

## Qualidade do Ar e Exposição de Bombeiros ao Fumo em Fogos Florestais Experimentais

<sup>1</sup>Ana Isabel Miranda\*, <sup>1</sup>Vera Martins\*\*, <sup>1</sup>Pedro Cascão\*\*\*, <sup>1</sup>Jorge Humberto Amorim\*\*\*\*, <sup>1</sup>Joana Valente\*\*, <sup>1</sup>Richard Tavares\*\*, <sup>1</sup>Oxana Tchepel\*\*\*\*, <sup>1</sup>Carlos Borrego\*\*\*\*\*, <sup>2</sup>Domingos Xavier Viegas\*\*\*\*\*, <sup>2</sup>Luís Mário Ribeiro\*\*\*\*\*, <sup>2</sup>Luís Paulo Pita\*\*, <sup>3</sup>Carlos Robalo Cordeiro\*, <sup>3</sup>António Jorge Ferreira\*\*\*\*\*

\*Professor Associado com Agregação

\*\*Bolsheiro de Doutoramento

\*\*\*Bolsheiro de Investigação

\*\*\*\*Bolsheiro de Pós-Doutoramento

\*\*\*\*\*Investigador Auxiliar

\*\*\*\*\*Professor Catedrático

\*\*\*\*\*Investigador

\*\*\*\*\*Investigador e Assistente Convidado

<sup>1</sup>Centro de Estudos do Ambiente e do Mar. Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro, Campus de Santiago, 3810-193 AVEIRO  
<sup>2</sup>Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial. Universidade de Coimbra, Rua Pedro Hispano, 12, 3031-601 COIMBRA  
<sup>3</sup>Centro de Pneumologia. Faculdade de Medicina da Universidade de Coimbra. Hospitais da Universidade de Coimbra - 2º Piso, Praceta Mota Pinto, 3000-075 COIMBRA

---

**Sumário.** A poluição causada pelo fumo proveniente de fogos florestais pode afectar a saúde humana, em particular a do pessoal envolvido nas operações de combate ao fogo. Visando contribuir para o conhecimento científico sobre a exposição de bombeiros ao fumo durante fogos florestais, foram recolhidos dados de exposição individual ao monóxido de carbono, dióxido de azoto, compostos orgânicos voláteis e matéria particulada, no decorrer de queimas experimentais realizadas em 2008 na região centro de Portugal. O estudo incidiu sobre um grupo de dez bombeiros munidos de equipamentos portáteis de medição em contínuo dos níveis de exposição aos poluentes referidos. Os níveis medidos são muito elevados, excedendo os valores-limite de qualidade do ar impostos pela União Europeia para protecção da saúde humana e os valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde, o que aponta para a necessidade de definição e implementação de medidas de protecção respiratória dos bombeiros durante operações de combate a fogos florestais, para evitar a exposição a níveis susceptíveis de causarem danos na saúde.

**Palavras-chave:** Queimas experimentais; medição exposição; monóxido de carbono; partículas; saúde humana

**Air Quality and Firefighter's Exposure to Experimental Forest Fires' Smoke**

**Abstract.** Smoke pollution due to forest fire events is an important public health issue for the communities directly affected, and particularly for the personnel involved in firefighting operations. Aiming to contribute to the scientific knowledge concerning firefighter's exposure to forest fires smoke, data of individual exposure to carbon monoxide, nitrogen dioxide, volatile organic compounds, and particulate matter were obtained during experimental field fires in 2008 in the central region of Portugal. The study focused on a group of ten firefighters equipped with portable "in continuum" measuring devices of exposure to these pollutants. Measured values are very high, exceeding the air quality limit values imposed by the European Union to protect human health and the recommended values by World Health Organization. These measurements indicate that urgent measures are needed to prevent exposure to levels likely to cause harm to health, namely those concerning the respiratory protection in firefighting operations during forest fires.

**Key words:** Experimental fires; exposure monitoring; carbon monoxide; particulate matter; human health

**La Qualité de l'Air et l'Exposition des Pompiers à la Fumée des Feux de Forêt Expérimentaux**

**Résumé.** La pollution, causée par la fumée provenant des feux de forêt, peut affecter la santé humaine, en particulier la santé du personnel impliqué dans les opérations de combat aux feux. Pour contribuer à la connaissance scientifique concernant l'exposition des pompiers à la fumée, émis pendant les feux de forêt, des données ont été recueillies à partir de l'exposition individuelle au monoxyde de carbone, au dioxyde d'azote, aux composés organiques volatils et aux particules, au cours de travaux expérimentaux effectués en 2008 dans la région centrale du Portugal. Un groupe de dix pompiers équipés d'équipement portable, mesurant en continu l'exposition à ces polluants, a été choisi pour cette étude. Les niveaux mesurés sont très élevés, dépassant les valeurs-limites imposées par l'Union Européenne pour la protection de la santé humaine et dépassant les valeurs recommandées par l'Organisation Mondiale de la Santé, ce qui souligne la nécessité de mesures de protection respiratoire des pompiers, pendant les opérations de combat lors des incendies de forêt, pour éviter l'exposition à des niveaux qui peuvent endommager la santé.

**Mots clés:** Feux expérimentaux; mesures d'exposition; monoxyde de carbone; particules; santé humaine

---

**Introdução**

O fumo resultante da queima da biomassa florestal contém um elevado número de compostos químicos, nomeadamente dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), monóxido de carbono (CO), metano (CH<sub>4</sub>), compostos orgânicos voláteis (COV), óxidos de azoto (NO<sub>x</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), amoníaco (NH<sub>3</sub>) e matéria particulada (PM). A poluição atmosférica causada pelas emissões dos fogos florestais é considerada relevante,

existindo actualmente um consenso generalizado quanto à sua importância como fonte de emissão de gases e partículas para a atmosfera. Os impactos associados a essas emissões verificam-se a diferentes níveis, desde a contribuição para as alterações climáticas até à ocorrência de episódios locais de poluição atmosférica (MIRANDA *et al.*, 1994a e 2009; BORREGO *et al.*, 1999; SIMMONDS *et al.*, 2005).

A nível da saúde, os efeitos adversos manifestam-se rapidamente, com

irritações agudas e instantâneas dos olhos e do sistema respiratório, que podem originar dificuldades respiratórias. É possível a evolução para dores de cabeça, tonturas e náuseas, mantendo-se os sintomas durante várias horas. Em particular, o pessoal envolvido no combate ao fogo florestal pode revelar sintomas do tipo agudo, subcrónico ou mesmo crónico, devido à exposição frequente e prolongada a concentrações elevadas de poluentes atmosféricos, no desempenho da sua actividade profissional (WARD *et al.*, 1993; MIRANDA *et al.*, 1994b, 2005a e 2006; REINHARDT *et al.*, 2001; REINHARDT e OTTMAR, 2004; REISEN e BROWN, 2009; FERREIRA *et al.* 2009a e b).

