

Ana Isabel Miranda
Alfredo Rocha

António Ribeiro
Alexandra Monteiro

DOU RO ZON ONE

DOUROZONE | RISCO DE EXPOSIÇÃO AO OZONO
PARA A VINHA DURIENSE EM CLIMA ATUAL
E FUTURO



universidade de aveiro
theoria poiesis praxis



ipb
INSTITUTO POLITÉCNICO
DE BRAGANÇA

FICHA TÉCNICA

Título

Dourozone - Risco de Exposição ao Ozono para a Vinha Duriense em Clima Atual e Futuro

Editores

Ana Isabel Miranda, Alfredo Rocha, António Ribeiro, Alexandra Monteiro

Design

Ji&Gu - Design e Consultoria Criativa

Impressão e acabamento

Grafigamelas, Indústria Gráfica, Lda

Editora

UA Editora - Universidade de Aveiro

1ª edição - junho 2018

Tiragem

100 exemplares

ISBN

978-972-789-552-6

Depósito legal



**DOUROZONE | RISCO DE EXPOSIÇÃO AO OZONO
PARA A VINHA DURIENSE EM CLIMA ATUAL E FUTURO**

Ana Isabel Miranda
Alfredo Rocha

António Ribeiro
Alexandra Monteiro

ÍNDICE

1.	INTRODUÇÃO	1
2.	ANÁLISE DAS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS NA REGIÃO DEMARCADA DO DOURO	5
2.1.	Simulações utilizadas	5
2.2.	Correção das simulações	7
2.3.	Alteração climática	9
2.3.1.	Temperatura máxima e mínima	9
2.3.2.	Índices de alteração climática de temperatura	11
2.3.3.	Ondas de calor e de frio	12
2.3.4.	Precipitação	14
2.4.	Índices bioclimáticos	15
3.	AVALIAÇÃO DA EXPOSIÇÃO DA VINHA AO OZONO	20
3.1.	Metodologia	20
3.2.	Avaliação do sistema de modelação	21
3.3.	Resultados	25
3.4.	Comentários finais	27
4.	EFEITOS POTENCIAIS DO OZONO NA CULTURA DA VINHA	29
4.1.	Efeitos na anatomia e fisiologia da videira	29
4.2.	Efeitos na produtividade e composição do bago	30
4.3.	Monitorização de ozono na RDD	31
4.4.	Concentrações e perfis de variação temporal de ozono na RDD	32
4.5.	Avaliação do risco do ozono na vinha	34
4.5.1.	Nível Crítico - AOT40	34
4.5.2.	Dose de Ozono Fitotóxica, PODY	38
4.6.	Comentários finais	39
5.	ATLAS DIGITAL DOUROZONE	41
6.	SÍNTESE CONCLUSIVA	46

4. EFEITOS POTENCIAIS DO OZONO NA CULTURA DA VINHA

António Ribeiro // Daniel Blanco-Ward // David Barreales // João Paulo Castro // João Verdial // Jaime Pires // Manuel Ângelo Rodrigues // Manuel Feliciano // Ana Isabel Miranda

Este capítulo tem como objetivo descrever os efeitos potenciais do ozono na cultura da vinha, recorrendo a informação da bibliografia e a resultados da campanha de monitorização realizada na região Demarcada do Douro (RDD) no âmbito do projeto DOUROZONE.

4.1 EFEITOS NA ANATOMIA E FISIOLOGIA DA VIDEIRA

A sensibilidade da videira (*Vitis vinifera* L.) ao ozono troposférico tem sido evidenciada em vários estudos (Roper & Williams, 1989; Fumagalli et al., 2001; Saitanis, 2003; Pellegrini et al., 2015), em que a redução da condutância estomática e da assimilação líquida de CO₂ e o incremento da senescência foliar precoce, são referidos como os principais sintomas do seu efeito oxidante. Os sintomas visíveis traduzem-se no aparecimento de pequenas manchas pontilhadas entre as nervuras da página superior da folha, de cor castanha e que evoluem para um enegrecimento (Figura. 4.1). Ao microscópio podem observar-se deformações com zonas empoladas e fissuras na epiderme (Figura. 4.2).

A



B



Figura 4.1. Sintomas visíveis característicos do efeito do ozono em folhas de videira. (A-Foto A.C.Ribeiro; B- Foto M.J. Sanz)



Figura 4.2. Observações ao microscópio de deformações com zonas empoladas e fissuras na epiderme provocadas pelo ozono (Pellegrini *et al.*, 2015).

