



AMBIENTE E DIREITOS HUMANOS

Universidade de Aveiro · Portugal

8 > 10 MAIO'18



Conferência Internacional  
de Ambiente em Língua Portuguesa

XX Encontro REALP

XI CNA

Volume III

# **Ambiente e Direitos Humanos**

**Volume III**

## **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

Universidade de Aveiro

8 a 10 de maio de 2018

## **Ficha Técnica**

Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa,  
XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa  
XI Conferência Nacional do Ambiente

ISBN: 978-972-789-540-3

### **Nota explicativa**

Esta publicação contém as comunicações apresentadas na Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa, XX Encontro da Rede de Estudos Ambientais de Países de Língua Portuguesa e XI Conferência Nacional do Ambiente, que decorreu na Universidade de Aveiro, de 8 a 10 de maio de 2018.

### **Editores**

Ana Isabel Miranda, Myriam Lopes, Luís Tarelho, Filomena Martins, Peter Roebeling,  
Margarida Coelho, João Labrincha

### **Desenho da capa**

Joana Ivónia

### **Edição**

Departamento de Ambiente e Ordenamento  
Universidade de Aveiro

# AVALIAÇÃO DO RISCO DE EFEITO FITOTÓXICO DO OZONO TROPOSFÉRICO EM AMBIENTES MEDITERRÂNICOS DO SUL DE EUROPA: UMA REVISÃO COM ÊNFASE NA CULTURA DA VINHA

Daniel BLANCO-WARD<sup>1</sup>, Ana Miranda<sup>1</sup>, Carlos Silveira<sup>1</sup>, Ana Ascenso<sup>1</sup>, Carla Gama<sup>1</sup>, Alexandra Monteiro<sup>1</sup>, Myriam Lopes<sup>1</sup>, Carlos Borrego<sup>1</sup>, António Ribeiro<sup>2</sup>, Manuel Feliciano<sup>2</sup>, João Castro<sup>2</sup>, João Andrade<sup>2</sup>, David Barreales<sup>2</sup>, Carolina Viceto<sup>3</sup>, Alfredo Rocha<sup>3</sup>, Cristina Carlos<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ambiente e Ordenamento (DAO) & Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

<sup>2</sup>Centro de Investigação de Montanha, Instituto Politécnico de Bragança, Bragança, Portugal

<sup>3</sup>Departamento de Física & Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM), Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal

<sup>4</sup>ADVID - Associação para o Desenvolvimento da Viticultura Duriense, Edifício Centro de Excelência da Vinha e do Vinho - Régia Douro Park, Vila Real, Portugal

[dblancoward@ua.pt](mailto:dblancoward@ua.pt), [miranda@ua.pt](mailto:miranda@ua.pt), [carlos.silveira@ua.pt](mailto:carlos.silveira@ua.pt), [ascenso.a@ua.pt](mailto:ascenso.a@ua.pt), [carlagama@ua.pt](mailto:carlagama@ua.pt), [alexandra.monteiro@ua.pt](mailto:alexandra.monteiro@ua.pt), [myr@ua.pt](mailto:myr@ua.pt), [cborrego@ua.pt](mailto:cborrego@ua.pt), [antrib@ipb.pt](mailto:antrib@ipb.pt), [msabenca@ipb.pt](mailto:msabenca@ipb.pt), [jpmc@ipb.pt](mailto:jpmc@ipb.pt), [verdial@ipb.pt](mailto:verdial@ipb.pt), [davidsantos@ipb.pt](mailto:davidsantos@ipb.pt), [carolnaviceto@ua.pt](mailto:carolnaviceto@ua.pt), [alfredo.rocha@ua.pt](mailto:alfredo.rocha@ua.pt), [cristina.carlos@advid.pt](mailto:cristina.carlos@advid.pt)

## Resumo

*Existe uma preocupação crescente com os possíveis efeitos das alterações climáticas na indústria vitivinícola em relação à produtividade da vinha e à qualidade do vinho. Um estudo de campo que envolveu medições de ozono superficial, medições meteorológicas e observações fenológicas da vinha foi realizado numa área de produção de vinhos de renome internacional, a Região Demarcada do Douro (RDD). A avaliação dos possíveis efeitos fitotóxicos sobre a qualidade e a produção do vinho foi estimada com base num índice cumulativo de exposição ao ozono (o AOT40) e num parâmetro de dose de ozono fitotóxica (o POD6). Os padrões espaciais desses parâmetros também foram calculados através da aplicação de um modelo químico de transporte atmosférico (CHIMERE) e um modelo de deposição seca de ozono (EMEP). Os principais resultados indicam que a exposição da vinha a níveis de ozono da magnitude dos registados pode causar perdas até 10% na produtividade, porém esta relação requer estudos adicionais para uma mais correta integração das condições ambientais específicas da RDD, especialmente no que diz respeito ao comportamento das castas cultivadas na região, nas metodologias de cálculo destes parâmetros.*