O trabalho de medição de exposição de bombeiros ao fumo tem sido realizado principalmente nos Estados Unidos da América e na Austrália (MCMAHON e BUSH, 1992; MATERNA *et al.*, 1993; REINHARDT e OTTMAR, 2000; REINHARDT *et al.*, 2000; REINHARDT e OTTMAR, 2004; REISEN e BROWN, 2009). Na Europa, onde arderam em média, por ano, no período entre 1980 e 2008, 484 000 hectares, o conhecimento, em geral, é ainda escasso. Os obstáculos que os investigadores têm de enfrentar no decurso do processo de obtenção de dados sobre exposição individual ao fumo, em ensaios de campo e em condições de incêndio florestal, contribuem, em grande parte, para a actual dificuldade em estabelecer relações de causa-efeito entre a concentração dos poluentes atmosféricos contidos no fumo e os efeitos de curta e longa duração, diagnosticados em algumas situações.

O objectivo principal deste trabalho, que se integra nas actividades do projecto de investigação FUMEXP

("Exposição de bombeiros ao fumo e consequentes efeitos na saúde"), consiste na medição da exposição individual de bombeiros ao fumo no decorrer de ensaios experimentais de queima realizados na região centro de Portugal.

### Metodologia e equipamento

Na Primavera de 2008, no dia 6 de Maio, realizaram-se ensaios de queima experimental na Serra da Lousã para obtenção de valores de exposição de bombeiros ao fumo e compilação de informação diversa que permitisse uma melhor e mais abrangente compreensão dos factores que afectam essa exposição, designadamente a caracterização do tipo de combustível, das condições meteorológicas e da qualidade do ar no local.

#### *Caracterização da área de estudo - Gestosa 2008*

As medições ocorreram no local de ensaios de fogo experimental da Gestosa (concelho de Castanheira de Pêra), em terreno baldio, a uma distância, por estrada, de 70 km de Coimbra. Na área de estudo, a temperatura média anual é de 11°C, sendo Janeiro o mês mais frio (com uma temperatura média de 2,5°C) e Agosto o mais quente (com uma média de 18°C). A precipitação média anual é de 760 mm e existe um défice de água no solo entre Julho e Setembro. Na Figura 1 apresenta-se uma perspectiva dos talhões de queima da Gestosa 2008 e no Quadro 1 as principais características das parcelas de ensaio.

Os talhões, com uma área entre os cerca de 900 e 2800 m<sup>2</sup> cada, estão instalados em encostas com declives que variam entre os 16° e os 27°, e com orientação predominante a Noroeste.



**Figura 1** - Perspectiva dos talhões de queima dos ensaios da Gestosa de 2008

**Quadro 1** - Características das parcelas dos ensaios da Gestosa 2008

Parcelas	P07	P06	P04	P05	P01	P02	P03
Declive (°)	16,25	22,88	21,86	20,10	20,20	26,98	24,41
Área (m <sup>2</sup> )	1097	1182	1613	2820	874	1078	1354
Orientação	NW	NW	NW	NW	NW	NW	NW

#### Caracterização dos combustíveis

Nas parcelas de ensaio o coberto vegetal era constituído maioritariamente por um leito contínuo de vegetação arbustiva, registando-se também a presença de alguns pinheiros isolados. As espécies dominantes eram as seguintes: *Erica australis* (EA), *Erica umbellata* (EU) e *Pterospartium tridentatum* (PT). Nos Quadros 2 e 3 e na Figura 2 apresentam-se alguns resultados obtidos nos trabalhos de caracterização da vegetação, em termos de variação do tipo de coberto vegetal, variação da massa volúmica e teores de humidade médios, respectivamente.

A partir da análise da Quadro 2, observa-se que, com excepção das parcelas P03 e P04, todas as restantes

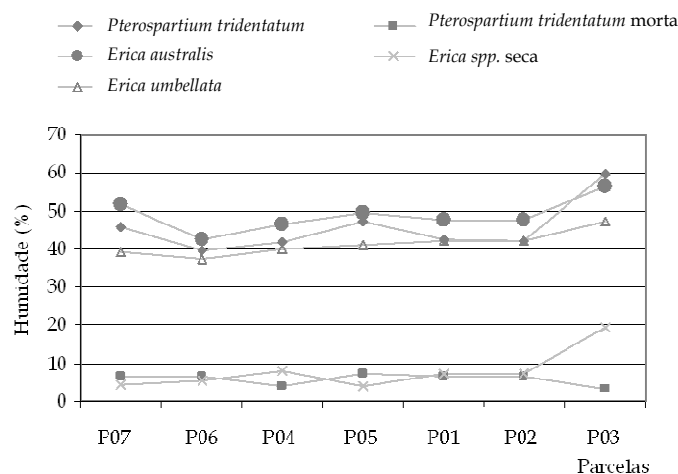
estão totalmente cobertas pelas espécies vegetais referidas. A espécie que apresenta maior ocupação é a *Erica australis* com uma cobertura média de 43,2%, seguida da *Pterospartium tridentatum* com 32,2%, da *Erica umbellata* com 16,1% e, finalmente, da *Erica spp. seca* com 6,3%. A percentagem de solo sem vegetação nesta área é de cerca de 2,3%. Em relação às alturas médias, pode observar-se no mesmo Quadro 2 que, de um modo geral, a altura da vegetação não varia muito nem é muito elevada, não ultrapassando os 100 cm de altura (sendo os valores mínimo e máximo, respectivamente, de cerca de 66 e 93 cm). A espécie com maior altura é a *Erica australis*, com cerca de 99 cm, e a espécie mais baixa é a *Pterospartium tridentatum* com 68 cm.

**Quadro 2** - Variação do coberto vegetal e da altura da vegetação nas parcelas de ensaio

Parcelas	Coberto (%)					Altura da vegetação (cm)				
	EA	EU	E*	PT	Total	EA	EU	E*	PT	Média
P07	51,0	20,4	3,4	25,2	100,0	77,0	62,0	61,0	65,0	66,3
P06	41,8	33,2	2,2	22,8	100,0	99,0	61,0	110,0	62,0	83,0
P04	29,0	9,6	19,8	27,6	86,0	96,2	64,5	56,6	64,3	70,4
P05	32,8	9,4	5,8	52,0	100,0	89,3	71,6	38,9	66,3	66,5
P01	53,8	11,2	3,4	31,6	100,0	108,0	100,0	54,0	71,0	83,3
P02	45,8	15,6	4,8	33,8	100,0	117,0	81,0	101,0	73,0	93,0
P03	48,0	13,2	4,4	32,6	98,2	104,3	71,4	91,6	76,5	86,0
Média	43,2	16,1	6,3	32,2	-	98,7	73,1	73,3	68,3	-

\*Arbustos secos de *Erica spp.***Quadro 3** - Variação da massa volúmica por parcela e por espécie

