

Avaliação dos episódios de ozono de Julho e Agosto de 2003 na Região Sul de Portugal Continental

Miguel Coutinho¹, Clara Ribeiro¹ e Carlos Borrego^{1,2}

¹IDAD – Instituto do Ambiente e Desenvolvimento, Campus Universitário, 3810-193 Aveiro,

²Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro

Sumário

O crescente desenvolvimento urbano, o aumento do tráfego automóvel e do consumo de energia têm provocado um aumento dos episódios de poluição fotoquímica no período de Verão, em diversos países Europeus, incluindo Portugal Continental. A poluição fotoquímica é caracterizada essencialmente pelo aumento das concentrações de ozono e de outros oxidantes fortes ao nível do solo. Em Portugal as emissões de poluentes precursores do ozono são maioritárias nas regiões urbanas da zona costeira portuguesa onde existe maior densidade populacional e onde estão instaladas grande parte das actividades industriais e dos transportes. O trabalho que aqui se apresenta abrange uma região desde Lisboa ao Algarve. O modelo numérico The Air Pollution Model (TAPM) foi seleccionado para a realização deste trabalho pela sua capacidade de aplicação a séries longas de dados, rapidez na modelação e capacidade de simulação das circulações atmosféricas de mesoscala. A simulação à escala regional realizada para Julho e Agosto de 2003 aponta para a ocorrência de episódios de poluição fotoquímica no domínio de estudo.

Palavras-chave:

Qualidade do ar; ozono; longo-prazo; poluição fotoquímica

Introdução

Os episódios de ozono têm vindo a ser cada vez mais frequentes e a constituir um problema de poluição atmosférica, sendo as condições meteorológicas adversas (céu limpo e temperaturas elevadas) uma importante contribuição para as concentrações elevadas que se têm vindo a registar. No Verão de 2003, após se verificarem condições meteorológicas extraordinárias, ocorreram várias ultrapassagens do limiar de informação ao público $180 \mu\text{g.m}^{-3}$ em toda a Europa. Em Portugal, no mesmo período ocorreram cerca de 374 ultrapassagens do limiar de informação ao público (<http://www.qualar.org/>). A partir da identificação e caracterização dos episódios de ozono registados nas estações de qualidade do ar da rede de monitorização do Instituto do Ambiente, existentes na zona em estudo, seleccionaram-se os meses de Julho e Agosto de 2003 para as simulações. A região em estudo, trata-se de uma região com uma grande diversidade de uso do solo, com zonas urbanas, zonas florestais e extensas zonas agrícolas, para além das massas de água e do Oceano Atlântico. Por outro lado, a linha costeira não se desenvolve regularmente, existindo várias baías e cabos, que originam uma costa curvilínea e com vertentes acentuadas em toda a parte oeste do domínio de simulação. Esta região apresenta uma actividade industrial elevada, principalmente em redor das cidades de Lisboa, Setúbal, Barreiro-Seixal e Sines, aliada a um intenso tráfego rodoviário nos eixos da A2 e ao tráfego suburbano. Estes dois factores contribuem de forma significativa para que as taxas de emissão de poluentes para a atmosfera na região de simulação, sejam das mais elevadas em Portugal. Uma outra característica importante do domínio de simulação prende-se com o facto de considerar importantes cidades que se localizam no Sul do País, nomeadamente no Algarve. A modelação atmosférica de uma região deste tipo, desempenha um papel essencial na avaliação da qualidade do ar, permitindo a estimativa dos níveis de poluentes em áreas não abrangidas pela rede nacional de monitorização atmosférica. O modelo numérico adoptado para este estudo foi aplicado a Julho e Agosto de 2003 e validado face a dados reais, para ambas o componente (meteorológica e de poluição), permitindo a sua utilização enquanto instrumento credível na gestão da qualidade do ar. Sendo constituído por duas componentes principais, meteorológica e de poluição, o TAPM (Hurley, 2002) é um modelo

de dispersão tridimensional que se baseia na resolução das principais equações da dinâmica de fluidos e de transporte para prever a meteorologia e a concentração de poluentes ao nível do solo.

Descrição do Trabalho

No âmbito do presente trabalho foi aplicado o modelo The Air Pollution Model (TAPM) desenvolvido pela CSIRO – Atmospheric Research (Hurley, 2002). O TAPM é um modelo de dispersão tridimensional que se baseia na resolução das principais equações da dinâmica de fluidos e de transporte para prever a meteorologia e a concentração de poluentes ao nível do solo. Através da integração de dois módulos principais, um meteorológico e um de poluição atmosférica, o TAPM estima os parâmetros meteorológicos importantes para a simulação da dispersão tanto à escala local como à escala regional (Figura 1).

