

— EFEITO DE UM INCÊNDIO FLORESTAL — NAS PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA — ÁGUA DA RIBEIRA DE SÃO DOMINGOS — (REGIÃO OESTE DE PORTUGAL)

— *EFFECT OF A FOREST FIRE ON PHYSICOCHEMICAL — PROPERTIES OF THE WATER OF SÃO DOMINGOS STREAM — (WESTERN REGION OF PORTUGAL)*

Bruno Miguel Meneses

Mestre em Gestão do Território, Geografia Física e Engenharia do Ambiente. Doutorando do IGOT (ULisboa) e Investigador do Centro de Estudos Geográficos (RISKam) /// bmeneses@campus.ul.pt /// Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Nuno Cortez

Professor Auxiliar /// Departamento de Recursos Naturais, Ambiente e Território, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa /// nunocortez@isa.ulisboa.pt /// Associado nº 664

RESUMO: Esta comunicação apresenta a avaliação do efeito de um incêndio florestal nas propriedades físico-químicas da água da Ribeira de São Domingos (Região Oeste de Portugal), resultante do arrastamento de elementos e compostos químicos pela água de escorrência superficial da área ardida. Para esta avaliação selecionaram-se dois locais de amostragem na ribeira (um a montante e outro a jusante da área ardida), onde se fizeram quatro colheitas de água em diferentes momentos, após o incêndio. Nas amostras de água recolhidas foram feitas determinações de pH, da condutividade elétrica e dos teores de N, P, Ca, Mg, K e Na. Os resultados obtidos revelaram ter havido *input* de nutrientes na ribeira, arrastados pela água da precipitação que escoou superficialmente na área ardida. Este arrastamento foi mais elevado na sequência das primeiras chuvadas após o incêndio, reduzindo-se depois ao longo do tempo.

Palavras-chave: propriedades físico-químicas da água, incêndios florestais, escorrência superficial, perda de nutrientes.

ABSTRACT: *This communication presents the assessment of the effect of a forest fire on physicochemical properties of the water of São Domingos Stream (Western Region of Portugal), resulting from nutrient leaching by surface runoff from the burned area. For this evaluation have been selected two sampling locations along this river (one upstream and other downstream of the burned area), where water samples were collected at four different times after the forest fire. Water samples were analyzed for measuring pH, electric conductivity and N, P, Ca, Mg, K and Na concentrations. The measured data confirmed the input of nutrients in the river from burned area through surface runoff. This nutrient leaching reduced over time, resulting from diminished availability of elements in burnt areas.*

Keywords: *physicochemical properties of the water, forest fires, surface runoff, nutrients loss.*

1. INTRODUÇÃO

Os incêndios florestais apresentam, em geral, como consequência, a redução da qualidade da água dos sistemas hídricos localizados a jusante, pela quantidade de poluentes libertada durante a combustão do material florestal e pelo fácil transporte dos mesmos até aos cursos de água pela escorrência superficial (Eriksson *et al.*, 2003; Alexander *et al.*, 2004; Pio *et al.*, 2006; Ferreira *et al.*, 2010a,b; Smith *et al.*, 2011). Em Portugal estes eventos são um dos fenómenos com maior impacte ambiental, sobretudo pela acentuação de processos hidrológicos e erosivos (Shakesby *et al.*, 1996), dos quais resulta também a perda de qualidade da água devido à conetividade entre estes processos que ocorrem nas vertentes ardidas e os cursos de água (Ferreira *et al.*, 2010b).

Estes eventos são responsáveis pela remoção de toda a camada vegetal que protege o solo. Da perda desta proteção, resulta a diminuição da interceção da precipitação, aumentando assim a quantidade de água disponível para o escoamento com o incremento da sua velocidade ao longo das vertentes, decréscimo da evapotranspiração com aumento do fluxo de base, redução da infiltração e aumento da escorrência superficial (Gottfried e Deban, 1990; Moody e Martin, 2001; Shakesby e Doerr, 2006). Após a ocorrência do incêndio florestal, a camada hidrófoba do solo e a camada hidrófila subjacente condicionam os processos hidrológicos e erosivos, havendo uma drástica redução da capacidade de infiltração na primeira camada e o favorecimento da escorrência superficial, proporcionando-se a fácil mobilização da camada de cinzas hidrófilas, originando um aumento da erosão hídrica e o arrastamento de uma importante quantidade de nutrientes (Ferreira *et al.*, 2010b).

