

Agentes meteorológicos e qualidade do ar na cidade de Coimbra (Portugal)

Daniela Pinto

Licenciado em Geografia

Danygeo02@hotmail.com

Paulo Gaspar

Centro Tecnológico da Cerâmica e do Vidro

pgaspar@ctcv.pt

Nuno Ganho

Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT),

Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra – Portugal

nganho@netvisão.pt

A.M. Rochette Cordeiro

Centro de Estudos de Geografia e Ordenamento do Território (CEGOT)

Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra – Portugal

amrochette@pensarterritório.pt

Palavras–Chave: Poluição atmosférica, Coimbra-Portugal, condições climático-meteorológicas

Resumo:

De forma a perceber a relação existente entre os níveis de poluição na cidade de Coimbra, enquanto território onde a topografia, a morfologia urbana e as condições atmosféricas, introduzem alterações significativas na dinâmica local do ar, implementou-se um conjunto de campanhas de recolha de dados em locais diversos do espaço urbano, procurando aferir algumas ideias que surgem entre a comunidade científica.

A análise dos resultados obtidos levou à clarificação de concepções prévias, como a de que os espaços verdes são forçosamente e sempre áreas com óptima qualidade de ar ao contrário dos espaços construídos. Esta noção levanta questões relevantes no campo do ordenamento do território, acentuando a necessidade de efectuar estudos, no âmbito da climatologia urbana objectivados na melhoria da qualidade ambiental e do conforto das populações, e que devem ser adequadamente equacionados e enquadrados nos diversos processos do planeamento urbano.

1 - Algumas notas introdutórias

As áreas urbanas são, por excelência, locais preferenciais de acumulação de poluentes atmosféricos, o que se deve à reunião de condições ideais para a sua concentração, como a crescente impermeabilização dos solos urbanos, estreitos “*canyons*” urbanos, tráfego intenso, que quando conjugados com estados de tempo propícios para o desenvolvimento de inversões térmicas que inibem a dispersão da pluma poluída (LOMBARDO, 1985), afectam de forma decisiva a qualidade do ar actuando, deste modo sobre o conforto bioclimático das populações.

A degradação ambiental urbana surge como o resultado do somatório de emissões provenientes de fontes citadinas, que proliferam desde a revolução industrial, e que já demonstraram a sua perigosidade nos diversos acidentes, entre eles o conhecido “*smog sulfuroso de Londres*”, que em 1952, causou a morte a um elevado número de pessoas.

Considerando esses incidentes, foram várias as repercussões sentidas na comunidade científica portuguesa, principalmente na área de Lisboa, que apresenta claramente uma maior fragilidade neste campo, pelo que estudos como ANDRADE (1994, 1996 e 2005), e LOPES (2003), assumiram um papel de elevada relevância, no âmbito da qualidade do ar urbano. Neste sentido, este artigo procura sintetizar o conjunto de resultados obtidos ao longo de uma série de campanhas de monitorização da qualidade do ar, realizadas em diferentes momentos e em diferentes locais do espaço urbano do Município de Coimbra.

Da análise das diversas campanhas tornaram-se perceptíveis alguns padrões de qualidade do ar, que se associaram às próprias características topográficas da cidade, assim como às condições meteorológicas sentidas na altura da monitorização. Deste modo, procurou-se, ao longo do estudo, analisar a disseminação destes padrões, a sua ligação às características intrínsecas da cidade de Coimbra e ao conjunto de microclimas que a constituem, objectivando a investigação da vulnerabilidade de determinadas zonas para a concentração dos poluentes observados.

1. Áreas de estudo

Partindo da consulta bibliográfica sobre esta temática, teorizou-se que o espaço urbano apresenta características aerodinâmicas, radiativas e termo-higrométricas diferenciadas

das áreas envolventes, condicionadas pelas superfícies adjacentes - áreas verdes, edifícios, rodovias, entre outros – e que formam no seu conjunto, um mosaico de microclimas.

O caso de estudo analisado decorre no Município de Coimbra, localizado no Centro Litoral de Portugal, que apresenta apresenta nítidos contrastes morfológicos, o que se deve no seu conjunto à acção da tectónica, sendo delimitado a oriente pelo xistoso “Maciço Marginal de Coimbra”, com altitudes que atingem valores superiores a 500 metros e que contrastam com a área central e ocidental com altitudes mais baixas, que são parte integrante do plano aluvial do “Baixo Mondego” associado à Orla Meso-Cenozóica (CORDEIRO, 2002/04).

Deste modo, a cidade Coimbra surge como um *case study*, onde se conjuga uma morfologia acidentada, uma ilha de calor urbana, que reflecte o seu comportamento térmico singular, e a proximidade a uma massa de água, que vão claramente influenciar e determinar o clima urbano e qualidade do ar local.

Porém, ao analisar-se a movimentação das massas de ar no interior da malha urbana, tornou-se evidente a necessidade de descer a uma escala de pormenor mais acentuado – topo e microescalas – o que propiciou o estudo preliminar de pequenas unidades territoriais como a Avenida Fernão Magalhães e a Rua Lourenço Azevedo de Almeida.

Ao longo do estudo em questão, recorreu-se a dados referentes a cinco campanhas de monitorização da qualidade do ar (Figura 1), duas realizadas a pedido da Provedoria do Ambiente do Município de Coimbra, e uma pelo Departamento do Ambiente da Câmara Municipal de Coimbra (em 2005 e 2007), enquanto as duas restantes foram efectuadas nas unidades territoriais supracitadas (PINTO, 2008).

No que respeita às campanhas realizadas em 2005 e 2007, foram efectuadas, no Vale de Coselhas, no Departamento de Física e nos Hospitais da Universidade de Coimbra, locais que são fortemente condicionados pela morfologia onde se situam. O primeiro caso, localiza-se em pleno Vale de Coselhas, reconhecido por se assumir em noites de forte estabilidade atmosférica como um “lago de ar frio” e logo como uma área topograficamente deprimida onde se dá a acumulação e drenagem de ar frio (GANHO, 1998 e MARQUES, 2008).