Parcelas	Massa volúmica (kg.m <sup>-3</sup> )				Carga (kg.m <sup>-2</sup> )				Carga total (kg.m <sup>-2</sup> )
	EA	EU	E*	PT	EA	EU	E*	PT	
P07	2,40	2,67	0,80	3,50	1,52	4,37	0,76	4,85	2,91
P06	2,11	2,69	0,70	3,60	1,23	4,43	0,62	4,91	3,12
P04	2,15	2,62	0,72	3,53	1,26	4,25	0,63	4,86	2,24
P05	2,23	2,48	0,74	3,47	1,34	3,93	0,67	4,83	3,36
P01	2,03	2,10	0,68	3,34	1,15	3,06	0,57	4,75	2,48
P02	1,95	2,34	0,65	3,29	1,07	3,58	0,54	4,71	2,67
P03	2,06	2,49	0,69	3,20	1,18	3,93	0,59	4,66	2,63
Média	2,13	2,48	0,71	3,42	1,25	3,94	0,63	4,79	2,77

\*Arbustos secos de *Erica spp.***Figura 2** - Teores de humidade médios, registados nas diferentes parcelas e para cada espécie, no dia 6 de Maio de 2008

Da análise do Quadro 3 constata-se que a espécie que apresenta maior massa volúmica é a *Pterospartium tridentatum* com 3,42 kg.m<sup>-3</sup>, seguida da *Erica umbellata* com 2,48 kg.m<sup>-3</sup>, da *Erica australis* com 2,13 kg.m<sup>-3</sup> e, finalmente, os arbustos secos da *Erica spp.* com 0,71 kg.m<sup>-3</sup>. Em relação à carga combustível, verifica-se que a tendência é semelhante à encontrada na análise da massa volúmica: a *Pterospartium tridentatum* é a que tem maior carga com 4,79 kg.m<sup>-2</sup>, seguida da *Erica umbellata* com 3,94 kg.m<sup>-2</sup>, da *Erica australis* com 1,25 kg.m<sup>-2</sup> e finalmente, da *Erica spp.* seca com 0,63 kg.m<sup>-2</sup>. A carga total das parcelas varia entre 2,24 kg.m<sup>-2</sup> na parcela P04 e 3,36 kg.m<sup>-2</sup> na parcela P05.

Finalmente, na Figura 2, apresentam-se os valores médios de humidade registados nas diferentes parcelas, por cada espécie, imediatamente antes de iniciar a queima de cada um dos talhões.

O teor de humidade dos combustíveis finos mortos (*Erica spp.* e partes mortas de *Pterospartium tridentatum*) não

é muito distinto nos diferentes talhões, tendo assumido valores inferiores a 10% com excepção para a *Erica spp.* que na parcela P01 apresentou um valor significativamente superior ao que foi observado nas restantes (20%). Os combustíveis finos vivos apresentam valores de teor de humidade relativamente próximos, sendo mais elevados, de um modo geral, na *Erica australis* e mais baixos na *Erica umbellata*. De destacar que também nos combustíveis finos vivos é observado um aumento dos teores de humidade na parcela P01. Como seria expectável, observa-se uma grande diferença entre os teores de humidade dos combustíveis finos vivos e dos finos mortos.

#### Caracterização das técnicas de ignição

O Quadro 4 descreve brevemente os ensaios de queima em cada uma das parcelas, incluindo a hora de início e de fim da queima de cada uma das parcelas.

**Quadro 4** - Características principais dos ensaios nas parcelas queimadas no dia 6 de Maio de 2008 na Gestosa

Parcela	Início (hh:min)	Fim (hh:min)	Descrição
P07	10:48	11:00	Uma ignição linear no topo da parcela por segurança seguida de uma ignição linear na parte inferior. Propagação muito rápida
P06	11:15	11:38	Duas ignições lineares realizadas em ambos os lados da parcela, seguida de uma ignição linear na parte inferior da parcela
P04	13:02	13:17	Uma ignição linear destinada a criar uma área de segurança no topo da parcela. A segunda ignição linear foi feita na parte inferior da parcela
P05	13:57	14:12	Uma ignição linear destinada a criar uma área de segurança no topo da parcela. A segunda ignição linear foi feita na parte inferior da parcela
P01	15:53	16:10	Exercício de supressão do fogo
P02	16:34	16:42	Duas ignições lineares no lado superior esquerdo da parcela, com criação de uma área de segurança. A terceira ignição, do tipo linear, foi feita na parte inferior da parcela
P03	17:30	17:40	Uma ignição linear destinada a criar uma área de segurança no topo da parcela. A segunda ignição linear foi feita na parte inferior do talhão

A duração das queimas foi relativamente breve, prolongando-se entre os 10 e os 15 minutos cada.

#### *Monitorização meteorológica*

A caracterização meteorológica do local é iniciada com alguma antecedência em relação ao período de ensaios com o objectivo de seleccionar as parcelas a queimar (com base na sua orientação relativamente aos ventos dominantes) e planear os procedimentos a adoptar no decurso dos ensaios. Os dados meteorológicos registados durante a realização das queimas têm um papel muito importante na análise do comportamento da progressão do fogo e da dispersão da pluma de fumo. No âmbito deste trabalho foram medidos, recorrendo a estações meteorológicas Geolog S (Figura 3), valores de velocidade e direcção do vento, precipitação, temperatura do ar e humidade relativa.

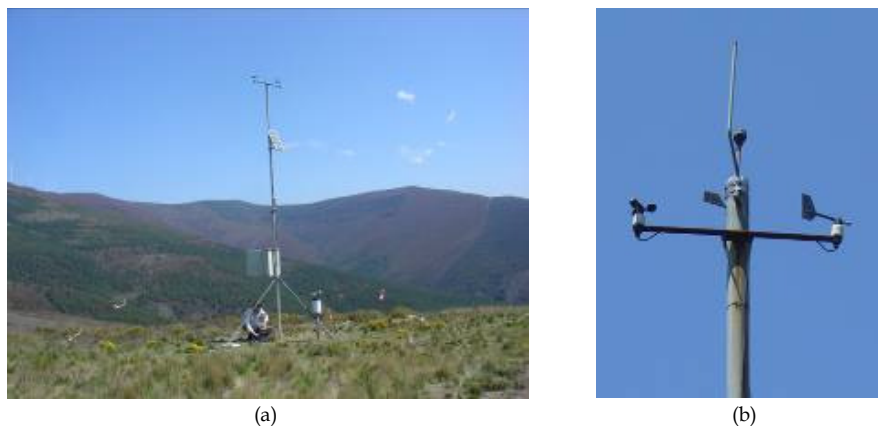
Na Figura 4 apresenta-se a localização das duas estações meteorológicas instaladas no local (METEO 1 e METEO 2), uma mais perto dos talhões de queima e

a outra mais afastada.

