

# A INFLUÊNCIA DA MORFOLOGIA URBANA NA MODIFICAÇÃO DAS BRISAS DO ESTUÁRIO DO TEJO NA ZONA ORIENTAL DE LISBOA

João Vasconcelos<sup>1</sup>  
António Lopes<sup>2</sup>

## Resumo

A importância das brisas, enquanto elemento climático capaz de atenuar o efeito da ilha de calor urbana de Lisboa, tem sido menosprezada pelos agentes planeamento urbano. As construções urbanas em forma de “barreira” paralela à linha de costa podem diminuir a intensidade das brisas e, deste modo, degradar as condições de conforto dos habitantes. Neste trabalho, identificou-se uma relação entre o crescimento urbano e a diminuição da intensidade das brisas do Tejo. O crescimento urbano, entre 2001 e 2005, na zona oriental de Lisboa é responsável por uma diminuição média da intensidade das brisas na ordem dos 11%. Em alguns casos extremos estima-se uma redução que pode atingir valores de 60%. É previsível um agravamento deste cenário num futuro próximo, recomendando-se medidas de salvaguarda das condições de conforto bioclimático.

## Palavras-chave

Brisas do estuário do Tejo, morfologia e crescimento urbano, clima urbano de Lisboa.

## Introdução

As cidades, através das suas componentes físicas e funcionais, modificam profundamente as condições climáticas regionais e locais, podendo criar situações claramente desfavoráveis aos seus habitantes. A diminuição da velocidade do vento, associada ao crescimento do edificado urbano é um dos factores que mais condiciona o clima das cidades. Em Lisboa, o progressivo aumento da rugosidade aerodinâmica na tem levado a uma diminuição da velocidade do vento na ordem dos 30% (Lopes, 2003).

Neste sentido, torna-se necessário fornecer aos agentes de planeamento informação sobre as consequência climáticas causadas pelo crescimento urbano, de forma a que este possa encontrar uma situação de compromisso entre o necessário desenvolvimento da cidade e a salvaguarda das condições de conforto e de saúde da população (Scherer *et al.*, 1999; Alcoforado, 1999; Alcoforado *et al.*, 2004).

---

<sup>1</sup> Centro de Estudos Geográficos  
Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa  
Alameda da Universidade 1600-214  
Tel: 21 7980087

<sup>2</sup> [j.vasconcelos@netcabo.pt](mailto:j.vasconcelos@netcabo.pt)  
[antlop@mail.telepac.pt](mailto:antlop@mail.telepac.pt)

Neste trabalho pretende confirmar-se, através da simulação numérica, que o actual crescimento urbano na faixa ribeirinha oriental de Lisboa diminui a capacidade de penetração das brisas na cidade, podendo comprometer o conforto e saúde da população. Pretende-se trazer uma nova visão sobre os aspectos climáticos locais e microclimáticos que se deve ter em conta no planeamento do território, contribuindo assim para o desenvolvimento sustentável de Lisboa.

### **As brisas do estuário do Tejo**

As brisas são fenómenos climáticos que se caracterizam pela advecção de ar induzida por diferenças térmicas (Alcoforado, 1987; Simpson, 1994; Mora, 1998; Neto, 2005). No caso das brisas do mar, ou do rio, as diferenças térmicas são causadas pelas diferenças entre o calor específico da terra e da água, que se caracteriza por uma maior capacidade de aquecimento da terra em relação ao mar durante o dia, e um maior arrefecimento durante a noite. Neste sentido, durante o dia, tanto a terra como o mar começam a ser aquecidos pela radiação solar, mas a superfície terrestre aquece mais rapidamente que a superfície de água, originando diferenças térmicas entre ambas as superfícies. As diferenças de temperatura aumentam durante o dia, o que leva a diferenças de pressão nas baixas camadas da atmosfera, que originam brisas do mar (Geiger, 1980; Alcoforado, 1987; Oke, 1987; Simpson, 1994, Mora, 1998; Azorin Molina, 2004). Devido à sua trajectória, as brisas de mar ou do estuário transportam, em grande parte dos casos, ar fresco e húmido.

Em Lisboa, o regime de vento estival é dominado por um fluxo do quadrante Norte (o rumo N e NW ocorrem em 70% das ocasiões) com uma velocidade relativamente forte, superior a 5,6 m/s (Alcoforado, 1987). Quando a nortada abranda, ou cessa, desencadeiam-se fenómenos de brisa do mar e do estuário (Alcoforado, 1987; 1992; Alcoforado *et al.*, 2005a; Lopes, 2002; Andrade, 2003). Este fenómeno de circulação local ocorre em 30% dos dias de verão.