**Palavras chave:** *Vitis vinífera L., Região Demarcada do Douro, modelação.*

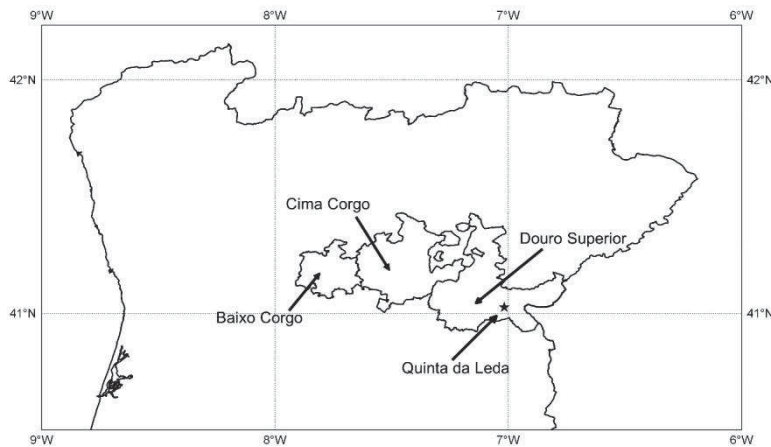
## Introdução

Os níveis de ozono troposférico no sul da Europa têm vindo a apresentar uma tendência crescente, em estreita relação com a maior incidência de verões quentes e ondas de calor.<sup>1,2,3,4</sup> Como já há muitas evidências dos efeitos negativos do ozono da camada superficial da atmosfera nas culturas agrícolas e na vegetação natural<sup>5,6</sup>, torna-se necessário desenvolver métodos mais rigorosos e consistentes de avaliação de risco que levem em conta as condições ambientais específicas das áreas desta região.<sup>7,8,9,10,11</sup> Os parâmetros assentes na exposição das plantas ao ozono como o AOT40, concentração acumulada de ozono acima de um limiar de 40 ppb, têm sido amplamente utilizados para apoiar a tomada de decisões sobre políticas de redução da poluição. No entanto, esses parâmetros têm vindo a ser amplamente criticados, uma vez que não se relacionam com a dose real ou o fluxo de ozono que entra na planta.<sup>12,13,14,15,16</sup> Além disso, em ambientes mediterrânicos, onde o risco de exposição ao ozono é elevado, os limiares são muitas vezes excedidos sem a evidência proporcional correspondente de efeitos nocivos sobre a vegetação.<sup>9,17</sup> Para superar essas limitações, foram desenvolvidas abordagens assentes em fluxos de deposição. Essas abordagens têm uma base biológica mais forte, uma vez que são baseadas em estimativas da dose de ozono fitotóxica (POD), a quantidade de moléculas de ozono que atinge o tecido foliar através dos estomas, em função da concentração de ozono e outros parâmetros críticos (p. ex. temperatura ambiente, radiação, humidade atmosférica, teor de água foliar).<sup>12,18,19,20</sup> No entanto, estes parâmetros também apresentam algumas limitações, uma vez que os processos de desintoxicação ou a absorção não estomática não são considerados.<sup>15,21</sup> O objetivo deste trabalho é fazer uma primeira estimativa dos efeitos do ozono troposférico sobre a produtividade da vinha e a qualidade do vinho numa localização da RDD, a Quinta da Leda, contrastando diferentes metodologias como a exposição ambiental ou a dose introduzida na videira. Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto de investigação [DOUROZONE](#).

## Área de estudo

A Região Demarcada do Douro de Portugal (RDD) atravessa as duas margens do rio Douro desde a fronteira com a Espanha até meio do seu curso. A região mais ocidental da região está localizada a 70 km do Oceano Atlântico. O Vale do Douro estende-se ao longo de 90 km na direção oeste-leste e ao longo de 50 km na direção Norte-Sul (Figura 1). A paisagem é caracterizada por terrenos montanhosos, subindo acima do rio Douro e seus afluentes, com encostas moderadas a íngremes e diferentes exposições. A região é caracterizada topograficamente por vinhedos inclinados, dispostos em várias configurações em patamares. Estes patamares foram criados e aperfeiçoados ao longo dos séculos, permitindo que o homem cultivasse vinhas nas encostas mais íngremes. A geologia é dominada por rochas em camadas de xistos, orientadas quase verticalmente, com alguns afloramentos de granito. A elevação média em toda a região é de 443 m, mas varia de cerca de 40 m até um máximo de mais de 1400 m.<sup>22</sup> A Região abrange cerca de 250 mil hectares com área de vinha representando cerca

de 43480 hectares, 17,4% da área total. A RDD está dividida em três sub-regiões: Baixo Corgo com área menor (45000 ha), Cima Corgo, com extensão intermédia (95000 ha) e Douro Superior com maior extensão (110000 ha). A área de vinha, para essas sub-regiões, é de 13368, 20270 e 9842 ha, respetivamente.<sup>23</sup>



**Figura 1:** A região Demarcada do Douro (RDD). A campanha de campo foi levada a cabo na Quinta da Leda - Douro Superior.