Os vários elementos ou compostos resultantes da combustão da vegetação durante o incêndio podem ser transportados por via aérea (em suspensão), posteriormente depositados no solo ou em corpos de água (e.g. rios e lagos, entre outros); ou então transportados pela água do escoamento superficial e subterrâneo (depois de haver infiltração de água que caiu sobre as vertentes). Sob este ponto de vista, os cursos de água superficiais, por receberem maior quantidade de água do escoamento superficial (Ramos, 2005), estão mais vulneráveis à contaminação, sobretudo se receberem águas resultantes de escoamento com elementos ou compostos resultantes dos incêndios florestais (Alexander *et al.*, 2004; Meneses, 2013).

Destaca-se assim a água da escorrência superficial no transporte de sedimentos e de cinzas depositadas na superfície do solo resultantes da combustão da vegetação e matéria orgânica ali presente. Quando a presença de partículas em suspensão na água é muito elevada, tanto em flutuação, como dispersas, reflete-se na turbidez da mesma (Landsburg e Tiedemann, 2000).

Contudo, os efeitos dos incêndios florestais variam consoante as características do incêndio (intensidade, severidade e processos ou tratamentos durante e pós-incêndio) e, também, do ambiente onde este ocorreu (declive das vertentes, coberto do solo, precipitação e temperatura) (Fowler, 2003).

Segundo Landsburg e Tiedemann (2000) os efeitos mais visíveis após a remoção da camada vegetal ou material orgânico pelos incêndios florestais, são a erosão hídrica e ocorrência ou amplificação de cheias, o que causa o transporte em excesso de sedimentos (fonte de poluição difusa) e nutrientes, posteriormente introduzidos nos corpos de água. Estes autores referem que os fatores com maior impacte na redução da qualidade da água para consumo humano são: a turbidez ou turvação, o teor de sedimentos em suspensão na água, o aumento de nutrientes no escoamento e o aumento da temperatura da água. Referem ainda que os constituintes químicos que causam maior preocupação, pela suscetibilidade que existe de estes serem transportados da área queimada até aos cursos de água, são os nitratos e os nitritos. Porém podem ocorrer outras alterações pela modificação de outros parâmetros, como é o caso da variação do pH, concentração de sulfato, cloreto, ferro, total de sólidos dissolvidos, entre outros componentes, com destaque para os fosfatos, visto serem compostos com elevados impactes na qualidade da água, devido à sua capacidade de alteração da cor, odor e sabor (perda da qualidade da água para consumo humano), mas também por originarem outros processos, como é o caso da aceleração da eutrofização da água.

Os incêndios florestais podem ser uma das fontes de contaminação dos cursos de água, devido aos vários elementos resultantes da combustão do material florestal, como é o caso de alguns nutrientes, que são posteriormente arrastados até estes por diversos meios (Meneses, 2013).

No processo de combustão natural da vegetação destaca-se, também, a elevada produção de hidrocarbonetos aromáticos policíclicos (HAP),

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em novembro de 2014, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em janeiro de 2015. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 36, Nº 1, 5-14, maio de 2015.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh36n1-1

compostos causadores de grandes preocupações ambientais por serem mutagénicos, carcinogénicos e teratogénicos (Mumtaz e George, 1995; Olivella *et al.*, 2006; Vila-Escale *et al.*, 2007; IARC, 2010; Laumann *et al.*, 2011; Vergnoux *et al.*, 2011a,b). Segundo Kim *et al.* (2003) os HAP são produzidos pela combustão incompleta da matéria orgânica e emitidos durante a ocorrência dos incêndios florestais, tanto na forma gasosa como particulada. Estes processos variam em função do tipo de incêndio e processo de combustão, admitindo-se a possível maximização da formação dos HAP com temperaturas de combustão entre 500 e 800°C (Pio *et al.*, 2006).

No âmbito deste estudo, porém, centrámos a nossa atenção apenas na variação das concentrações dos principais nutrientes (N, P, K, Ca, Mg), da condutividade elétrica e do pH das águas.

2. METODOLOGIA

2.1. Área de estudo

A área de estudo está inserida na bacia hidrográfica da Ribeira de Cezaredas, localizada no Concelho da Lourinhã (Região Oeste de Portugal Continental), local onde ocorreu um incêndio florestal a 19 de Julho de 2012 (Figura 1). É uma área de origem sedimentar, com presença de conglomerados, arenitos, calcários e margas (Carta Geológica de Portugal, 1962), com

solos litólicos não húmicos e pouco insaturados (Carta dos Solos), onde predominavam grandes manchas de carrasco (*Quercus coccifera*), eucaliptos (*Eucalyptus globulus*) e alguns pinheiros mansos e bravos (*Pinus pinea* e *Pinus pinaster*).