Estes sintomas resultam de alterações estruturais na cutícula e de modificações anatômicas ao nível do mesófilo, com um aumento irregular da espessura da folha, diminuição da espessura do parênquima em paliçada e morte de células, com o aparecimento de manchas necróticas. A diminuição da densidade estomática é outros dos efeitos da exposição a níveis elevados de ozono (Roper & Williams, 1989).

Ao nível fisiológico, a exposição ao ozono provoca a diminuição da atividade fotossintética, devido à redução da condutância estomática e de limitações não estomáticas (aumento da concentração sub-estomática do CO_2), a diminuição da eficiência fotoquímica máxima F_v/F_m (Valleta *et al.*, 2016), diminuição do potencial hídrico foliar de base e uma diminuição do conteúdo relativo em água das folhas (Pellegrini *et al.*, 2015).

4.2 EFEITOS NA PRODUTIVIDADE E COMPOSIÇÃO DO BAGO

Os estudos sobre o efeito do ozono na produtividade e composição do bago são escassos. Os ensaios realizados nas últimas décadas mostram que os efeitos de uma exposição prolongada a níveis elevados de ozono na atmosfera causam uma diminuição do crescimento vegetativo e da produtividade da vinha (Muselman *et al.*, 1983; Roper & Williams, 1989). Soja *et al.* (2004) verificaram uma diminuição da produtividade e da acumulação do teor de açúcar no mosto, como consequência da redução da taxa fotossintética e do metabolismo dos hidratos de carbono, em videiras (cv. Welschriesling) cultivadas em vasos e submetidas a uma exposição de diferentes níveis de ozono durante três anos, tendo-se observado um efeito gradual de agravamento na quebra de produtividade e de

acumulação de açúcares (frutose + glucose) nos bagos ao longo dos anos. Não foram observadas diferenças significativas relativamente à composição em ácidos orgânicos nos bagos. Em ensaios realizados no noroeste dos Estados Unidos da América (Booker *et al.*, 2009), nas castas Vidal e Chambourcin, o ozono foi responsável por um decréscimo do tamanho dos bagos e um aumento da acidez total. Nestes estudos não foram observadas diferenças estatisticamente significativas em relação ao pH e à acumulação de açúcares no bago. Os resultados dos vários estudos realizados mostram um comportamento diferenciado das castas, resultante, por um lado, da diferente sensibilidade ao ozono das várias castas e, por outro, da diferença de condutância estomática máxima que existe entre variedades, com consequentes diferenças na deposição de ozono.

4.3 MONITORIZAÇÃO DE OZONO NA RDD

As concentrações de ozono foram monitorizadas, em contínuo, na RDD, em particular na Quinta da Leda localizada na subregião do Douro Superior. A monitorização foi iniciada em finais de março de 2017 e decorrerá até setembro de 2018, abrangendo dois ciclos vegetativos da vinha. As concentrações de ozono foram medidas a sensivelmente 4 metros de altura com recurso a um analisador fotométrico de UV (Horiba Apoa 360) (Figura 4.3).



Figura 4.3. Equipamento de monitorização da concentração de ozono no Douro superior, Quinta da Leda - Sogrape.

As concentrações instantâneas de ozono foram integradas em médias horárias, temporariamente armazenadas no equipamento, sendo posteriormente objeto de tratamento matemático específico. Em particular, as concentrações horárias de ozono foram utilizadas para obter o padrão de variação ao longo do ciclo diário de 24 horas, assim como o padrão de variação sazonal. Além disso, foram também usadas para determinar algumas métricas de avaliação do risco resultante da exposição das plantas ao ozono, como o nível crítico AOT40 e a dose fitotóxica (POD e POD6), de modo a ser possível estabelecer relações entre estes parâmetros de dose de exposição e de dose de absorção e a perda de produtividade da vinha e a diminuição da acumulação do teor de açúcar dos bagos.

4.4 CONCENTRAÇÕES E PERFIS DE VARIAÇÃO TEMPORAL DE OZONO NA RDD

Os padrões temporais das concentrações de ozono são apresentados sob a forma de distribuição interquartil, para as diferentes horas do dia (Figura 4.4) e para os diferentes meses do ano (Figura 4.5), tendo por base as concentrações médias horárias de ozono registadas no período compreendido entre março de 2017 e fevereiro de 2018.