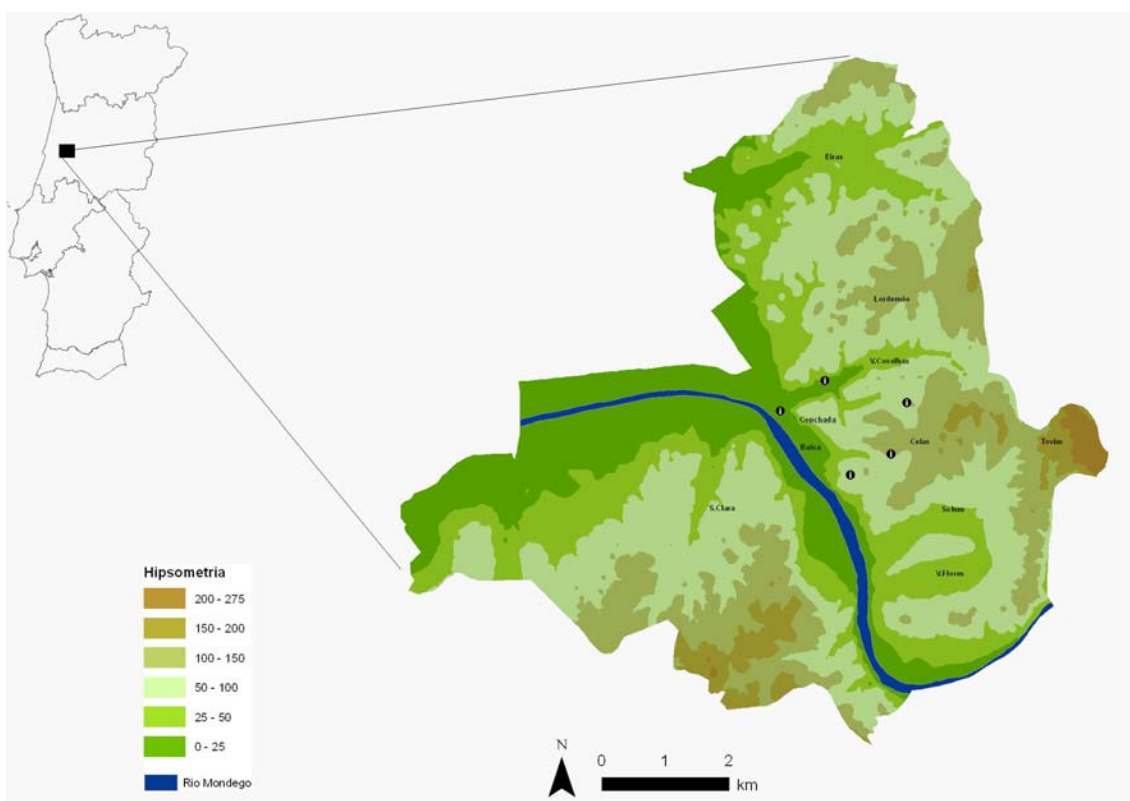


Figura 1 - Localização das campanhas de monitorização

Quanto à campanha do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, deve-se salientar a posição sobrelevada do local onde decorreu, o que associado à orientação da rua e às reduzidas fontes emissoras de poluição, particularmente ao nível do tráfego, levam a que existam condições propícias à drenagem do ar poluído. A instalação da estação junto aos Hospitais da Universidade de Coimbra, levou a que se observassem problemas semelhantes, originando a sua posição sobrelevada uma dinâmica que cria movimentações catabáticas, transportando os poluentes preferencialmente para o fundo do vale.

No que concerne aos locais que foram seleccionados para a realização das duas campanhas de 2008, optou-se por uma artéria que delimita a norte um espaço verde, mais concretamente o Parque de Santa Cruz, e por uma área claramente urbanizada a Avenida Fernão Magalhães.

Assim, topograficamente o Parque de Santa Cruz é parte integrante de uma bacia de recepção de um vale relativamente encaixado, onde se desenvolve no talvegue um dos

principais eixos da cidade (Olivais - Celas), a Avenida Sá da Bandeira, até confluir na “Baixa” coimbrã.

A Avenida Fernão Magalhães, por seu turno é constituída por 4 faixas de rodagem, que impermeabilizam por completo o solo, e que são flanqueadas por edifícios de altura variável, entre os três e os oito andares, por vezes justapostos, com passeios laterais para pedestres, com orientação Noroeste – Sueste.

2. Metodologia

Perspectivando um conjunto de limitações relacionadas com a reduzida cobertura espacial da cidade, por parte das estações de monitorização da qualidade do ar, e de onde advém um conjunto insuficiente de dados no que se refere a poluentes e à sua dispersão na cidade, optou-se pela instalação da Estação Móvel de Qualidade do Ar (fotografia 1) em pontos estratégicos, previamente definidos com o objectivo de serem o mais representativos possível da realidade urbana coimbrã.

A Estação Móvel de Qualidade do Ar consiste num atrelado em alumínio equipado com analisadores específicos para os diversos poluentes, mastros extensíveis sensíveis a parâmetros meteorológicos, captadores de partículas, e com o software (*ATMIS 7.0*) que permite transmitir informação ao administrador do sistema e adquirir remotamente essa mesma informação através de um servidor.



