

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/335716001>

# Monitorização de cursos de água em cenário de pós-incêndio: Lições do projeto Risk AquaSoil

Article · September 2019

CITATIONS

0

READS

149

2 authors:



Mário D. Sequeira

University of Coimbra

10 PUBLICATIONS 15 CITATIONS

SEE PROFILE



Alexandre Oliveira Tavares

University of Coimbra

113 PUBLICATIONS 779 CITATIONS

SEE PROFILE

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



SCRAM - Crises, risk management and new socio-ecological arrangements for forests - a perspective from science and technology studies [View project](#)



MOLINES - Modelling floods in estuaries. From the hazard to the critical management [View project](#)

## Monitorização de cursos de água em cenário de pós-incêndio: Lições do projeto Risk AquaSoil

**Mário D. Sequeira**,<sup>1</sup> Centro de Estudos Sociais, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra  
mariosequeira@ces.uc.pt

**Alexandre O. Tavares**,<sup>2</sup> Centro de Estudos Sociais, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra  
atavares@ci.uc.pt

**Ana Maria Castilho**,<sup>3</sup> Centro de Geociências, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra  
amcastil@dct.uc.pt

**Pedro A. Dinis**,<sup>4</sup> MARE-Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Departamento de Ciências da Terra, Universidade de Coimbra  
pdinis@dct.uc.pt

**Resumo:** Os incêndios de 2017 que afetaram a Região Centro de Portugal provocaram impactos ambientais, sociais, económicos e institucionais. Um dos impactos reconhecidos no pós-evento foi nas propriedades das águas superficiais. Esta constatação levou a uma campanha de monitorização dos cursos de água para determinar as alterações nas propriedades da água, no âmbito das atividades do projeto INTERREG Risk AquaSoil. Para tal, na bacia do Rio Mondego, foram escolhidos 10 pontos de monitorização, particularmente de 6 cursos de água, com base nas dimensões

<sup>1</sup> Mário David Sequeira é mestre em Geociências, ramo Ambiente e Ordenamento, pelo Departamento de Ciências da Universidade de Coimbra e investigador júnior no Centro de Estudos Sociais (CES) da Universidade de Coimbra no âmbito do projeto Risk AquaSoil. Atualmente é doutorando em Geologia do Departamento de Ciências da Terra da Universidade de Coimbra, trabalhando na temática da geologia ambiental.

<sup>2</sup> Alexandre Oliveira Tavares é doutorado em Engenharia Geológica, ramo Geologia do Ambiente e Ordenamento, com Agregação pela Universidade de Coimbra onde exerce as funções de Professor Associado. Tem trabalhado na temática dos riscos, nomeadamente na representação da suscetibilidade e da vulnerabilidade, assim como no planeamento e gestão do risco. É investigador do Centro de Estudos Sociais, onde integra o Observatório do Risco. Diretor do Departamento de Ciências da Terra da FCTUC. Membro do Painel Científico da Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas ENAAC 2020.

<sup>3</sup> Ana Maria Castilho concluiu o doutoramento em Engenharia Geológica pela Universidade de Coimbra em 2009. É Professora Auxiliar na Universidade de Coimbra. Publicou 8 artigos em revistas especializadas e possui 5 capítulos de livros publicados. Orientou ou coorientou 10 dissertações de mestrado nas áreas de Ciências da Terra e do Ambiente e Outras Engenharias e Tecnologias. Atua nas áreas de Ciências Naturais com ênfase em Ciências da Terra e do Ambiente e na área da Engenharia e Tecnologia.

<sup>4</sup> Pedro Alexandre Henriques Dias Morgado Dinis é Professor Auxiliar na Universidade de Coimbra. Publicou 23 artigos em revistas especializadas e 49 trabalhos em atas de eventos, possui 12 capítulos de livros e 4 livros publicados. Atua na área de Ciências da Terra e do Ambiente.

da bacia de drenagem e percentagem de área ardida. A monitorização mensal contemplou análises *in situ* de parâmetros físico-químicos e determinação de iões maiores e menores, elementos traço, gases dissolvidos e outros compostos. Os resultados mostram um aumento de turbidez das águas, associado à presença de cinzas e sedimentos; a introdução de Al (alumínio), Fe (ferro) e Si (silício), através de processos de erosão; e de As (arsénio) através do transporte pelo escoamento superficial. Todos os cursos de água apresentaram valores de turbidez acima do regulamentado para consumo público e alguns valores de pH abaixo do estabelecido. Relativamente às concentrações de metais, o Rio Mondego e a Ribeira de Cavalos, apresentaram concentrações superiores ao legislado para consumo humano.

**Palavras-chave:** Incêndios Florestais; Erosão; Qualidade de águas superficiais; Monitorização; Parâmetros físico-químicos.

## Introdução

Nas últimas décadas tem-se verificado um aumento dos incêndios na região Mediterrânica, tanto em frequência como em intensidade, como resultado da conjugação do aumento da temperatura do planeta, da diminuição da pluviosidade (Harding *et al.*, 2009) e das alterações do uso do solo (Shakesby, 2011). Em Portugal, os incêndios rurais que afetam a floresta, áreas não cultivadas e agrícolas são uma preocupação nacional (Carvalho e Lopes, 2001), apresentando importantes impactos ambientais, sociais económicos e institucionais. De 1975 a 2014, Portugal foi o país europeu mais afetado por incêndios florestais, em que a área ardida anual chega aos 4.5 milhões de hectares de floresta (Rego *et al.*, 2013). Em 2017, a região centro de Portugal foi afetada por dois eventos (junho e outubro), que contribuíram para a maior área ardida dos últimos 10 anos. Particularmente, o segundo evento, em outubro, foi responsável por 51% da área ardida total de 2017 (DGAPPF, 2017).