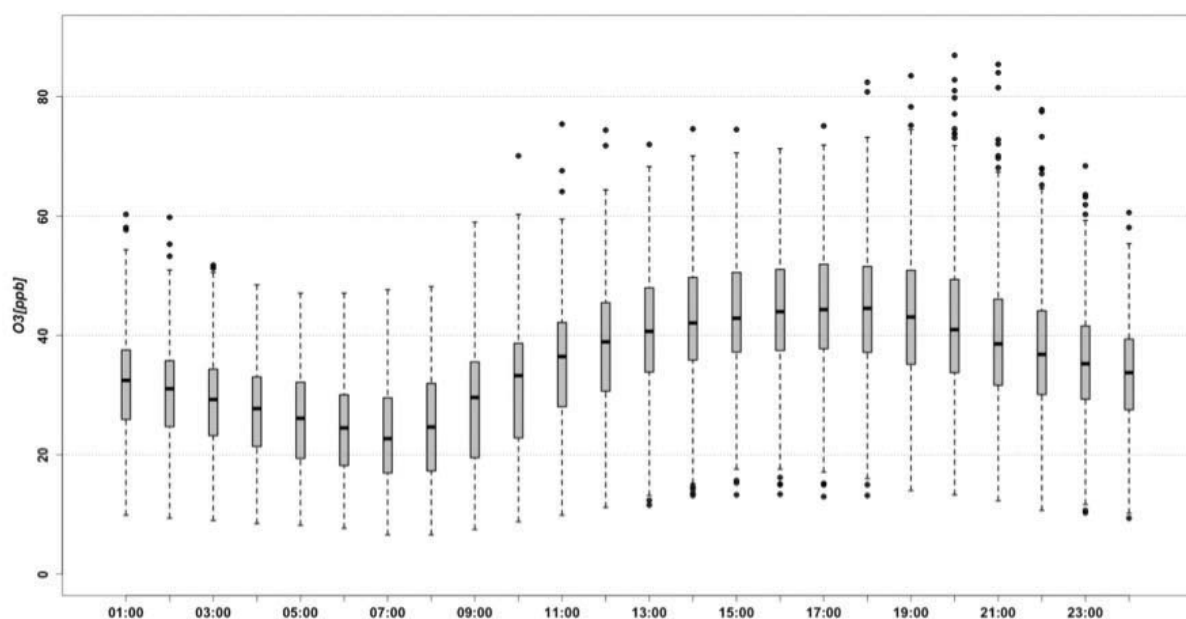


Figura 4.4. Diagramas de extremos e quartis das concentrações médias horárias registadas na região do Douro Superior, entre março de 2017 e fevereiro de 2018, para as diferentes horas do dia.

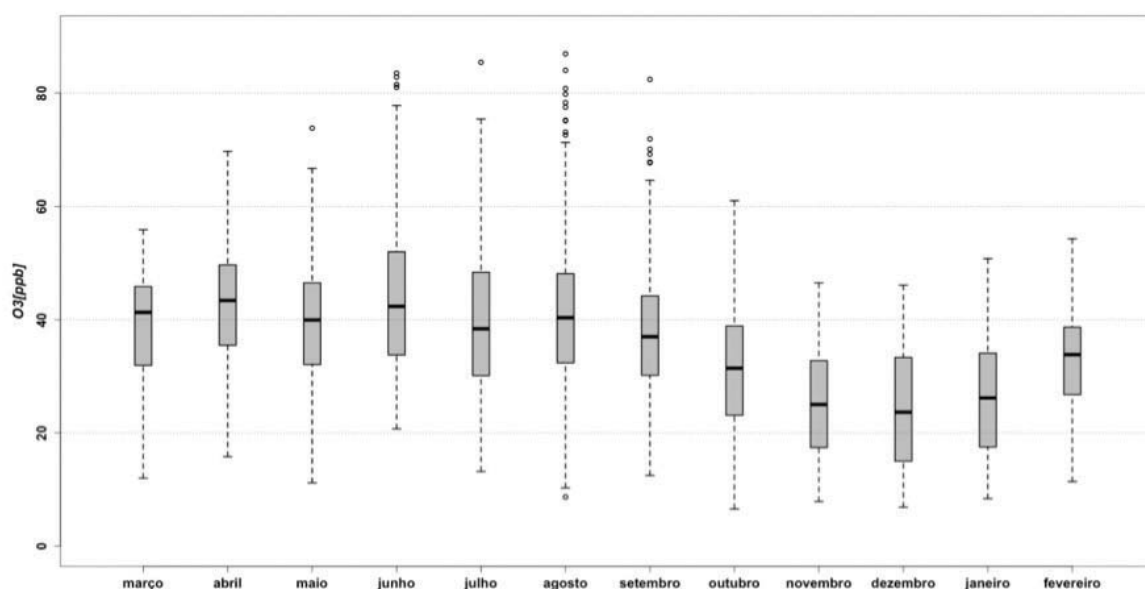


Figura 4.5. Diagramas de extremos e quartis das concentrações médias horárias registadas na região do Douro Superior, entre março de 2017 e fevereiro de 2018, para os diferentes meses do ano.