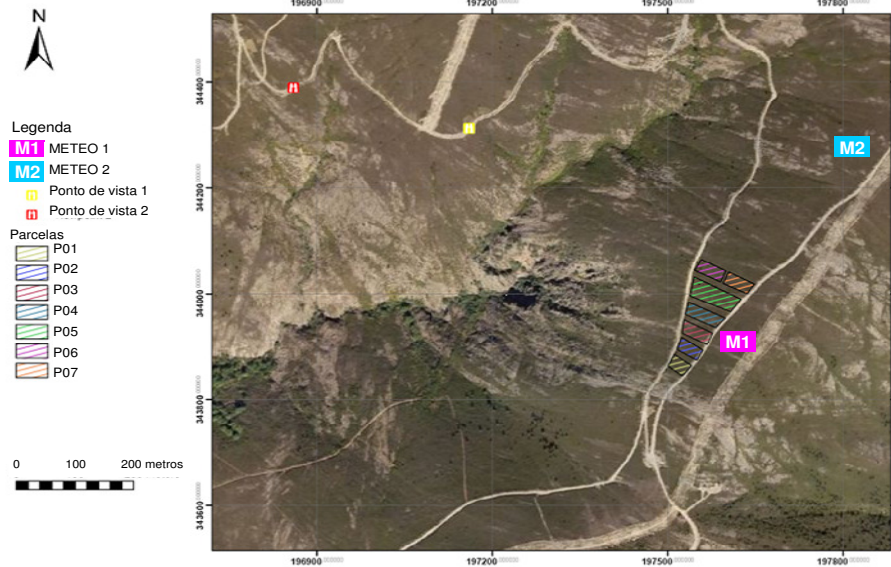
A estação METEO 2 visa caracterizar o escoamento atmosférico geral da área em estudo, ao passo que a estação METEO 1 mede as características mais locais, permitirá inclusive avaliar o efeito da queima nas próprias medições meteorológicas.

No Quadro 5 pode observar-se, em termos médios, os diferentes parâmetros meteorológicos registados pelas duas estações, durante a queima de cada uma das parcelas.

De um modo geral o vento não foi muito forte (condição fundamental para a realização dos ensaios), variando entre 0,7 e 3,8 m.s<sup>-1</sup>. A direcção do vento foi predominantemente de Sudeste, rodando para Noroeste ao final da tarde. A temperatura média do ar manteve-se amena durante a realização dos ensaios, com uma variação máxima entre 17 e 21°C. A humidade relativa apresentou variações significativas, tendo sido registado um valor mínimo de 16% e um máximo de 59%.



**Figura 3** - Aspecto geral duma estação meteorológica (a) e pormenor dos sensores (b)



**Figura 4** - Localização das estações meteorológicas (METEO 1 e METEO 2)

**Quadro 5** - Parâmetros meteorológicos registados nas duas estações (METEO 1 e METEO 2)

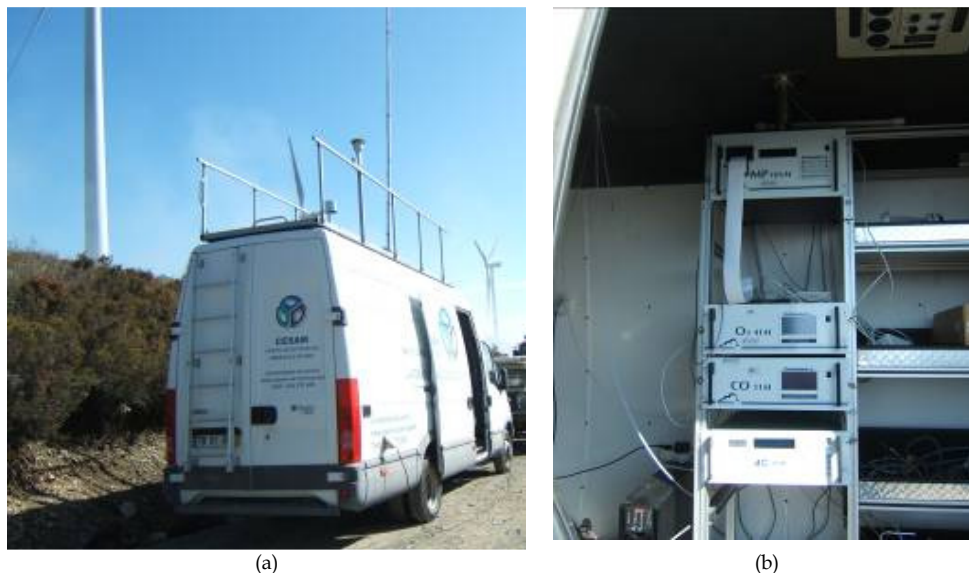
Parâmetros	Velocidade Vento (m.s <sup>-1</sup> )		Direcção Vento		Humidade Relativa (%)		Temperatura ar (°C)	
	METEO 1	METEO 2	METEO 1	METEO 2	METEO 1	METEO 2	METEO 1	METEO 2
Parcelas								
P07	1,63	2,24	W	W	17,44	15,58	18,01	17,75
P06	0,66	0,85	SE	SE	24,54	19,23	18,03	17,56
P04	3,32	3,25	SE	SE	59,27	58,50	17,43	16,99
P05	1,67	2,76	SE	SE	57,15	57,59	18,50	17,73
P01	0,96	1,52	S	S	32,00	32,79	20,57	19,40
P02	1,63	2,24	NW	W	30,63	35,00	20,83	20,24
P03	3,39	3,77	NW	NW	46,73	48,18	20,89	20,19

#### Monitorização da qualidade do ar

Durante os ensaios da Gestosa mediram-se, num laboratório móvel de monitorização da qualidade do ar (Figura 5), os valores de concentração das partículas com diâmetro aerodi-

nâmico equivalente inferior a 10 µm (PM10) e do CO, poluentes claramente associados à queima de biomassa. A localização do laboratório móvel encontra-se assinalada na Figura 4, coincidindo com a localização da estação meteorológica 1 (METEO 1).





**Figura 5** - Laboratório móvel de qualidade do ar (a) e analisadores de concentração de poluentes no ar ambiente (b)

No Quadro 6 são apresentados os poluentes monitorizados e respectivos equipamentos de medição utilizados, bem como a frequência de aquisição dos dados.

Os níveis de poluentes atmosféricos registados foram comparados com os requisitos legais definidos pela legislação Europeia, transposta para o direito nacional (Decreto-Lei n.º 102/2010 de 23 de Setembro), nomeadamente o valor-limite (VL). O VL é um nível fixado com o intuito de evitar, prevenir ou reduzir os efeitos nocivos sobre a saúde humana e/ou o ambiente na sua globalidade, susceptível de ser atingido num prazo determinado e que, quando atingido, não

deverá ser excedido. Os valores medidos foram ainda comparados com os valores recomendados pela Organização Mundial de Saúde (OMS, 2000 e 2006). No Quadro 7 apresentam-se as normas de qualidade do ar referidas, bem como as definidas para os poluentes para os quais foi medida a exposição individual dos bombeiros.

Os valores-limite e os valores recomendados pela OMS para protecção da saúde humana são semelhantes, à excepção do valor médio anual para PM<sub>10</sub>, que é muito mais exigente no caso da OMS. Refira-se ainda que a OMS define várias médias temporais para a avaliação do CO.