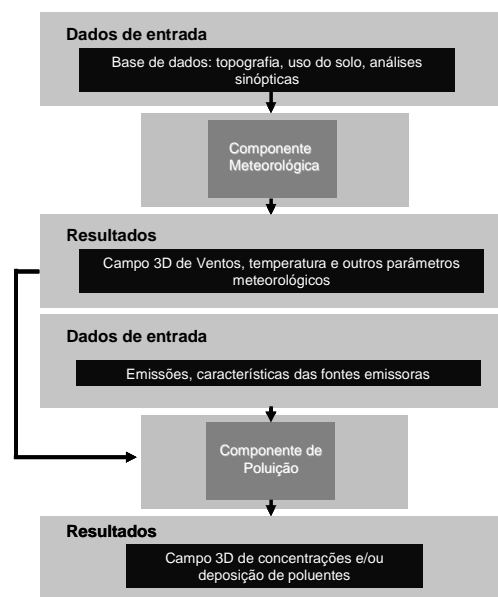


Figura 1- Representação esquemática do Modelo TAPM.

Para as previsões meteorológicas, anteriormente referidas, o modelo utiliza bases de dados globais de orografia, uso do solo, temperatura superficial e condições sinópticas. Este modelo resolve a equação da quantidade de movimento para as componentes horizontais do vento, a equação da continuidade de um fluido incompressível para a componente vertical e equações escalares para a temperatura potencial e humidade específica. O TAPM já foi aplicado a diversas situações dada a sua versatilidade, incluindo estudos de escala local, tendo sido comparado com outros modelos tais como o ISCST3, o AERMOD e o ADMS3 (Luhar e Hurley, 2003). Nestes trabalhos de validação demonstrou-se que o TAPM fornecia boas estimativas tanto para a média como para os valores máximos em comparação com outros modelos e com medições reais, podendo também ser utilizado em trabalhos de licenciamento industrial. Em Portugal, o TAPM já foi validado para todo o território continental (Ribeiro, 2005) e para a região autónoma da Madeira (Coutinho *et al.*, 2005). Já foi também utilizado em vários estudos à escala local (IDAD, 2002; 2004), tendo produzido resultados bastante razoáveis, sendo uma ferramenta importante em estudos de impacto ambiental. Os dados de entrada no modelo de mesoescala TAPM referem-se essencialmente ao domínio de simulação e às características das fontes emissoras. No que diz respeito à meteorologia e aos dados de qualidade do ar interessa realizar uma análise destes parâmetros de forma a caracterizar a zona em estudo.

Domínio de Simulação

O modelo matemático de simulação da dispersão de poluentes TAPM foi aplicado a um domínio de 40 x 50 km, com malhas horizontais de 30, 10 e 5 km. Em termos verticais o

modelo considerou um domínio de 8000 m, distribuído por 25 níveis de espaçamento desigual, sendo mais apertado junto ao solo com o primeiro nível a 10 m. O domínio de simulação (Figura 2) foi seleccionado tendo em atenção a área necessária para a aplicação de um modelo de mesoscala, os ventos dominantes no período de Verão e a localização das principais fontes emissoras.



Figura 2 – Domínio de Simulação.

Caracterização das Emissões

A simulação da produção, transporte e dispersão do ozono, neste trabalho, foi realizada tendo em consideração as emissões constantes da base de dados POLAR2 (Monteiro *et al.*, 2001), desenvolvida no Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro, que inclui emissões associadas a fontes pontuais, ao tráfego rodoviário, às actividades industriais e aquecimento residencial e comercial, e a fontes naturais. Neste trabalho foram utilizados 2 tipos de fontes emissoras: fontes pontuais e fontes em área. Nas fontes pontuais foram incluídas todas as grandes fontes industriais de grande dimensão consideradas no CORINAIR: refinarias, centrais térmicas, celuloses, cimenteiras e produção de produtos químicos (EMEP/CORINAIR, 2004). No que diz respeito às fontes em área foi utilizada a base de dados de emissões POLAR2. Esta base de dados considera como fontes em área o seguinte conjunto de actividades: combustão residencial e comercial, combustão industrial, processos de produção, transportes rodoviários, aeroportos, outras fontes móveis, extracção e distribuição de combustíveis, uso de solventes, tratamento e deposição de resíduos, e ainda a agricultura.

