

# O Papel da Vegetação Urbana no Controlo das Concentrações de PM<sub>10</sub>

M. Feliciano<sup>1,2</sup>, F. Maia<sup>1</sup>, F. Rodrigues<sup>1</sup>, A. Ribeiro<sup>1,2</sup>, A. Gonçalves<sup>1,2</sup>, L. Nunes<sup>1,2</sup>,

<sup>1</sup>Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Bragança, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855, Bragança, [msabencana@ipb.pt](mailto:msabencana@ipb.pt)  
<sup>2</sup>Centro de Investigação de Montanha, Campus de Santa Apolónia, Apartado 1172, 5301-855, Bragança



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA  
Escola Superior Agrária  
DE ΒΡΑΓΥΝΙΩΝ  
INSTITUTO POLITECNICO DE BRAGANCA



## INTRODUÇÃO

O aumento da matéria particulada em suspensão em atmosferas urbanas tem vindo a ser um dos problemas mais difíceis de mitigar, uma vez que não se podem simplesmente erradicar as fontes de poluição. O aumento dos transportes rodoviários, a expansão da indústria de construção civil e o aquecimento doméstico são alguns dos factores que contribuem para agudizar este problema (Dochery e Pope, 1994; Chan *et al.*, 2001; Fuller e Green, 2004). Estudos epidemiológicos recentes, mostram que a fracção de partículas PM<sub>10</sub> (partículas com diâmetro aerodinâmico equivalente  $\leq 10 \mu\text{m}$ ) aumenta o risco de morte respiratória em crianças com idade inferior a um ano, agrava problemas de asma, aumenta o risco de bronquites e cancro pulmonar (Schwartz *et al.*, 1996). A solução para este problema passa, cada vez mais, pela concepção e implementação de novos modelos de organização do espaço urbano, nos quais os espaços verdes devem surgir como elementos fundamentais do novo paradigma de sustentabilidade urbana. De facto, a vegetação urbana afecta a dispersão dos poluentes atmosféricos em resultado da influência que exerce na radiação solar, na temperatura e nas características do vento (Givoni *et al.*, 2003). A vegetação também influencia a deposição seca, potenciando a remoção de poluentes gasosos e particulados quer através dos estomas, quer através das superfícies cuticulares. A remoção de partículas, através da sua intercepção pela vegetação, é outro processo relevante, porém este pode ser seguido do fenómeno de re-suspensão (Sashua-Bar e Hoffman, 2004). Neste contexto, no âmbito do projecto GreenUrbe (PPCDT/AMB/59174/2004), tem vindo a ser desenvolvido um estudo em dois espaços verdes da cidade de Bragança, com vista a avaliar a influência da vegetação no controlo dos níveis atmosféricos de PM<sub>10</sub>. Este estudo teve uma primeira fase em 2007, após um interregno foi retomado em 2009 com algumas alterações. Neste poster apenas se reportam os resultados referentes a esta segunda fase.

## METODOLOGIA

O estudo desenvolvido envolveu a realização de dois tipos de experiências.

A que foi primeiramente implementada consistiu na medição de partículas PM<sub>10</sub> numa cintura verde urbana, sita na Alameda de Santa Apolónia. As medições foram efectuadas em seis pontos, distribuídos por dois transectos distintos, em termos de cobertura vegetal (ver figura 1a). O transecto 1 foi traçado numa zona onde existe vegetação arbórea, arbustiva e rasteira, destacando-se o alinhamento no passeio de *Platanus orientalis*, de 17 m de altura, com um diâmetro de copa de 8-9 m, uma sebe de *Pyrachanta coccinea* de 1.5-2 m de altura, que contorna um dos lados da faixa de rodagem e, ainda, uma área de viveiro florestal constituída por manchas de castanheiro (*Aesculus hippocastanum*) de 7-8 m de altura e nogueiras de 10 m de altura. O transecto 2 foi traçado numa zona relativamente próxima do anterior, porém ao longo de uma linha onde a vegetação é menos abundante ou quase inexistente.

As medições decorreram entre Abril e finais de Julho, perfazendo um total de dez repetições. Ao longo deste período, a vegetação evoluiu de um LAI de 0 até um LAI máximo de cerca de 6 (figura 1.b).