**Quadro 6** - Poluentes monitorizados e respectivos equipamentos e técnicas utilizadas

Poluente	Tipo de Dados (medições em contínuo)	Designação do Equipamento
PM10	Médias de 15 min	<i>Environnement</i> MP101M™
CO	Médias de 1 min	<i>Environnement</i> CO11M™

**Quadro 7** - Valores de qualidade do ar de referência da Legislação Europeia e da OMS e respectivas médias temporais

Poluentes	Legislação Europeia	OMS
PM10	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (24 h)	50 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (24 h)
	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 ano)	20 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 ano)
PM2,5	25 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 ano)	25 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (24 h)
		10 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 ano)
CO	10 $\text{mg.m}^{-3}$ (8 h)	100 $\text{mg.m}^{-3}$ (15 min)
		60 $\text{mg.m}^{-3}$ (30 min)
		30 $\text{mg.m}^{-3}$ (1 h)
		10 $\text{mg.m}^{-3}$ (8 h)
NO <sub>2</sub>	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 h)	200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 h)
	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 ano)	40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (1 ano)

*Monitorização da exposição ao fumo*

Para a avaliação do efeito do fumo na saúde dos bombeiros é fundamental conhecerem-se as concentrações de poluentes atmosféricos às quais estes estão expostos durante as diferentes operações no combate, bem como o período de tempo durante o qual a exposição ocorre. Para tal, o recurso a equipamentos individuais de medição da exposição revela-se como um método adequado de análise e que permite a obtenção de dados mais detalhados. Foram seleccionados dez elementos de quatro corporações da região centro do país: Bombeiros Voluntários de Albergaria-a-Velha (distrito de Aveiro); Bombeiros Voluntários de Castanheira de Pêra (distrito de Leiria); Bombeiros Municipais da Lousã (distrito de Coimbra) e Bombeiros Sapadores de Coimbra (distrito de Coimbra).

De referir que a selecção dos

bombeiros teve como critérios de base, a idade, as tarefas desenvolvidas durante o combate, o número de anos de experiência, enquanto bombeiro profissional ou voluntário, a prevalência de doenças respiratórias e ainda, a existência de hábitos tabágicos. Privilegiou-se a selecção de bombeiros jovens, com tarefas diversificadas, com experiência no combate a incêndios, sem doenças respiratórias identificadas e não fumadores.

No decorrer dos ensaios os dez bombeiros monitorizados percorreram diferentes pontos da área de estudo, como consequência das actividades desenvolvidas, nomeadamente como condutor, de primeiro e de segundo agulheta. No turno da manhã, duas das corporações de bombeiros posicionaram-se na parte superior da área de estudo, e as outras duas na parte inferior. No turno da tarde as posições inverteram-se, com o objectivo de diversificar o tipo de

exposição ao fumo.

A selecção dos poluentes a monitorizar, em termos de exposição humana, baseou-se nos respectivos efeitos na saúde, optando-se pelos seguintes: CO, COV, NO<sub>2</sub> e partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente inferior a 2,5 µm (PM<sub>2,5</sub>). A disponibilidade de equipamento de monitorização individual de exposição, em condições de combate a fogo, esteve também subjacente à escolha dos poluentes a medir.

Procedeu-se à selecção de equipamentos e de metodologias apropriadas à monitorização da exposição ao fumo em cenários de combate a fogos florestais. Os critérios associados à sua escolha basearam-se na robustez, peso, possibilidade de recolha contínua de dados e facilidade de operação. Foram usados três equipamentos portáteis distintos: um para a monitorização dos níveis de COV e NO<sub>2</sub>, outro para a monitorização do CO, e um terceiro para a monitorização de PM<sub>2,5</sub>. Na Figura 6 é

possível observar um dos bombeiros com os equipamentos de monitorização da exposição, nos ensaios da Gestosa.

No Quadro 8 listam-se as principais características do equipamento utilizado.

Os COV e NO<sub>2</sub> foram monitorizados continuamente com o equipamento *GasAlertMicro 5 PID* da *BW Technologies*, que se baseia na foto-ionização integrada; o intervalo de tempo de aquisição é de 5 segundos. Este equipamento dispõe de baterias recarregáveis que permitem uma operacionalidade em contínuo superior a 12 horas, e apresenta um cartão de memória capaz de guardar o correspondente a dois meses de dados. O *Micro 5 PID* mede níveis de COV no ar até 1000 ppm, com uma resolução de 1 ppm; e mede NO<sub>2</sub> até 99,9 ppm, com uma resolução de 0,1 ppm. Os sensores de COV e NO<sub>2</sub> foram calibrados antes das queimas experimentais usando gases de calibração: isobutileno a 100 ppm e 10 ppm de NO<sub>2</sub>, respectivamente.



**Figura 6** - Bombeiro com equipamentos de monitorização de gases e partículas nos ensaios da Gestosa 2008

**Quadro 8** - Características dos equipamentos de monitorização da exposição

Poluentes	Tipo de Dados	Equipamento	Características	
			Gama	Resolução
CO	Medições contínuas: 5 segundos de intervalo	<i>GasAlertMicroClip</i> da <i>BW Technologies</i>	0-500 ppm	0,1 ppm
PM2,5	Medições contínuas: 1 segundo de intervalo	Monitor pessoal <i>SidePack AM510</i> da TSI	0-20 mg.m <sup>-3</sup>	0,001 mg.m <sup>-3</sup>
NO <sub>2</sub>	Medições contínuas: 5 segundos de intervalo	<i>GasAlertMicro 5 PID</i> da <i>BW Technologies</i>	0-99,9 ppm	0,1 ppm
COV			0-1000 ppm	1 ppm

O CO foi também monitorizado continuamente com intervalos de 5 segundos, com recurso ao analisador *GasAlertMicroClip* da *BW Technologies*. O referido equipamento regista valores de CO até 500 ppm, com uma resolução de 0,1 ppm, tendo sido calibrado previamente com gás de calibração de 100 ppm.

Por último, as PM2,5 foram monitorizadas usando o *SidePack AM510 Personal Aerosol Monitor* da *TSI Inc.*, que foi previamente equipado com um impactor para partículas de 2,5 µm e calibrado a um caudal de 1,7 L.min<sup>-1</sup>. Os dados foram registados continuamente com um intervalo de 1 minuto. O *SidePack AM510* mede concentrações de matéria particulada no ar até 20 mg.m<sup>-3</sup>.

#### Apresentação e análise dos resultados

Em termos de resultados, são apresentados os dados de qualidade do ar e os dados de exposição dos bombeiros ao fumo, medidos durante os ensaios da Gestosa 2008.