A RDD tem um clima mediterrânico, com eventos pluviométricos altamente variáveis e concentrados nos meses de inverno e verões quentes e secos. Está protegida dos ventos húmidos e frios do Atlântico por duas cadeias de montanhas, Marão e Montemuro, localizadas na sua fronteira ocidental. A temperatura aumenta e a precipitação diminui de oeste para leste. A sub-região mais ocidental do Vale do Douro (Baixo Corgo) está mais próxima do Oceano Atlântico e, portanto, mais afetada pelos ventos húmidos do mar. As regiões mais orientais da sub-região do Douro Superior estão mais distantes do Oceano Atlântico, tendo, portanto, uma influência climática mais continental. A região apresenta um clima temperado quente (Köppen Csb), com temperaturas médias anuais, no período 1980-2009, de 15,4°C, média da temperatura mínima diária (Tmin) no mês mais frio de 2,7°C e média da temperatura máxima diária (Tmax) no mês mais quente de 32,1 °C.<sup>24</sup> A temperatura média da estação de crescimento (GST) de abril a setembro, para o mesmo período climatológico, é de 20,6°C. A precipitação acumulada na estação de crescimento (GSP) tem um valor médio de 193 mm, representando 30% do total anual (624 mm). A média da precipitação do mês mais seco (julho) é de apenas 11,2 mm. Os baixos valores de precipitação, juntamente com altas temperaturas e alta exposição à radiação, originam situações de intenso stresse hídrico e térmico, particularmente nas sub-regiões Cima Corgo e Douro Superior.<sup>25</sup>

## Métodos e dados

A campanha de campo decorreu na Quinta da Leda indicada no mapa da Figura 1 com um asterisco. Os dados meteorológicos (velocidade e direção do vento, radiação solar,

humidade relativa, temperatura do ar e precipitação) foram obtidos com recurso a uma estação meteorológica automática, localizada na Quinta da Leda, durante o ciclo vegetativo da vinha (março a novembro de 2017). As concentrações de ozono foram medidas no mesmo local com um analisador fotométrico de UV (Horiba Apoa 360) a sensivelmente 4 metros de altura. Paralelamente, procedeu-se a um acompanhamento dos estados fenológicos das castas ‘Touriga Franca’ e ‘Touriga Nacional’, com rega e sem rega, nessa localização. Os níveis de ozono foram utilizados no cálculo do AOT40<sup>26</sup> enquanto que o modelo EMEP<sup>27</sup> de deposição seca para ozono aplicado para a vinha foi utilizado a escala pontual no cálculo da dose fitotóxica (POD e POD6)<sup>26</sup>. Para a obtenção de padrões espaciais horários, foi utilizado o modelo químico e de transporte atmosférico CHIMERE<sup>28</sup> enquanto a modelação do fluxo estomático foi concretizada através da implementação externa do modelo de deposição seca para ozono do EMEP. As funções de efeito da exposição ao ozono atmosférico e de efeito do fluxo do ozono que entra na vinha na sua produtividade e qualidade foram obtidas a partir do trabalho de *Soja et al.*<sup>29</sup>

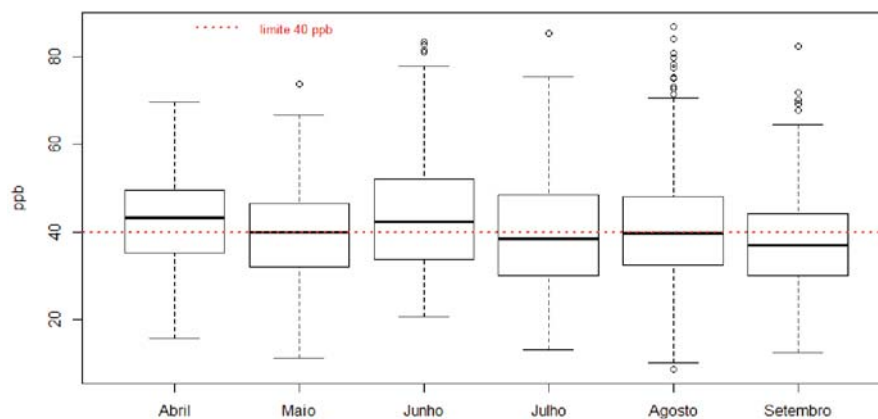
## Resultados

**Tabela 1:** Médias e máximos médios diários, máximos e horas acima de 80 ppb por mês das medições de ozono realizadas na Quinta da Leda.

