

# CONTRIBUIÇÃO PARA O ESTUDO DAS TROVOADAS NA ÁREA METROPOLITANA DE LISBOA: O CASO DO EPISÓDIO DE 9 DE SETEMBRO DE 2009

## *SURFACE FEATURES AND THUNDERSTORM ACTIVITY IN THE LISBON METROPOLITAN AREA: THE CASE STUDY OF THE 9<sup>th</sup> SEPTEMBER 2009*

M. Fragoso<sup>(1)</sup>, M. G. D. Carraça<sup>(1)(2)</sup>, M. J. Alcoforado<sup>(1)</sup>, S. Correia<sup>(1)</sup>

<sup>(1)</sup> Núcleo de Investigação de Clima e Mudanças Ambientais, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Av. Prof. Gama Pinto, 1649-003 Lisboa, Portugal, mfragoso@campus.ul.pt

<sup>(2)</sup> Departamento de Física da Universidade de Évora, Colégio Luís António Verney, 7000-671 Évora, Portugal, mgc@uevora.pt

### SUMMARY

*In this paper some results of a preliminary study on the influence of surface features on convective precipitation and thunderstorm activity in the region of Lisbon are discussed. The present work is focused on the strong thunderstorms affecting Lisbon on the 9th September 2009.*

*The spatial distributions of precipitation and cloud-to-ground electrical discharges are investigated in relation to land surface characteristics, such as fraction of urbanised area, relief features and other geographical factors. The spatial distribution of thunderstorm activity is also compared with the surface fields of temperature and turbulent heat fluxes, derived from satellite data. The data analysis indicates a more intense thunderstorm activity over the Lisbon region than on the surrounding areas during this episode. The results suggest that the study of the influence of Lisbon urban area on convective precipitation and thunderstorm activity deserves further investigation.*

### 1. Introdução

A influência da urbanização nos fenómenos associados à convecção na atmosfera tem sido muito discutida na literatura (por exemplo, Shepherd, 2005 ou Stallins e Rose, 2008). Estes estudos que sistematizam os resultados de muitas pesquisas, revelam que tem sido investigada a possível influência das cidades na intensificação da precipitação convectiva e das trovoadas, particularmente durante a estação quente. O aumento da turbulência, devido quer à maior rugosidade das áreas urbanas comparativamente à envolvente «rural» (não-urbana), quer à libertação de mais calor sensível (em parte, associada ao fenómeno “ilha de calor urbano”), contribuem para diminuir a estabilidade vertical da atmosfera. Por outro lado, tem sido também apontada a maior disponibilidade de núcleos de condensação na atmosfera urbana como um factor que poderia contribuir uma intensificação da precipitação. Em alguns estudos, tem sido notado um aumento da frequência de dias de chuva intensa não apenas sobre a cidade como também a sotavento dela (Shepherd e Mote, 2009). Trata-se assim de uma questão de investigação interessante e que nunca tinha sido tratada em relação à área de Lisboa.

A área metropolitana de Lisboa ocupa cerca de 2 870 km<sup>2</sup> e tem uma população de 2,9 milhões de habitantes. Lisboa situa-se a 30 km da Costa Atlântica portuguesa, na margem norte do estuário do Tejo, e apresenta um relevo bastante acidentado. Segundo Alcoforado e Andrade (2006), a intensidade média da ilha de calor urbana de Lisboa é de 3°C.

O caso em estudo diz respeito às violentas trovoadas que ocorreram no final da estação quente, a 9 de Setembro de 2009, na região de Lisboa. Durante este evento um grande número -superior a 500- de descargas eléctricas nuvem-solo (DNS) foi detectado na área de estudo. As trovoadas associadas foram geradas no interior, a Leste da cidade, e atravessaram a área urbana.

Como será discutido nas secções que se seguem, a análise deste caso indica um incremento da precipitação convectiva e da actividade eléctrica atmosférica produzida pelas células que evoluíram sobre a região de Lisboa (Fig. 1).