Em função da localização da área ardida, escolheram-se dois locais para a colheita de amostras no curso de água superficial adjacente às vertentes ardidas. O primeiro ponto localiza-se a montante da área ardida (designado por A) e o segundo a jusante desta área (ponto B). Em cada local colheram-se quatro amostras de água em diferentes momentos em função da ocorrência de precipitação; realizando-se a primeira colheita a 27-09-2012, na altura em que ocorreram as primeiras chuvadas com precipitação significativa, e as restantes em 19-10-2012, 01-12-2012 e 16-01-2013. Cada amostra foi codificada com a letra correspondente ao local de colheita e um número em função das datas e ordem de colheita (1, 2, 3 e 4, respetivamente).

Com base na análise química destas amostras de água, avaliaram-se as possíveis alterações da qualidade da água da Ribeira de São Domingo após o incêndio, depois de ocorrer precipitação capaz de gerar escorrência superficial e exportar elementos químicos da área onde ocorreu o incêndio. É de salientar, porém, que só uma parte da área ardida é drenada diretamente para a ribeira entre os locais selecionados para a colheita de amostras, conforme se pode observar na Figura 1.

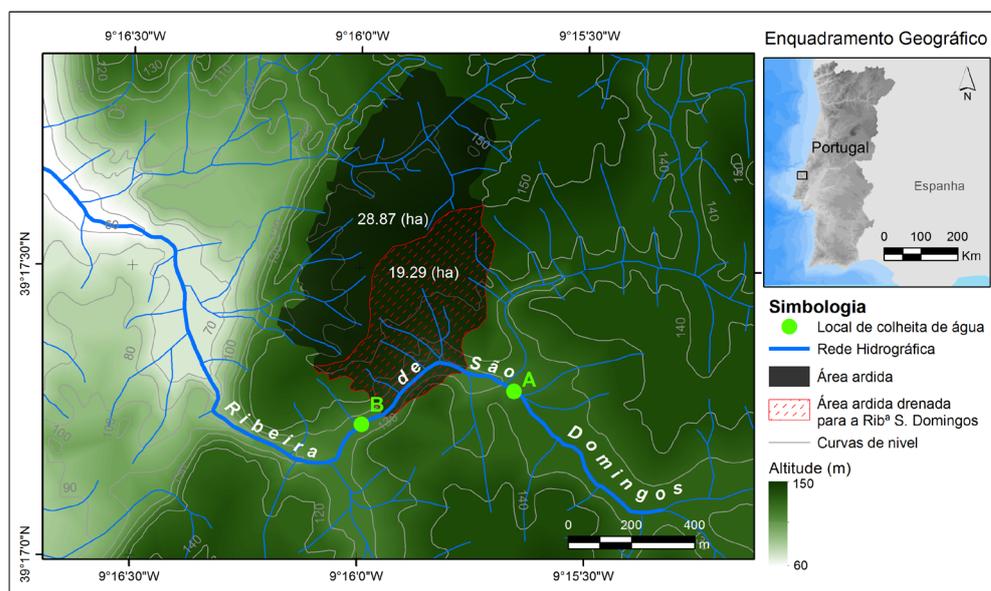


Figura 1 - Enquadramento geográfico da área ardida no Planalto de Cezaredas, com representação dos locais selecionados para a colheita de amostras de água.

2.2. A precipitação

Após a extinção do incêndio florestal monitorizou-se a ocorrência de precipitação através das estações meteorológicas em funcionamento da rede do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (SNIRH) mais próximas à área ardida.

A primeira precipitação capaz de gerar escorrência superficial ocorreu de 23 a 28 de Setembro de 2012, destacando-se este período pluvioso com a precipitação máxima diária no dia de colheita das primeiras amostras (Tabela 1). Dos quatro períodos de precipitação selecionados para a colheita de amostras sobressai o segundo com mais precipitação acumulada, e também com a maior precipitação média diária.

2.3. Metodologia analítica

As amostras de água recolhidas na ribeira foram submetidas a várias análises em laboratório para a determinação do pH, da condutividade elétrica e dos teores de azoto total (N), fósforo (P), cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na).

O pH determinou-se com recurso ao potenciómetro com eléctrodo de vidro combinado. Já o teor de sais solúveis avaliou-se através da condutividade elétrica, utilizando-se neste caso um condutivímetro com compensação automática de temperatura. As concentrações de N total determinaram-se pelo método de Kjeldahl (Bremner e Mulvaney, 1982) recorrendo-se a um sistema de destilação Kjeltec Auto 1030 Analyser. O P assimilável determinou-se pelo método de Egner-Riehm (Póvoas e Barral, 1992) e as bases de troca (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) por espectrofotometria de absorção atómica (Lucas e Sequeira, 1976).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Variação do teor de nutrientes e pH das amostras de água

As bases de troca (Na, K, Mg e Ca) apresentaram na generalidade teores superiores no local B, comparativamente ao observado no local A (Figura 2). Destas sobressai o Ca com as concentrações mais elevadas (maior disponibilidade natural na área de estudo), nutriente que se diferencia dos restantes também por apresentar teores inferiores nas águas da primeira colheita no local B, face ao local A. O K é o nutriente com menor concentração entre as bases de troca, mas apresenta elevada variação entre os dois locais de amostragem nas águas da primeira colheita, com valores cerca de três vezes superiores no local B, comparativamente ao observado no local A. Em todos os nutrientes observou-se a consecutiva redução do teor ao longo do tempo.

