



EVENTOS DE MORTALIDADE PISCÍCOLA EM ALBUFEIRAS PORTUGUESAS. TENDÊNCIAS E IMPLICAÇÕES NA GESTÃO DO RISCO E MINIMIZAÇÃO DOS IMPACTOS

Francisco N. GODINHO¹, Adolfo FRANCO², Pedro SEGURADO³, Paulo PINHEIRO⁴, João PÁDUA⁵, Rui RIVAES² e Paula RAMOS⁶

1. Conselho Nacional da Água. Rua de O Século, 51, 4.º, francisco.godinho@sgambiente.gov.pt

2. Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas, Avenida da República, 16, Lisboa

3. Universidade de Lisboa, Instituto Superior de Agronomia, Centro de Estudos Florestais, Tapada da Ajuda, Lisboa

4. AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Lda., Rua do Mar da China, N.º 1 Escritório 2.4 Parque das Nações, Lisboa

5. EDP Labelec - Estudos, Desenvolvimento e Actividades Laboratoriais, S.A., Rua Cidade de Goa, 4, Sacavém

6. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, IPMA. Rua Alfredo Magalhães Ramalho, 6. Lisboa

RESUMO

Os eventos de morte maciça de peixes são apreendidos pela sociedade civil como uma das principais causas de preocupação relativamente à qualidade da água e saúde dos ecossistemas aquáticos. As investigações realizadas até agora associaram a morte de peixes a vários fatores, mas são poucos os estudos que examinem quantitativamente a probabilidade de mortalidade piscícola em ecossistemas aquáticos. Recentemente foram identificados como principais fatores relacionados com a ocorrência de eventos de mortalidade piscícola em albufeiras portuguesas (0 a 3 eventos de mortalidade por albufeira no período de 1995 a 2017, num universo de 67 albufeiras), a profundidade, a área inundada, e as concentrações médias de oxigénio dissolvido e de clorofila-a, que, em conjunto, explicaram 67,2% da variação total na ocorrência de eventos de mortalidade piscícola (Godinho et al., 2019). Tendo em conta que os eventos de mortalidade serão determinados sobretudo pela ocorrência de condições limite, no presente trabalho a análise realizada foi repetida utilizando, não os valores médios de oxigénio dissolvido e clorofila-a, mas, respetivamente, os valores mínimos e máximos. A utilização das novas variáveis gerou um modelo estatístico capaz de explicar uma maior proporção da variação total (74,8%), uma melhor explicação para a mesma complexidade (AIC menor) e um maior poder de discriminação (AUC superior). Reconhecendo ser a oligotrofização a única estratégia para reduzir consistentemente as mortes de peixes em albufeiras portuguesas, o trabalho apresenta ainda um conjunto de recomendações para que estes eventos possam ser acompanhados e investigados sistematicamente em Portugal, permitindo incrementar o conhecimento técnico-científico e incorporar esta dimensão na gestão destas massas de água.

Palavras-Chave: morte peixes; albufeiras; Portugal; modelação; acompanhamento.

1. INTRODUÇÃO

A mortalidade súbita e inesperada de grandes números de peixes na natureza é um fenómeno que ocorre em rios, lagos, estuários e águas costeiras. Estes eventos têm sido associados a vários fatores, como mudanças rápidas na temperatura da água, blooms fitoplantónicos, toxicidade de várias substâncias, doenças infecciosas, depleção de oxigénio, etc. (Godinho et al., 2019 e referências nele contidas). Embora a morte de peixes possa ocorrer devido a ações humanas diretas, como a descarga de substâncias tóxicas, drenagem ácida de minas e contaminação por herbicidas e pesticidas, os estudos publicados frequentemente identificam vários fatores como causas prováveis da mortalidade de peixes, incluindo a combinação de pressões naturais e induzidas pelo homem (Kangur et al., 2016). Além disso, os mecanismos subjacentes a muitas mortes de peixes permanecem desconhecidos (La e Cooke, 2011).