Fotografia 1 – Exterior e interior da Estação Móvel da Qualidade do Ar do CTCV

Esta ferramenta permite a recolha simultânea, ao segundo, de parâmetros meteorológicos - Velocidade e direcção do vento, precipitação, radiação solar,

temperatura, pressão atmosférica e humidade relativa - e de poluentes, e que no caso do presente estudo foram recolhidos poluentes como o dióxido de enxofre (SO_2), compostos de azoto (NO , NO_2 , NO_x), monóxido de carbono, material particulado ($\text{PM}_{2.5}$, PM_{10}), ozono troposférico (O_3), Benzeno, Tolueno e Xileno (BTX). Já que nas diferentes fontes bibliográficas, associadas a estes temas, surgem como sendo as principais causas da degradação da qualidade do ar de uma cidade como a de Coimbra, provenientes, na sua maioria de fontes antropogénicas (tráfego e laboração industrial).

Para a apresentação de alguns resultados obtidos, optou-se por utilizar o Índice de Qualidade do Ar (IQUAR), que consiste numa ferramenta que permite uma classificação simplificada do estado de qualidade do ar, diariamente utilizado e tornado público pela Agência Portuguesa do Ambiente. Na concretização deste índice são utilizadas as médias horárias para o NO_2 , SO_2 e O_3 , e a média de oito horas consecutivas para o CO, enquanto para as PM_{10} são utilizadas as médias diárias.

Na procura de relações entre a poluição e as diferentes variáveis climáticas, procurou atingir-se essa relação através de métodos estatísticos, no seguimento do qual se adoptaram medidas de grau de associação linear. Este grau é medido pelo recurso ao “Coeficiente de Correlação”, ou “Correlação Linear Simples”, que pressupõe a selecção de duas variáveis: uma delas, dependente ou explicada (y), o poluente, enquanto a outra será a independente ou explicativa (x), e que será um dos elementos climáticos.

Posteriormente, foi efectuado o cálculo do “Coeficiente de Correlação” ou de “Pearson”, onde o resultado varia entre $[-1; +1]$, e cuja correlação é tanto mais forte quanto mais se afastar do valor nulo¹. Para melhor se compreenderem os resultados obtidos realizou-se o “Coeficiente de Determinação”, pela fórmula ($r^2 \cdot 100$), o que permitiu determinar, em termos percentuais, o quanto a variável dependente é explicada pela independente.

Findo este processo, recorreu-se a um conjunto de procedimentos que permitiram uma análise mais minuciosa das ligações obtidas, desde rosas anemoscópicas, a rosas de poluentes, à análise de cartas sinópticas.

¹ Quando o valor é 1, há uma correlação positiva perfeita; quando o valor é negativo há uma correlação negativa perfeita;

3. Resultados

3.1 - As campanhas realizadas no âmbito de outros projectos²

a) Departamento de Física e Hospitais da Universidade de Coimbra

Em 2007, foram realizadas pela Provedoria do Ambiente e Qualidade de Vida Urbana de Coimbra, utilizando a Estação Móvel do Centro Tecnológico Cerâmica e do Vidro, duas campanhas que visavam num primeiro momento o avaliar a qualidade de ar de dois locais na estrutura urbana da cidade. A primeira campanha decorreu de 15 a 22 de Maio, tendo sido efectuada nas imediações do Departamento de Física da Universidade de Coimbra, enquanto a segunda ocorreu de 8 a 18 de Junho, junto aos Hospitais da Universidade de Coimbra.

Em ambos os casos se observa que as medições foram efectuadas partindo de pontos sobrelevados, o que levanta algumas questões sobre a viabilidade dos mesmos, uma vez que ao se observarem circulações catabáticas, os possíveis poluentes têm a propensão de confluir para o fundo dos vales adjacentes. No entanto, e, nestes casos, mais importante do que a sua posição topográfica, é o reduzido número de fontes poluentes emissoras, o que, como se compreende, se deve ao facto de se ter efectuado as campanhas no interior do perímetro de um Hospital e de um espaço Universitário, onde a artéria mais próxima é de apenas uma via o que logicamente não propicia ao tráfego automóvel intenso, tornando os dados como pouco representativos da realidade urbana coimbrã.

No caso da campanha realizada no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, os resultados apresentaram-se próximos dos que eram expectáveis com um índice de qualidade de ar a oscilar entre o “muito bom” e “médio”, não denunciando grandes episódios de poluição. Enquanto na campanha realizada nos Hospitais da Universidade de Coimbra, embora tendo um maior número de dias do que a anterior, exibiu uma boa qualidade do ar, apresentando apenas um dia com nível “médio”.

Apesar destas campanhas já terem sido tratadas anteriormente no seguimentos dos projectos em que se encontravam inseridas, optou-se, para este estudo por utilizar os dados dos dias úteis e do fim-de-semana, efectuando a devida análise estatística, o que permitiu verificar que existe uma diminuição de poluição na atmosfera durante os fins-

² Os dados foram fornecidos respectivamente pela Provedoria do Ambiente e Qualidade do Ar Urbano de Coimbra, e pelo Departamento de Ambiente e Qualidade de Vida da Câmara Municipal de Coimbra, a quem os autores agradecem. Estes dados sofreram posteriormente uma análise que surgiu no seguimento da análise efectuada para as campanhas realizadas em 2008, no âmbito do seminário curricular.

de-semana, o que indubitavelmente se deve ao facto de existir uma redução nas fontes emissoras, especificamente no trânsito automóvel, ainda que em nenhum momento da monitorização se tenham excedido os limites de informação e de alerta estabelecidos estipulados pelo Decreto-lei 320/2003.

Na avaliação geral dos resultados obtidos, comprovaram-se as expectativas num primeiro momento, sendo estes locais uma escolha menos feliz, já que dadas as suas características, especificamente por se situarem em cumeadas, reúnem condições propícias à dispersão de poluentes, gerando assim resultados pouco representativos da realidade urbana do Município de Coimbra.

b) Vale de Coselhas

A campanha que se realizou em Outubro de 2005, nas proximidades da “Estação Elevatória de Coselhas”, em pleno Vale de Coselhas, apresentava, tal como foi salientado, condições diferenciadas das anteriores, uma vez que se trata de um vale onde se reflecte uma acumulação e drenagem de ar frio que reforça as inversões térmicas baixas, inibindo a expansão vertical da pluma térmica urbana, o que por sua vez ocasiona a diminuição da qualidade do ar por dificuldade na dispersão dos poluentes (GANHO, 1998).