Considerando a concentração média das bases de troca das quatro amostras colhidas por cada local de amostragem, o Ca apresenta-se com a maior concentração no ponto B, havendo uma diferença de 6.18 mg l^{-1} relativamente ao ponto A. Os restantes nutrientes, Mg, Na e K, embora com teores mais reduzidos face ao Ca, também apresentam concentrações mais elevadas no local B, sobressaindo os dois últimos com as variações mais elevadas entre os dois locais de amostragem (6.46 e 7.49 mg l^{-1} , respetivamente). O Mg é o elemento que apresentou menor variação média entre A e B (5.1 mg l^{-1}). Estes resultados refletem a influência das águas que escoaram da área queimada (arrastamento de nutrientes) no aumento das concentrações destes elementos químicos na água que circulou pela Ribeira de São Domingos durante o período de monitorização.

Tabela 1 - Características médias da precipitação (P) ocorrida nas estações meteorológicas* em funcionamento mais próximas à área ardida, durante os quatro eventos pluviométricos para os quais se realizaram amostragens de água na ribeira – P acumulada total (mm), P acumulada nas 48 h antecedentes à amostragem (mm), P máxima diária (mm), total de dias de P e números de dias com P superior a 10 mm.

Colheita de amostras de água	Data de colheita	Σ P de cada episódio pluvioso (mm)	Σ P nas 48h antecedentes (mm)	P Máx. diária (mm)	Total de dias de P	Dias com P >10 mm
1ª Colheita	27-09-2012	26.27	13.85	12.23	5	1
2ª Colheita	19-10-2012	35.80	23.53	18.93	7	1
3ª Colheita	01-12-2012	19.99	15.20	11.25	6	1
4ª Colheita	16-01-2013	11.34	6.79	6.41	6	0

*Areia Branca, Baleal, Barragem de Magos, Rego da Murta, Sobral da Abelheira e São Julião do Tojal.

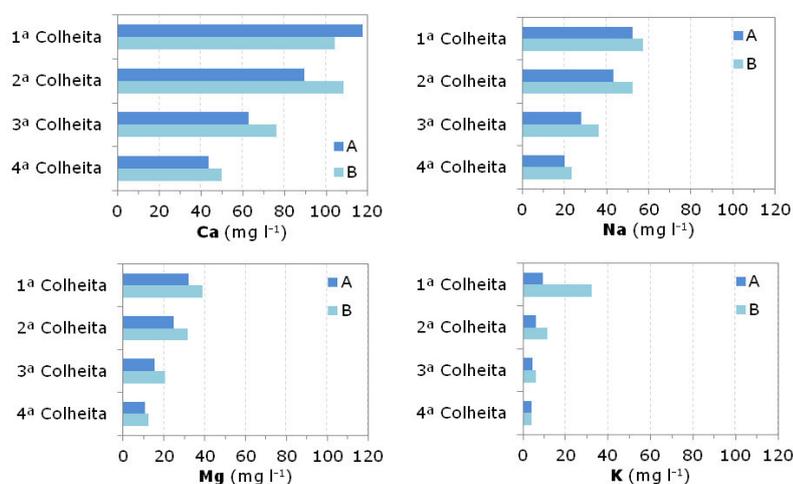


Figura 2 - Variação do teor das bases de troca catiónica nas águas colhidas a montante (A) e jusante (B) da área ardida.

Nestes resultados, os padrões obtidos estão de acordo com o que era expectável, contudo as diferenças poderão não ser estatisticamente significativas, devido ao efeito de diluição. Salienta-se aqui também o padrão, lógico, de variação ao longo do tempo.

As águas colhidas no local B apresentaram teores de N inferiores ao verificado a montante da área ardida (Figura 3). De destacar a maior concentração deste nutriente nas águas da primeira colheita, com redução nas águas das colheitas seguintes, à exceção das águas da última colheita, onde se verificou teores semelhantes ao verificado nas águas da segunda colheita. Nas águas da última colheita no local B não se verificou a presença de N. No geral, verificaram-se teores muito reduzidos em todas as águas, com uma variação irregular nos quatro momentos de colheita entre montante e jusante da área ardida, não se conseguindo aferir através destes o *input* de N na água da ribeira. A redução consecutiva de N na água colhida imediatamente a jusante da área ardida, ao longo de todo o período, é coerente com o aumento progressivo de pH observado neste mesmo local, fator que pode explicar a conseqüente redução de N ao longo do tempo, por se proporcionar a sua volatilização com o aumento do pH.