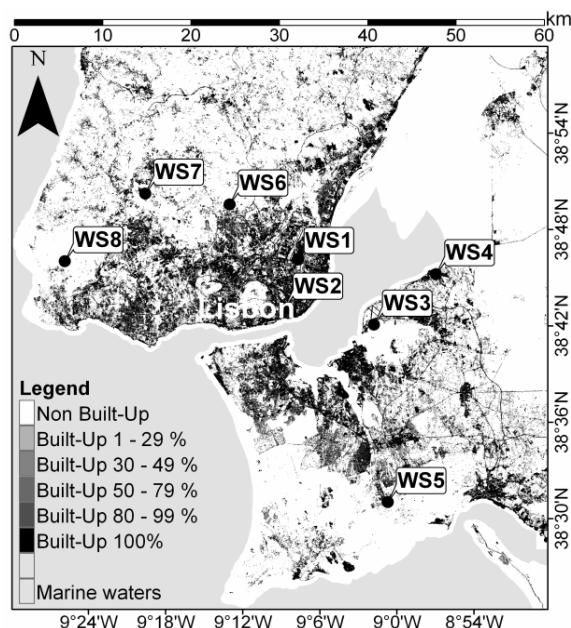


Fig.1 - Fracção de área urbanizada para a região de Lisboa. As estações meteorológicas assinaladas (WS) são do IPMA (1,2,3 e 7) e do INAG (4,5, 6, e 8).

## 2. Dados utilizados

A avaliação das condições sinópticas no caso em estudo baseou-se na análise da carta de superfície das 6 UTC de 9/9/2009 (Met Office, UK) e de dados de reanálise do mesmo dia. Designadamente, foram analisados dados (NASA-MERRA *reanalysis data, hourly fields*) da altura geopotencial (Fig.2) e (ECMWF- ERA *Interim reanalysis data, daily fields*) da temperatura a 925 hPa, da coluna total de água na atmosfera e da energia potencial disponível para a convecção (CAPE, Fig.3).

A abordagem que aqui se fez consistiu fundamentalmente em comparar a distribuição espacotemporal da precipitação à superfície (Fig. 4), proveniente do radar meteorológico que assegura a cobertura da região de Lisboa, e das descargas elétricas nuvem-solo (Fig.5), detectadas pela rede portuguesa (IPMA), com os campos superficiais da temperatura (Fig.6) e dos fluxos turbulentos de calor latente e sensível (Fig.7), obtidos a partir de dados de reanálise (NASA-MERRA *reanalysis data, hourly fields*). Esta abordagem também integrou a análise dos dados, representados na Fig.8, da precipitação observada em oito estações meteorológicas da região de Lisboa assinaladas na Fig.1.

O presente trabalho envolveu, ainda, uma análise qualitativa de características da superfície, designadamente da fracção de área urbanizada (Fig.1), do relevo e doutros factores geográficos.

O estudo incidiu sobretudo sobre a região delimitada na Fig.5 e aí designada por "Lisboa- área".

Ao longo do trabalho utilizaram-se ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica.

## 3. Discussão e resultados

### 3.1 As condições sinópticas em Portugal Continental em 9 de Setembro de 2009

À escala sinóptica, a circulação atmosférica na área de Portugal Continental a 09.09.2009 foi dominada pela influência de uma célula depressionária de bloqueio (*cut-off low*), situada a NW de Marrocos, como pode ver-se na Fig.2. Ao nível da superfície, uma baixa pressão pouco marcada e sem actividade frontal (aqui não apresentada), centrou-se sobre o SW da Península Ibérica, e assegurou a advecção de ar quente, de Este, sobre o Sul de Portugal, abrangendo a região de Lisboa.

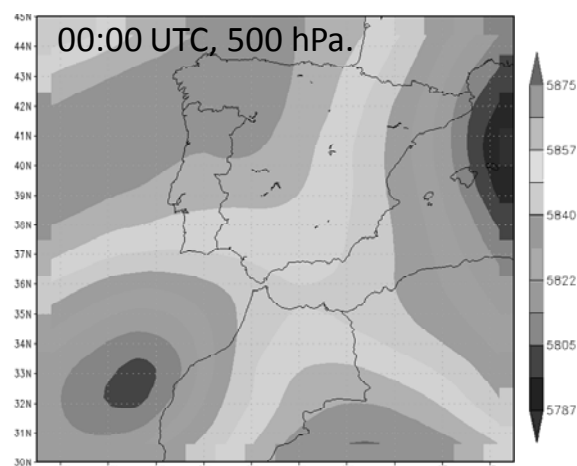


Fig. 2 - Altura geopotencial a 500 hPa, 0 UTC (NASA-MERRA *reanalysis data, hourly fields*).