	Médias			Máximos		Horas > 80 ppb	
	24 horas	Máx. diário	Máx. noturno	Dia	Noite	Dia	Noite
Abril	42,4	53,8	50,2	62,9	69,7	0	0
Maiο	38,2	50,2	48,1	62,8	73,8	0	0
Junho	43,3	57,0	55,3	83,5	82,8	1	3
Julho	40,0	56,1	53,7	75,4	85,4	0	1
Agosto	40,8	55,7	52,5	80,8	86,9	1	2
Setembro	37,5	51,7	47,0	82,4	70,1	1	0

Os resultados apresentados na Tabela 1 não são particularmente elevados em comparação com outras realidades geográficas. Por exemplo, no estudo de Roper e Williams<sup>30</sup> realizado na Califórnia obtiveram médias e máximas diárias de 52 e 87 ppb, respetivamente, durante o mês de junho. Estes autores estimaram reduções nas taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> da folha de videira (A) variando entre 5 a 13% nas câmaras ambientais em comparação com as videiras em câmaras onde o ozono fora filtrado.

A figura 2 mostra que os níveis ozono foram mais elevados em junho, ainda que o máximo absoluto tenha sido registado em agosto. Roper e Williams<sup>30</sup> também registaram as concentrações mais elevadas em junho, porém, as concentrações observadas na Quinta da Leda de abril a setembro foram em geral menores do que as encontradas no trabalho mencionado. A linha vermelha corresponde ao limite (40 ppb) acima do qual o ozono pode ser fitotóxico.



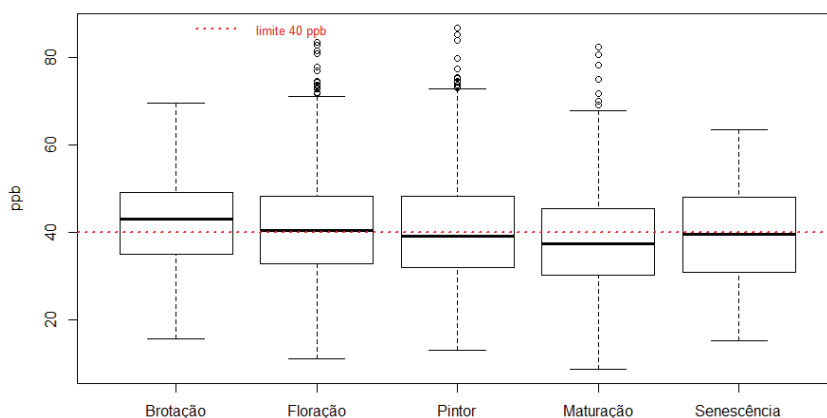
**Figura 2:** Distribuição interquartil dos níveis de ozono registados na Quinta da Leda, para os diferentes meses do período de crescimento das videiras.

A Tabela 2 mostra as datas médias dos principais estados fenológicos medidos na campanha de campo na Quinta da Leda em 2017 para as castas 'Touriga Nacional' e 'Touriga Franca'.

**Tabela 2:** Datas dos principais estados fenológicos.

Abrolhamento	Floração	Pintor	Maturação	Senescência
29-3-2017	3-5-2017	5-7-2017	23-8-2017	27-9-2017

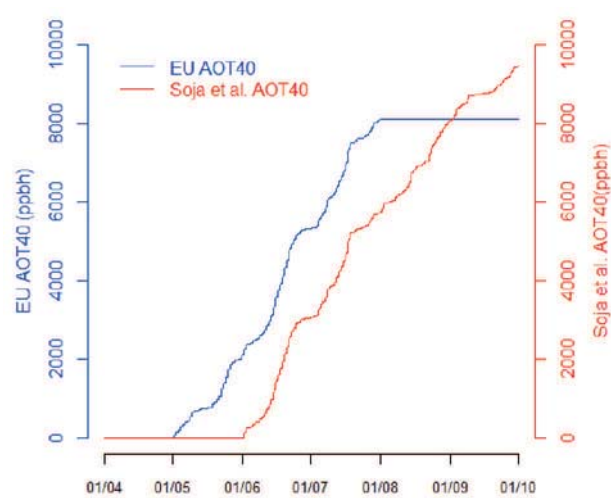
Na Figura 3 podemos observar que, tendo em consideração a fenologia da vinha na Quinta da Leda, a distribuição interquartil do ozono foi similar nos diferentes estados fenológicos, exceto durante a maturação em que os valores foram ligeiramente inferiores. Contudo, há uma incidência significativa de eventos extremos de ozono durante períodos sensíveis como a floração e o pintor.