Foram já identificados três regimes de brisas em Lisboa que têm como principal característica uma rotação na componente direccional do vento: (i) as brisas de nordeste que rodam para este/sudeste; (ii) as brisas de este que rodam para sudeste e às vezes para sul; e as brisas que rodam até sudoeste ou mesmo oeste (Alcoforado, 1987).

Segunda a mesma autora, as causas da rotação das brisas, sobretudo as observadas na zona oriental da cidade, continua por se esclarecer, embora já tenham sido apontadas duas hipóteses que não se excluem, antes podem actuar conjuntamente:

- a) a brisa do oceano, ainda fraca de manhã seria canalizada pelo Tejo, divergindo onde o estuário alarga tomando a componente de sudeste;

- b) de manhã a própria brisa seria um fenómeno localizado, induzido pelas diferenças de temperatura entre o estuário mais fresco e a cidade mais aquecida.

Encontra-se actualmente em fase de estudo as diferenças entre os balanços energéticos entre o estuário do Tejo e a cidade. Estes estudos poderão trazer novos elementos de análise que permitirão confirmar estas hipóteses e mesmo contribuir com novas explicações para a ocorrência das brisas.

Apesar de o padrão das brisas em Lisboa ter vindo a ser estudado desde a década de 80 (Alcoforado, 1987; 1992; Lopes, 2002; Alcoforado *et al.*, 2005a), a sua importância, enquanto elemento climático, capaz de atenuar o efeito da ilha de calor urbana de Lisboa, tem sido menosprezada pelos agentes do planeamento urbano.

Neste trabalho, as brisas estivais do estuário foram caracterizadas através da análise dos dados horários da estação meteorológica do Cabeço das Rolas<sup>3</sup> durante o período de 1 de Junho a 31 de Setembro de 2002, 2003 e 2004. As brisas do estuário ocorreram num total de 111 dias (30% dos dias estudados), perfazendo um total de 460 horas de brisa.

As brisas foram identificadas através da análise do padrão típico de rotação diária do vento, que sopra no período matinal do quadrante norte, rodando para o quadrante Este e Sul durante o meio dia e o princípio da tarde, retomando para o quadrante norte ao final do dia. Este padrão foi já identificado nos trabalhos de Alcoforado (1987) e Lopes (2002). Assim, apenas foram consideradas como ocorrências de brisas, os registos horários entre 45° e 225° nos dias em que se identificou o referido padrão de rotação do vento (figura 1).

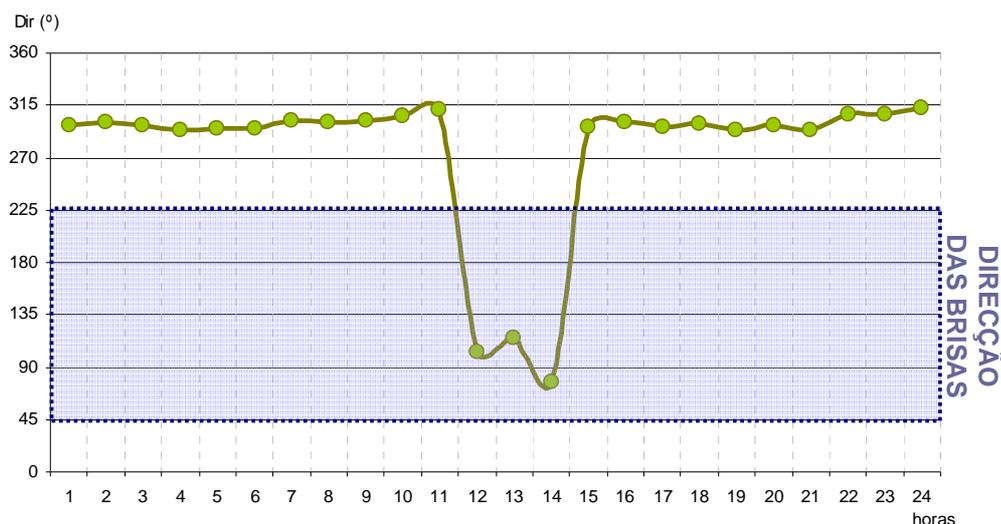


Figura 1 – Exemplo da rotação das brisas do estuário do Tejo, registada no Cabeço das Rolas no dia 22 de Agosto de 2004.

<sup>3</sup> Informação cedida pelo Centro de Monitorização Ambiental da Parqueexpo

Do total de dias registos analisados, construiu-se uma base de dados recorrendo a um *software* de simulação do vento (*WAsP*), onde foi introduzida informação referente às brisas do estuário do Tejo. Esta base de dados serviu para caracterizar estatisticamente as brisas quanto ao seu rumo e velocidade (Figura 2).