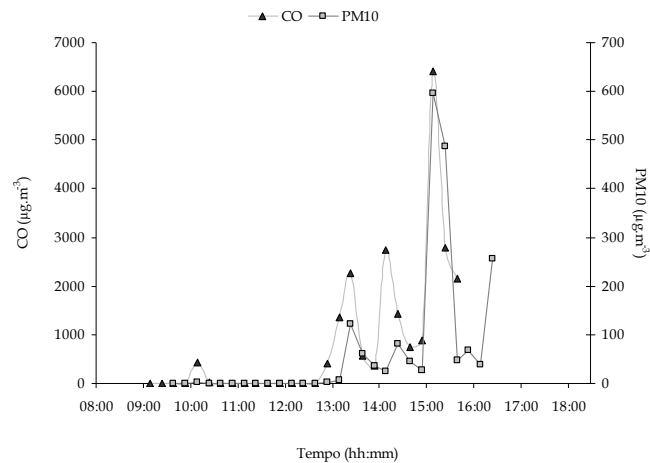
#### *Monitorização da qualidade do ar*

Na Figura 7 são apresentadas as médias de 15 minutos de CO e PM10,

registadas durante os ensaios da Gestosa 2008 pelos analisadores instalados no laboratório móvel de qualidade do ar (METEO 1).

Analisando a Figura 7 verifica-se que o laboratório móvel detectou a influência do fumo emitido pela queima dos talhões no período da tarde, em particular cerca das 16 h, em que ocorre um aumento significativo dos níveis de CO e PM10 medidos. Esse período de tempo coincide com a queima do talhão P01, o único no qual foi realizado um exercício de supressão directa do fogo.

O CO não ultrapassou o valor recomendado pela OMS de 100000 µg.m<sup>-3</sup> (para médias de 15 minutos), tendo sido o valor máximo registado inferior a 7000 µg.m<sup>-3</sup>. Em relação às PM10 o valor médio diário, calculado com base nas medições e considerando 0 µg.m<sup>-3</sup> nos períodos de tempo em que estas não se efectuaram, foi de 3,5 µg.m<sup>-3</sup>. É um valor claramente baixo quando comparado com o valor máximo recomendado pela OMS e legislado pela União Europeia (50 µg.m<sup>-3</sup>). No entanto, refira-se que, durante as 8 horas de duração dos ensaios, a média estimada atingiu as 59 µg.m<sup>-3</sup>.



**Figura 7** - Médias de 15 minutos de concentração de CO e PM10 ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) no ar ambiente

Os valores medidos reflectem a localização do laboratório móvel relativamente aos talhões e à direcção do vento. Apesar de a sua localização ter sido planeada em função dos ventos dominantes no local e do tipo de queima a realizar, acabou por não se verificar o transporte e dispersão do fumo em direcção ao laboratório de medição. Mesmo assim, os valores medidos indicam alguma diminuição da qualidade do ar, provocada pela queima da vegetação no local dos ensaios.

#### *Monitorização da exposição ao fumo*

Os valores de qualidade do ar medidos dão uma indicação do impacto da queima dos talhões nos níveis de poluentes no ar ambiente. Porém, não reflectem os valores de exposição dos bombeiros a esses poluentes. Como base para a avaliação dos níveis de exposição dos bombeiros recorreu-se aos valores recomendados pela OMS, bem como aos valores-limite de qualidade do ar para

protecção da saúde humana definidos pela Comissão Europeia (ver Quadro 7). O Quadro 8 apresenta os valores máximos das médias horárias de CO, NO<sub>2</sub> e COV e das médias diárias de PM<sub>2,5</sub>, que foram calculadas considerando uma concentração nula para os períodos de tempo em que não ocorreu exposição.

Para todos os bombeiros monitorizados, verifica-se um número considerável de valores de exposição a poluentes atmosféricos que ultrapassam os recomendados pela OMS (ver os valores a negrito no Quadro 8). O valor máximo horário de CO atingiu 73000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , claramente acima dos 30000  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$  recomendados pela OMS. O maior valor registado em termos de média horária de NO<sub>2</sub> foi de 4571  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ , mais uma vez, muito superior ao valor recomendado de 200  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ . Para os COV totais foi medida uma média horária máxima de 5302  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ; no entanto, devido à falta de valores recomendados ou legislados não foi possível estabelecer

uma comparação. No que se refere às médias diárias de PM<sub>2,5</sub> estimou-se o valor de 738  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , valor bastante superior a 25  $\mu\text{g.m}^{-3}$ , mesmo considerando uma concentração nula no resto do dia.

Na Figura 8 apresentam-se os níveis de exposição individual monitorizados (expressos em termos de médias horárias) para os poluentes COV, NO<sub>2</sub>, PM<sub>2,5</sub> e CO e para alguns dos bombeiros.

Relativamente ao CO, e tendo por base os valores de referência citados no Quadro 6, verifica-se que os bombeiros monitorizados foram expostos a níveis que ultrapassaram o valor recomendado pela OMS de 30 000  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para médias horárias. Por sua vez em relação ao NO<sub>2</sub>, constatam-se valores de exposição muito elevados, que excedem o valor limite (VL) fixado na legislação europeia. Os valores de PM<sub>2,5</sub> medidos ultrapassam largamente, para todos os bombeiros, o valor recomendado pela OMS, 25  $\mu\text{g.m}^{-3}$  para médias de 24 horas. No entanto, os valores de PM<sub>2,5</sub> não são directamente comparáveis, pois estão expressos em

termos de médias temporais diferentes, média diária para o valor recomendado pela OMS e média horária para o valor referente representado na Figura 8. Refira-se, porém, que considerando uma exposição a PM<sub>2,5</sub> nula nas restantes horas do dia, a média diária de exposição de cada bombeiro continua a ser superior aos 25  $\mu\text{g.m}^{-3}$ . No que se refere aos COV, não existem na legislação europeia nem nas orientações da OMS valores de referência. Todavia é possível inferir o registo de valores de concentração elevados deste poluente durante os ensaios da Gestosa.

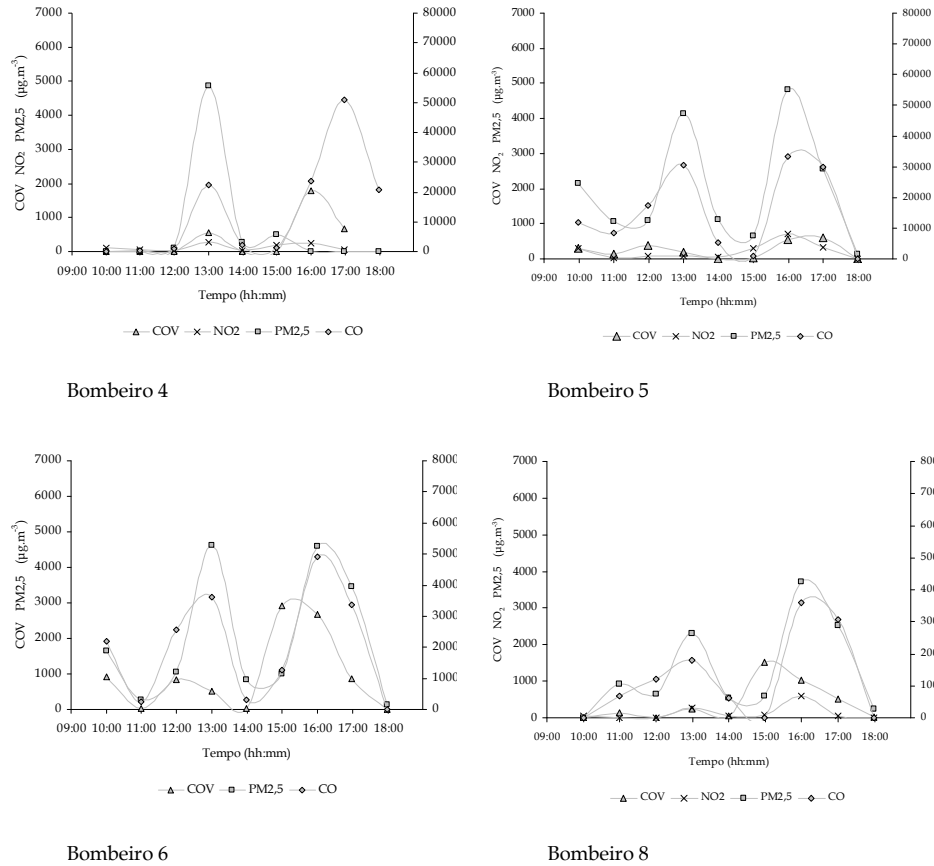
À excepção do bombeiro 8, que esteve exposto a níveis ligeiramente inferiores, devido à sua posição, todos os bombeiros apresentam valores de exposição na mesma ordem de grandeza e com a mesma variação temporal, revelando-se picos de exposição associados à queima dos talhões.