Os incêndios florestais conduzem à destruição da cobertura vegetal, especificamente com: a redução da interceção da precipitação; o aumento da energia hidrológica (Loaiciga *et al.*, 2001); a diminuição da capacidade do solo de reter água, ao aumentar a velocidade de escoamento (Shakesby e Doerr, 2006); a possibilidade de formação de compostos hidrofóbicos (Letey, 2001), o que leva a uma menor proteção do solo contra a erosão. Como resultado da erosão dos solos, é esperado um aumento de sedimentos suspensos nos cursos de água, o que conduz ao aumento da turbidez e de contaminantes, dado que os elementos traço e o fósforo tendem a ligar-se às partículas sedimentares finas (Ongley *et al.*, 1992).

A combustão da vegetação e da matéria orgânica leva à produção de cinzas, que são transportadas para os cursos de água, podendo ter na sua constituição nutrientes, elementos traço e outros contaminantes (Smith *et al.*, 2011). Estudos anteriores reportaram a presença de elementos maiores em cinzas, como o carbonato de cálcio (CaCO<sub>3</sub>), a sílica (SiO<sub>2</sub>) (Demeyer *et al.*, 2001), o fósforo (P) (Ferreira *et al.*, 2005) e o nitrogénio (N) (Goforth *et al.*, 2005). Em lixiviados das cinzas verifica-se a presença de cloreto (Cl), nitrato (NO<sub>3</sub>) e sulfato (SO<sub>4</sub>) (Plumlee *et al.*, 2007). Em termos de elementos menores, foram encontradas concentrações de ferro (Fe) (Demeyer *et al.*, 2001; Ferreira *et al.*, 2005), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn) (Ferreira *et al.*,

2005), alumínio (Al), chumbo (Pb), arsênio (As), cádmio (Cd), mercúrio (Hg) (Smith *et al.*, 2011), crômio (Cr) e bário (Ba) (Plumlee *et al.*, 2007).

A combustão de matéria orgânica pode, ainda, levar à produção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), que tendem a serem libertados para a atmosfera ou a ser depositados no solo (Kim *et al.*, 2003). Apesar da fraca solubilidade destes compostos na água, estes tendem a bioacumular (Vila-Escalé *et al.*, 2007) e são particularmente preocupantes devido à sua toxicidade e propriedades carcinogênicas (Smith *et al.*, 2011). O projeto Risk AquaSoil (EAPA\_272/2016) tem como objetivo último o desenvolvimento de um plano abrangente para uma gestão eficiente do solo e das águas, aumentando a resiliência em áreas rurais, a fim de lidar com os efeitos adversos das alterações climáticas. Nesta linha, e considerando os impactos passíveis de serem causados pelos incêndios nas águas superficiais – o que a pode tornar imprópria para o consumo humano ou dificultar o seu processo de tratamento – pretendeu-se, com este estudo específico, determinar o impacto dos incêndios de outubro de 2017 na qualidade das águas superficiais e nas suas características físico-químicas. Para tal, foi iniciado um programa de monitorização em 10 bacias de drenagem, de diferentes dimensões e percentagens de área ardida, correspondentes a 3 rios e 4 ribeiras da bacia hidrográfica do Rio Mondego.

## Área de Estudo

Os cursos de água foram seleccionados dentro da bacia hidrográfica do Rio Mondego (Fig. 1). Consideram-se, para tal, a área da bacia de drenagem, de modo a evidenciar a mobilidade de potenciais contaminantes; e percentagem de área ardida, a fim de verificar o impacto nas águas resultantes da alteração da ocupação do solo (Tabela 1).