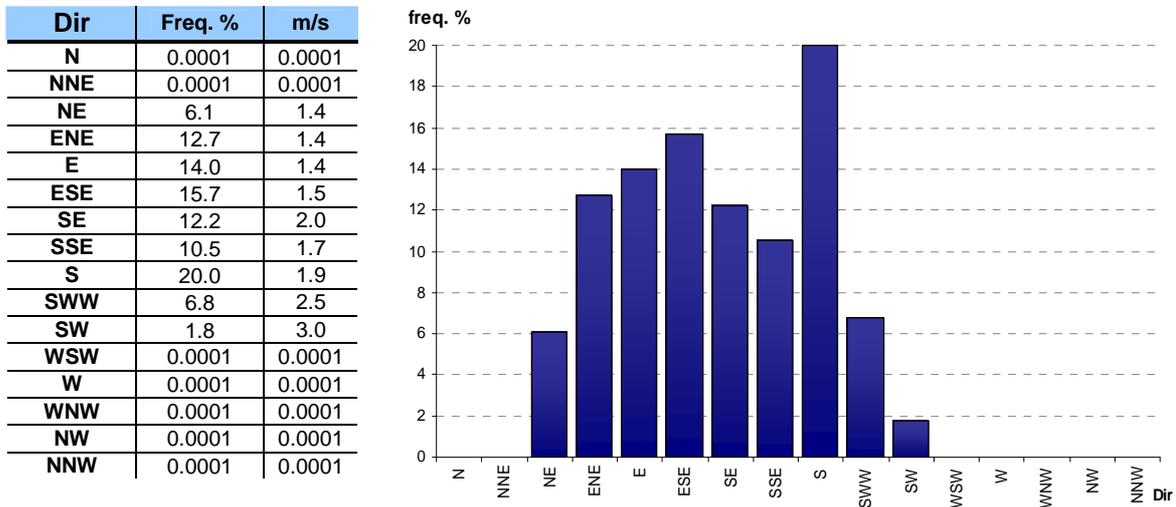


Figura 2 – Frequência e Velocidade das brisas no período estudado

Em Junho de 2004, foram instalados dois registadores de temperatura: um na Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa e outro num dos pilares do teleférico do Parque das Nações (figura 3). O primeiro registador (colocado a 15 m acima do solo), considerado como representativo das condições climáticas no interior da cidade, foi comparado com o Parque das Nações (colocado a 12 m acima do solo), de modo a identificar as diferenças na temperatura do ar entre os dois locais em dias com e sem ocorrência de brisa.

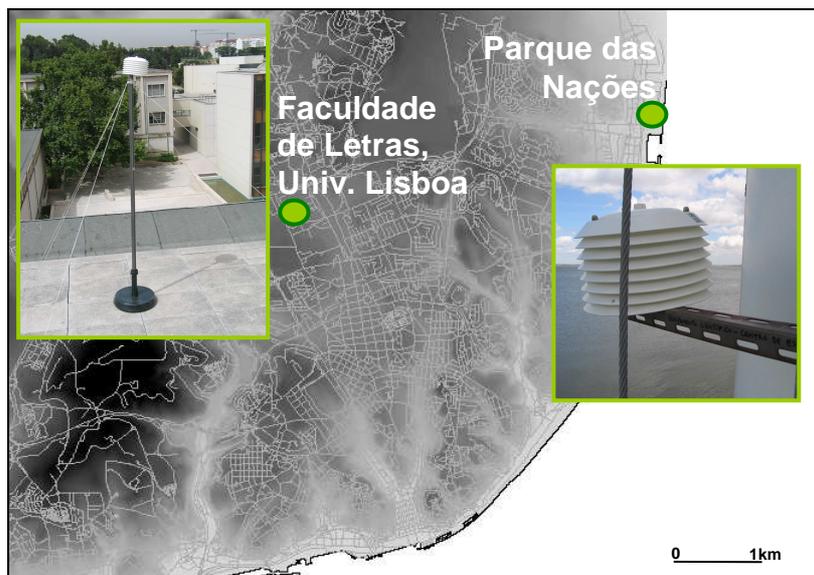


Figura 3 – Locais de medição da temperatura do ar

O registo da temperatura do ar permitiu constatar que, em dias em que não ocorrem brisas (43 dias do período analisado), as diferenças entre os dois locais é residual, raramente ultrapassando os 0,5°C. No entanto, a meio da manhã (11 horas) a Faculdade apresenta-se menos fresca que o Parque das Nações. Este fenómeno, embora pouco pronunciado, está provavelmente associado a diferenças no balanço energético entre os dois locais (eventualmente à menor perda de radiação em comprimento de onda longo para a atmosfera no interior da cidade) e que poderá contribuir para a explicação das diferenças térmicas entre os dois locais.