Como expectável, as concentrações de ozono seguem um padrão de variação ao longo do dia muito característico e comum a muitas outras realidades geográficas nacionais e mundiais. Os níveis de ozono começam a aumentar logo após o nascer-do-sol, até atingirem os valores mais elevados entre as quatro e as seis horas da tarde, para logo a seguir voltarem a decrescer até atingirem os níveis mais baixos em torno do crepúsculo matutino. Em termos de sazonalidade, os níveis médios diários de ozono também definem um padrão de variação característico, com um contraste claro entre os valores mais elevados de primavera/verão e os mais baixos de outono/inverno.

Em termos gerais, as concentrações de ozono variaram entre valores mínimos horários ligeiramente abaixo dos 10 ppb e máximos horários de aproximadamente 90 ppb, sendo que os máximos horários de ozono estão associados a situações episódicas que ocorreram no final do dia (próximo do pôr-do-sol), nos meses de verão.

A Figura 4.6 mostra a distribuição interquartil dos níveis de ozono que prevaleceram nos períodos correspondentes aos vários estados fenológicos da vinha, para as castas Touriga Nacional e Touriga Franca, entre o início do abrolhamento em finais de março e a fase da senescência em finais de setembro.

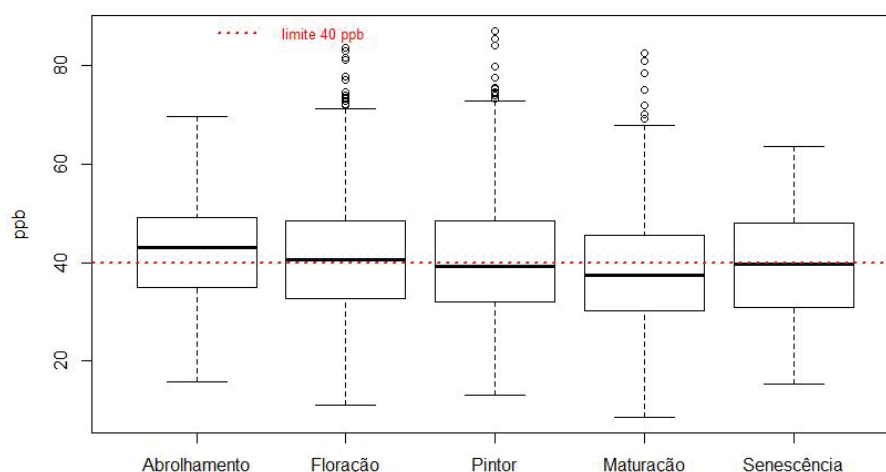


Figura 4.6. Distribuição interquartil dos níveis de ozono por estado fenológico na Quinta da Leda, em 2017. A linha vermelha corresponde ao limite (40 ppb) acima do qual o ozono pode ser fitotóxico.

Observa-se que 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 os períodos mais sensíveis como a floração e o pintor.

4.5 AVALIAÇÃO DO RISCO DO OZONO NA VINHA

Tal como referido no capítulo anterior, as normas atuais de proteção dos ecossistemas ao ozono baseiam-se frequentemente nas concentrações atmosféricas de ozono, como o nível crítico designado por AOT40. Todavia, existem métricas, assentes no fluxo de ozono absorvido pelas folhas das plantas, que são biologicamente mais relevantes porque incorporam a influência de fatores climáticos, fatores edáficos e da própria vegetação. Uma das mais utilizadas é a dose de ozono fitotóxica acima de um limiar de $Y \text{ nmol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ (PODY). O Y representa um limiar de desintoxicação abaixo do qual se assume que qualquer molécula de O_3 absorvida pela planta é desintoxicada (Mills *et al.*, 2011).

4.5.1 Nível Crítico - AOT40

Não obstante, o conceito de nível crítico associado ao AOT40 já ter sido apresentado e discutido no capítulo 3, relembra-se aqui que este corresponde à exposição cumulativa suscetível de causar efeitos significativos sobre os recetores, ou seja, culturas, florestas e comunidades de plantas naturais e seminaturais. No caso do ozono, os níveis críticos baseiam-se atualmente no índice de exposição

cumulativa ao ozono (AOT40), que representa a soma das diferenças entre as concentrações horárias de ozono superiores a 40 ppb e o limiar de 40 ppb, usando apenas os valores horários medidos para as horas diurnas compreendidas entre as 08h00 e as 20h00. Valores de AOT40 de 3000 ppb * h e de 9000 ppb * h durante a estação de crescimento de 3 meses (maio a julho) correspondem ao valor alvo e ao de longo prazo para a proteção da vegetação estabelecidos no D.L. 102/2010 de 23 de setembro.