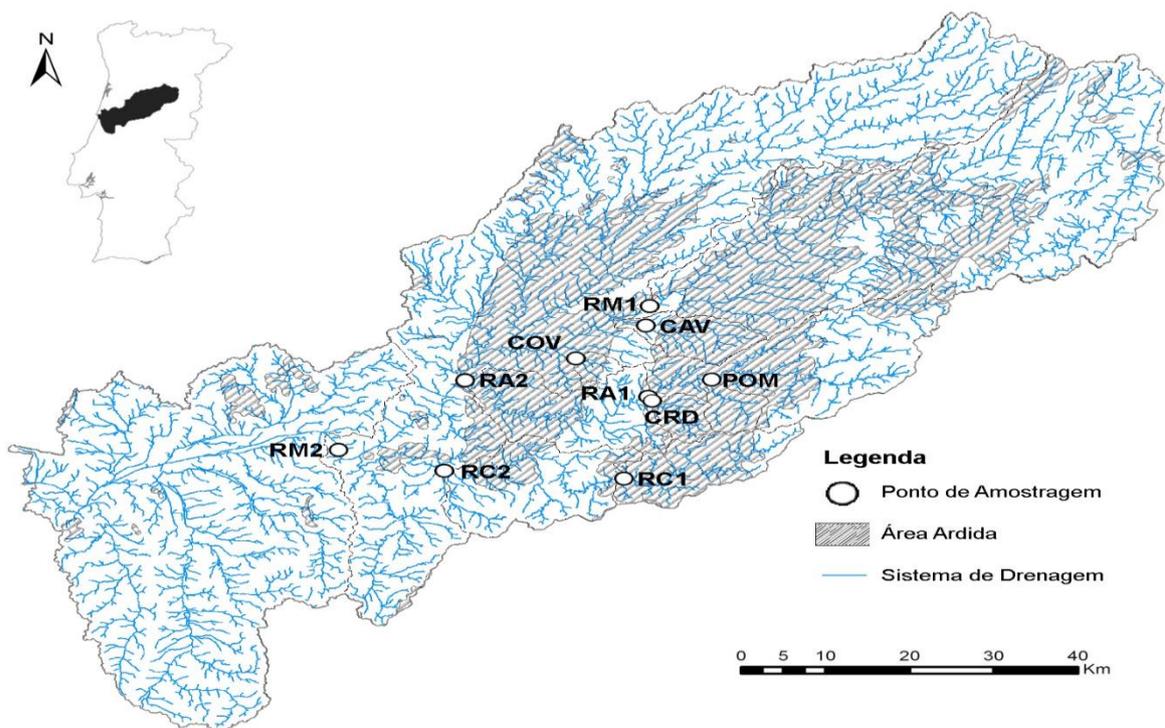


Fig. 1 – Localização da amostragem na Bacia Hidrográfica do Rio Mondego e da área ardida.

**Tabela 1. Cursos de água selecionados, localização dos pontos de amostragem e percentagem de área ardida**

Curso de água	Ref.	Latitude	Longitude	Área (ha)	Área ardida (%)
Rio Mondego	RM1	40.402600°	7.985900°	1422	44
Ribeira Cavalos	CAV	40.374650°	7.993120°	87	84
Ribeira Covelos	COV	40.327840°	8.093580°	21	68
Ribeira Pomares	POM	40.292260°	7.903670°	45	99
Rio Alva	RA1	40.269234°	7.989590°	433	52
Ribeira Cerdeira	CRD	40.266170°	7.987280°	43	99
Rio Alva	RA2	40.295130°	8.245540°	706	50
Rio Ceira	RC1	40.150440°	8.026609°	159	83
Rio Ceira	RC2	40.161910°	8.277800°	413	49
Rio Mondego	RM2	40.200940°	8.427730°	4906	39

A bacia hidrográfica do Rio Mondego localiza-se na região Centro de Portugal, limitada pelos paralelos de latitude N39°46' e N40°48' e pelos meridianos de longitude W7°14' e W8°52'. Tem uma área de 6645 km<sup>2</sup> e comprimento 258 km e uma direção aproximada de Nordeste-Sudoeste. Apesar de o Rio Mondego se encontrar entre a Zona Centro Ibérica (ZCI) e a Bacia Meso-Cenozoica Ocidental, os pontos de amostragem localizam-se apenas na ZCI. A ZCI caracteriza-se por ser uma área muito heterogénea, com uma zona metamórfica, mais ao centro, uma sequência de flysch de xistos e grauvaques, cobertos por quartzitos Ordovícicos. A nordeste, predomina uma zona granítica, maioritariamente biotítica, mas com presença de granitos de duas micas. Uma cobertura sedimentar de idade cretácica a cenozoica está presente em várias bacias

## Metodologia

A fim de responder aos objetivos propostos, foi desenhada uma estratégia de amostragem nas águas superficiais, com um programa de monitorização, que se iniciou em novembro de 2017, imediatamente após os primeiros eventos de precipitação e escoamento. Estas campanhas – 7 no total – tiveram uma periodicidade entre 29 a 44

dias, de modo a ser o mais próximo do mensal. Considerou-se, sempre, a necessidade de precipitação pré-amostragem, a fim de poder contar com escoamento, subsequente erosão dos solos e o arrastamento de substâncias dissolvidas e suspensas. O programa foi suspenso após o mês de junho de 2018, aquando do termo da principal precipitação.

Parâmetros sujeitos a alterações temporais, como a temperatura da água, pH, potencial redutor (ORP), condutividade elétrica (CE), oxigénio dissolvido, alcalinidade, carbono dissolvido (CD) e turbidez, foram medidos *in situ*. A medição da temperatura, pH, ORP, CE, oxigénio dissolvido e turbidez foi realizada com recurso a sondas portáteis. A alcalinidade e o CD foram determinados por titulação.

Nas análises laboratoriais consideraram-se os iões maiores e menores (Ca, Mg, Na, K, Li, NH<sub>4</sub>, Br, Cl, F, NO<sub>3</sub>, PO<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub> e Si), metais e metaloides (Al, As, Ba, Be, Cd, Cr, Cu, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sb, Se, Sn, Sr, Ti, W e Zn), carbono orgânico total (TOC), carbono orgânico dissolvido (DOC) e alguns hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAPs), como o antraceno, benzo(a)pireno, benzo(b)fluoranteno, benzo(g,h,i)perileno, Benzo(k)fluoranteno, Indeno(1,2,3-cd)pireno e naftaleno.

## Resultados e Discussão

Os impactos dos incêndios na qualidade das águas parecem ser dependentes da intensidade do incêndio, da extensão da área ardida, dos processos de erosão e da formação e transporte dos constituintes da água (Mansilha *et al.*, 2017).