Em dias de brisa (23 dias do período analisado), a faixa ribeirinha encontra-se em média 3,5°C mais fresca que o interior da cidade, identificando-se claramente o papel da advecção no arrefecimento da cidade. Com esta análise, comprova-se que os locais mais directamente afectados pelas brisas (neste caso, representados pelo Parque das Nações) são, de facto, mais frescos que o local onde a acção da brisa é menos frequente.

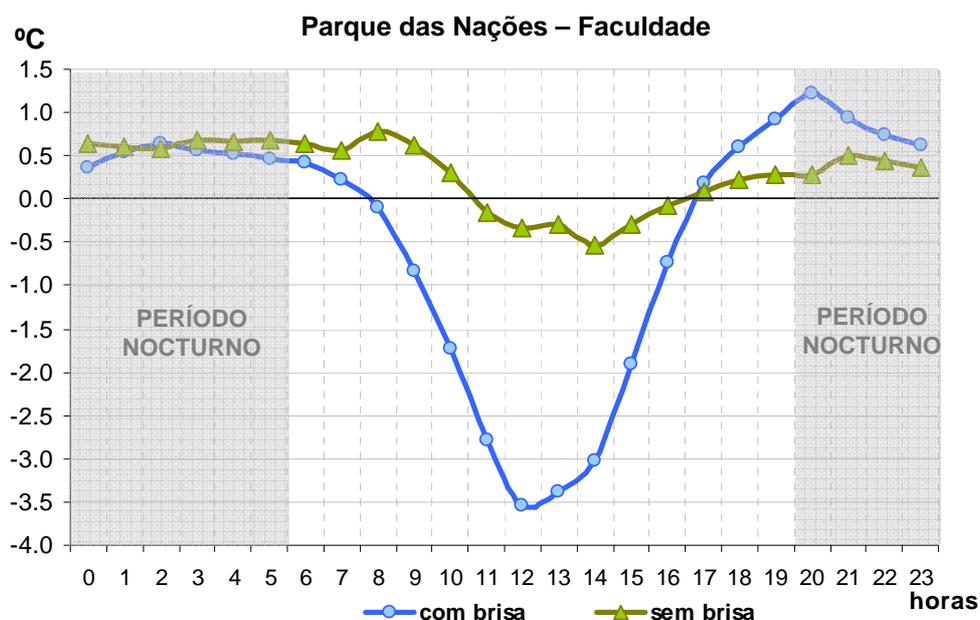


Figura 4 – Diferenças médias horárias da temperatura do ar entre o Parque das Nações e a Faculdade em dias de brisa, e dias com ausência de brisa. Período de 23/07/2004 a 28/09/04

### Aumento da rugosidade na parte oriental da cidade e sua influência nas brisas

Para o cálculo das rugosidades, foi seleccionada uma área da Freguesia de Nossa Senhora dos Olivais, no sector oriental da cidade de Lisboa (figura 5), onde se registou um forte crescimento urbano nos últimos anos. Esta dinâmica, num tão curto espaço de tempo, permite comparar com nitidez a influência da modificação urbana nas alterações dos

campos de vento. A estação meteorológica do Cabeço das Rolas foi considerada como representativa das condições de ventilação da área em estudo.