Os diferentes ensaios foram realizados sucessivamente entre as 12 e as 17 horas, de modo a englobar um período do dia caracterizado por condições atmosféricas relativamente uniformes, reduzindo desta forma o efeito das condições meteorológicas na variabilidade das concentrações de PM<sub>10</sub>. Durante a realização dos ensaios procedeu-se também à contagem de veículos, por categoria (ligeiros, pesados e motociclos) e por tipo de combustível consumido (gasolina e gasóleo).

O segundo tipo de experiência levada a cabo decorreu na área verde das piscinas municipais de Bragança (figura 1c). Neste caso, recorreu-se a uma fonte improvisada de PM<sub>10</sub> (máquina agrícola) e mediram-se as concentrações deste poluente em várias posições, distribuídas ao longo de transectos lineares, intersectados perpendicularmente por uma sebe (ver figura 1d). A sebe em causa é de *Pyracantha coccinea* com uma extensão de cerca de 435 metros e que delimita o recinto das piscinas municipais. A altura média situa-se nos 1.80 – 2.00 metros e a espessura média é de 140 centímetros. O “grau de abertura” estimou-se em 10 a 15%.

Acresce também dizer que a selecção da fonte foi precedida de um ensaio de avaliação da sua intensidade, medindo-se a concentração de PM<sub>10</sub>, a 0,5 metros de distância, no seio da pluma emitida. O funcionamento relativamente estável e a obtenção de concentrações de aproximadamente 3000  $\mu\text{g m}^{-3}$  de PM<sub>10</sub> foram factores decisivos para a sua utilização.

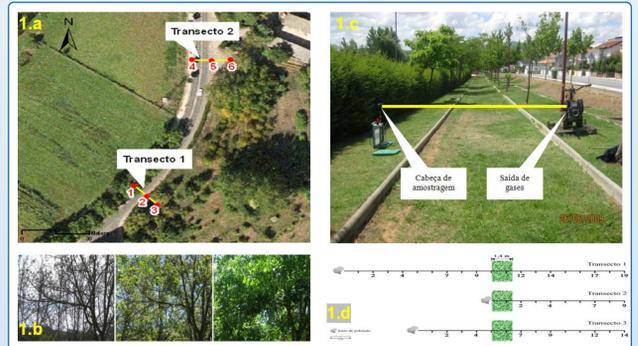


Figura 1: representação esquemática dos ensaios realizados. 1.a) Área de estudo da Alameda Santa Apolónia; 1.b) Fotografias ilustrativas da evolução do LAI da área de estudo da Alameda de Santa Apolónia; 2.a) Área verde das piscinas municipais; 2.b) Esquema ilustrativo das medições realizadas nas piscinas municipais.

Em ambos os ensaios, as concentrações de PM<sub>10</sub> são medidas com recurso a um monitor de partículas ADR 1200S (ThermoElectron). As medições são em tempo real, por meio de um princípio de operação assente na dispersão de radiação laser, tendo sido programado para amostrar a 2 L min<sup>-1</sup> e fornecer informação de minuto a minuto. O período de medição foi de 15 minutos, nos ensaios conduzidos na Alameda de Santa Apolónia, e de 5 minutos, nos ensaios realizados nas piscinas municipais.

Alguns parâmetros meteorológicos relevantes como a velocidade e a direcção do vento, a humidade relativa, a radiação solar e a temperatura do ar foram também registados a cerca de 2 metros de altura, por meio de uma estação meteorológica móvel.

## RESULTADOS

Os principais resultados obtidos nos ensaios conduzidos na Alameda de Santa Apolónia apresentam-se a seguir na figura 2 e na tabela 1. Atentando na figura 2, podemos constatar que nos três primeiros ensaios não é perceptível uma variação significativa dos níveis de PM<sub>10</sub> entre os dois transectos. Essa variação pouco proeminente pode ser explicada pelos valores próximos de zero de LAI que prevaleciam nesse período, criando condições semelhantes entre os dois transectos em termos de biomassa foliar.