Como a maioria das mortes de peixes ocorre inesperadamente, é difícil definir e implementar estudos experimentais de uma determinada massa de água antes, durante e depois de um evento desta natureza, pelo que os poucos estudos publicados em revistas científicas apresentam resultados obtidos colateralmente em investigações direcionadas à avaliação da qualidade da água ou ao estudo das comunidades fitoplanctónicas. Além disso, estudos globais que examinam fatores que influenciam a probabilidade de eventos de mortalidade piscícola são escassos (Thronson e Quigg, 2008), embora sejam essenciais para fornecer uma visão geral dos mecanismos que influenciam esses eventos. Esse conhecimento é importante para reconhecer as principais características associadas à morte de peixes, permitindo efetuar análises de risco, definir esquemas de amostragem e implementar ações preventivas (e.g. remoção preventiva da biomassa de peixes em albufeiras).

A partir de uma base de dados organizada pelo ICNF sobre a ocorrência, entre 1995 e 2017, de eventos de mortalidade piscícola em albufeiras portuguesas e dos dados disponíveis no IPMA e no SNIRH com as características associadas a 67 barragens/albufeiras, foi realizada uma análise estatística recorrendo a modelos gerais lineares com o objetivo de identificar os principais fatores relacionados com a ocorrência destes eventos. O melhor modelo linear, selecionado a partir de inferência com base no AIC, explicou 67,2% da variação total na ocorrência de eventos de mortalidade piscícola utilizando as variáveis explicatórias constantes da Tabela 1.

Tabela 1. Valores das variáveis retidas no modelo que relacionou eventos de mortalidade piscícola com várias variáveis explicatórias em albufeiras portuguesas (Godinho et al., 2019). Média \pm EP¹ dos valores médios de cada albufeira, obtida para as três primeiras variáveis, a partir de várias medições mensais disponíveis no SNIRH.

	albufeiras com eventos de mortalidade	albufeiras sem eventos de mortalidade
Concentração média de clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	22.17 \pm 2.18	8.63 \pm 1.79
Oxigénio dissolvido médio (mg/L)	8.22 \pm 0.16	9.25 \pm 0.14
Profundidade (m)	10.50 \pm 1.66	18.87 \pm 1.36
Área inundada (m, no NPA)	17.05 \pm 5.79	5.24 \pm 4.76

Tendo em conta que os eventos de mortalidade serão sobretudo determinados pela ocorrência de condições limite, no presente trabalho a análise realizada foi repetida, mas utilizando, não os valores médios de oxigénio dissolvido e clorofila-a, mas os respetivos valores limite (oxigénio mínimo e clorofila-a máxima). O presente trabalho discute ainda as estratégias disponíveis para reduzir de forma consistente os eventos de mortalidade de peixes em albufeiras portuguesas, apresentando, por fim, um conjunto de recomendações para que estes eventos possam ser acompanhados e investigados sistematicamente em Portugal.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se a mesma abordagem estatística utilizada em Godinho et al. (2019), com recurso ao programa R, versão 3.5.2 (R Core Team, 2017). Para a selecção do modelo final utilizou-se uma abordagem baseada no “Akaike Information Criterion” (AIC) implementada no pacote MuMIN versão 1.43.15 (Bartoń, 2016) do programa R.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A utilização das novas variáveis gerou um modelo capaz de explicar uma maior proporção da variação total (R^2 superior), uma melhor explicação para a mesma complexidade (AIC menor) e um maior poder de discriminação do modelo dos eventos de mortalidade (maior AUC) (Tabela 2). Os valores médios de Clorofila-a máxima e de oxigénio mínimo em albufeiras com e sem eventos de mortalidade constam da Tabela 3.

A análise efetuada no presente estudo com os valores limite do oxigénio e clorofila-a realçou claramente a sua importância na relação com os eventos de mortalidade piscícola. Estes dois fatores, bem como a profundidade e a área da massa de água, foram antes relacionados com a produtividade primária em sistemas lacustres (e.g.