Meteorologia

A simulação numérica de circulações mesometeorológicas é uma componente essencial a executar na avaliação da produção de poluentes fotoquímicos. Através do modelo TAPM, simularam-se os meses de Julho e Agosto de 2003, correspondentes às condições típicas de Verão (Julho) e a condições meteorológicas adversas (Agosto). Ambas as situações favorecem a produção de poluentes fotoquímicos devido ao maior número de horas de radiação solar, baixa humidade relativa, vento fraco entre outros factores. A climatologia sinóptica, no período de Verão, da região em estudo, caracteriza-se pela influência quase permanente de massas de ar tropical marítimo subsidente, com menor frequência de massas de ar tropical continental, em regra também subsidente. Estas massas de ar são transportadas nas circulações conjuntas da crista de altas pressões (associada ao anticiclone dos Açores) que se estende sobre o Norte da Península Ibérica e da depressão de origem térmica que se localiza sobre o Sudoeste desta. A situação sinóptica típica de

Verão, na Península Ibérica, é caracterizada pela quase inexistência de gradientes de pressão à superfície e consequentemente ventos fracos na baixa troposfera, céu limpo e temperaturas elevadas. Estas condições permitem igualmente o desenvolvimento de um centro local de baixas pressões no Sudoeste da Península Ibérica, e de circulações de mesoscala tipo brisa. O Verão de 2003 foi caracterizado por uma onda de calor que ocorreu entre o dia 29 de Julho e 15 de Agosto. A definição do índice de duração da onda de calor (*HWDI – Heat Wave Duration Index*) é da responsabilidade da Organização Meteorológica Mundial, que considera que ocorre uma onda de calor quando num intervalo de pelo menos 6 dias consecutivos, a temperatura máxima diária é superior em 5°C ao valor médio diário no período de referência (normais climatológicas). Em termos meteorológicos este episódio ocorreu sob situações de humidade relativa do ar muito baixa, em particular no interior do País, onde em alguns locais se atingiram valores inferiores a 20%. A situação persistente de valores muito elevados de temperatura e valores baixos de humidade relativa do ar teve um significativo impacto no que respeita a fenómenos de poluição fotoquímica tanto em Portugal como na Europa. O estado do tempo em Portugal Continental foi condicionado predominantemente por uma massa de ar quente e seco transportada na circulação conjunta de um anticiclone, estendendo-se em crista, da região a sul dos Açores, em direcção ao Golfo da Biscaia e de um vale depressionário que se prolongou do Norte de África até à Península Ibérica (http://web.meteo.pt/pt/clima/clima_ondacalor.html). Os máximos absolutos observaram-se em Agosto Neste contexto, considerou-se pertinente simular os meses de Julho e Agosto de 2003 devido às diferenças meteorológicas apresentadas e à particularidade de se simular o pior cenário possível, em termos de poluição fotoquímica.

Apresentação e Discussão dos Resultados

A partir das concentrações médias horárias calculadas através da aplicação do modelo, foram determinados os diversos parâmetros estatísticos definidos na legislação de qualidade do ar em vigor apresentando-se na Figura 3 o padrão de distribuição das concentrações médias horárias de Ozono para os meses de Julho e de Agosto de 2003. A escala adoptada nestas figuras pretende destacar os níveis de concentração correspondentes aos limiares de informação e de alerta ao público. Pela análise da Figura 3 verifica-se que, em ambos os meses é ultrapassado o limiar de informação à população ($180 \mu\text{g.m}^{-3}$) na região em estudo, atingindo-se concentrações máximas de O_3 na ordem dos 190 e $290 \mu\text{g.m}^{-3}$ em Julho e Agosto, respectivamente. As áreas atingidas por valores superiores a $180 \mu\text{g.m}^{-3}$ são de 32 km^2 , em Julho e 125 km^2 em Agosto. O limiar de alerta de $240 \mu\text{g.m}^{-3}$ é também ultrapassado mas, apenas no mês de Agosto, numa região correspondente ao concelho de Santiago do Cacém. No que concerne às zonas mais afectadas em termos de distribuição espacial, observa-se que em Julho a zona a Sudeste de Sines (Santiago do Cacém, Castro Verde, Ourique e Odemira) é a mais afectada pela nuvem de poluição fotoquímica, enquanto que em Agosto surge outra nuvem que se estende ao Norte do domínio atingindo Montemor-o-Novo, Lisboa e Setúbal. A partir das concentrações médias horárias calculadas através da aplicação do TAPM, foram também determinados os diversos parâmetros estatísticos definidos na legislação para o NO_2 apresentando-se na Figura 4 o padrão de distribuição das concentrações horárias máximas, onde se observa a formação de várias nuvens de NO_2 com origem em Lisboa, Setúbal e Sines, que se estendem para Sudeste de acordo com os ventos dominantes na região. Em termos de valores máximos simulados constata-se que não se atingiram valores superiores aos limites da legislação. É ainda de salientar a clara influência das fontes emissoras na distribuição de NO_2 , já que ela é idêntica em ambos os meses. No que diz respeito à distribuição de O_3 o mesmo não acontece, dada a forte influência das condições meteorológicas na formação de ozono. Neste caso tem-se uma clara diferença nos meses de Julho e Agosto.