Nos ensaios que se seguiram podemos visualizar o aumento generalizado das concentrações de PM<sub>10</sub> e, além disso, a tendência para a existência de um gradiente positivo, à medida que nos deslocamos do transecto 1 para o transecto 2. Em alguns ensaios foram encontradas diferenças consideráveis, superiores a um factor de 2. Esta variação parece, de certa forma, estar correlacionada com o aumento significativo da biomassa foliar nos transectos ao longo do tempo, como reportado anteriormente. Em conformidade com alguns autores (Freiman *et al.*, 2006; Bruse, 2007), este facto resulta da capacidade da vegetação filtrar partículas finas e ultrafinas por meio do fenómeno de deposição seca.

Tabela 1: Valores médios das variáveis meteorológicas, volume de tráfego rodoviário e níveis de PM<sub>10</sub>.

Ensaio	Tp[hr]	RH[%]	V[m/s]	WD[1]	SI[mm-2]	Veículos	PM10[µg/m³]	PM10[µg/m³]	PM10[µg/m³]
1	Média	46.30	35.12	2.32	195	448.11	141.56	4.56	5.67
	Desvio Padrão	15.17	15.12	0.42	27.00	85.36	14.56	0.55	0.78
2	Média	33.75	23.75	2.42	245	710.00	151.00	5.45	5.75
	Desvio Padrão	13.28	9.96	0.51	27.25	205.43	41.58	0.83	0.82
3	Média	37.71	21.37	1.97	204	404.60	141.11	50.88	19.14
	Desvio Padrão	14.40	3.25	0.24	34.00	76.40	36.88	2.14	0.77
4	Média	44.13	23.44	1.45	328	404.60	141.11	4.80	8.84
	Desvio Padrão	13.64	9.70	0.32	48.88	49.00	41.00	0.65	1.03
5	Média	47.54	25.54	2.22	266	774.89	141.11	105.00	104.00
	Desvio Padrão	15.59	2.71	0.37	34.00	59.13	34.00	1.10	2.04
6	Média	27.07	33.90	1.46	299	777.83	134.56	141.11	133.04
	Desvio Padrão	13.64	4.33	0.48	33.00	132.70	36.16	0.72	0.93
7	Média	36.18	42.14	2.25	258	907.77	130.00	1.71	154
	Desvio Padrão	13.71	1.05	0.24	32.25	44.00	44.00	1.56	2.87
8	Média	25.79	32.35	1.67	256	816.00	120.00	5.44	4.84
	Desvio Padrão	13.79	1.05	0.21	40.00	111.86	28.00	0.50	0.86
9	Média	36.36	34.00	2.42	254	886.50	110.00	10.07	135
	Desvio Padrão	13.54	1.07	0.40	25.00	38.64	36.20	1.10	1.05
10	Média	34.77	33.31	2.49	267	890.57	108.00	6.43	106
	Desvio Padrão	13.02	5.79	0.26	26.54	40.44	21.19	0.92	0.94

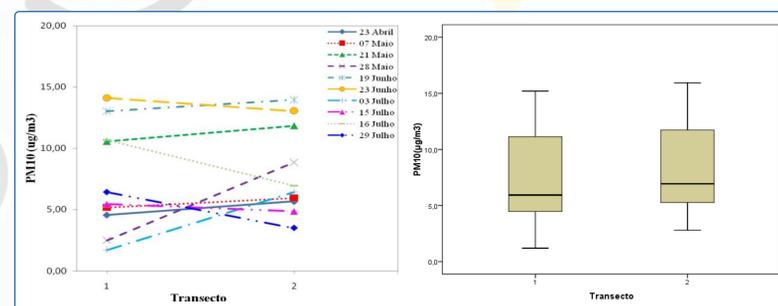


Figura 2: a) variação temporal das concentrações de PM<sub>10</sub> por transecto; b) mediana, máximo, mínimo, 1º e 3º quartile das concentrações de PM<sub>10</sub> por transecto.