**Figura 3:** Distribuição interquartil de ozono troposférico por estágio fenológico na Quinta da Leda na campanha de campo de 2017.

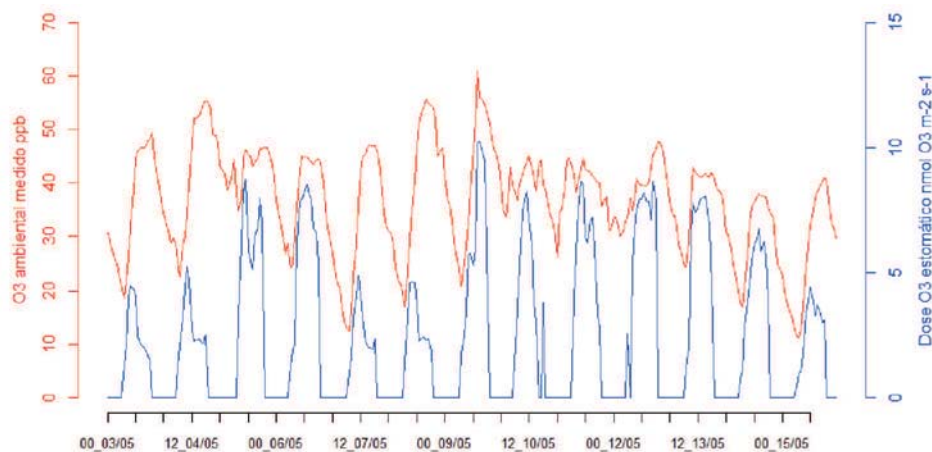
Como pode ser observado na Figura 4, o AOT40 de maio a julho, totaliza 8112 ppbh. Se seguirmos a função exposição-resposta estabelecida por Soja *et al.*<sup>29</sup>, para uma variedade austríaca de videira (Welchriesling em porta-enxertos Kober 5BB), obtemos um AOT40 de junho a setembro de 9449 ppbh. Na escala anual, estes valores poderiam corresponder a uma perda de produtividade até 10% ou 20%, se repetidos em três

anos consecutivos. Em relação ao impacto no rendimento em açúcar (glucose + frutose), estes seriam reduzidos até cerca de 10%, na escala anual, e 30% se expostas a valores similares de AOT40 em três anos consecutivos.



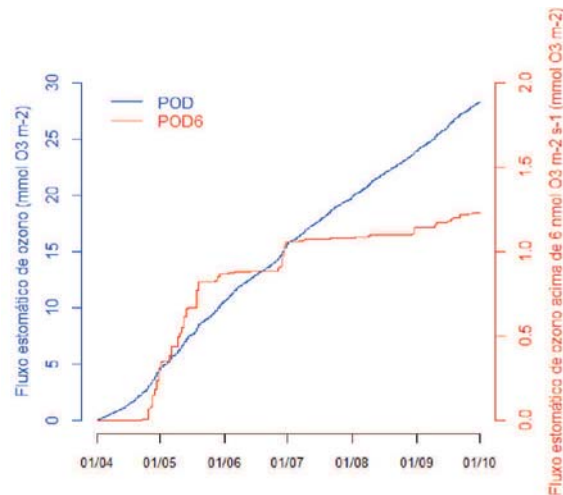
**Figura 4:** AOT40 resultante das medições de ozono na Quinta da Leda seguindo o procedimento da legislação Europeia e o método de Soja *et al.*<sup>29</sup>

A Figura 5 mostra como as elevadas concentrações de ozono nem sempre correspondem proporcionalmente a elevadas doses de ozono absorvidas pelas plantas. As elevadas concentrações de ozono estão usualmente associadas a elevadas temperaturas e altos deficits de pressão de vapor. O mecanismo de defesa na vinha contra essas condições implica o fecho dos estomas o que limita a entrada das moléculas de ozono nos tecidos foliares das plantas.