¹ Erro padrão

Jørgensen et al., 2005). Estes altos níveis de produtividade podem influenciar a ocorrência de eventos de mortalidade de várias formas, nomeadamente através da sua influência nos níveis de oxigénio dissolvido e na ocorrência de blooms de algas tóxicas. Por outro lado, a forma das albufeiras mais suscetíveis à ocorrência de eventos de mortalidade (menos profundas e com maiores áreas) transforma-as em sistemas potencialmente muito produtivos, por apresentarem maiores áreas de insolação por unidade de volume. As albufeiras menos profundas são também mais suscetíveis à resuspensão interna dos nutrientes contidos nos sedimentos devido às variações de cota ou à ação alimentar de peixes bentónicos, como as carpas (*Cyprinus carpio*) e os pimpões (*Carassius* sp).

Tabela 2. Descritores dos modelos que relacionaram eventos de mortalidade piscícola com várias variáveis explicatórias.

	Análise inicial (Godinho et al., 2019)	Análise realizada neste estudo
AIC	54.23	46.30
AUC	0.88	0.91
pseudo R ² ajustado	0.67	0.75

Tabela 3. Valores médios dos máximos de clorofila-a e mínimos de oxigénio dissolvido em albufeiras com e sem ocorrência de mortalidade piscícola. Média \pm EP dos valores máximos de clorofila-a e mínimos de O₂ dissolvido, obtidos para cada albufeira com base em várias medições mensais disponíveis no SNIRH.

	albufeira com eventos de mortalidade	albufeiras sem eventos de mortalidade
Clorofila-a ($\mu\text{g/L}$)	395.92 \pm 110.89	63.31 \pm 12.02
Oxigénio dissolvido (mg/L)	2.20 \pm 0.35	5.47 \pm 0.23

Embora ambientes eutróficos e anóxicos possam ter existido em alguns albufeiras portuguesas independentemente das atividades humanas nas respetivas bacias de drenagem, a sua ocorrência está a aumentar, apesar do investimento considerável em estações de tratamento de águas residuais e sistemas industriais de controle e redução de poluição. De acordo com os Planos de Gestão de Região Hidrográfica, apenas subsistem alguns focos de poluição pontual, mas a poluição difusa disseminada da agricultura ainda existe sem controle na maioria das bacias hidrográficas.

Uma vez que o número de eventos de morte de peixes indicia uma tendência de aumento nas albufeiras estudados durante o período 1995-2017 e a projeção feita em Godinho *et al.* (2019) sugere um incremento deste tipo de ocorrências até ao final do século XXI, somente ações que reduzam, de forma consistente, a produção primária, conseguirão reduzir esta tendência no futuro.

Além da remoção preventiva e pontual de peixes, uma medida onerosa, com efeitos potenciais apenas temporários e que pode enfrentar forte oposição pública, os resultados desta investigação sugerem que a redução dos níveis de produção primária (oligotrofização) é provavelmente a única forma de prevenir a morte de peixes em albufeiras portuguesas. Tal objetivo pode ser conseguido diminuindo as cargas de nutrientes, embora as alterações climáticas possam neutralizar parcialmente os resultados desejados. A análise efetuada salientou igualmente a necessidade de serem melhorados os procedimentos e sistemas de deteção, comunicação e atuação em caso de mortalidade piscícola, no sentido de assegurar uma melhor caracterização dos eventos, incluindo a investigação das suas causas, bem como uma melhor atuação ao nível contingencial. Deverá, nomeadamente, existir uma melhor articulação das entidades envolvidas, devendo ainda ser definido um protocolo de intervenção rápida em situações desta natureza, que permita identificar, caso-a-caso, as causas mais prováveis do evento. Neste âmbito, uma vez que a preservação e acondicionamento das amostras de peixe condicionam o diagnóstico laboratorial (Ramos, 2006), o protocolo de colheita e envio de amostras para o Laboratório de Patologia de Animais Aquáticos/IPMA tem sido disponibilizado junto das autoridades a nível local.