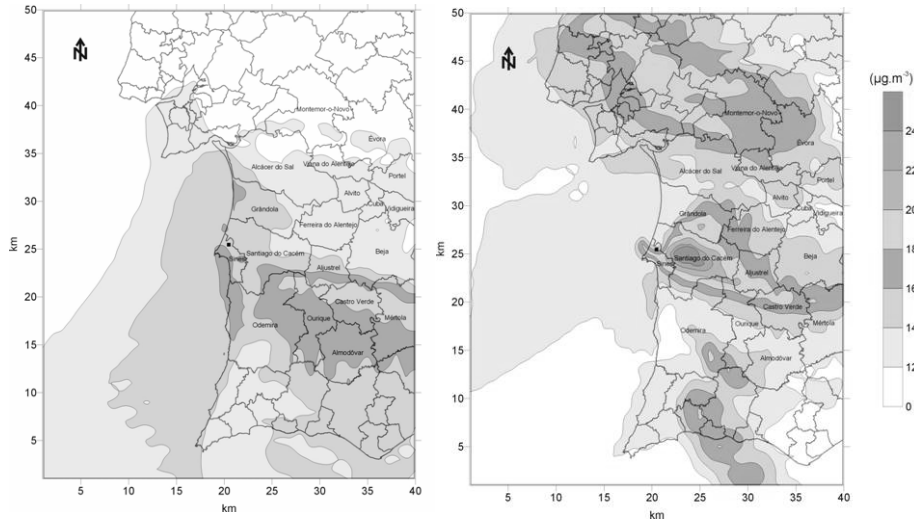


Figura 3 - Campos de concentração dos valores máximos horários de O₃ simulados para Julho (esquerda) e Agosto (direita) de 2003.

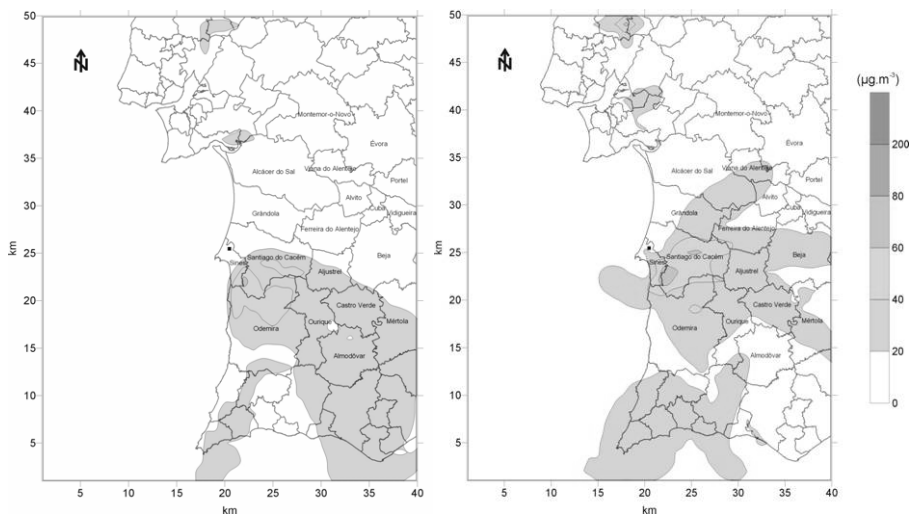


Figura 4- Campos de concentração dos valores máximos horários de NO₂ simulados para Julho (esquerda) e Agosto (direita) de 2003.