Esta explicação perde, no entanto, consistência quando analisamos os resultados dos dois últimos ensaios, os quais revelam uma tendência oposta à anterior. Encontrar um factor plausível para explicar esta inversão não é de todo linear, porém o ligeiro aumento da velocidade do vento nestes dois últimos ensaios, sugere eventualmente a existência de alguma re-suspensão de partículas depositadas na superfície cuticular das árvores e dos arbustos presentes no transecto 1. Além disso, o aumento da densidade das copas da vegetação pode agir como obstáculo de progressão do vento, dificultando a dispersão das partículas em suspensão no ar (Bowker *et al.*, 2007).

Não obstante este fenómeno ser demasiado complexo, a figura 2b mostra que, globalmente, a exposição a partículas PM<sub>10</sub> foi maior no transecto traçado na zona não vegetada do que na zona vegetada, ainda que as diferenças não sejam muito significativas. Através da análise da tabela 1, podemos ainda constatar que, durante a realização dos ensaios, as condições de tráfego rodoviário não se mantiveram estacionárias, tendo-se registado sistematicamente intensidades de tráfego superiores nos períodos em que se efectuaram as medições no transecto 1. Este facto sugere que as emissões rodoviárias não exerceram influência significativa nas concentrações de PM<sub>10</sub>, podendo também indicar que se poderia ter obtido níveis de PM<sub>10</sub> mais baixos no transecto 1, no caso de as medições serem feitas em condições de tráfego idênticas às registadas aquando das medições no transecto 2. No que concerne aos ensaios conduzidos na sebe das piscinas municipais de Bragança, os principais resultados apresentam-se tabela 2 e na figura 3.

Analisando os dados tabelados, verifica-se que existem algumas incongruências, motivadas pelas dificuldades sentidas em implementar este tipo de experiência no terreno. Essas dificuldades resultam essencialmente das limitações inerentes à fonte, nomeadamente a dimensão da pluma gerada e a alguma variabilidade da direcção do vento. A conjugação destes dois factores levou a que um ligeiro desvio da pluma de poluição, relativamente à linha fonte-monitor, tivesse motivado o registo de concentrações de PM<sub>10</sub> algo díspares, principalmente à medida que o ponto de medição se afastava da fonte.

Apesar de estarmos cientes das falhas experimentais e das incertezas que decorrem da análise dos resultados, a figura 3 mostra que a sebe actua efectivamente como um elemento filtrante de material particulado. Esta constatação é particularmente evidente, quando comparamos os valores de PM<sub>10</sub> medidos a 2 metros de distância da fonte no transecto 1 e 3, sem sebe a intersectar a linha fonte-monitor, com os registados no transecto 2, à mesma distância, mas a jusante da sebe. Os resultados sugerem também que o efeito barreira é tanto mais significativo quanto menor for a distância da sebe à fonte, pois enquanto no transecto 2, com a fonte junto à sebe, o efeito barreira se traduz numa redução de PM<sub>10</sub> de aproximadamente 80  $\mu\text{g m}^{-3}$ , no transecto 3, com a fonte a 5 metros da sebe, a barreira introduz provavelmente um acréscimo na redução das concentrações de PM<sub>10</sub> de aproximadamente 4  $\mu\text{g m}^{-3}$ , admitindo que não há diferenças significativas entre o transecto 1 e 3, à distância de 4 metros.

Transecto	Distância à fonte (m)	PM10 ( $\mu\text{g m}^{-3}$ )		V ( $\text{m s}^{-1}$ )	D.V. (°C)	Tabela 2: Concentrações médias de PM <sub>10</sub> , velocidade e direcção do vento.
		Média	STD			
1	2	79,00	46,11	0,75	243,0	
	4	25,54	16,43	1,20	315,0	
	7	8,63	1,46	1,56	287,0	
	9	11,83	2,68	1,38	316,0	
	12	9,79	1,66	1,23	306,0	
	14	7,96	0,66	1,12	284,0	
2	2	4,63	1,85	1,53	279,0	
	4	3,17	1,45	1,32	258,0	
	7	6,96	3,62	1,60	312,0	
	9	23,83	14,18	1,38	269,0	
	12	4,50	1,35	0,88	297,0	
	14	4,75	1,10	1,49	293,0	
3	2	90,67	69,83	1,28	300,0	
	4	-	-	1,29	310,0	
	7	4,17	2,37	1,19	309,0	
	9	3,29	2,76	1,52	312,0	
	12	2,83	1,16	1,58	296,0	
	14	1,21	1,01	1,38	220,0	