Tendencialmente, a condutividade elétrica das águas é mais elevada após os incêndios, durante um curto espaço de tempo, devido a presença de cinzas (Tiedemann *et al.*, 1978). No entanto, apenas se terá verificado um aumento da condutividade elétrica nas bacias da ribeira do Covelo e a jusante dos rios Mondego e Alva (Fig. 2). Na maioria das bacias a CE tendeu a diminuir após o início do período de chuvas e a aumentar mais próximo do período seco. Verificou-se, ainda, na maioria das bacias, a presença de cinzas na água. Parece, no entanto, que a precipitação terá tido um papel mais ativo neste parâmetro do que as cinzas, uma vez que o fator de diluição pela chuva fez baixar a CE.

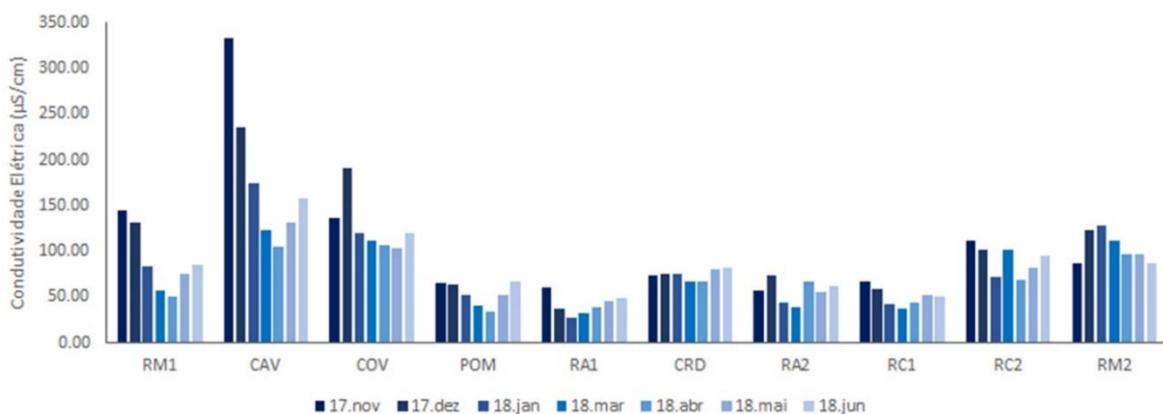


Fig. 2 – Evolução da condutividade elétrica, a 20° C, nas águas superficiais amostradas.

O pH apresentou tendência a diminuir após os períodos das chuvas intensas, o que se verificou, particularmente, no Rio Mondego e no Rio Alva. Já nas bacias de menores

dimensões, o pH apresentou uma menor variação (Fig. 3). A maior variabilidade do pH em bacias de maior dimensão comparativamente às menores pode estar relacionada à erosão dos solos e arrastamento de materiais, especialmente metais. Nos pontos de amostragem RM1, POM, RA1, CRD e RA2, os valores de pH apresentaram, em algumas campanhas, valores abaixo dos paramétricos para a água destinada ao consumo humano, de acordo com o Dec. Lei nº 306/2007 de 27 de agosto.

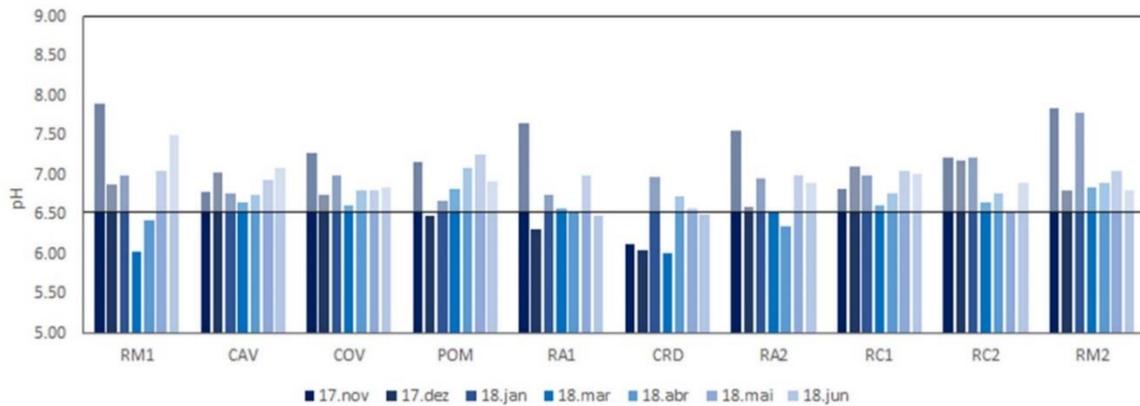


Fig. 3 - Evolução do pH nas águas superficiais amostradas contra os valores aceites para consumo publico ( $\geq 6.5$  a  $\leq 9$ ) segundo o Dec. Lei nº 306/2007 de 27 de agosto.

A grande quantidade de precipitação ocorrida em março e abril de 2018 levou a um aumento significativo de materiais finos para as linhas de água, o que pode relacionar-se com os valores de turbidez verificados (Fig. 4). Estes valores destacam-se particularmente em bacias de menores dimensões, com grande percentagem de área ardida. No caso da turbidez, a maioria dos pontos amostrados apresentaram valores acima dos 4 NTU, o que impede o consumo humano desta água sem tratamento prévio. Por isto, no início de 2018, houve a necessidade de abastecimento por cisterna das populações de Serpins e foi interdito o acesso às praias fluviais do Colmeal, Cabreira, Pego Escuro, Peneda e Canaveias (município de Góis) (Notícias de Coimbra, 2018).