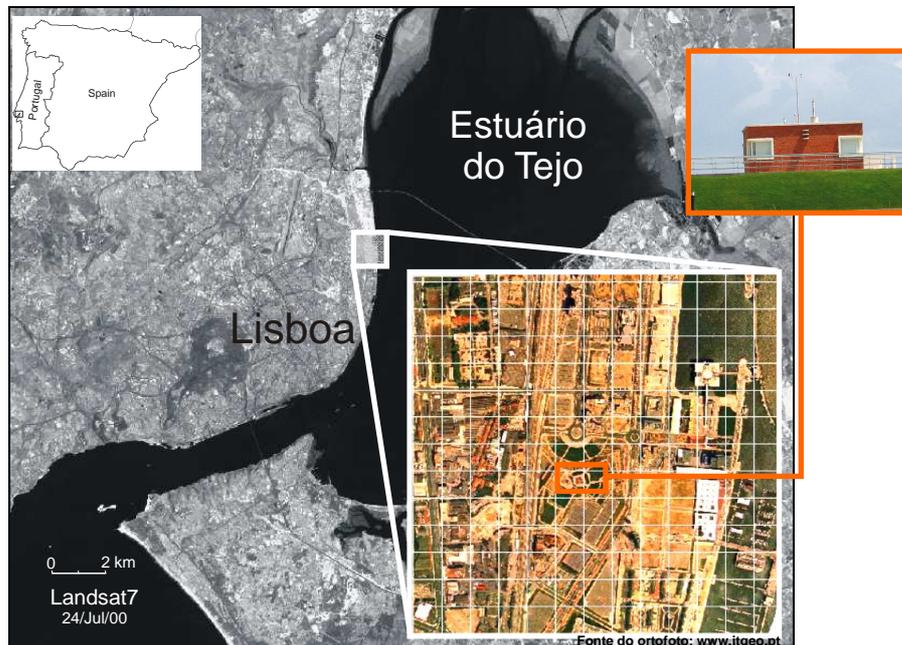


Figura 5 – Localização do Cabeço das Rolas na parte oriental da cidade

A rugosidade ( $z_0$ ) foi calculada de acordo com Mortensen *et al.*, (1993):

$$z_0 = 0.5 \times [(h \times S)/A_H]$$

Onde “h” corresponde à altura dos obstáculos, “S” corresponde à área da fachada exposta ao vento e “ $A_H$ ” corresponde à área total de construção.

A altura dos edifícios, o cálculo da área de construção e de fachada exposta ao vento foram identificados através do sistema *webgis* fornecido pela *Edinfor* em [www.itgeo.pt](http://www.itgeo.pt). Esta informação permitiu calcular o mapa de rugosidade (calculado para uma grelha de 160mx160m) referente ao ano de 2001, data dos dados e dos ortofotomapas disponíveis.

As áreas onde não existem obstáculos são predominantemente áreas expectantes ou de reconversão e correspondem a unidades fabris desactivadas, entretanto abandonadas e/ou parcialmente demolidas. Estas áreas, embora praticamente desocupadas, contêm árvores e alguns edifícios baixos, mas com características de espaço aberto (figura 6). Neste sentido, e segundo os cálculo de Mortesen *et al.*, (1993, p.20), para este tipo de áreas foi definida uma rugosidade de 0,10 m.



Os mapas das rugosidades, a topografia e a informação alfanumérica referente aos padrões de ventilação foram inseridos no *software Windmap*, que embora tenha sido inicialmente desenhado para aplicações de avaliação de potencial eólico à mesoescala, apresenta potencialidades que lhe permitem operar à microescala com células de 100m a 200m (Bower *et al.*, 2004). A resolução microclimática do modelo permite-nos correr vários cenários de rugosidade para uma mesma condição média de brisa.

Foi calculada a velocidade do vento a 10 metros sobre condições médias das brisas para a rugosidade de 2001, 2005 e para o cenário “*futuro próximo*”. A diferença entre os mapas permitiu estimar a diminuição da velocidade do vento em função do aumento da rugosidade. A diminuição da intensidade da brisa é identificada através da subtração da velocidade média do vento estimada em cada cenário, face aos valores médios da velocidade da brisa (neste caso, a brisa apresenta uma velocidade média de 1,9 m/s).

## Resultados

Durante o período de 2001-2005 o sector oriental de Lisboa, impulsionado pela reconversão urbana da Expo 98, sofreu um crescimento muito acelerado (a rugosidade  $-z_0-$  média das áreas construídas cresceu aproximadamente 0,5m em 4 anos – Figura 8). A verificarem-se os cenários de crescimento urbano previstos, o sector oriental de Lisboa apresentará um aumento de rugosidade muito significativo.

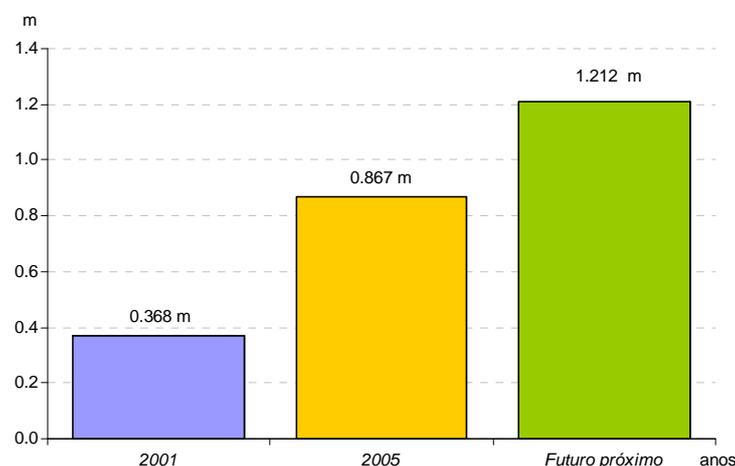


Figura 8 – Rugosidade média das áreas construídas

O crescimento urbano na área estudada tem vindo a ser realizado, regra geral, sobre a forma de blocos ou quarteirões rectilíneos e paralelos à linha de costa. Em alguns casos, o próprio espaçamento das ruas é também edificado (figura 9).