Os teores de P nas águas analisadas variaram consoante o local e momento de colheita, i.e., nas águas das duas primeiras colheitas registaram-se no local B teores inferiores aos do local A, mas nas águas das duas últimas colheitas destaca-se o local

B com os teores mais elevados (Figura 3). Os teores obtidos deste nutriente nas águas colhidas são muito reduzidos. Contudo, ainda assim, demonstram o aumento do teor no ponto B, em conseqüência do *input* deste nutriente nas águas da ribeira após a passagem pela área queimada e de ter recebido água que escorreu da mesma. Nesta abordagem tem de se considerar a hipótese de haver variação do caudal da ribeira, influenciando assim os resultados obtidos, sobretudo por se proporcionar o aumento do efeito de diluição quando o caudal é maior. De salientar nos resultados obtidos que as variações encontradas do pH, do N e ainda do P, são as que se distanciam mais do padrão expectável.

Analisando as variações absolutas do teor de todos os nutrientes, sobressai a elevada redução do teor de Ca entre montante e jusante da área ardida na primeira colheita, mas nas águas das colheitas seguintes verificou-se sempre aumento no Local B (gráfico da esquerda da Figura 4). Os nutrientes Mg, K e Na também aumentaram de teor nas águas colhidas entre os locais de amostragem A e B, com destaque para K com aumento superior a 200% na água da primeira amostragem (gráfico da direita da Figura 4). Já o teor de P, nas duas primeiras amostragens houve redução, mas nas duas últimas houve aumento, sendo este o nutriente com a maior variação absoluta entre os dois pontos de amostragem. O teor de N reduziu sempre, com a maior diferença nas águas da última amostragem.

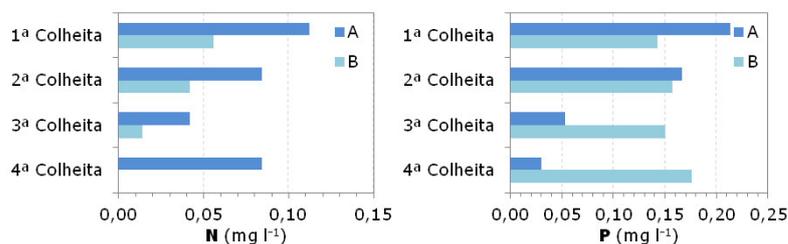


Figura 3 - Variação do teor de N e P nas águas colhidas a montante (A) e jusante (B) da área ardida.

O pH das amostras variou entre pouco alcalino a alcalino. O pH mais elevado verificou-se nas águas da quarta colheita a montante da área ardida (local A) e o mais reduzido nas águas da primeira colheita neste mesmo local. Destacam-se as águas da primeira e terceira colheitas com valores de pH superiores no ponto B (jusante da área ardida), face ao verificado no local A (Figura 5). Estes resultados ao diferenciarem-se entre montante e jusante da área ardida, com variações irregulares ao longo do tempo (por vezes mais elevado a montante e vice-versa), podem refletir a variação da temperatura da água ao longo do troço da ribeira, onde certamente ocorreram trocas gasosas com a atmosfera provocando alterações do pH. Quanto aos sais solúveis, avaliados através da condutividade elétrica, verificou-se maior concentração nas águas da primeira colheita a jusante

da área ardida. Contudo, o teor de sais das várias águas analisadas é reduzido, mas nos resultados obtidos evidencia-se a constante redução ao longo do tempo (Figura 5). As amostras do local B destacaram-se sempre com as concentrações mais elevadas de sais. Estes resultados revelam a presença de maior concentração de sais na água deste ponto, face à água colhida a montante, demonstrando a influência da escorrência superficial, proveniente da área ardida, no arrastamento de sais e consecutiva alteração da composição química da água da ribeira em avaliação. Por outro lado também indicam a redução consecutiva de sais transportados até à ribeira (no troço analisado) durante o período de monitorização, refletindo a menor disponibilidade dos mesmos na área queimada ao longo dos vários momentos de colheita de água, devido às perdas que ocorreram entretanto.