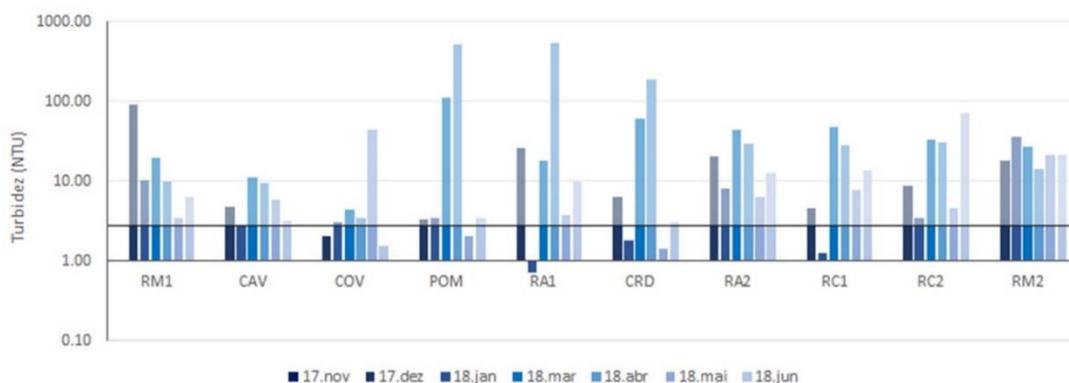


Fig. 4 - Evolução da turbidez nas águas superficiais amostradas contra os valores aceites para consumo publico ( $\geq 4.0$ ) segundo o Dec. Lei nº 306/2007 de 27 de agosto.

Relativamente aos elementos maiores, foi observado uma propensão geral para a diminuição das concentrações em Cl, SO<sub>4</sub>, Ca, Mg, K e Na, até março, nas zonas mais próximas da área ardida. Por outro lado, verificou-se um aumento destes elementos nas zonas mais afastadas da área ardida (Fig. 5). Após março, verifica-se um aumento destes elementos em todas as bacias. O aumento do SO<sub>4</sub> poderá estar ligado à oxidação de enxofre durante o processo de queima de matéria orgânica do solo. Já o aumento de Na e o Cl poderá resultar do lixiviado de depósitos de cinzas ou de restos queimados de plantas (Smith *et al.*, 2001). O NH<sub>4</sub>, o P e o PO<sub>4</sub> raramente apareceram acima dos limites de deteção e de quantificação das técnicas usadas. Na ribeira de Cavalos verificaram-se valores residuais quantificáveis de NH<sub>4</sub>, que podem relacionar-se com a combustão de matéria orgânica. Por outro lado, cabe mencionar que a impossibilidade de quantificar o NH<sub>4</sub> nas restantes bacias poderá estar relacionada com a sua nitrificação, que, por sua vez, leva a um aumento das concentrações de NO<sub>3</sub>. Ao aumento da concentração de NO<sub>3</sub> terá contribuído, também, a queima de material vegetal. Importa sublinhar que nenhum dos elementos maiores terá apresentado concentrações que implicassem consequências do consumo de água.

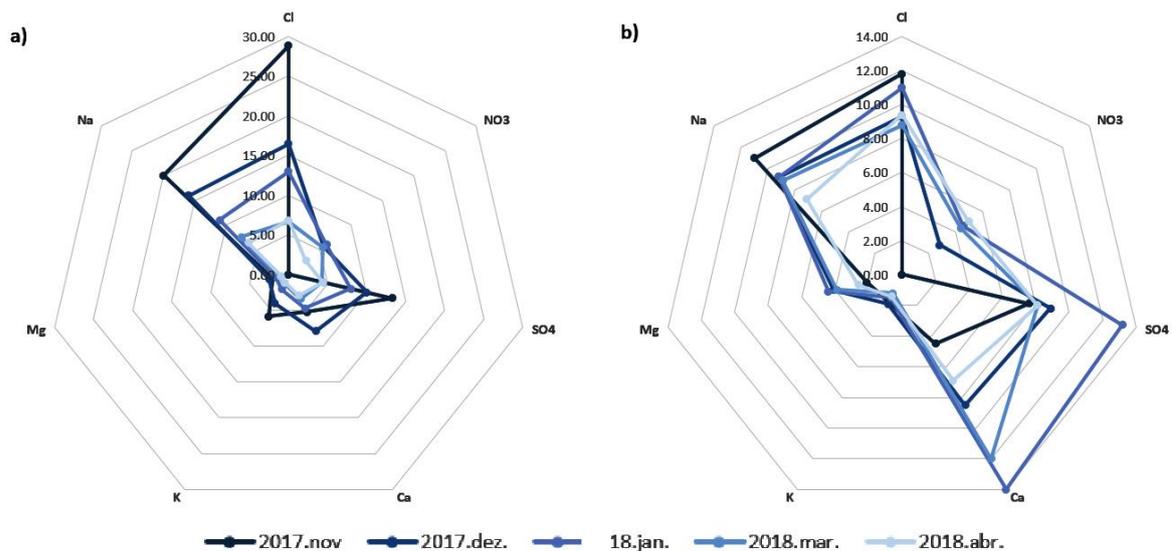


Fig. 5 - Evolução temporal de elementos maiores no Rio Mondego: a) próximo da área ardida (RM1), com diminuição dos elementos maiores; b) e mais afastado da área ardida (RM2), com um aumento dos elementos maiores.