A Figura 4.7 mostra a evolução do AOT40 calculado para um período de 3 (maio a julho) e 5 meses (maio a setembro), com base nos valores horários das concentrações de ozono registados no período diurno compreendido entre as 8h00 e as 20h00. O alargamento a um período de 5 meses permite uma melhor aproximação ao período vegetativo da videira em que é suposto ocorrer absorção de ozono pelas plantas.

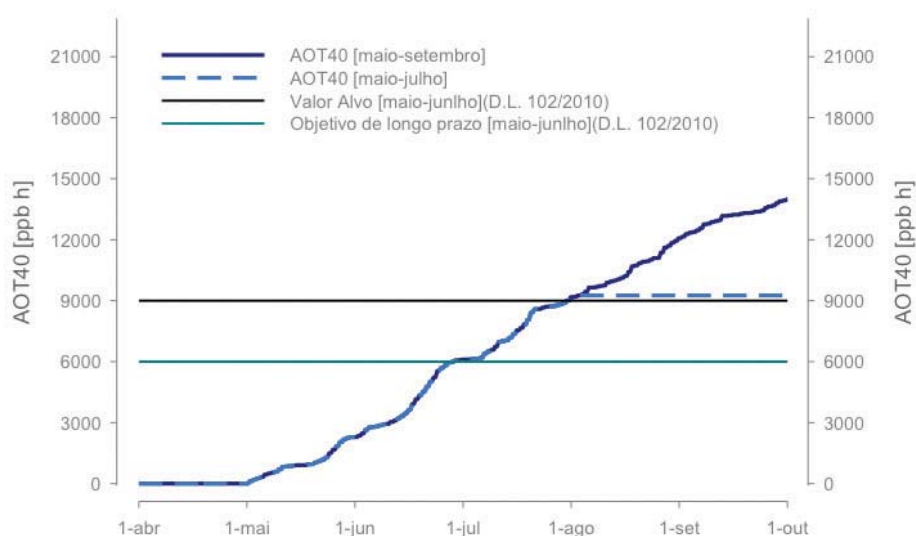


Figura 4.7. Excedências ao valor alvo e objetivo a longo prazo para proteção da vegetação de acordo com o D.L. 102/2010 de 23 de setembro.

Comparando com os parâmetros legais estabelecidos no D.L. 102/2010 de 23 de setembro, constata-se que a exposição de médio e longo prazo aos atuais níveis de ozono pode causar danos significativos na vegetação em geral, incluindo a vinha. De acordo com a UNECE e a OMS (World Health Organization, 2000), os níveis críticos de AOT40 de 3000 ppb h durante a estação de crescimento de 3 meses para espécies agrícolas, e de 10000 ppb h, durante a estação de crescimento de 6 meses, para espécies florestais, conduzem a perdas de produção de 5% e 10%, respetivamente.

À semelhança da estimativa de impactos desenvolvida no capítulo anterior, com base nos resultados de modelação, e para uma discussão de índole mais aplicada dos efeitos potenciais do ozono na vinha, recorreu-se às funções de exposição-resposta obtidas a partir do estudo de Soja *et al.* (2004). Estas funções exposição-resposta relacionam os valores de AOT40 com a perda de produtividade (Figura 4.8) e a diminuição do teor de açúcares da uva (Figura 4.9).

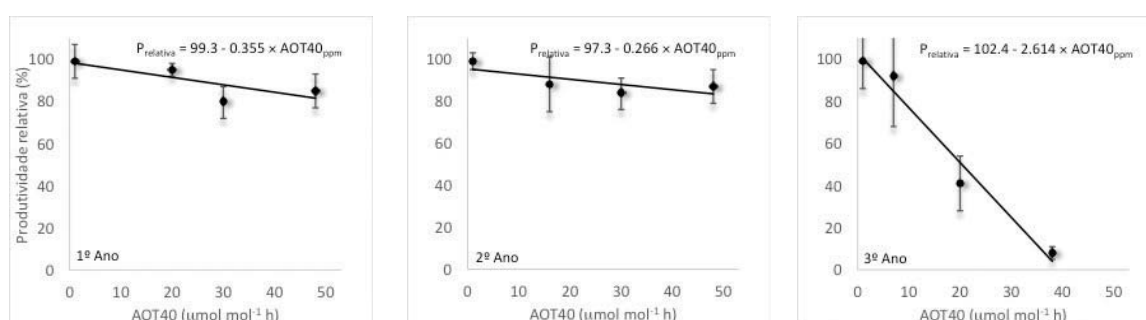


Figura 4.8 Relação entre a produtividade relativa (% da produtividade para AOT: 0 μmol mol⁻¹h) e a exposição a diferentes concentrações de ozono (AOT40), de junho a setembro, durante três anos consecutivos (Soja *et al.*,2004).