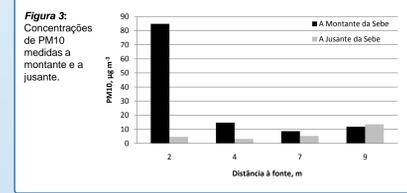


Figura 3: Concentrações de PM<sub>10</sub> medidas a montante e a jusante.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste estudo, ainda em desenvolvimento, sugerem que a presença de vegetação tende a reduzir os níveis atmosféricos de PM<sub>10</sub>, principalmente durante o período de crescimento foliar. Esse papel positivo de “limpeza” da atmosfera pode tornar-se especialmente relevante em cidades com níveis de PM<sub>10</sub> mais elevados. Também se demonstra que a vegetação actua eficazmente na filtração de PM<sub>10</sub>, particularmente quando localizada nas proximidades das fontes de poluição móveis ou fixas. Acrescenta-se o que face à complexidade dos fenómenos envolvidos nesta relação entre vegetação e PM<sub>10</sub>, as incertezas decorrentes deste tipo de ensaios são elevadas e, por conseguinte, dificulta a obtenção de resultados conclusivos. Procuraremos contornar estas dificuldades, desenvolvendo futuramente ensaios similares, porém substituindo a fonte de PM<sub>10</sub> e, se possível, introduzindo a medição simultânea de PM<sub>10</sub> em dois pontos. Apesar de ter carácter preliminar, este estudo reforça a importância da adopção de um planeamento urbano que valorize as funções ambientais da vegetação, na medida em que a sua correcta utilização contribuirá para melhorar a qualidade do ambiente urbano de forma sustentável.

### Agradecimentos:

O projecto de investigação GreenUrbe (PPCDT/AMB/59174/2004) é financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT) e pelo Fundo Europeu para o Desenvolvimento Regional (FEDER).

### Referências Bibliográficas:

Bowker, G. E., Baldass, R., Isakov, V., Knyshov, A., Petersen, W., 2007. The effects of roadside structures on the transport and dispersion of ultrafine particles from highways. *Atmospheric Environment* 41, 8129-8139.  
Bowker, M., 2007. Particle filtering capacity of urban vegetation: a microscale numerical approach. In: Endlicher *et al.* (Eds). *Tagungsband zum Workshop über den wiss. Erkenntnisstand über das Feinstaubfiltrationspotential von Pflanzen*, Berlin 1. Juni 2007 (Berliner Geographische Arbeiten 109), pp. 61-70.  
Chan, L. Y., Kwok, W. S., Lee, S. C., Chan, C. Y., 2001. Spatial variation of mass concentration of roadside suspended particulate matter in metropolitan Hong Kong. *Atmospheric Environment* 35, 3167-3176.  
Dochery, D. W. e Pope III, C. A., 1994. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review Public Health* 15, 107-132.  
Freiman, M. T., Mitchell, N., Bondy, D. M., 2006. Urban-scale variability of ambient particulate matter attributes. *Atmospheric Environment* 40, 5670-5684.  
Fuller, G. W. e Green D., 2004. The impact of local fugitive PM<sub>10</sub> from building works and road works on the assessment of the European Union Limit Value. *Atmospheric Environment* 38, 4993-5002.  
Givoni, B. M. N., Saaroni, H., Pochter, C., Ysaacov, N. F., Y. e Becker S., 2003. Outdoor comfort research issues. *Energy & Buildings* 35, 77-86.  
Sashua-Bar, I. e Hoffman, M. E. M., 2004. Quantitative evaluation of passive cooling of UCL microclimate in hot regions in summer: case study: urban streets and courtyards with trees. *Building & Environment* 39 (9), 1087-1099.  
Schwartz, J., Dochery, D. W., Neas, L. M., 1996. Is daily mortality associated specifically with fine particles? *Journal of Air and Waste Management Association* 46, 927-939.