Analisando os dados recolhidos durante a campanha, constatou-se que existiu um dia (25 de Outubro) que se salientou dos restantes, já que apresentava valores mais elevados de poluição, levantando a questão se a causa se encontrava associada a emissões esporádicas mais concentradas ou se, tal como se viria a comprovar, tinha origens meteorológicas.

Na tentativa de encontrar uma justificação para esta “anomalia”, recorreu-se à carta sinóptica (Figura 1) onde se constatou que a Península Ibérica se encontrava sobre a influência de um Anticiclone Ibero-mediterrâneo (Am), que normalmente “fomenta circulações continentais lentas e consequentemente, condições de tempo de céu limpo, vento fraco e maior secura do ar” (GANHO, 2001).

Mediante este estado de tempo, o índice de Qualidade do Ar, ao contrário dos restantes dias, apresentou uma classificação inferior, sendo o material particulado o responsável por este resultado. Uma contribuição clara no desencadear deste episódio de poluição, foi a da aragem, intensificada *a posteriori* até brisa leve, segundo a escala anemométrica

de Beaufort, proveniente de Su-sudoeste, Su-sueste e És-sueste, e que segue a direcção do vale onde a estação estava instalada (gráfico 1), e que não tendo uma velocidade muito elevada, manteve o material particulado em suspensão.

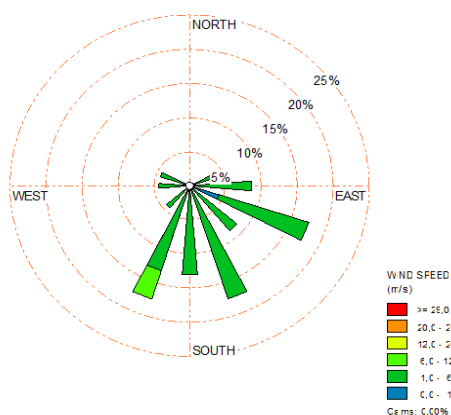


Gráfico 1- Rosa anemoscópica respeitante a 25/10/05

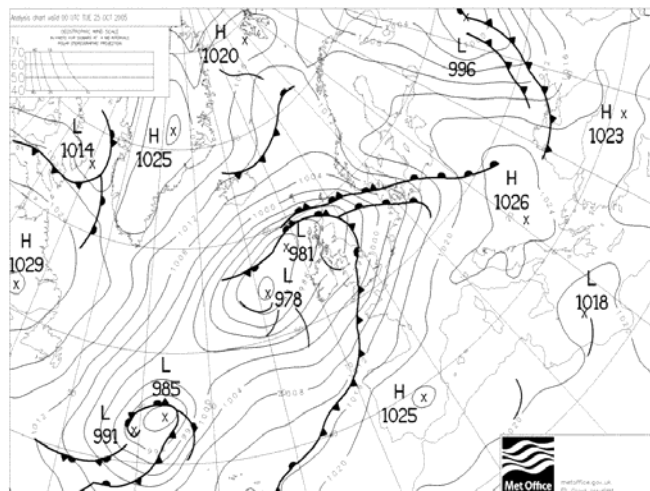


Figura 2 - Carta sinóptica de 25/10/05
(<http://www.infomet.fcr.es/>)

Associado às condições observadas nesse dia, deve ainda ser salientado o facto do Verão desse ano ter sido preenchido por uma série de incêndios florestais no distrito de Coimbra, o que gerou uma quantidade significativa de resíduos que ficaram predispostos para o transporte pela água, ou pelo vento, o que pode facilmente justificar os valores mais elevados do material particulado em toda a campanha.

Outro facto que se evidenciou após a análise dos dados foi o comportamento intra-diurno dos poluentes, onde se realçam os picos das nove e das dezoito horas, que constituem as maiores afluências de trânsito, e de onde decorrem os aumentos dos compostos de azoto, e do monóxido de carbono. Contrariamente a estes, o ozono troposférico apresenta os seus valores mais elevados quando se observa o pico de radiação e da temperatura (entre as 14 e as 16 horas).

Apesar de ser possível estabelecer uma correlação com os estados de tempo que se faziam sentir na altura da campanha, julga-se que será a dinâmica do movimento das massas de ar influenciada pela topografia que vai actuar sobre a concentração e a dispersão de poluentes. Este facto, aliado ao ligeiro aumento nocturno da velocidade do

vento, canalizado pelo vale, e à estratificação térmica inversa conduz a uma degradação nocturna da qualidade do ar, e consequentemente à melhoria da qualidade do ar durante o dia por aumento da espessura da camada de mistura.

3.2 -As campanhas do ano de 2008

a) Parque de Santa Cruz

À semelhança do que acontece com os “lagos de ar frio” também os espaços verdes possuem características topoclimáticas muito próprias, e que contrastam com as características do espaço urbano construído: menor albedo, menor duração de iluminação, menor temperatura, maior humidade absoluta e relativa e menor intensidade do vento, o que levou à colocação, de forma a recolher dados ligados aos diversos poluentes, da Estação Móvel de Qualidade do Ar, numa área contígua a um espaço verde, Parque de Santa Cruz, de 15 a 22 de Julho de 2008.

Da análise do vale onde se encontra localizado o Parque de Santa Cruz, facilmente se percebe um fluxo de ar proveniente do topo da colina e que vai escoar ao longo do vale, passando pelo topo do Parque de Santa Cruz e da Praça da República. Este facto, confirma a existência de uma inversão térmica nesse local, que, conjugado com a lenta circulação derivada da orientação do vale e do declive do terreno, se conhece por prejudicar a dispersão de poluentes (GANHO, 1998).