Nestas condições, a noite de 8 para 9 de setembro decorreu com temperaturas do ar relativamente elevadas, registando-se 25,6 °C em Évora, 23,1 °C em Beja e 23,8 °C em Lisboa/Geofísico, pela meia-noite. Simultaneamente, deve notar-se ainda a substancial quantidade de humidade presente na coluna troposférica, que excedia os 32 mm nas regiões ao Sul do rio Tejo, de acordo com os dados de reanálise de água precipitável analisados (aqui não mostrados).

Tendo em atenção estes elementos, verificámos também que a estrutura termodinâmica da troposfera se tornou moderadamente instável na área do Sul de Portugal, como pode ver-se na Fig.3, que ilustra o campo de reanálise da energia potencial disponível para a convecção (CAPE), com valores superiores a 350 J/kg nesse sector do território Português, pelas 3 UTC do dia 9.

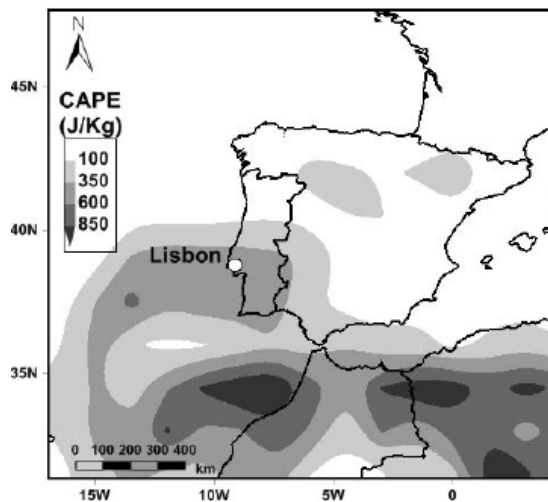


Fig. 3 - Energia potencial disponível para a convecção (J/kg), às 6 UTC de 9/9/2009 (ECMWF- ERA Interim reanalysis data, daily fields).

### 3.2. As trovoadas de 9 de Setembro de 2009 na região de Lisboa

A formação de células de trovoadas teve início logo pelas primeiras horas do dia, gerando-se nas regiões do interior e progredindo de Este para Oeste, portanto movendo-se na direcção da região de Lisboa. Nas Fig.4 e Fig.5 pode comprovar-se este movimento, verificando-se que um aglomerado bastante compacto destas células convectivas evoluiu sobre o sector Sul da região de Lisboa, na área entre o Tejo e Setúbal.

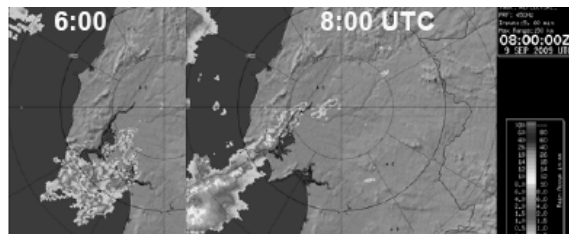


Fig. 4 - Imagens de radar (.gif) da precipitação horária acumulada (mm), para as 6 e as 8 UTC de 9/9/2009 (IPMA).

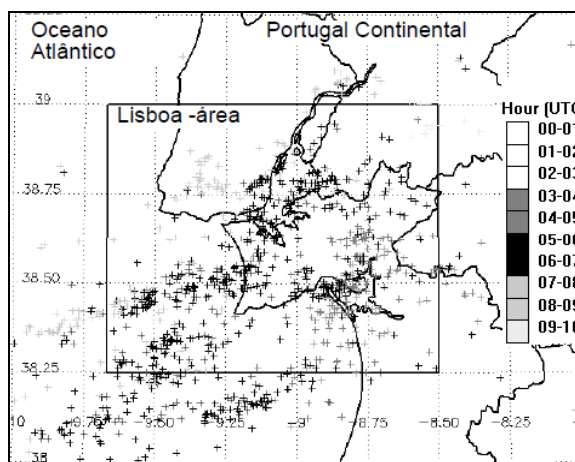


Fig. 5 - Descargas eléctricas atmosféricas nuvem-solo na região de Lisboa, a 9/9/2009, detectadas pela rede portuguesa (IPMA).