São apresentados na Figura 9, a título de exemplo, os picos de concentração a que esteve exposto o bombeiro 1 para os poluentes CO, PM<sub>2,5</sub>, NO<sub>2</sub> e COV.

**Quadro 8** - Valores médios horários máximos de CO, NO<sub>2</sub> e COV e médias diárias de PM<sub>2,5</sub> para cada um dos bombeiros. Os valores a negrito excedem os limites recomendados pela OMS

Bombeiro	CO	NO <sub>2</sub>	COV	PM <sub>2,5</sub>
	(μg.m <sup>-3</sup> .h <sup>-1</sup> )			(μg.m <sup>-3</sup> .dia <sup>-1</sup> )
1	<b>32479</b>	<b>2163</b>	1585	<b>260</b>
2	<b>73033</b>	<b>4172</b>	3934	<b>184</b>
3	<b>47223</b>	<b>3641</b>	415	<b>306</b>
4	<b>50881</b>	<b>274</b>	1789	<b>240</b>
5	<b>33178</b>	<b>709</b>	599	<b>738</b>
6	<b>49078</b>	n.d.	2917	<b>735</b>
7	n.d.	<b>2599</b>	1838	<b>684</b>
8	<b>35847</b>	<b>609</b>	1520	<b>479</b>
9	<b>48259</b>	<b>4571</b>	5302	<b>610</b>
10	n.d.	82	2097	<b>206</b>

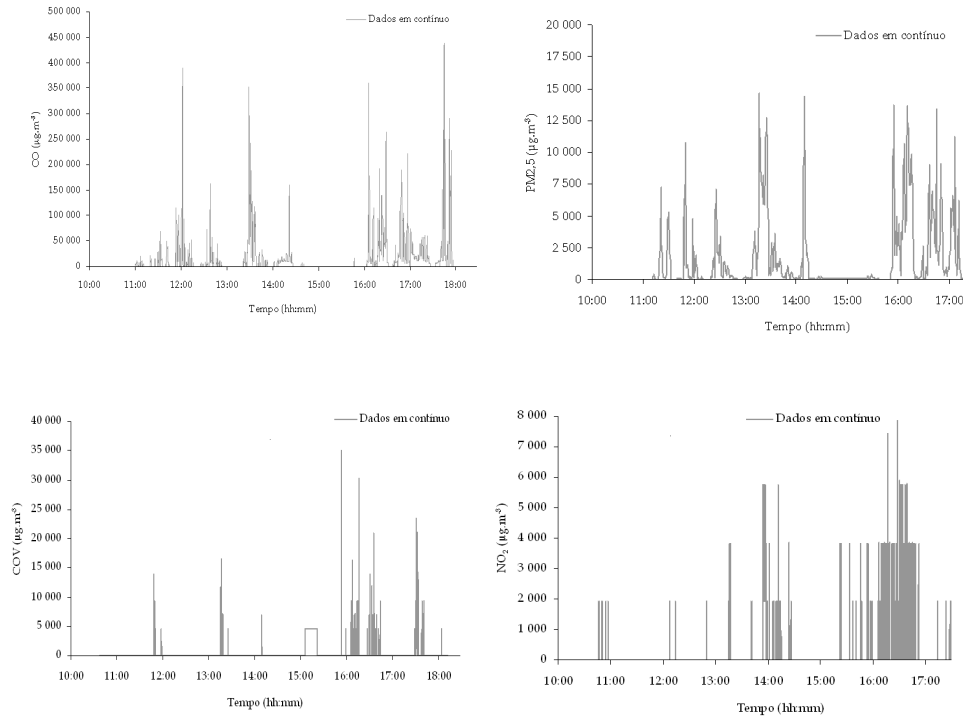
n.d. - não disponível.



**Figura 8** - Valores de exposição ( $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ ) de COV,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{PM}_{2,5}$  e CO relativos aos bombeiros 4, 5, 6 e 8 durante os ensaios da Gestosa 2008

Pela análise da Figura 9 verifica-se a exposição a valores de pico elevadíssimos por parte deste bombeiro. Comparando os níveis de concentração de CO, monitorizados pelo laboratório móvel de qualidade do ar, com os valores medidos com os detectores individuais dos bombeiros, constata-se que os valores dos detectores são de modo geral muito superiores (pelo menos uma ordem de grandeza). Esta evidência está relacionada com o

posicionamento do laboratório relativamente à pluma de fumo proveniente das queimas experimentais, uma vez que a pluma não atingiu directamente o local de amostragem do laboratório. Por outro lado, os detectores dos bombeiros estiveram em contacto directo com o fumo, representando melhor a realidade da exposição dos bombeiros no decorrer de operações de combate ao fogo.



**Figura 9** - Picos de concentração de CO, PM<sub>2.5</sub>, COV e NO<sub>2</sub> a que esteve exposto o bombeiro 1

### Conclusões

As medições de exposição dos bombeiros ao fumo realizadas nas queimas experimentais da Gestosa, indicam que os bombeiros da amostra em estudo foram sujeitos, nas operações de combate, a níveis de CO, NO<sub>2</sub> e PM<sub>2.5</sub> preocupantes, que superam largamente (pelo menos uma ordem de grandeza) os valores legislados pela UE e recomendados pela OMS para protecção da saúde humana. Os níveis de CO elevados são particularmente preocupantes, devido a efeitos de curto prazo nos bombeiros,

que podem levar à desorientação e perda de raciocínio claro, com os consequentes potenciais efeitos na estratégia de combate

Ainda no âmbito do projecto FUMEXP, e no sentido de complementar o estudo de exposição visando avaliar o seu efeito na saúde, foram desenvolvidos estudos respiratórios na amostra dos bombeiros participantes. Antes e após os ensaios de fogo experimental foram obtidas amostras de condensado brônquico (para avaliação de parâmetros inflamatórios), carboxihemoglobina, monóxido de carbono no ar exalado e



óxido nítrico no ar exalado. As medições já obtidas apontam para um aumento estatisticamente muito significativo da carboxihemoglobina e monóxido de carbono e diminuição estatisticamente significativa do óxido nítrico, o que aponta para efeitos de curto prazo nos indicadores de saúde monitorizados.