Daqui surge uma situação que pode parecer bastante ambígua, já que, se por um lado a inversão térmica vai dificultar a dispersão de poluentes, por outro, o fluxo de ar vai facilitá-la, renovando constantemente o ar ao longo da Avenida Sá da Bandeira, mas produzindo um risco de acumulação de poluição no fundo do vale.

Com o objectivo de compreender de que modo a poluição interagiu com os elementos meteorológicos, calcularam-se os respectivos coeficientes de correlação (ou coeficiente de Pearson), e os coeficientes de determinação (Quadro I)³.

³ No quadro I, os valores a sublinhado encontram-se dentro do intervalo de confiança. Os coeficientes de correlação só são significativos quando em valor absoluto sejam superiores, para um número de efectivos de 168 (que é o caso desta amostra), a 0,16 para uma margem de erro de 10%, 0,19 para margem de erro de 5%, 0,23 para uma margem de erro de 2% e 0,25 para uma margem de erro de 1%, tendo sido calculados separadamente, os intervalos de confiança para as PM_{2,5} e para as PM₁₀, sendo no primeiro caso, idêntico aos restantes efectivos.

Numa primeira análise observa-se que todos os poluentes, com a excepção do material particulado (o que se mostra irrelevante dados os valores das correlações), mantêm a mesma relação com a temperatura, a humidade, a radiação, e com a velocidade do vento, divergindo apenas, nalguns casos na relação com a pressão atmosférica.

Assim, pode afirmar-se que, pelas correlações estabelecidas, a temperatura e a humidade são os parâmetros que mais influenciaram a distribuição dos poluentes, pelo que foi possível aferir que, neste caso, a temperatura, a radiação e a velocidade do vento foram responsáveis pelo aumento da concentração de poluição, enquanto a humidade terá sido a grande culpada pela sua diminuição.

Estes resultados mostram-se bastante relevantes, já que parecia mostrar a existência de uma importante relação entre os elementos meteorológicos e os poluentes, em particular quando as emissões se efectuam nas proximidades de espaços verdes.

Ainda assim, quando se analisaram os dados recolhidos na Estação Móvel, constata-se que entre todas as situações teóricas entretanto apresentadas (PINTO, 2008), não corresponde por completo ao estudo de caso. Na realidade, pelo número de fontes emissoras e pelas características particulares dos espaços verdes pressupôs-se que esta seria a campanha que mostraria uma maior qualidade do ar, o que pelo índice de qualidade do ar não se revelou totalmente acertado.



Quadro I- Coeficiente de Pearson e de determinação entre as concentrações de poluentes e os elementos meteorológicos

Poluentes	Elem. Climáticos	Temperatura	Humidade	Pressão	Radiação	Velocidade Vento
SO ₂	C. Pearson	<u>0,57</u>	<u>-0,68</u>	<u>0,28</u>	<u>0,27</u>	<u>0,42</u>
	C. Determinação	32	46	8	7	17
CO	C. Pearson	<u>0,35</u>	<u>-0,47</u>	<u>0,12</u>	<u>0,09</u>	<u>0,15</u>
	C. Determinação	12	22	1	1	2
NO	C. Pearson	<u>0,40</u>	<u>-0,51</u>	<u>0,14</u>	<u>0,19</u>	<u>0,30</u>
	C. Determinação	16	26	2	4	9
NO ₂	C. Pearson	<u>0,89</u>	<u>-0,88</u>	<u>-0,04</u>	<u>0,43</u>	<u>0,48</u>
	C. Determinação	79	78	0	18	23
NO _x	C. Pearson	<u>0,58</u>	<u>-0,67</u>	<u>0,11</u>	<u>0,28</u>	<u>0,38</u>
	C. Determinação	34	45	1	8	15
O ₃	C. Pearson	<u>0,78</u>	<u>0,74</u>	<u>0,10</u>	<u>0,43</u>	<u>0,42</u>
	C. Determinação	61	54	1	19	17
PM _{2,5}	C. Pearson	<u>-0,03</u>	<u>0,32</u>	<u>-0,65</u>	<u>0,12</u>	<u>0,05</u>
	C. Determinação	0	10	42	2	0
PM ₁₀	C. Pearson	<u>0,20</u>	<u>-0,18</u>	<u>-0,71</u>	<u>0,19</u>	<u>0,06</u>
	C. Determinação	4	3	51	4	0
Benzeno	C. Pearson	<u>0,31</u>	<u>-0,45</u>	<u>0,04</u>	<u>0,03</u>	<u>0,16</u>
	C. Determinação	9	20	0	0	3
Tolueno	C. Pearson	<u>0,22</u>	<u>-0,33</u>	<u>0,03</u>	<u>-0,12</u>	<u>0,09</u>
	C. Determinação	5	11	0	1	1
Xileno	C. Pearson	<u>0,27</u>	<u>-0,36</u>	<u>-0,23</u>	<u>0,05</u>	<u>0,11</u>
	C. Determinação	7	13	5	0	1

De todas as campanhas realizadas, esta foi a que apresentou uma qualidade do ar mais baixa, sendo o material particulado de 10µm o poluente responsável por este resultado. Na realidade, apenas dois dias apresentam uma qualidade aceitável, enquanto os restantes apresentam um nível “médio” a “fraco”, que se relaciona com a estrutura térmica e dinâmica vertical da célula fresca que é o Parque de Santa Cruz.