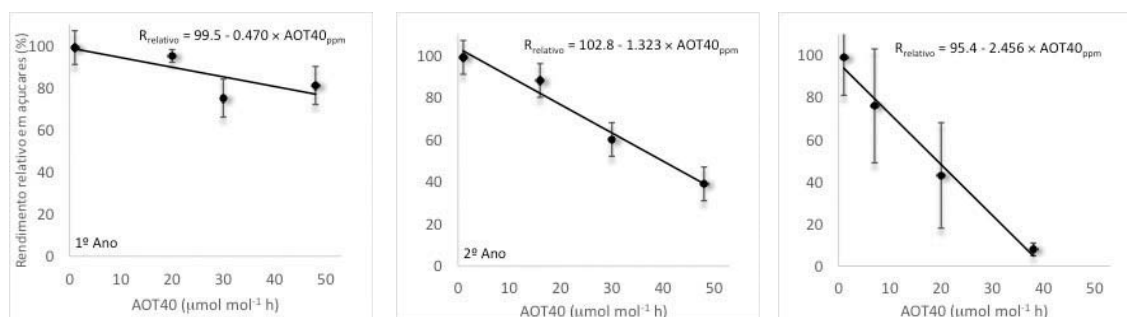


Figura 4.9. Relação entre o rendimento em açúcares (% do rendimento para AOT: 0 μmol mol⁻¹h) e a exposição a diferentes concentrações de ozono (AOT40), de junho a setembro, durante três anos consecutivos (Soja *et al.*,2004).

Tendo por base as funções exposição-resposta anteriores, os valores de AOT40 obtidos neste estudo indiciam uma perda de produtividade superior a 30%, se a exposição aos níveis registados de ozono ocorrer de forma recorrente em três anos consecutivos (Figura 4.10). Em relação ao impacto no rendimento em açúcares (glucose + frutose) nos mostos, estes podem sofrer uma redução até cerca de 40%, se expostos também a valores similares de AOT40 em três anos consecutivos (Figura 4.11).

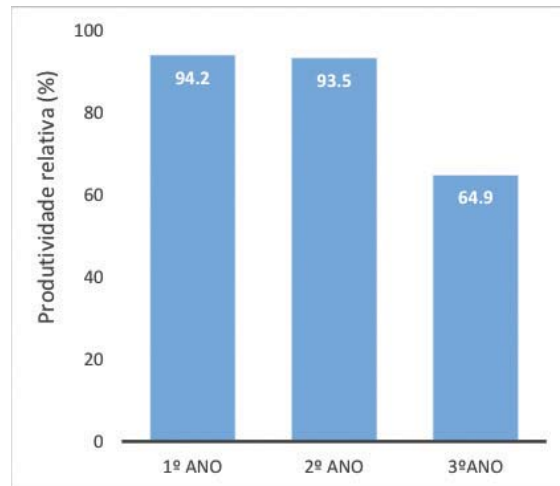


Figura 4.10. Produtividade relativa determinada com base nas funções exposição-resposta (Soja *et al.*, 2004) e nas concentrações de ozônio medidas durante o ano de 2017 na RDD.

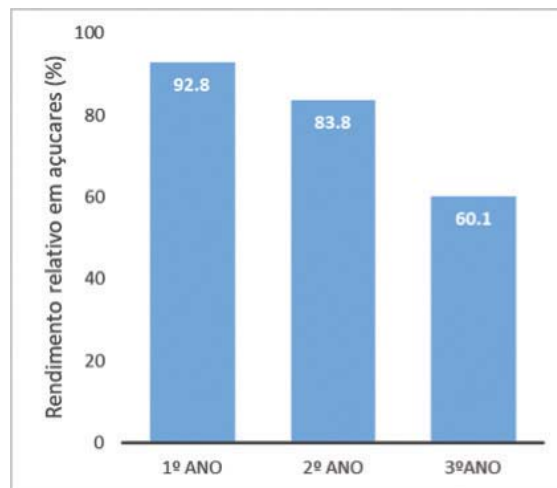


Figura 4.11. Rendimento relativo em açúcares determinado com base nas funções exposição-resposta (Soja *et al.*, 2004) e nas concentrações de ozônio medidas durante o ano de 2017 na RDD.