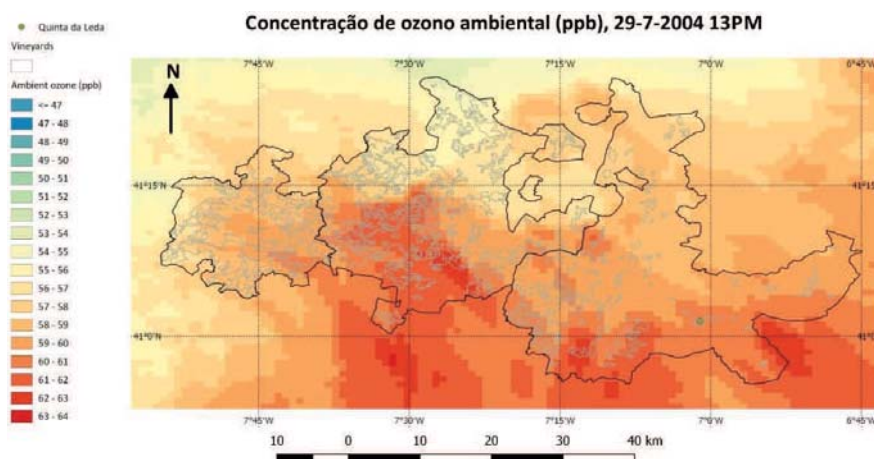
**Figura 5:** Concentrações de ozono da camada superficial da atmosfera e dose de ozono que entra na planta segundo o modelo de deposição seca de ozono do EMEP para a vinha.

A figura 6 mostra que o POD de abril a setembro atingiu um valor de  $28,3 \text{ mmol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  enquanto a magnitude do POD6 foi de  $1,2 \text{ mmol m}^{-2}$ . De acordo com Soja et al.<sup>29</sup>, o POD6 atinge o nível crítico ( $1,1 \text{ mmol m}^{-2}$ ) para uma redução de 10% no teor de açúcar, se esse limiar fora alcançado ao longo de dois anos consecutivos, mas não para o rendimento ( $2,2 \text{ mmol m}^{-2}$ ). De acordo com esse trabalho, os níveis críticos do POD6 para o teor de açúcar e o rendimento da vinha são maiores para os anos individuais:  $2,2 \text{ mmol m}^{-2}$  e  $3,5 \text{ mmol m}^{-2}$ , respectivamente.

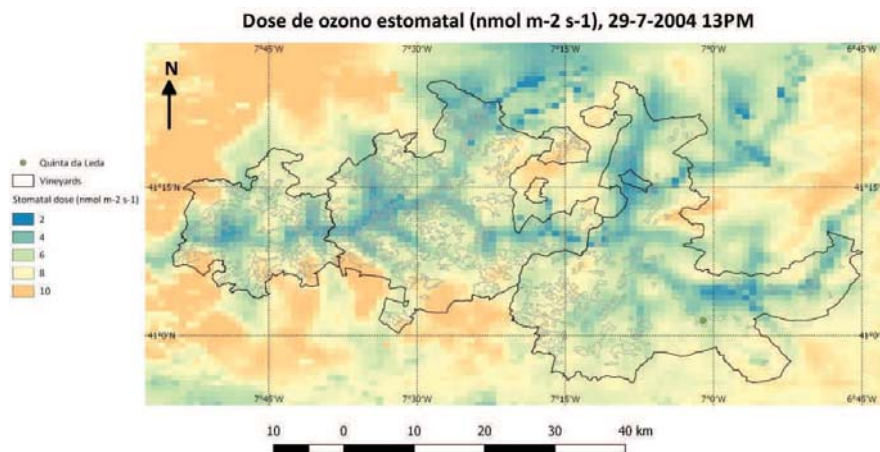


**Figura 6:** Doses de ozono totais (POD) e acima de um limite de  $6 \text{ nmol O}_3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (POD6) introduzidas na vinha na Quinta da Leda para o período de crescimento compreendido entre o 1 de abril e o 30 de setembro.

Finalmente, a Figura 7 mostra as concentrações espaciais horárias na RDD, obtidas por modelação química atmosférica (aplicação do modelo CHIMERE<sup>28</sup>) e a dose de ozono estomático obtida através do modelo de deposição seca para o ozono do EMEP27 aplicado a vinha.



A. Padrão espacial dos níveis horários de ozônio troposférico resultante da aplicação do modelo CHIMERE.



B. Padrão espacial do fluxo estomático de ozono estimado para a vinha com base na metodologia do EMEP.

**Figura 7:** padrões espaciais horários de ozono (A) e dose de ozono estomático (B) obtidos mediante modelação química atmosférica (CHIMERE) e modelação da deposição do ozono (modelo EMEP) aplicado a vinha.