Na análise da sequência das imagens de radar e dos campos de distribuição espacial das DNS (aqui não mostrada na sua totalidade) foi possível constatar o aparecimento de várias células convectivas isoladas e com rápido desenvolvimento (Fig. 4) sobre a região de Lisboa o que sugere o efeito de forçamentos locais. Este possível forçamento da superfície também é sugerido pela intensificação da actividade convectiva sobre a região de Lisboa (Fig. 4 e Fig.5). Assim, e no sentido de identificar a possível influência das condições do substrato geográfico nos processos convectivos, analisou-se a evolução temporal dos campos temperatura de superfície (*skin surface temperature*) e dos fluxos turbulentos de calor latente e sensível, utilizando dados das reanálises MERRA. Nas Fig. 6 e Fig.7 é patente que se observaram valores relativamente elevados da temperatura da superfície e do fluxo superficial de calor sensível na área em estudo, às 3 UTC (Fig. 7), ou seja, poucas horas antes de se ter verificado o período de maior actividade das trovoadas.

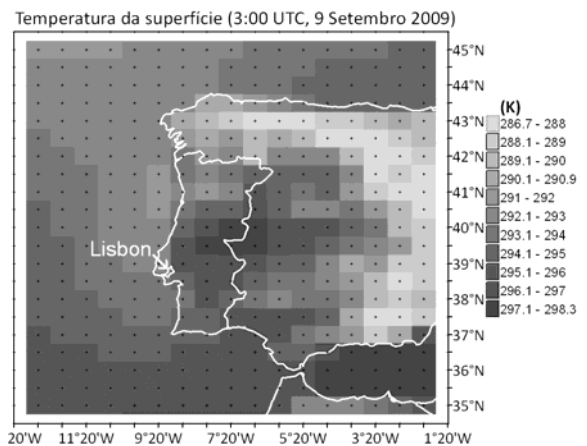


Fig.6 - Temperatura da superfície (K), para as 3 UTC de 9/9/2009 (NASA-MERRA reanalysis data, hourly fields).

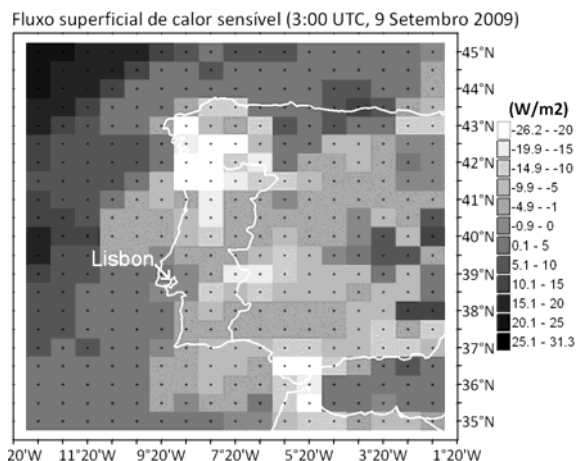


Fig. 7 - Fluxo superficial de calor sensível ( $W/m^2$ ), para as 3 UTC de 9/9/2009 (NASA-MERRA reanalysis data, hourly fields).

Este notório aumento da actividade das trovoadas coincidente com a sua progressão sobre a área de

Lisboa manifestou-se quer na precipitação produzida, quer no incremento do número de DNS desencadeadas. Com efeito, na Fig. 8 pode verificar-se que até às 3 UTC não se tinham verificado DNS e precipitação fraca ocorrera apenas na estação do Montijo. Entre as 5 e as 6 UTC ocorreu um número muito elevado de descargas, coincidindo com o registo de precipitação relativamente abundante nas estações da área de Lisboa, com valores horários entre 5 e 7 mm, que se prolongariam até às 11 UTC. De referir ainda que a radiosondagem (12 UTC, Lisboa) efectuada perto do final deste movimento de trovoadas (aqui não mostrada), revelava ainda forte instabilidade termodinâmica e a instabilidade atmosférica associada às trovoadas que afectaram Lisboa no início da manhã viria a ser reforçada durante a tarde nas regiões do interior.

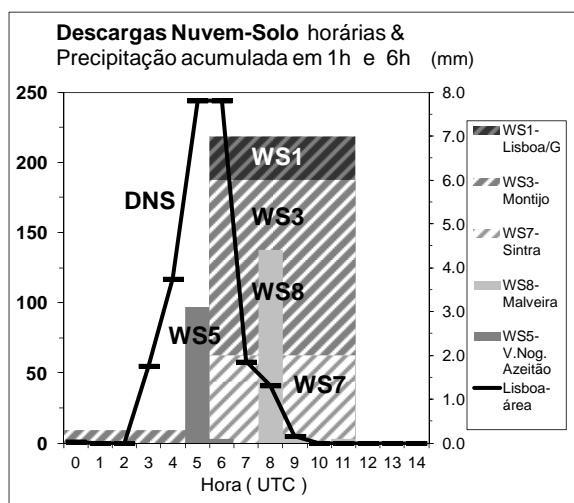


Fig. 8 - Descargas eléctricas atmosféricas nuvem-solo (IPMA) e precipitação horária acumulada na região de Lisboa. As estações meteorológicas assinaladas na Fig. 1 (IPMA e INAG), a 9/9/2009.