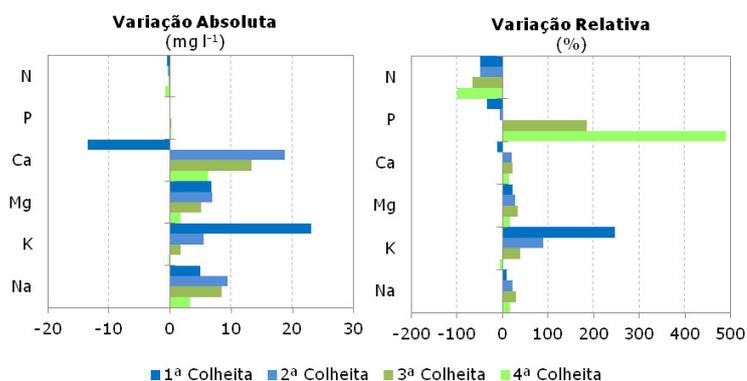


Figura 4 - Variação absoluta e relativa do teor de nutrientes nas águas colhidas entre montante (A) e jusante (B) da área ardida.

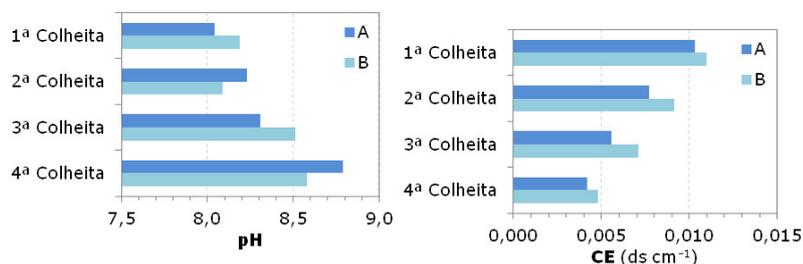


Figura 5 - Variação do pH e condutividade elétrica (CE) nas águas colhidas a montante (A) e jusante (B) da área ardida.

3.2. Análises estatísticas e razões entre nutrientes

Na análise da precipitação ocorrida nas 48h antecedentes a cada colheita, com o teor médio dos nutrientes das amostras, verificou-se alguma relação entre o Na, Mg, Ca e P (Tabela 2). Estes resultados vêm demonstrar a importância da quantidade de precipitação que cai sobre as áreas ardidas na geração de escorrência superficial e respetivo arrastamento dos elementos químicos para jusante, neste caso com *input* nas águas da Ribeira de São Domingos. Porém refere-se que o conjunto dos valores que integraram esta avaliação é relativamente pequeno (não são significativos), o que requer alguma prudência na interpretação dos resultados obtidos.

Com os valores padronizados das bases de troca, P, N e pH determinados nas águas procedeu-se à

análise de componentes principais, destacando-se nos resultados obtidos a clara distinção entre as águas colhidas a montante e jusante da área ardida, mas também a redução de teores entre a primeira e última colheita (Figura 6). As águas das duas primeiras colheitas no local B apresentaram variações muito semelhantes dos teores dos vários elementos, evidenciando o maior arrastamento destes nas primeiras precipitações capazes de gerar escorrência superficial, daí a proximidade de B1 e B2 no gráfico da direita da Figura 6. Porém, quando se considera apenas as bases de troca, os resultados obtidos na água da primeira colheita a jusante da área ardida (B1) são claramente distintos de todos os restantes pontos de amostragem (gráfico da esquerda da Figura 6), demonstrando claramente a importância das primeiras chuvas, facto já referido anteriormente.

Tabela 2 - Relação ente o somatório da precipitação média diária das 48h antecedentes a cada colheita, com o teor médio dos nutrientes das águas colhidas nos dois pontos de amostragem dos quatro momentos em avaliação.

	Σ da Prec. média diária das 48h antecedentes (ml)	Teor médio dos nutrientes nos pontos A e B					
		Na	K	Mg	Ca	P	N
		-----mg l ⁻¹ -----					
1ª Colheita	13.85	54.90	20.95	35.42	110.95	0.18	0.84
2ª Colheita	23.53	47.79	8.78	28.34	99.05	0.16	0.63
3ª Colheita	15.20	32.08	5.22	18.04	69.40	0.10	0.28
4ª Colheita	6.79	21.57	4.06	11.73	46.61	0.10	0.42
R ² (Σ precip./méd. nutr.)		0.41	0.02	0.32	0.45	0.29	0.07
Correlação (Σ precip./méd. nutr.)		0.64	0.15	0.57	0.67	0.54	0.27

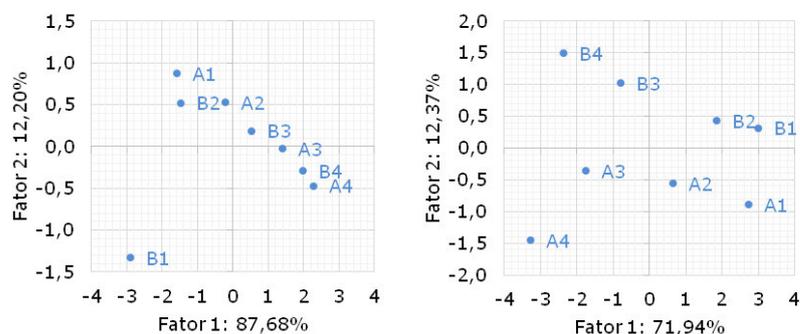


Figura 6 - O gráfico da esquerda representa a relação entre o fator 1 e 2 obtidos a partir das bases de troca das águas colhidas nos diferentes pontos de amostragem. O gráfico da direita representa a mesma relação entre fatores, mas integra as bases de troca, P, N e pH.

