30:78–82.
48. Slaughter JC, Koenig JQ, Reinhardt TE. Association between Lung Function and Exposure to Smoke among Firefighters at Prescribed Burns. *J Occup Environ Hyg.* 2004;1:45–9.
49. Andersen MHG, Saber AT, Clausen PA, Pedersen JE, Løhr M, Kermanzadeh A, et al. Association between polycyclic aromatic hydrocarbon exposure and peripheral blood mononuclear cell DNA damage in human volunteers during fire extinction exercises. *Mutagenesis.* 2017;33:105–15.
50. Andersen MHG, Saber AT, Pedersen JE, Pedersen PBB, Clausen PA, Løhr M, et al. Assessment of polycyclic aromatic hydrocarbon exposure, lung function, systemic inflammation, and genotoxicity in peripheral blood mononuclear cells from firefighters before and after a work shift. *Environ Mol Mutagen.* 2018;59:539–48.
51. Burgess JL, Witten ML, Nanson CJ, Hysong TA, Sherrill DL, Quan SF, et al. Serum pneumoproteins: A cross-sectional comparison of firefighters and police. *Am J Ind Med.* 2003;44:246–53.
52. Gaughan DM, Christiani DC, Hughes MD, Baur DM, Kobzik L, Wagner GR, et al. High hsCRP is associated with reduced lung function in structural firefighters. *Am J Ind Med.* 2014;57:31–7.
53. Gianniou N, Katsaounou P, Dima E, Giannakopoulou CE, Kardara M, Saltagianni V, et al. Prolonged occupational exposure leads to allergic airway sensitization and chronic airway and systemic inflammation in professional firefighters. *Respir Med* [Internet]. Elsevier Ltd; 2016;118:7–14. Available from: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rmed.2016.07.006>
54. Greven FE, Krop EJ, Spithoven JJ, Burger N, Rooyackers JM, Kerstjens HA, et al. Acute respiratory effects in firefighters. *Am J Ind Med.* 2011;55:54–62.
55. Greven F, Krop E, Spithoven J, Rooyackers J, Kerstjens H, Heederik D. Lung function, bronchial hyperresponsiveness, and atopy among firefighters. *Scand J Work Environ Heal.* 2011;37:325–31.
56. Gu T-L, Liou S-H, Hsu C-H, Hsu J-C, Wu T-N. Acute Health Hazards of Firefighters after Fighting a Department Store Fire. *Ind Health.* 1996;13–23.
57. Hnizdo E, Hakobyan A, Fleming JL, Beekman-Wagner LA. Periodic spirometry in occupational setting: Improving quality, accuracy, and precision. *J Occup Environ Med.* 2011;53:1205–9.
58. Large AA, Owens GR, Hoffman LA. The short-term effects of smoke exposure on the pulmonary function of firefighters. *Chest.* The American College of Chest Physicians; 1990;97:806–9.
59. Miedinger D, Chahjed PN, Stolz D, Gysin C, Wanzenried AB, Schindler C, et al. Respiratory symptoms, atopy and bronchial hyperreactivity in professional firefighters. *Eur Respir J.* 2007;30:538–44.
60. Mustajbegovic J, Zuskin E, Schachter EN, Kern J, Vrcic-Keglevic M, Heimer S, et al. Respiratory function in active firefighters. *Am J Ind Med.* 2001;40:55–62.
61. Slattery F, Schermer T, Esterman A, Johnston K, Crockett A. The Global Lung Function Initiative 2012 Equations Are as Well-Suited as Local Population Derived Equations to a Sample of Healthy Professional Firefighters. *Can Respir J.* 2017;2017:1–6.
62. Landrigan PJ, Lioy PJ, Thurston G, Berkowitz G, Chen LC, Chillrud SN, et al. Health and environmental consequences of the World Trade Center disaster. *Environ Health Perspect.* 2004;112:731–9.
63. Hena KM, Yip J, Jaber N, Goldfarb D, Fullam K, Cleven K, et al. Clinical Course of Sarcoidosis in World Trade Center-Exposed Firefighters. *Chest.* 2018;153:114–23.
64. WHO. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease [Internet]. 2023. Available from: <https://goldcopd.org/>
65. <https://www.unep.org/news-and-stories/press-release/number-wild-fires-rise-50-2100-and-governments-are-not-prepared>. (accessed 13 Febr. 2023).
66. Barbosa J V., Farraja M, Branco PTBS, Alvim-Ferraz MCM, Martins FG, Annesi-Maesano I, et al. The Effect of Fire Smoke Exposure on Firefighters' Lung Function: A Meta-Analysis. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19.