Tal como referido na metodologia, o modelo TAPM já foi objectos de vários estudos de validação. Ao nível da meteorologia a sua validação foi realizada tendo em conta dados meteorológicos reais, para os parâmetros meteorológicos temperatura, velocidade e direcção do vento. No que diz respeito à região em estudo, o TAPM foi validado considerando a estação meteorológica de Monte Chãos, do Instituto de Meteorologia, EMA 541, localizada a 37°57' Norte e 08°53' Oeste. O TA PM consegue identificar com bastante sucesso os diversos períodos meteorológicos dos meses considerados na simulação, no que diz respeito à velocidade, existindo apenas alguma diferença na direcção do vento, em alguns dias. Salienta-se ainda que, regra geral, as concentrações simuladas estão de acordo com as medidas nas estações de monitorização de qualidade do ar desta região. A título de exemplo apresenta-se na Figura 5 uma comparação dos valores horários simulados e medidos na estação de Monte Velho, onde se verifica que ocorreram valores superiores ao limiar de informação para o ozono ($180 \mu\text{g.m}^{-3}$), sendo que o modelo conseguiu identificar esses picos embora os tenha estimado ligeiramente abaixo. Nos primeiros dias do período considerado na comparação o TAPM sobrestimou os valores de pico registados. Contudo, consegue seguir a tendência diária de evolução dos níveis de ozono registada, identificando claramente os valores elevados que se registaram à noite.

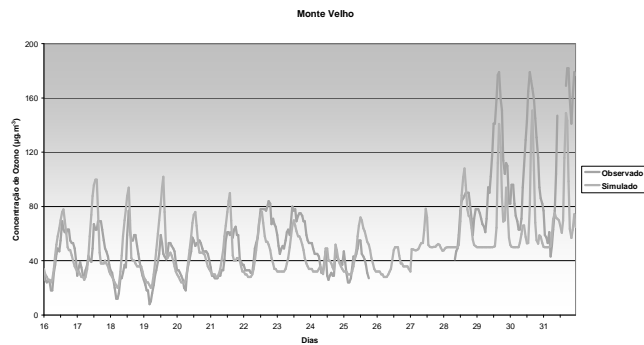


Figura 5 - Comparação entre as concentrações médias horárias medidas e estimadas na estação de Monte Velho para 16 a 31 de Julho de 2003.

Conclusão

Através da análise dos resultados obtidos verifica-se a ocorrência de episódios de poluição fotoquímica sendo ultrapassado o limiar de informação ao público de ozono. Este problema poderá ocorrer numa área geográfica que se estende genericamente desde os concelhos de Santiago de Cacém até às proximidades de Mértola. Conclui-se ainda que, os valores de NO_2 estimados são sempre inferiores ao valor limite horário para a protecção da saúde humana ($200 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). É de salientar que os valores estimados pelo modelo são concordantes com os valores medidos nas estações de monitorização, onde se excede o limiar de informação ao público. Assim, a simulação à escala regional aponta para a ocorrência de episódios de poluição fotoquímica no domínio de estudo. A persistência, durante alguns dias, das condições meteorológicas favoráveis à produção fotoquímica, tal como é o caso de Agosto de 2003, pode aumentar a magnitude das concentrações de ozono indicadas por esta simulação (situação de Agosto).

Referências Bibliográficas

- Coutinho, M., Ribeiro C., Pereira M. E Borrego C. (2005): Simulation of the plume emitted by a municipal waste incinerator located in the Madeira island - International Journal of Environment and Pollution (IJE) Volume 24 – pg. 218-229 Issue 1/2/3/4
- EMEP/CORINAIR (2004): Emission Inventory Guidebook, 3rd edition, Technical report No.30, EEA (European Environment Agency), Denmark.
- Hurley P. (2002): The Air Pollution Model (TAPM) Version 2 – Part 1: Technical Description, CSIRO – Atmospheric Research.
- IDAD (2002): Estudo de Impacte na Qualidade do ar da Central Termoeléctrica do Pego. IMA 24.02-02/10. Aveiro.
- IDAD (2004): Estudo de Impacte na Qualidade do ar da Central de Ciclo Combinado de Sines. IMA 37.04-04/30. Aveiro.
- Luhar, A. e Hurley P., (2003): Evaluation of TAPM, a prognostic meteorological and air pollution model, using urban and rural point-source data. Atmospheric Environment 37 (2003) 2795 – 2810.
- Monteiro, A.; Borrego, C.; Tchepel, O.; Santos, P. e Miranda, A. I. (2001): Inventário de Emissões Atmosféricas – Base de dados POLAR2. Aplicação à Modelação Atmosférica. 7ª CNQA, 18-20 Abril, Aveiro, Portugal, pp.954-958.
- Ribeiro, C., (2005): Aplicação de um Modelo Meteorológico e de Qualidade do Ar a Portugal. Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para obtenção do grau de Mestre em Poluição Atmosférica.