Os valores de razão Ca/K são os mais elevados das seis combinações apresentadas na Figura 7, sobressaindo o local A com os valores mais elevados, com exceção das águas da última colheita, em que esta razão foi superior no local B. Os valores desta razão, variando entre cerca de 10 e 15, estão próximos dos que se encontram naturalmente ao nível de certos solos, embora neste caso, em que os mesmos são derivados de materiais calcários, fosse expectável encontrar razões Ca/K mais elevadas. Este facto vem corroborar a noção de que o fogo florestal terá vindo acentuar a perda dos restantes catiões (Mg, K e Na), mais do que de cálcio. Destaque para a colheita B1 com reduzidos valores de razão Ca/K, comparativamente aos resultados obtidos nas águas do local A (montante da

área ardida). Este caso deve-se a uma ligeira redução do teor de Ca na água aqui colhida no primeiro momento (menos 13.5 mg l⁻¹) e um aumento de 23.1 mg l⁻¹ de K, face à concentração obtida na água a montante da área ardida. A partir da segunda colheita os valores de razão Ca/K aumentaram sempre ao longo do tempo no local B, devendo-se à redução mais acentuada da concentração de K nas águas aqui colhidas, relativamente ao Ca (Figura 4). Das restantes razões entre nutrientes calculadas (Figura 7), sobressai ainda Mg/K pelo aumento nas águas das últimas colheitas a jusante da área ardida. Neste caso a diferença entre A1/B1 e A2/B2 reduziu, devendo-se ao maior aumento em B2 comparativamente a B1.

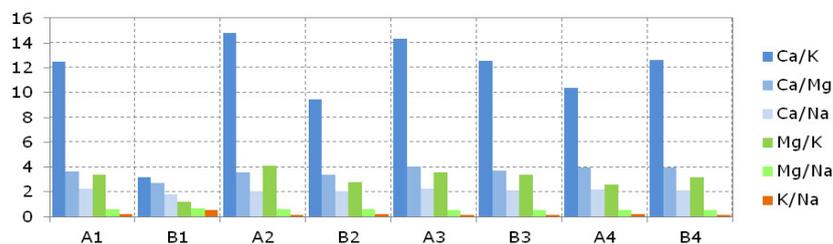


Figura 7 - Razão entre os teores dos nutrientes das diversas águas analisadas nos quatro momentos considerados (A e B correspondem aos locais de colheita de amostras de água a montante e jusante da área ardida, respetivamente).

Estes resultados evidenciam um certo equilíbrio na disponibilidade dos nutrientes nas áreas ardidas e a importância das primeiras escorrências superficiais no arrastamento dos nutrientes para os cursos de água. Contudo, na área de estudo podem ocorrer outros processos que influenciam o arrastamento de nutrientes até aos cursos de água, daí haver irregularidades no teor de nutrientes das águas analisadas.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os incêndios florestais têm efeitos nas propriedades físico-químicas da água, nomeadamente quando há arrastamento de elementos químicos resultantes da queima do material florestal das áreas ardidas até aos cursos de água. Este facto comprovou-se nesta investigação ao verificar-se o aumento do teor de nutrientes nas águas da Ribeira de São Domingos após ter passado pela área ardida do Planalto de Cezaredas, onde a escorrência superficial teve um papel fundamental no arrastamento dos elementos químicos desta área até ao curso de água em avaliação. Destaque para as primeiras chuvas capazes de gerar escorrência superficial no arrastamento de maiores quantidades dos elementos disponíveis na superfície dos solos ardidos e consequente *input* nos cursos de água, processo que vai diminuindo com o passar do tempo devido à menor disponibilidade dos mesmos pela constante "lavagem" das vertentes afetadas pelo incêndio.

Dos elementos analisados verificou-se no geral aumento do teor a jusante da área ardida. Destes sobressai o Ca com as maiores concentrações, facto explicado pela maior disponibilidade natural deste elemento na área de estudo. Contudo, os teores observados são reduzidos, explicando-se este facto pela reduzida área ardida no setor da bacia de drenagem avaliada. Os teores observados nas águas não constituem perigo para o ser humano caso estas sejam consumidas.