5.5.2 Dose de Ozono Fitotóxica, POD_Y

O POD_Y tem em consideração fatores que afetam a absorção de ozono pelos estomas. A incorporação e quantificação de parâmetros como a disponibilidade de água no solo, os estados fenológicos e os fatores meteorológicos são aspetos importantes para uma avaliação mais realista das respostas das culturas à exposição ao ozono.

A diferença entre valores de O_3 no ar ambiente e dose de O_3 absorvida pelas plantas está ilustrada na Figura 4.12 onde é visível a relação não linear entre estas duas métricas. As elevadas concentrações de ozono estão usualmente associadas a altas temperaturas e elevados défices 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.

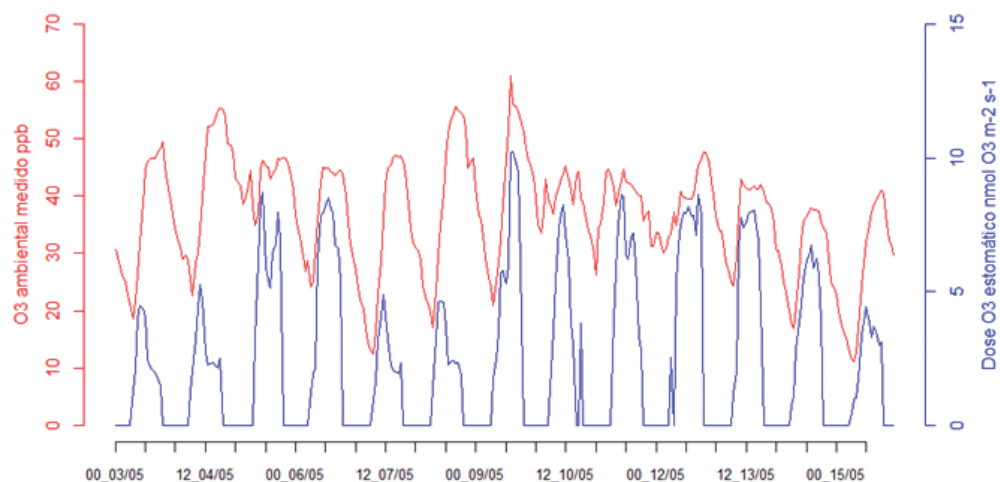


Figura 4.12. Concentrações de ozono da camada superficial da atmosfera e dose de ozono que entra na planta segundo o modelo de deposição seca de ozono do EMEP para a vinha.

Na Figura 4.13 mostra-se a evolução do POD e do POD_6 de maio a setembro de 2017. O POD atingiu um valor de $17,7 \text{ mmol m}^{-2}$, enquanto a magnitude do POD_6 foi de $0,92 \text{ mmol m}^{-2}$.

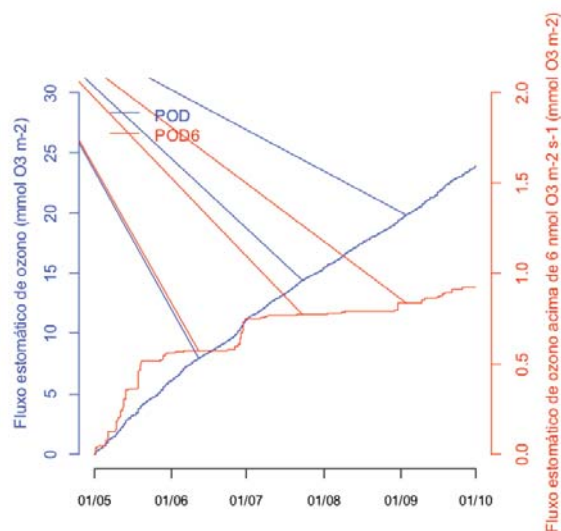


Figura 4.13. Doses de ozono totais (POD) e acima de um limite de $6 \text{ nmol O}_3 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ (POD6) introduzidas na vinha na Quinta da Leda para o período de crescimento compreendido entre 1 de maio e 30 de setembro.

O valor do POD6 foi inferior aos níveis críticos ($1,1$ e $2,2 \text{ mmol m}^{-2}$) correspondentes, respetivamente, a uma redução de 10% no teor de açúcar acumulado nos bagos e na produtividade (Soja *et al.*, 2004), considerando dois ciclos vegetativos. Quando se considera apenas um ciclo vegetativo, os limiares sobem para $2,2$ e são de $2,2 \text{ mmol m}^{-2}$ e $3,5 \text{ mmol m}^{-2}$, respetivamente.