Verificou-se também um aumento do silício nas bacias de maiores dimensões (Fig. 6), que parece relacionar-se com a intensidade da precipitação, que contribui para os processos de erosão do solo e arrasta, naturalmente, Si para as linhas de água. Este comportamento não é observado nas bacias de menores dimensões, onde as concentrações se mantiveram ou decresceram com o aumento da precipitação, pelo efeito de diluição.

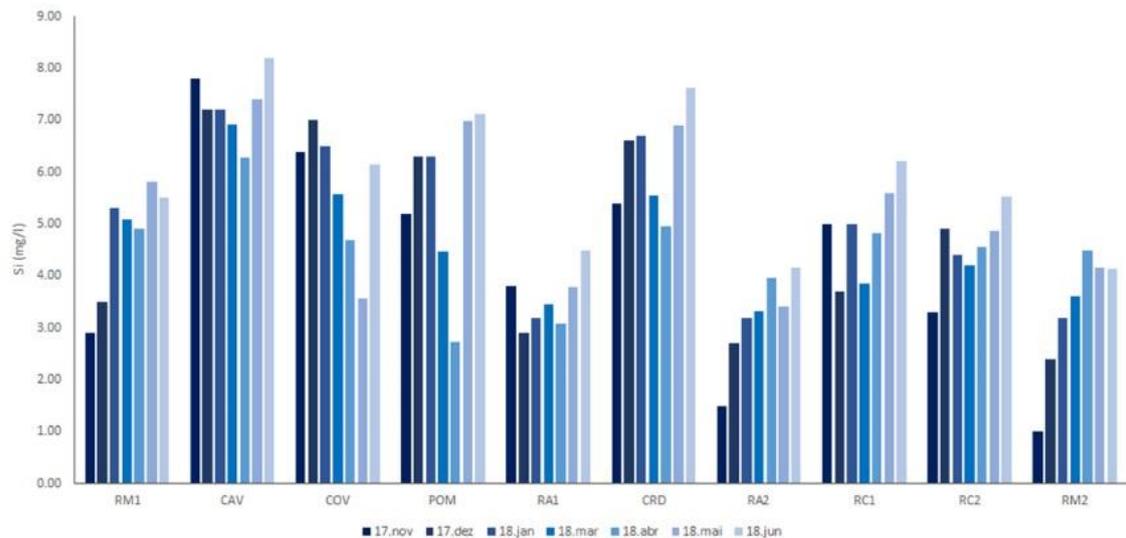
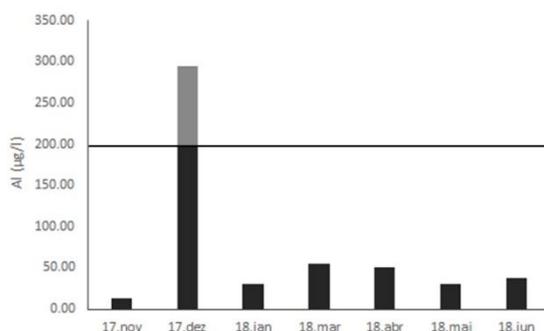


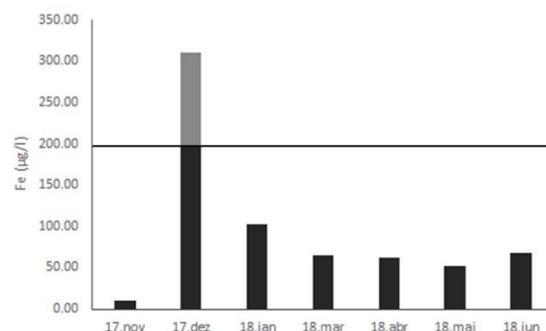
Fig. 6 – Concentrações de Si (mg/l).

A ocorrência de processos de erosão, após a remoção da cobertura vegetal, parece contribuir para o aumento do Al e do Fe após as chuvas. Observou-se, também, um aumento das concentrações de Mn, com provável origem nas cinzas da vegetação e nas alterações físico-químicas do próprio Mn na matéria orgânica que se deposita no solo (Parra *et al.*, 1996) e é arrastado para as linhas de água dada a sua solubilidade.

Alguns dos cursos de água apresentaram valores de Al, Fe ou Mn superiores aos valores permitidos para águas destinadas ao consumo humano. No Rio Mondego, junto a Carregal do Sal (RM1), verificaram-se valores de Al acima de 200 µg/l (dezembro) (Fig. 7a); e junto a Coimbra (RM2), valores de Fe superiores a 200 µg/l (dezembro) (Fig. 7b) e Mn superiores a 50 µg/l (dezembro e janeiro) (Fig. 7c). Na Ribeira de Cavalos (CAV) foram registados valores superiores a 50 µg/l (dezembro e janeiro) (Fig. 7d). Apesar das concentrações elevadas verificadas, estas não constituem um risco para a saúde humana, uma vez que, por um lado, a água é primeiramente tratada para posterior distribuição, e por outro, estes valores são apenas determinados para garantir a não alteração da cor e do sabor da água.