Quadro II - Índice da Qualidade do Ar (IQUAR)

Dia	CO	NO ₂	O ₃	PM ₁₀	SO ₂	Índice global	Poluente Resp.
15-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Muito bom	Muito bom	Muito Bom	Muito bom	CO
16-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Médio	Muito Bom	Médio	PM ₁₀
17-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Muito bom	Médio	Muito Bom	Médio	PM ₁₀
18-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Muito bom	Médio	Muito Bom	Médio	PM ₁₀
19-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Bom	Fraco	Muito Bom	Fraco	PM ₁₀
20-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Muito bom	Fraco	Muito Bom	Fraco	PM ₁₀
21-07-08	Muito Bom	Muito Bom	Muito bom	Bom	Muito Bom	Bom	PM ₁₀

Após o cálculo das correlações e do índice de qualidade do ar conclui-se que a razão destes resultados está claramente nas condições meteorológicas que se registaram na altura da campanha, desde a circulação de Leste que afectou três dias, ao anticiclone atlântico misto, que originaram ventos fracos (entre a aragem e brisa leve), temperaturas elevadas e baixa humidade relativa.

b) Avenida Fernão Magalhães

A segunda campanha de 2008 que se desenvolveu entre 1 e 8 de Agosto na Baixa da cidade, mais propriamente num espaço intrinsecamente urbanizado, e que constitui um “canyon” urbano - a Avenida Fernão Magalhães.

Nesta artéria é possível percepcionar uma certa verticalização, que acaba por alterar a rugosidade da superfície local, ora canalizando os ventos, ora actuando como barreiras à livre circulação do ar. Por outro lado, deve ser relembrado o facto de os prédios agirem como “armazenadores térmicos”, modificando as trocas de energia, propiciando assim, a criação de campos térmicos diferenciados, criando uma ambiência própria. Destas condições resulta que, em ocasiões sinópticas de estagnação atmosférica, a qualidade do ar pode ficar comprometida, uma vez que a estrutura topográfica edificada tende a propiciar o confinamento dos poluentes lançados pelo intenso tráfego automóvel que nela circulam, funcionando aqui as ruas como verdadeiros vales, cujas vertentes são constituídas pelas paredes dos edifícios, e que acabam por ser a verdadeira definição de “Canyon” urbano.



Da análise dos dados desta campanha (Quadro II), podem retirar-se algumas ilações: a existência de extremos, ou seja, correlações muito elevadas, especialmente em determinados poluentes, como o ozono, ou o dióxido de carbono, e outras cujos valores são insignificantes para vários parâmetros, como o tolueno ou o material particulado.

Quadro III - Coeficiente de Pearson e de determinação entre as concentrações de poluentes e os elementos meteorológicos

Elem. Climáticos		Temperatura	Humidade	Pressão	Radiação	Velocidade Vento
Poluentes						
SO ₂	C. Pearson	<u>0,26</u>	<u>-0,21</u>	<u>-0,41</u>	<u>0,28</u>	<u>0,25</u>
	C. Determinação	7	4	17	8	6
CO	C. Pearson	<u>0,19</u>	<u>-0,41</u>	<u>0,31</u>	<u>0,21</u>	<u>0,08</u>
	C. Determinação	4	17	10	4	1
NO	C. Pearson	<u>-0,01</u>	<u>-0,27</u>	<u>0,36</u>	<u>0,08</u>	<u>-0,10</u>
	C. Determinação	0	7	13	1	1
NO ₂	C. Pearson	<u>0,78</u>	<u>-0,90</u>	<u>0,10</u>	<u>0,68</u>	<u>0,79</u>
	C. Determinação	61	82	1	47	63
NO _x	C. Pearson	<u>0,14</u>	<u>-0,44</u>	<u>0,36</u>	<u>0,21</u>	<u>0,06</u>
	C. Determinação	2	19	13	4	0
O ₃	C. Pearson	<u>0,85</u>	<u>-0,75</u>	<u>-0,11</u>	<u>0,80</u>	<u>0,80</u>
	C. Determinação	72	57	1	64	64
PM _{2,5}	C. Pearson	<u>0,11</u>	<u>0,02</u>	<u>-0,68</u>	<u>-0,06</u>	<u>-0,03</u>
	C. Determinação	1	0	46	0	0
PM ₁₀	C. Pearson	<u>0,03</u>	<u>-0,08</u>	<u>0,34</u>	<u>0,01</u>	<u>-0,06</u>
	C. Determinação	0	1	12	0	0
Benzeno	C. Pearson	<u>0,19</u>	<u>-0,42</u>	<u>0,33</u>	<u>0,26</u>	<u>0,10</u>
	C. Determinação	3	17	11	7	1
Tolueno	C. Pearson	<u>-0,17</u>	<u>-0,03</u>	<u>0,37</u>	<u>-0,02</u>	<u>-0,21</u>
	C. Determinação	3	0	14	0	4
Xileno	C. Pearson	<u>0,17</u>	<u>-0,38</u>	<u>0,37</u>	<u>0,21</u>	<u>0,09</u>
	C. Determinação	3	14	14	4	1

No que concerne o dióxido de enxofre, nota-se que existem correlações, embora não muito fortes, mas significativas, com todos os elementos meteorológicos. Destes, deve ser destacada a pressão, que é responsável em 17% pela distribuição do dióxido de enxofre, sofrendo com este uma relação inversa, onde sempre que há um aumento da pressão aquele diminui, o que também acontece com a humidade, mas apenas em 4%. Já com a radiação, a temperatura e a velocidade do vento, vai apresentar uma relação directa, aumentando, segundo estes, de forma proporcional.

Os compostos de azoto mostram-se muito diversificados nas suas correlações, ainda que, de uma forma geral, sigam os mesmos sentidos. No caso da humidade, que serve de elemento dispersante para todos os poluentes nesta campanha, há uma influência de 82% no comportamento do dióxido de azoto, o que se apresenta como extremamente representativo. Estas correlações mostram-nos que este, juntamente com o ozono troposférico, é um dos poluentes que, ao longo desta campanha, maior afinidade apresenta com os elementos meteorológicos.