#### 4. Considerações finais

No dia 9 de Setembro de 2009, a região de Lisboa foi atingida por violentas trovoadas, responsáveis por mais de mais de 500 DNS sobre a região, ao longo de cerca de seis horas. Os elementos recolhidos para o estudo deste evento sugerem um incremento da precipitação convectiva e da actividade eléctrica atmosférica produzida pelas células que evoluíram sobre a região de Lisboa. Estes resultados preliminares suscitam o interesse em prosseguir o estudo da influência da urbanização na actividade das trovoadas na área de Lisboa, nomeadamente estendendo esta abordagem a mais casos de estudo.

#### 5. Agradecimentos

A presente investigação foi realizada no âmbito do Projecto "Lightning activity in Portugal: variability patterns and socioeconomic impacts (RAIDEN)", financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT), com a referência PTDC/CTE-ATM/101931/2008.

Os autores agradecem ao Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA), por ter disponibilizado os dados de descargas eléctricas atmosféricas, no contexto de um protocolo de colaboração, no âmbito do Projecto RAIDEN.

#### 7. Referências

- Alcoforado M. J., and Andrade H., (2006) Nocturnal urban heat island in Lisbon (Portugal): main features and modelling attempts. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3): 151-159. (DOI: 10.1007/s00704-005-0152-1).
- Fragoso, M., Correia, S., Leite, S., Santos, J. and J. Sousa, (2011). Cloud-to-ground lightning activity in Portugal: overall characterization, spatial and temporal patterns of associated thunderstorms over the 2003-2009 period. In 6th ECSS. Palma de Mallorca, Spain, October 3 - 7.
- Lopes, A., Reis, E., Correia, S., Fragoso, M. and E. Correia, (2011). Spatial and Temporal Patterns of Cloud-to-ground lightning in Portugal and their relationship with geographical factors. In *Bioclimate: Source and Limit of Social Development International Scientific Conference*. Topolcianky, Slovakia, September 6 - 9.
- Santos, J.A., Reis, M.A., Sousa, J., Leite, S.M., Correia, S., Janeira, M., and M. Fragoso, (2012). Cloud-to-ground lightning in Portugal: patterns and dynamical forcing. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12: p. 639-649.
- Shepherd, J.M., (2005). A review of current investigations of urban-induced rainfall and recommendations for the future. *Earth Interactions*, 9: p. 1-27.
- Shepherd, J.M., and Mote, T. L., (2009). Urban Effects on Rainfall Variability: potential implications for Georgia's water supply. In 2009 Georgia Water Resources Conference, Georgia, USA, April 27-29.
- Stallins, J.A., and L.S. Rose, (2008). Urban lightning: Current research, methods, and the geographical perspective. *Geogr. Compass*, 2: p. 620-639.
- ECMWF, ERA Interim reanalysis data (daily fields) product at 1,5° resolution [[http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim\\_daily/](http://data-portal.ecmwf.int/data/d/interim_daily/), Dezembro de 2011].
- NASA, Global Modeling and Assimilation Office (GMAO) and the GES DISC, MERRA (The Modern Era Retrospective-analysis for Research and Applications) product [[http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daacbin/G3/gui.cgi?instance\\_id=MERRA\\_HOU\\_R\\_2D](http://gdata1.sci.gsfc.nasa.gov/daacbin/G3/gui.cgi?instance_id=MERRA_HOU_R_2D), Dezembro de 2011].
- Portuguese Geographic Institute (IGP), High resolution built-up areas layer for Continental Portugal product [[http://www.igeo.pt/gdr/en/index.php?princ=Projects/CLC2006&sessao=m\\_proyectos#cartografia](http://www.igeo.pt/gdr/en/index.php?princ=Projects/CLC2006&sessao=m_proyectos#cartografia), Dezembro de 2011].