4.6 COMENTÁRIOS FINAIS

As estimativas dos efeitos do ozono troposférico na produtividade da vinha e na composição do bago em açúcares diferem substancialmente, dependendo se é utilizada a exposição ambiental ou a dose introduzida na videira. 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 e em particular em relação às diferentes castas. Estes parâmetros também devem ser considerados na avaliação dos possíveis efeitos das alterações climáticas na vinha.

Para abordar os efeitos de interação das concentrações mais elevadas de CO_2 e de outros fatores sobre os impactes do O_3 , as relações dose-resposta baseadas no fluxo estomático (Pleijel *et al.*, 2007) seriam mais adequadas do que a abordagem baseada em relações de exposição-resposta (Pleijel *et al.*, 2004). Isto é

claramente um passo a avançar para a estimativa baseada no mecanismo das perdas de rendimento das culturas. No entanto, a estimativa da absorção de O₃ requer elementos adicionais de informação, nem sempre disponíveis, nem fáceis de obter experimentalmente.

Referências

Booker, F., Muntifering, R., McGrath, Burkey, M.K., Decoteau, D. Fiscus, E., Manning, W., Krupa, S., Chappelka, A., Grantz, D., (2009) The Ozone Component of Global Change: Potential Effects on Agricultural and Horticultural Plant Yield, (2009) Product Quality and Interactions with Invasive Species. *Journal of Integrative Plant Biology*, 51 (4): 337–351.

Fumagalli, I., Gimeno, B. S., Velissariou, D., De Temmerman L., Mills, G., (2001) Evidence of ozone-induced adverse effects on crops in the Mediterranean region, *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)

Mills, G., Pleijel, H., Braun, S., Büker, P., Bermejo, V., Calvo, E., Danielsson, H., Emberson, L., Gonzalez Fernandez, I., Grünhage, L., Harmens, H., Hayes, F., Karlsson, P.-E., Simpson, D., (2011). New stomatal flux-based critical levels for ozone effects on vegetation. *Atmos. Environ.* 45, 5064 e 5068.

Musselman RC, Forsline PL, Kender WJ (1985) Effects of sulfur dioxide and ambient ozone on Concord grapevine growth and productivity. *J Am Soc Hortic Sci* 110: 882-888

Pellegrini E, Campanella A, Paolocci M, Trivellini A, Gennai C, Muganu M, et al. (2015). Functional Leaf Traits and Diurnal Dynamics of Photosynthetic Parameters Predict the Behavior of Grapevine Varieties Towards Ozone. *PLoS ONE* 10 (8): e0135056. doi:10.1371/journal.pone.0135056.

Pleijel, H., Danielsson, H., Emberson, L., Ashmore, M.R., Mills, G., (2007). Ozone risk assessment for agricultural crops in Europe: further development of stomatal flux and flux-response relationships for European wheat and potato. *Atmospheric Environment* 41, 3022–3040.

Pleijel, H., Danielsson, H., Ojanpera", K., De Temmerman, L., Hogy, P., Badiani, M., Karlsson, P.E., (2004) Relationships between ozone exposure and yield loss in European wheat and potato – a comparison of concentration- and flux-based exposure indices. *Atmospheric Environment* 38, 2259–2269.

Roper, T.R. & Williams L.E., 1989 Effects of Ambient and Acute Partial Pressures of Ozone on Leaf Net CO₂ Assimilation of Field-Grown *Vitis vinifera* L.. *Plant Physiology* 91, 1501-1506.

Saitanis, C.J., 2003. Background ozone levels monitoring and phytodetection in the greater rural area of Corinth-Greece. *Chemosphere* 51 913-923

Soja, G., Reichenauer, T.G., Eida, M., Soja, A.-M., Schaberb, R., Gangl H. (2004) Long-term ozone exposure and ozone uptake of grapevines in open-top chambers. *Atmospheric Environment* 38, 2313–2321

Valletta, A. Salvatori, E. Santamaria, A.R. Nicoletti, M. Toniolo, C. Caboni, E., Bernardini, A. Pasqua G. & Manes, F. 2017. Ecophysiological and phytochemical response to ozone of wine grape cultivars of *Vitis vinifera* L. *Natural Product Research*, 30 (22), 2514–2522

World Health Organization. (2000) Air quality guidelines for Europe. second edition. WHO regional publications. European Series ; No. 91.