Os resultados apresentados neste trabalho relativos a medições da exposição individual e contínua de bombeiros a gases tóxicos e partículas, bem como os valores preliminares dos estudos respiratórios realizados, permitem concluir que são necessárias medidas para evitar níveis de exposição tão elevados. Estas poderão implicar a utilização de dispositivos de protecção adequados, uma correcta planificação dos turnos de combate a incêndios, e/ou a disponibilidade operacional das informações referentes às áreas de maiores níveis de poluentes que podem ser obtidos por meio de modelação da exposição.

### Agradecimentos

Este trabalho foi desenvolvido no âmbito do projecto FUMEXP (FCOMP-01-0124-FEDER-007023), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). Agradece-se ainda à FCT a atribuição das bolsas de doutoramento de V. Martins (SFRH/BD/39799/2007), de J. Valente (SFRH/BD/22687/2005) e de R. Tavares (SFRH/BD/22741/2005), e a bolsa de pós-doutoramento de J.H. Amorim (SFRH/BPD/48121/2008).

É devido também um agradecimento muito especial aos bombeiros envolvidos no Projecto FUMEXP, provenientes das seguintes corporações: Associação dos Bombeiros Voluntários de Albergaria-a-Velha; Bombeiros Voluntários de

Castanheira de Pêra; Bombeiros Municipais da Lousã; e Bombeiros Sapadores de Coimbra.

### Referências bibliográficas

- BORREGO, C., MIRANDA, A.I., CARVALHO, A.C., CARVALHO, A., 1999. Forest fires and air pollution: A local and a global perspective. *Proceedings of the Air Pollution VII*, eds. C. Brebbia, M. Jacobson & H. Power, WIT Press: Boston, pp. 741-750.
- FERREIRA, A.J., CORDEIRO, C.R., MIRANDA, A.I., CRUZEIRO, C.D., 2009a. Fire-fighting human health risks - The FUMEXP project. *Burns* Vol. 35, Supplement 1, pp. 26, September.
- FERREIRA, A.J., CORDEIRO, C.R., MIRANDA, A.I., VIEGAS, D.X., 2009b. Firefighter occupational exposure to forest fire smoke: the FUMEXP Project. *European Respiratory Journal* Vol. 34, Supplement 53, September.
- MATERNA, B.L., KOSHLAND, C.P., HARRISON, R.J., 1993. Carbon monoxide exposure in wildland firefighting: a comparison of monitoring methods. *Appl Occup Environ Hyg* 8(5): 479-87.
- MCMAHON, C.K., BUSH, P.B., 1992. Forest worker exposure to airborne herbicide residues in smoke from prescribed fires in the southern United-States. *Am Ind Hyg Assoc J.* 53(4): 265-72.
- MIRANDA, A.I., COUTINHO, M., BORREGO, C., 1994a. Forest fires emissions in Portugal: a contribution to global warming? *Environmental Pollution* 83: 121-123.
- MIRANDA, A.I., BORREGO, C., VIEGAS, D., 1994b. Forest fire effects on the air quality. In: Baldasano, J., Brebbia, C., Power, H., Zannetti, P. (Eds.). *Proceedings of the Second International Conference on Air Pollution*, vol. 1: Computer Simulation, Barcelona, Spain, pp. 191-199.
- MIRANDA, A.I., FERREIRA, J., VALENTE, J., SANTOS, P., AMORIM, J.H., BORREGO C., 2005a. Smoke measurements during Gestosa 2002 experimental field fires. *Int. J. Wildland Fire* 14(1): 107-116.

- MIRANDA, A.I., BORREGO, C., AMORIM, J.H., VALENTE, J., SANTOS, P., VIEGAS, D.X., RIBEIRO L., 2006. Smoke measurements in Gestosa 2004 field experiments. In *5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research*. Figueira da Foz, Portugal, 27-30 November 2006 - Proceedings of the *5<sup>th</sup> International Conference on Forest Fire Research*. Elsevier: D.X. Viegas, 2006, 15 p (in CD Rom).
- MIRANDA, A., BORREGO, C., MARTINS, H., MARTINS, V., AMORIM, J.H., VALENTE, J., CARVALHO, A., 2009. Forest Fire Emissions and Air Pollution in Southern Europe; in: *Earth Observation of Wildland Fires in Mediterranean Ecosystems*. Ed. Chuvieco, Emilio, Springer Berlin Heidelberg. Chapter 12, pp. 171 - 187. ISBN: 978-3-642-01753-7 (Print) 978-3-642-01754-4 (Online). DOI: 10.1007/978-3-642-01754-4
- REINHARDT, T., OTTMAR, R., 2000. Smoke exposure at western wildfires. *USDA Forest Service Pacific Northwest Research Station Research Paper* (525).
- REINHARDT, T., OTTMAR, R., HANNEMAN, A.J.S., 2000. Smoke Exposure Among Firefighters at Prescribed Burns in the Pacific Northwest. *USDA Forest Service Pacific Northwest Research Station Research Paper* (526).
- REINHARDT, T., OTTMAR, R., CASTILLA, C., 2001. Smoke Impacts from Agricultural Burning in a Rural Brazilian Town. *Journal of the Air & Waste Management Association* **51**: 443-450.
- REINHARDT, T., OTTMAR, R., 2004. Baseline measurements of smoke exposure among wildland firefighters. *J. Occup. Environ. Hyg.* **1**: 593-606.
- REISEN, F., BROWN, S.K., 2009. Australian firefighters' exposure levels to air toxics during bushfire burn of autumn 2005 and 2006. *Environment International* **35**: 342-352.
- SIMMONDS, P.G., MANNING, A.J., DERWENT, R.G., CIAIS, P., RAMONET, M., KAZAN, V., RYALL, D., 2005. A burning question. Can recent growth rate anomalies in the greenhouse gases be attributed to large-scale biomass burning events? *Atmospheric Environment* **39**: 2513-2517.
- WARD, D., ROTHERMEL, R., BUSHEY, C., 1993. Particulate matter and trace gas emissions from the Canyon Creek Fire of 1988. In: *Society of American Foresters* (Eds.), *Proceedings of the 12<sup>th</sup> Fire and Forest Meteorology*, Georgia, United States of America, pp. 62-76.
- OMS, 2000. Air quality guidelines for Europe; second edition. Organização Mundial de Saúde (OMS). *European Series* n.º 91. Copenhaga. 273 p.
- OMS, 2006. WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulphur dioxide; Global update 2005; Summary of risk assessment. Organização Mundial de Saúde (OMS). *European Series* n.º 91. Copenhaga. 20 p.

*Entregue para publicação em Dezembro de 2010*  
*Aceite para publicação em Maio de 2011*