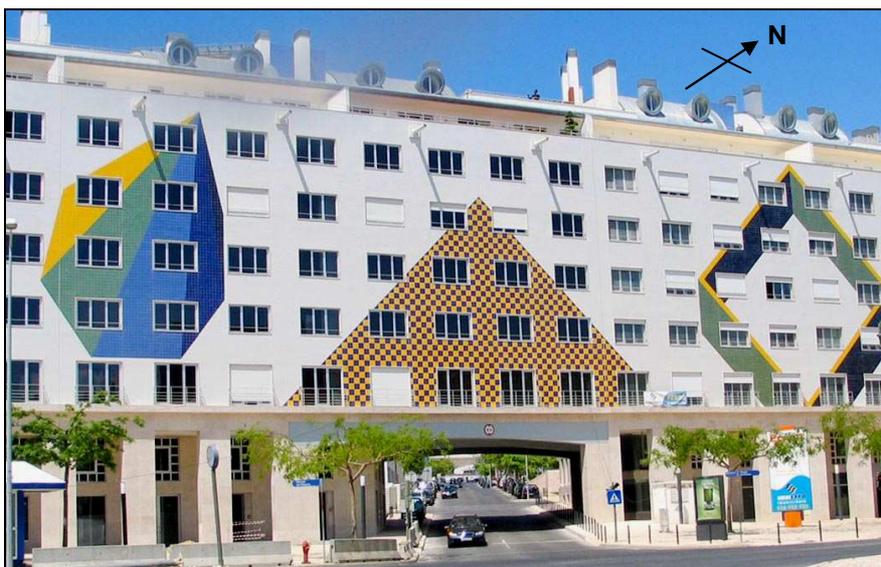


Figura 9 – Exemplo de obstrução de eventuais vias para a passagem do ar

Embora seja a faixa imediatamente junto ao rio que se encontra a sofrer as maiores pressões urbanísticas, o edificado tem vindo a ocupar progressivamente áreas mais interiores. O planeamento urbano, nestas áreas, reflecte a ausência de integração da componente ambiental, pelo menos no que concerne a circulação de ar proveniente do estuário, constituindo-se frequentemente como um obstáculo ao vento de nordeste, este, e sudeste.

A simulação da velocidade do vento no cenário de forte crescimento urbano (cenário *futuro próximo*), permitiu identificar, em termos médios, uma redução de 6,0% da velocidade do vento em relação à situação actual e de 13,0% face ao cenário de 2001, o que significa uma redução da intensidade da brisa em 7,3 % entre 2001 e 2005 (3.2 em 2001 e 10,5% em 2005) e uma redução de 12,7% da intensidade da brisa de 2001 para o cenário *futuro próximo* (3.2 em 2001 e 15,9% no *futuro próximo* - Quadro I).

Períodos	Rugosidade			Velocidade do vento			
	média (m)	aumento face período anterior		média (m/s)	redução face período anterior		redução face brisas (%)
		(m)	(%)		(m/s)	(%)	
<b>2001</b>	0.368	-	-	1.828	-	-	3.2
<b>2005</b>	0.867	0.499	57.6	1.692	0.136	7.4	10.5
<b>futuro próximo</b>	1.212	0.345	28.5	1.590	0.102	6.0	15.9

Quadro I – Síntese dos resultados obtidos

## Conclusão

Com este trabalho foi possível identificar o papel das brisas enquanto elemento capaz de refrescar a cidade. No entanto, demonstrou-se que na área de estudo o crescimento urbano é muito acelerado e que não tem em conta a circulação do ar proveniente do estuário do Tejo.

Foi identificada uma forte relação entre a rugosidade e a intensidade das brisas. A simulação da velocidade do vento para os diferentes cenários, mostrou uma redução bastante acentuada nas áreas de maior rugosidade (figura 10). Nestas áreas, a velocidade do vento chega a reduzir-se cerca de 1,2 m/s o que representa em termos médios uma redução na ordem dos 63,5%.