(a)



(b)

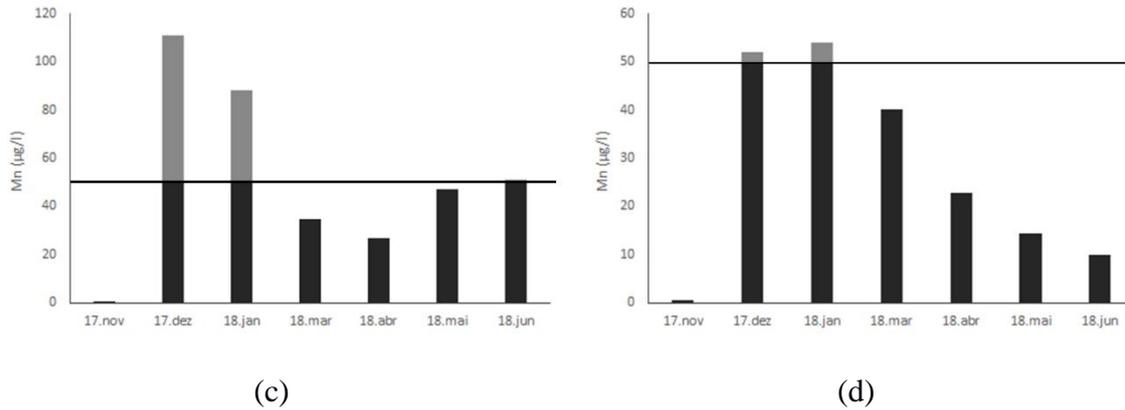


Fig. 7 – Concentrações das amostras contra os limites para águas de consumo humano de: a) Alumínio no Rio Mondego (RM1); b) Fe no Rio Mondego (RM2); c) Mn no Rio Mondego (RM2); d) Mn na Ribeira de Cavalos.

Relativamente ao As, a elevada concentração identificada em dezembro na Ribeira de Cavalos (CAV) é particularmente preocupante, devido à alta toxicidade deste elemento, mesmo em baixas concentrações. Especificamente, verificou-se uma concentração de 16 µg/l (Fig. 8), quando está previsto nas águas para consumo humano uma concentração abaixo de 10 µg/l. No entanto, a concentração de As terá diminuído no mês seguinte para níveis aceitáveis (<10 µg/l). A presença do As poderá relacionar-se com a dissolução de minerais e ter sido libertado através do escoamento superficial. Não se descarta, porém, a hipótese deste elemento estar relacionado com o uso de fertilizantes, devido à maior atividade agrícola nesta bacia.

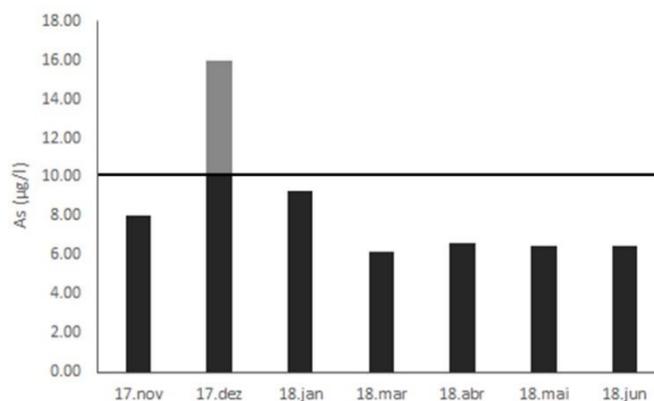


Fig. 8 - Concentração de arsénio nas águas da Ribeira de Cavalos contra os limites para águas de consumo humano.

Quanto aos hidrocarbonetos aromáticos policíclicos, estes ficaram sempre abaixo do limite de quantificação. Numa comparação com a legislação Portuguesa (Dec. Lei nº 306/2007 de 27 de agosto), o Benzo(a)pireno não excedeu nunca os 0.01 µg/l. Quanto à soma dos Benzo(b)fluoranteno, Benzo(k)fluoranteno, Benzo(g,h,i)perileno e Indeno(1,2,3-cd)pireno, esta nunca excedeu os 0.1 µg/l.

## Conclusão

Os incêndios de outubro de 2017 parecem ter impacto nas características físico-químicas e na qualidade das águas superficiais. Foi verificado um aumento da turbidez, como consequência da grande quantidade de cinzas e sedimentos, que se manteve durante a época de precipitação intensa. Os nitratos apresentaram concentrações mais elevadas nas bacias de maiores dimensões, com potencial origem no material vegetal consumido pelos incêndios. A erosão e o transporte por escoamento superficial, como resultado da remoção da cobertura vegetal que protegia o solo, parecem ter um papel central na introdução de Al, Fe e Si nos cursos de água. No caso do arsénio, que foi encontrado em algumas das bacias, parece ter sido mobilizado pelo escoamento. No entanto, relativamente aos HAPs, não foram encontradas concentrações quantificáveis, ou pela sua natureza pouco solúvel, ou pela sua absorção por sedimentos finos.

Relativamente à qualidade das águas, aquando da comparação com a legislação em vigor sobre água para consumo humano, verificaram-se valores de turbidez acima do legalmente permitido em todos os cursos amostrados, e em múltiplas campanhas. Os rios Mondego e Alva e as ribeiras de Pomares e Cerdeira, também apresentaram valores de pH abaixo dos permitidos para consumo público. O Rio Mondego também apresentou valores de Al, Fe e Mn superiores aos permitidos para consumo em algumas campanhas. A Ribeira de Cavalos apresentou valores de arsénio acima dos valores permitidos para consumo.