Relativamente ao ozono destaca-se a relação positiva que detém com a temperatura, radiação e velocidade do vento, sendo influenciado por estes em 60% ou mais, mostrando que no decorrer do dia, quando os valores aumentam, ocorre um aumento do ozono, inversamente ao que acontece com a humidade.

De um modo geral, todos os poluentes mostraram uma relação inversa com a humidade, diminuindo quando esta aumenta, classificando-a como o maior motor de deposição/remoção de poluentes da atmosfera, ao contrário do que acontece com as relações existentes com a radiação e temperatura, responsáveis pelo aumento dos poluentes na área.

Considerando que a estação móvel foi colocada numa área onde o trânsito automóvel é normalmente muito intenso, e já conhecendo as correlações existentes com os elementos meteorológicos, procurou-se perceber de que forma influenciou os níveis de poluição, pelo que se recorreu novamente ao Índice de Qualidade do Ar. Neste caso, só as condições meteorológicas propiciaram os baixos valores registados, uma vez que as fontes de emissão de poluição, são em número superior neste local. No entanto, aqui o nível global classificou-se sempre como “bom”, excepto no segundo dia, que foi classificado como “médio”, tendo sido o material particulado o responsável.

Apesar de ter sido realizada apenas uma semana após a campanha efectuada na Rua Lourenço de Almeida Azevedo (Parque de Santa Cruz), verifica-se que esta é uma campanha que apresenta valores muito mais aceitáveis do que a anterior. Ainda assim, depreende-se que caso esta campanha fosse executada, na mesma semana, muito provavelmente apresentar-se-ia com valores muito superiores aos registados ao longo daquela.

Para esta classificação contribui a orientação da rua, que canalizou e acelerou a nortada (Figura 3), que se fazia sentir na altura da campanha, segundo o efeito de Venturi, o que

aumentou, claramente, a capacidade dispersora, removendo os traços de poluentes existentes na baixa camada atmosférica, segundo a orinetação da rua, originando a boa qualidade do ar verificada nesta área.

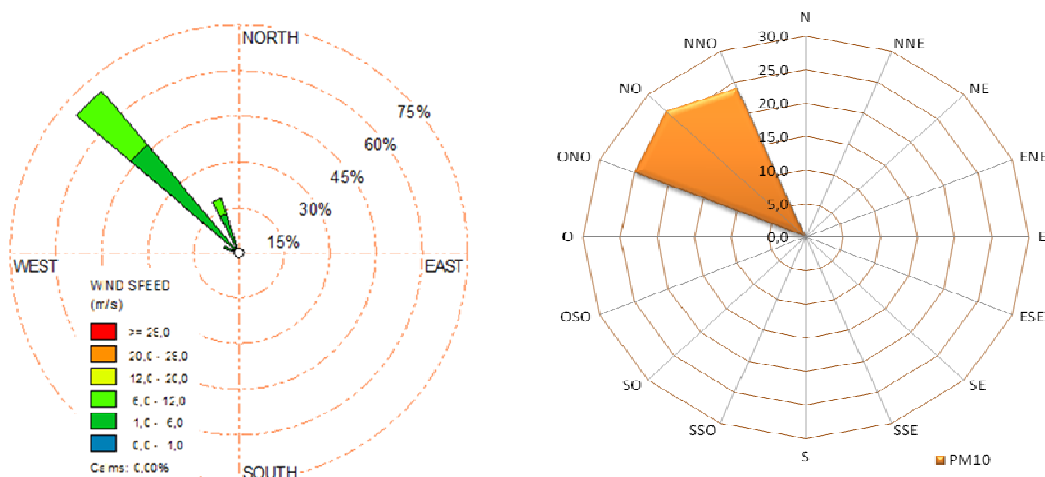


Figura 3 - Rosa anemoscópica e rosa do poluente PM₁₀ referente à média semanal da campanha de monitorização da Avenida Fernão Magalhães

4 - Estratégias para a aplicação ao ordenamento

Actualmente, a tendência de desenvolvimento preponderante é a expansão da área das zonas urbanas baseada na clara mobilidade espacial das populações, que procuram, neste espaço, o acesso a uma melhor qualidade de vida expressa pela oferta de serviços, indústria, comércio, educação, saúde, segurança, lazer, paisagem, e mesmo um bom ambiente.

Estes conceitos surgem associados à ideia de cidade sustentável, que as administrações centrais, na sua relação com as administrações locais, procuram incessantemente obter recorrendo para tal a instrumentos políticos e a indicadores de sustentabilidade que permitam efectuar uma análise fidedigna das diversas realidades locais e como tal concretizar um conjunto de medidas possíveis de atingir a sustentabilidade.

No entanto, a cidade sustentável ainda surge, um pouco, como uma visão utópica, e, como referido no Relatório das Nações Unidas, 2004, as zonas urbanas aglomeram, aproximadamente metade da população mundial, o que acarreta consequências notórias

para a qualidade do ambiente urbano e consequentemente para o clima urbano e para o conforto bioclimático das populações.

Nesta linha de pensamento, a monitorização da qualidade do ar urbano adquire um papel vital para atenuar o desconforto bioclimático das populações, assim como para explicar alguns contrastes térmicos resultantes da acumulação de gases de efeito estufa na baixa atmosfera.

Considerando os dados obtidos nas campanhas de monitorização, seria possível estabelecer linhas orientadoras para o planeamento onde se ponderassem as características microclimáticas das diversas unidades territoriais do espaço urbano, bem como as médias referentes à passagem de veículos e das emissões daí provenientes.

Partindo dos dados obtidos na monitorização em diversos cortes sectoriais, poder-se-ia analisar em que sectores da rua a deposição dos poluentes é favorecida pelo transporte turbilhonar, resultante da diminuição da velocidade do vento, de uma maior humidade relativa, ou de uma maior exposição à radiação solar.