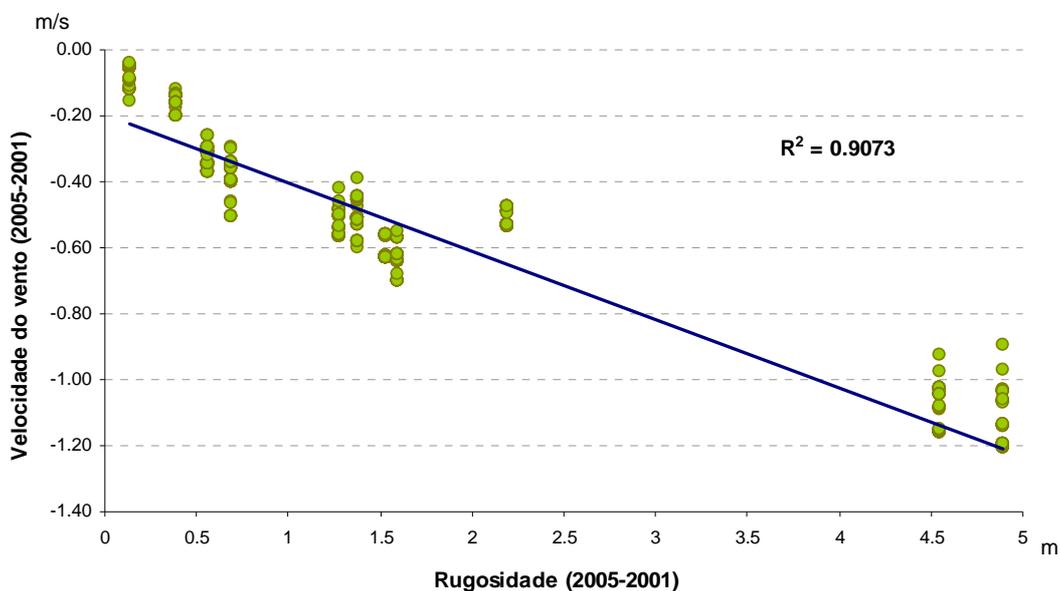


Figura 10 – Relação entre o aumento da rugosidade e a diminuição da velocidade do vento para o período de 2001-2005

A simulação da velocidade do vento permitiu identificar áreas preferenciais para a circulação do ar. Estas áreas poderão vir a constituir eventuais canais de penetração das brisas na cidade, se se mantiverem total, ou parcialmente desobstruídas. Estas áreas (assinaladas com uma seta na figura 11), poderão vir a perder a sua potencialidade de passagem de ar, caso o desenvolvimento urbano nesta área não salvaguarde as suas características.

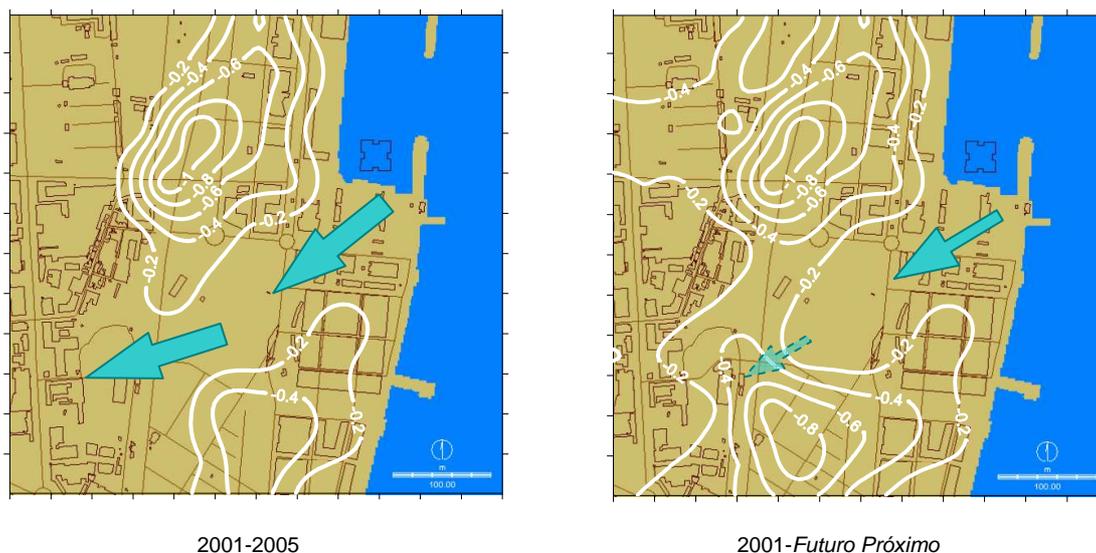


Figura 11 – Simulação da redução da velocidade do vento (m/s) em função do aumento da rugosidade e identificação de canais de circulação do ar

Neste sentido, e de forma a contribuir para a sustentabilidade em meio urbano, recomenda-se aos agentes do planeamento que promovam a integração dos sistemas naturais nos planos de ordenamento, designadamente, a salvaguarda da circulação das brisas do estuário do Tejo.