Considerando os resultados obtidos, destaca-se a importância da monitorização da qualidade das águas em cenário pós-incêndio e, naturalmente, em qualquer outro cenário cujos processos impactem nas águas superficiais (*e.g.*, contextos de atividade agrícola).

## Financiamento

RiskAquaSoil - Plano Atlântico de Gestão de Riscos no Solo e na Água, cofinanciado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER) através Programa de cooperação INTERREG Espaço Atlântico, com a referência EAPA\_272/2016.

## Referências bibliográficas

Carvalho, Josefa Buxo; Lopes, José Pedro (2001), “Classificação de Incêndios Florestais. Manual do Utilizador”, Direcção-Geral das Florestas. Consultado a 12.05.2019, em <http://www2.icnf.pt/portal/florestas/dfci/inc/manuais/classif-incend-flor>

Decreto-Lei nº 306/2007 de 27 de agosto. Diário da República nº 164/2007 – I Série. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Demeyer, Alex; Nkana, Jean Claude Voundi; Verloo, Marc (2001), “Characteristics of wood ash and influence on soil properties and nutrient uptake: An overview”, *Bioresource technology*, 77(3), 287-295. doi:10.1016/S0960-8524(00)00043-2.

DGAPPF (2017), “Relatório provisório de incêndios florestais: 2017 (Relatório nº 10)”, Lisboa, Portugal: ICNF.

Ferreira, António Dinis; Coelho, Celeste; Boulet, Anne-Karine; Lopes, F.P. (2005), “Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal”, *International Journal of Wildland Fire*, 14(4), 401-412. doi:10.1071/WF05043.

Goforth, Brett; Graham, Robert; Hubbert, Kenneth; Zanner, C. William; Minnich, Richard (2005), “Spatial distribution and properties of ash and thermally altered soils after high-severity forest fire, Southern California”, *International Journal of Wildland Fire*, 14(4), 343-354. doi:10.1071/WF05038.

Harding, Andrew; Palutikof, Jean; Holt, Tom (2009), “The climate system”, in Jamie Woodward (Ed.), *The Physical Geography of the Mediterranean*. Oxford: Oxford University Press, 69-88.

Letey, John (2001), “Causes and consequences of fire-induced soil water repellency”, *Hydrological Processes*, 15(15), 2867-2875. doi:10.1002/hyp.378.

Notícias de Coimbra (2018), “Água turva no rio Ceira deve-se ao arrastamento de grande quantidade de materiais sólidos”, *Notícias de Coimbra*, de 20 de julho. Consultado a 17.05.2019, em <https://www.noticiasdecoimbra.pt/agua-turva-no-rio-ceira-deve-se-ao-arrastamento-de-grande-quantidade-de-materiais-solidos/>.

Ongley, Edwin D.; Krishnappan, Bommanna G.; Droppo, Ian G.; Rao, Singiresu S.; Maguire, R.J. (1992), “Cohesive sediment transport: Emerging issues for toxic chemical management”, *Hydrobiologia*, 235(1), 177-187. doi:10.1007/BF00026210.

Parra, Juana Gonzalez; Cala Rivero, Victoria.; Iglesias Lopez, T. (1996), “Forms of Mn in soils affected by a forest fire”, *Science of the Total Environment* 181, 3, 231-236. doi:10.1016/0048-9697(95)05022-1.

Plumlee, Geoffrey S.; Martin, Deborah A.; Hoefen, Todd; Kokaly, Raymond; Hageman, Philip; Eckberg, Alison; Meeker, Gregory P.; Adams, Monique; Anthony, Michael; Lamothe, Paul J. (2007), “Preliminary analytical results for ash and burned soils from the October 2007 southern California wildfires”, *US Geological Survey Open-File Report*, 1407, 13.

Rego, Francisco; Louro, Graça; Constantino, Luís (2013), “The impact of changing wildfire regimes on wood availability from Portuguese forests”, *Forest Policy and Economics*, 29, 56-61. doi:10.1016/j.forpol.2012.11.010.

Shakesby, Richard A. (2011), “Post-wildfire soil erosion in the Mediterranean: Review and future research directions”, *Earth-Science Reviews*, 105(3-4), 71-100. doi:10.1016/j.earscirev.2011.01.001.

Shakesby, Richard A.; Doerr, Stefan H. (2006), “Wildfire as a hydrological and geomorphological agent”, *Earth-Science Reviews*, 74(3-4), 269-307. doi:10.1016/j.earscirev.2005.10.006.

Smith, Hugh G.; Sheridan, Gary; Lane, Patrick; Nyman, Petter; Haydon, Shane. (2011), “Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply”, *Journal of Hydrology*, 396(1-2), 170-192. doi:10.1016/j.jhydrol.2010.10.043.

Tiedemann, Arthur R.; Helvey, J. David; Anderson, Truman D. (1978), “Stream Chemistry and Watershed Nutrient Economy Following Wildfire and Fertilization in Eastern Washington 1”, *Journal of Environmental Quality* 7, 4, 580-588. doi:10.2134/jeq1978.00472425000700040023x.

Vila-Escalé, Mireia; Vegas-Vilarrúbia, Teresa; Prat, Narcis (2007), “Release of polycyclic aromatic compounds into a Mediterranean creek (Catalonia, NE Spain) after a forest fire”, *Water Research*, 41(10), 2171-2179. doi:10.1016/j.watres.2006.07.029.