## Conclusões

As estimativas dos efeitos do ozono troposférico sobre a produtividade da vinha e qualidade do vinho diferem substancialmente dependendo se é utilizada a exposição ambiental ou a dose introduzida na videira. O uso de um modelo químico e de transporte atmosférico (CHIMERE) e o seu acoplamento ao modelo de deposição seca do ozono do EMEP mostram igualmente diferentes padrões espaciais para os parâmetros de exposição ao ozono, AOT40, e dose de ozono na vinha, POD. Apesar de o parâmetro de exposição AOT40 ser o utilizado na legislação Europeia, o POD tem um maior fundamento biológico. No caso da vinha há uma ausência de funções adequadas de exposição-resposta e dose-resposta para se adaptar às diferentes Denominações de Origem Protegidas e em particular em relação às diferentes castas. Estes parâmetros também devem ser considerados na avaliação dos possíveis efeitos das alterações climáticas na vinha.

## Agradecimentos

Agradecimentos devidos ao projeto [DOUROZONE](#) (PTDC/AAG-MAA/3335/2014; POCI-01-0145-FEDER-016778) financiado por fundos nacionais pela FCT/MEC e cofinanciado pelo FEDER sob o acordo de parceria PT2020. E ao Laboratório Associado CESAM - Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (UID/AMB/50017) financiado por fundos nacionais (PIDDAC) através da FCT/MCTES e cofinanciado pelo FEDER (POCI-01-0145-FEDER-007638), no âmbito do Acordo de Parceria PT2020, e Compete 2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI). Também a empresa SOGRAPE Vinhos S. A. pela disponibilidade de dados climáticos e das vinhas para as observações fenológicas na localização da Quinta da Leda.

## Referências

1. D. J. Jacob and D. A. Winner, "Effect of climate change on air quality" in *Atmospheric Environment*, **43**, 51–63 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2008.09.051>
2. E. Katragkou, P. Zanis, I. Kioutsioukis, I. Tegoulas, D. Melas, D. C. Krüger and E. Coppola, E, "Future climate change impacts on summer surface ozone from regional climate-air quality simulations over Europe", in *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **116**(D22307), 1–14 (2011). <https://doi.org/10.1029/2011JD015899>
3. F. Meleux, F. Solmon and F. Giorgi, "Increase in summer European ozone amounts due to climate change", in *Atmospheric Environment*, **41**, 7577–7587 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2007.05.048>
4. S. Sitch, P. M. Cox, W. J. Collins and C. Huntingford, "Indirect radiative forcing of climate change through ozone effects on the land-carbon sink", in *Nature*, **448**(August), 791–794 (2007). <https://doi.org/10.1038/nature06059>
5. I. Fumagalli, B. S. Gimeno, D. Velissariou, L. De Temmerman and G. Mills, "Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region", in *Atmospheric Environment*, **35**(14), 2583–2587 (2001). [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(00\)00468-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(00)00468-4)
6. G. Mills, F. Hayes, D. Simpson, L. Emberson, D. Norris, H. Harmens and P. Büker, "Evidence of widespread effects of ozone on crops and (semi-)natural vegetation in Europe (1990-2006) in relation to AOT40- and flux-based risk maps", in *Global Change Biology*, **17**, 592–613 (2011). <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02217.x>
7. J. M. De Andrés, R. Borge, D. De La Paz, J. Lumbreras and E. Rodríguez, "Implementation of a module for risk of ozone impacts assessment to vegetation in the Integrated Assessment Modelling system for the Iberian Peninsula. Evaluation for wheat and Holm oak", in *Environmental Pollution*, **165**, 25–37 (2012). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2012.01.048>
8. M. Fagnano, A. Maggio and I. Fumagalli, "Crops' responses to ozone in Mediterranean environments", in *Environmental Pollution*, **157**(5), 1438–1444 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.001>
9. M. Ferretti, M. Fagnano, T. Amoriello, M. Badiani, A. Ballarin-Denti, A. Buffoni, M. Vitale, "Measuring, modelling and testing ozone exposure, flux and effects on vegetation in southern European conditions—What does not work? A review from Italy", in *Environmental Pollution*, **146**(3), 648–658 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.05.012>
10. J. Fuhrer and F. Booker, "Ecological issues related to ozone: agricultural issues", in *Environment International*, **29**(2), 141–154 (2003). [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00157-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00157-5)
11. D. Simpson, M. R. Ashmore, L. Emberson, and J. P. Tuovinen, "A comparison of two different approaches for mapping potential ozone damage to vegetation. A model study", in *Environmental Pollution*, **146**, 715–725 (2007). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2006.04.013>
12. L. D. Emberson, M. R. Ashmore, H. M. Cambridge, D. Simpson, & J. P. Tuovinen, "Modelling stomatal ozone flux across Europe" in *Environmental Pollution*, **109**(3), 403–413 (2000). [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(00\)00043-9](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(00)00043-9)
13. W. J. Massman, "Toward an ozone standard to protect vegetation based on effective dose: a review of deposition resistances and a possible metric" in *Atmospheric Environment*, **38**, 2323–2337 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.09.079>
14. D. L. Mauzerall and X. Wang, "Protecting agricultural crops from the effects of tropospheric ozone exposure". In *Annu. Rev. Energy Environ*, **26**, 237–268 (2001). Retrieved from [www.annualreviews.org](http://www.annualreviews.org)
15. R. C. Musselman, A. S. Lefohn, W. J. Massman and R. L. Heath, "A critical review and analysis of the use of exposure-and flux-based ozone indices for predicting vegetation effects", in *Atmospheric Environment*, **40**, 1869–1888 (2006). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.10.064>