#### Recomendações:

- Manutenção de canais de ventilação para a circulação do ar desobstruídos ou com baixa rugosidade.
- Promoção de edifícios baixos, sem que no entanto formem conjuntos contínuos paralelos à faixa ribeirinha.

*Nota* - Este trabalho foi realizado no âmbito do Projecto “Avaliação Climática para o Planeamento Urbano de Lisboa” com apoio do Departamento de Planeamento Estratégico da Câmara Municipal de Lisboa.

#### **Referências**

- Alcoforado, M. J. (1987) - Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia* XXII (43): 71-112.
- Alcoforado, M. J. (1992) - *O clima da região de Lisboa, contrastes e ritmos térmicos*. Lisboa, Memórias do C.E.G, vol.15, Univ. de Lisboa (PhD Thesis): 347p.
- Alcoforado, M. J. (1999) - Aplicação da climatologia ao planeamento urbano. Alguns apontamentos. *Finisterra - Revista Portuguesa de Geografia* XXXIV, (67-68): 83-94.

- Alcoforado, M. J.; Andrade, H. (2003) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Fifth International Conference on Urban Climate*, Łódź, Polónia, Department of Meteorology and Climatology, Faculty of Geographical Sciences, University of Łódź, Poland, 4p.
- Alcoforado, M. J.; Vieira, H. (2004) - Informação climática nos Planos Directores Municipais de concelhos urbanos. *Sociedade e Território*, 37/38: 103-118.
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H.; Lopes, A.; Vasconcelos, J.; Vieira, R. (2005a) – Observational studies about Summer winds in Lisbon (Portugal) and their influence on day-time regional and urban thermal patterns. *Merchavim” (no.6)*. Department of Geography and the Human Environment. University of Tel Aviv, Israel. (em impressão).
- Alcoforado, M. J.; Andrade, H. (2005b) - Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology (em impressão)*.
- Andrade, H. (2003) - *Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa*. PhD, Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras. Lisboa, Universidade de Lisboa: 435p.
- Azorin Molina, C. (2004) – Estimación de la ocurrencia de la brisa marina en Alicante. em García Codrón, J.C; Diego Liaño, C.; Arróyabe Hernández, P. F.; Garmendia Pedraja, C. e Rasilla Álvarez, D. (Eds). *El Clima, Entre El Mar Y La Montaña*. AEC, Serie A, 4, Santander, 19-29.
- Bower, M. Zack, J.W.; Schwartz, M.N.; Elliot, D.L. (2004) – Mesoscale modeling as a tool for wind resource assessment and mapping. *American Meteorological Society. Confex- 14<sup>th</sup> Conference on Applied Climatology*. Seattle. 8p.
- Geiger, R. (1980) - *Manual de Microclimatologia. O clima da camada de ar junto ao solo*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian: 55p.
- Lopes, A. (2002) - The influence of the growth of Lisbon on summer wind fields and its environmental implications. *Tyndall/CIB International Conference on Climate Change and the Built Environment*, UMIST, Manchester.
- Lopes, A. (2003) - *Modificações no clima urbano de Lisboa como consequência do crescimento urbano. Vento, ilha de calor de superfície e balanço energético*. PhD, Centro de Estudos Geográficos, Faculdade de Letras. Lisboa, Universidade de Lisboa: 375p.
- Mora, C. (1998) - *Aspectos do clima local da Arrábida*. Dissertação submetida à Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Geografia Física e Ambiente.
- Mortensen, N; Landberg, L; Troen, I.; Petersen, E. (1993) – *Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP) (Vol. I and II)*. Roskilde. Dinamarca. Risø National Laboratory. 133p.
- Neto, J. (2005) - *Estudo da Circulação Atmosférica de Verão sobre a Região de Lisboa Interação entre a Brisa de Mar, os Efeitos de Ilha Urbana, a Orografia e a Presença do Estuário*. Dissertação submetida à Universidade de Évora para obtenção do grau de Mestre em Clima e Ambiente Atmosférico Área de Meteorologia, Clima e Alterações Climáticas. 170p.
- Oke, T.R. (1987) – *Boundary Layer Climates*. Routledge, London.
- Scherer, D.; Fehrenbach, U.; Beha, H.-D; Parlow, E. (1999) – Improved concepts and methods in analysis and evaluation of the urban climate for optimizing urban planning processes. *Atmospheric Environment*, (33) : 4185-4193.
- Simpson, J. E. (1994) - *Sea breeze and local winds*. Cambridge University Press: 234p.