Os resultados obtidos permitem melhorar a estimativa do risco de mortalidade em função das características da albufeira, o que aliado aos impactos variáveis desses eventos em função da utilização da água, do valor desportivo e de conservação das comunidades piscícolas, permitirá uma melhor hierarquização da atuação, quer ao nível estratégico quer contingencial.

Ao nível estratégico, a hierarquização das albufeiras tendo em consideração o binómio risco de mortalidade/impactes dessa mortalidade permitirá, em conjunto com a relação custo/benefício das medidas destinadas a evitar a mortalidade ou reduzir os seus impactes, facilitar a definição do tipo de medidas a implementar em cada albufeira.

As medidas a implementar poderão ir de programas holísticos e contínuos de redução do nível trófico, efetuados à escala da bacia hidrográfica, até à simples definição de planos de atuação contingencial em caso de ocorrência de mortalidade piscícola.

Nas albufeiras com pior binómio risco-impacto e com características limnológicas potenciadoras da ressuspensão biológica dos nutrientes, poderá ser implementada experimentalmente a “biomanipulação” das populações piscícolas, focada nomeadamente nas duas espécies acima referidas: carpa e pimpão. Como nota há que referir que uma das principais limitações a este tipo de medidas: a dificuldade em intervir de forma selectiva apenas nas espécies alvo acima referidas (e.g. captura com redes de emalhar), poderá registar desenvolvimentos num futuro próximo no âmbito de projetos em curso.

No extremo oposto do gradiente de risco-impactos será razoável assumir-se que em algumas albufeiras a medida adequada do ponto de vista custo/benefício seja a definição prévia de planos de atuação contingencial em caso de mortalidade piscícola.

Por último, há que referir que do ponto de vista normativo a administrativo se registaram recentemente desenvolvimentos que perspetivam uma melhor capacitação para a atuação nesta área.

Com a alteração do quadro legal relativo à pesca, aquicultura e recursos aquícolas de águas interiores, passaram a ser possíveis, do ponto de vista legal, um conjunto de atos anteriormente impossíveis, destacando-se neste âmbito a possibilidade de proibir em massas de água específicas a devolução à água de certas espécies (e dimensões), bem como a possibilidade de implementar operações de eliminação de populações piscícolas utilizando substâncias de atuação selectiva na ictiofauna (rotenona).

Na componente estrutural orgânica, o desenvolvimento e capacitação da área da protecção civil prospectiva igualmente uma maior capacitação operacional para as várias situações envolvendo riscos naturais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bartoń, K (2016). MuMIn: Multi-Model Inference. R Package Version 1.15.6. <https://cran.rproject.org/web/packages/MuMIn/index.html>, Acedido em 8 de janeiro de 2020.
- Godinho, FN; Segurado, P; Franco, A; Pinheiro, P; Pádua, J; Rivaes, R e Ramos, P (2019). Factors related to fish kill events in Mediterranean reservoirs. *Water Research* 158: 280-290.
- Jørgensen, SE; Löffler, H; Rast, W; Straskraba, M (2005). *Lake and Reservoir Management. Developments in Water Water Sciences*, n. 54. Elsevier.
- Kangur, K; Ginter, K; Kangur, P; Kangur, A; Nõges, P; Laas, A (2016). Changes in water temperature and chemistry preceding a massive kill of bottom-dwelling fish: an analysis of high-frequency buoy data of shallow Lake Võrtsjärv (Estonia). *Inland Waters* 6: 535-542.
- La, VT; Cooke, SJ (2011). Advancing the science and practice of fish kill investigations. *Reviews in Fisheries Science* 19:1, 21-33
- Ramos, P., 2006. Morbilidade/mortalidade de peixe: o que fazer? *Revista Portuguesa de Ciências Veterinárias*. 101(559-560): 299-304.
- R Core Team, 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria URL. <https://www.R-project.org>, Acedido em 8 de janeiro de 2020.
- Thronson, A; Quigg, A (2008). Fifty-five years of fish kills in Coastal Texas. *Estuaries and Coasts* 31:802–813.