16. E. Paoletti & W. J. Manning, "Toward a biologically significant and usable standard for ozone that will also protect plants", in *Environmental Pollution*, **150** (1), 85–95 (2007).  
<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.037>
17. S. Cieslik, S. "Ozone fluxes over various plant ecosystems in Italy: A review", in *Environmental Pollution*, **157** (5), 1487–1496 (2009). <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2008.09.050>
18. LRTAP Convention. Chapter 3 : Mapping Critical Levels for Vegetation Revision undertaken in Summer , 2010 , to include new flux-based critical levels and response functions for ozone. Revision (2010).
19. S. Nussbaum, J. Remund, B. Rihm, K. Miegli, J. Gurtz and J. Fuhrer, "High-resolution spatial analysis of stomatal ozone uptake in arable crops and pastures", in *Environment International*, **29**, 385–392 (2003). [https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00174-5](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00174-5)
20. J. P. Tuovinen, M. Ashmore, L. Emberson and D. Simpson, "Testing and improving the EMEP ozone deposition module", in *Atmospheric Environment*, **38**(15), 2373–2385 (2004).  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2004.01.026>
21. G. Gerosa, M. Vitale, A. Finco, F. Manes, A. B. Denti and S. Cieslik, "Ozone uptake by an evergreen Mediterranean Forest (*Quercus ilex*) in Italy. Part I: Micrometeorological flux measurements and flux partitioning", in *Atmospheric Environment*, **39**, 3255–3266 (2005).  
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2005.01.056>
22. G. Jones, "Uma Avaliação do Clima para a Região Demarcada do Douro : Uma análise das condições climáticas do passado , presente e futuro para a produção de vinho", ADVID (2013).
23. Instituto dos Vinhos do Douro e Porto (IVDP), "Estatísticas. Área de vinha e sua composição. Ano 2016." [Online]. Available:  
[https://www.ivdp.pt/estatisticas\\_novo2.php?codIdioma=0&codEstatistica=2&codIdioma=0&periodos=461](https://www.ivdp.pt/estatisticas_novo2.php?codIdioma=0&codEstatistica=2&codIdioma=0&periodos=461) [Accessed: 27-Apr-2017].
24. A. C. Real, J. Borges, J. S. Cabral, and G. V. Jones, "A climatology of Vintage Port quality", in *Int. J. Climatol.*, Dec. 2016.
25. G. V. Jones and F. Alves, "Impact of climate change on wine production: a global overview and regional assessment in the Douro Valley of Portugal" in *Int. J. Glob. Warm.*, **4**, no. 3/4, pp. 383–406, 2012.
26. LRTAP Convention. "III. Mapping critical levels for vegetation: Major revision to include new flux-based critical levels and response functions for ozone and re-structuring of text.: Minor text changes made", (2015).
27. L. Emberson, D. Simpson, J. P. Tuovinen,, M. R. Ashmore and H. M. Cambridge, "Towards a model of ozone deposition and stomatal uptake over Europe", (2000) Oslo: Norwegian Meteorological Institute.
28. L. Menut, B. Bessagnet, D. Khvorostyanov, M. Beekmann, N. Blond, et al, "CHIMERE 2013: a model for regional atmospheric composition modelling", *Geoscientific Model Development, European Geosciences Union*, **6** (4), pp.981-1028 (2014).
29. G. Soja, T. G. Reichenauer, M. Eid, A. M. Soja, R. Schaber, and H. Gangl, "Long-term ozone exposure and ozone uptake of grapevines in open-top chambers" in *Atmospheric Environment*, **38**, 2313–2321 (2004). <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2003.12.038>
30. T. R. Roper and L. E. Williams, "Effects of Ambient and Acute Partial Pressures of Ozone on Leaf Net CO<sub>2</sub> Assimilation of Field-Grown *Vitis vinifera* L" in *Plant Physiol*, **91**, 1501–1506.