Este conhecimento poderá, assim, permitir esboçar estratégias, que mitiguem a exposição das populações às áreas mais afectadas pela poluição atmosférica. Entre as diversas estratégias possíveis, salienta-se a redução do tráfego rodoviário, ou a restrição da circulação de veículos mais poluentes nas áreas mais susceptíveis, mas principalmente optar-se por se alargar as zonas pedonais, preferencialmente nas áreas de maior deposição de poluentes e de menor ventilação, em detrimento das áreas que têm uma maior ventilação, e onde a poluição proveniente do tráfego será mais facilmente dispersa.

Desta forma, através de medidas básicas e pouco onerosas, como será o aumento da pedonização em determinados sectores, que embora não sendo ideais, melhoram a qualidade do ar, diminuindo assim, a exposição da população.

5 Alguns aspectos conclusivos

A elaboração deste artigo pretendeu prestar uma contribuição para o conhecimento sobre a interferência da poluição atmosférica no clima urbano, através da análise de um conjunto de campanhas realizadas em diferentes espaços da cidade de Coimbra.

Nesse sentido, e após a realização de três monitorizações em 2005 e em 2007 (no Vale

de Coselhas, no Departamento de Física e nos Hospitais da Universidade de Coimbra), onde a escolha dos lugares de instalação, em especial no segundo período, parece ter sido pouco acertada em termos dos objectivos que se procuravam.

Já a monitorização realizada no Vale de Coselhas, apresentou valores muito interessantes em termos de níveis de poluição, uma vez que ao contrário do que aconteceu na maioria das campanhas, estes no período nocturno aumentavam, o que se encontra directamente relacionado com a dinâmica de vale e dos fluxos daí originários, que propiciam a concentração de poluentes nesse local durante a noite e que, devido ao aumento da velocidade do vento durante o dia provocam a dispersão dos mesmos.

No que respeita à campanha de 2008, foram escolhidos sectores muito díspares: Parque de Santa Cruz e Avenida Fernão Magalhães. Na realidade, a escolha prendeu-se com uma ideia pré-concebida sobre o que poderia vir a acontecer, de que os valores registados nos espaços verdes, pela quantidade de fontes emissoras e pelas suas características purificantes deveriam ser menores do que nos espaços densamente construídos e onde o tráfego automóvel se apresenta como substancialmente acrescido.

Porém, esse facto revelou-se pouco coerente com o expectável, uma vez que pelos índices de qualidade do ar é comprovado que na primeira campanha apresentavam classificações de “fraco”, em dois dos sete dias da campanha, e na segunda verificam-se níveis superiores ao “médio”, tendo este apenas acontecido num dia. Pela análise efectuada parece ser notório que estes resultados se devem, no essencial às condições meteorológicas observadas, já que no primeiro caso se registaram condições anticiclónicas que levavam a uma maior estabilidade da atmosfera e logo ao “aprisionamento” dos poluentes nessa área, ao contrário do que aconteceu na Av. Fernão Magalhães, cuja nortada facilitava a dispersão dos mesmos.

Os resultados obtidos até ao momento mostram, que se tornou necessário a realização de novas observações um pouco mais frequentes assim como em diferentes condições meteorológicas, procurando sectores urbanos que sejam mais representativos da realidade local, com o objectivo de obtenção de estudos mais direccionados para o planeamento e ordenamento do território.

Referências Bibliográficas

ANDRADE, Henrique (1994), *“Poluição atmosférica e clima em Lisboa. Aspectos da*

variação espacial e temporal no semestre de Inverno". Dissertação de Mestrado em Geografia Física e Regional, Universidade de Lisboa, pp. 125-127

ANDRADE, Henrique (1996), "*A qualidade do ar em Lisboa. Valores médios e situações extremas*", Finisterra, XXXI, 61, pp. 43-66;

ANDRADE, Henrique (2005), "*O clima urbano – Natureza, escalas de análise e aplicabilidade*", Finisterra, XL, 80, pp. 67-91;

CORDEIRO, A. M. Rochette (2002/04) "*Uma nova perspectiva de ordenamento do território para o Concelho de Coimbra: uma abordagem segundo a "filosofia" dos corredores verdes*", Cadernos de Geografia, nº21/23, Faculdade de Letras da Universidade de Coimbra, Coimbra, pp. 67-78

GANHO, Nuno (1996), "*Espaços verdes no interior do tecido urbano de Coimbra, Portugal: Contrastes topoclimáticos, influência bioclimática e riscos de poluição atmosférica*", Territorium, 3, pp. 35-55

GANHO, Nuno, (1998) "*O clima urbano de Coimbra – Estudo de Climatologia local aplicada ao ordenamento urbano*", Dissertação de Doutoramento em Geografia Física, Instituto de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras, Universidade de Coimbra, pp. 551

GANHO, Nuno, (2001), "*Classificação de tipos de tempo aplicada à análise topoclimática - Uma proposta metodológica*", Cadernos de Geografia, n.º 20, Coimbra, FLUC, pp. 53-63

LOMBARDO, M. A. (1985) "*Ilhas de Calor nas Metrópoles: o caso de São Paulo.*" São Paulo: HUCITEC, p. 244

LOPES, António (2003) "*Modificações no clima de Lisboa como Consequência do Crescimento Urbano – Vento, Ilha de Calor de Superfície e Balanço Energético*", Doutoramento em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, pp. 59 - 60

MARQUES, David (2008), "*Clima urbano e ordenamento: O exemplo de Coimbra*". Seminário final de Licenciatura em Geografia Física. Coimbra, p. 142 (policopiado).

PINTO, Daniela (2008) "*Poluição Atmosférica e Clima Urbano na cidade de Coimbra*", Seminário final de Licenciatura em Geografia Física. Coimbra, p. 81 (policopiado)

STULL, R. (1988), “*An introduction to boundary-layer meteorology*”, Dordrecht, Boston, London: Kluwer Academic Publishers, p. 251