BIBLIOGRAFIA

Alexander, S.J., Grace, M. & Mckelvie, I. (2004) - *Effect of bushfires on receiving waters, eastern Victoria*. First Interim Report to the Department of Sustainability and Environment (May 2004), Water Studies Centre, School of Chemistry, Monash University, Australia. (disponível em <http://zip.net/bjhps5>).

Bremner, J.M. & Mulvaney, C.S. (1982) - Nitrogen - total. In PAGE, A.L.; Miller, R.H. & Keeney, D.R. (Eds.) *Methods of Soil Analysis*. Part 2. Chemical and

Microbiological Properties, *Agronomy Monograph n.º 9 (2nd. Edition)*. American Society of Agronomy, Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, 595-624.

Carta dos Solos. Escala 1:1.000.000. Atlas do ambiente (reprodução da Carta dos Solos apresentada à FAO. SROA - 1971). Agência Portuguesa do Ambiente. (disponível em <http://sniamb.apambiente.pt/webatlas/>).

Carta Geológica de Portugal (1962). Escala de 1:50.000. Folhas 26-C (Peniche) e 26-D (Caldas da Rainha). Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Eriksson, H., Edberg, F. & Borg, H. (2003) - Effects of forest fire and fire-fighting operations on water chemistry in Tyresta National Park, Stockholm, Sweden. *Journal de Physique Iv*, 107, 427-430.

Ferreira, A.D., Alegre, A.P., Carvalho, T., Silva, J.S., Pinheiro, A.Q. & Coelho, C. (2010a) - Estratégias e técnicas de conservação do solo e da água após os incêndios. In: Moreira, F.; Catry, F.X.; Silva, J.S. & Rego, F., *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*, 229-252, Lisboa.

Ferreira, A.D., Coelho, C., Silva, J.S. & Esteves, T. (2010b) - Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. In: Moreira, F.; Catry, F.X.; Silva, J.S. & Rego, F., *Ecologia do fogo e gestão de áreas ardidas*, 21-48, Lisboa.

Fowler, C.T. (2003) - Human Health Impacts of Forest Fires in the Southern United States: A Literature Review. *Journal of Ecological Anthropology*, 7, 39-63.

Gottfried, G.J. & DeBano, L.F. (1990) - Streamflow and water quality responses to preharvest prescribed burning in an undisturbed ponderosa pine watershed. In KRAMMES, J.S., tech. coord. *Effects of fire management of southwestern natural resources*; 1988; Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Forest and Range Experiment Station, 222-228. (disponível em http://www.fs.fed.us/rm/pubs_rm/rm_gtr191/rm_gtr191_222_228.pdf).

IARC (2010) - IARC Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Some Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Some Related Exposures. International Agency for Research on Cancer, World Health Organization, Vol. 92. (disponível em <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol92/mono92.pdf>).

Kim, E.J., Oh, J.E. & Chang, Y.S. (2003) - Effects of forest fire on the level and distribution of PCDD/Fs and PAHs in soil. *Science of the Total Environment*, 311 (1-3), 177-189.

- Landsburg, J.D. & Tiedemann, A.R. [2000] - Fire management. In *Drinking water from forests and grasslands: A synthesis of the scientific literature*. 124-138, General Technical Report SRS-39. Asheville. NC: USDA Forest Service, Southern Research Station. Edited by Dissmeyer, G.E.
- Laumann, S., Micić, V., Krüge, M.A., Achten, C., Sachsenhofer, R.F., Schwarzbauer, J. & Hofmann T. [2011] - Variations in concentrations and compositions of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coals related to the coal rank and origin. *Environmental Pollution*, 159 (10), 2690-2697.
- Lucas, M.D. & Sequeira, E.M. [1976] - Determinação do Cu, Mn, Fe, Ca, Mg, K e Na por espectrofotometria de absorção atômica e fotometria de chama. *Pedologia*, 11, 163-169.
- Meneses, B.M [2013] - *Influência de um fogo florestal na qualidade da água da Ribeira de São Domingos localizada na Região Oeste de Portugal*. 103p., Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa (ISA), Lisboa, Portugal.
- Moody, J.A. & Martin, D.A. [2001] - Post-fire, rainfall intensity-peak discharge relations for three mountainous watersheds in the western USA. *Hydrological Processes*, 15, 2981-2993.
- Mumtaz, M. & George, J. [1995] - Toxicological Profile for Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Department of Health and Human Services, Atlanta, Georgia. [disponível em <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp69.pdf>].
- Olivella, M.A., Ribalta, T.G., Febrer, A.R., Mollet, J.M. & Heras, F.X. [2006] - Distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in riverine waters after Mediterranean forest fires. *Science of the Total Environment*, 355, 156-166.
- Pio, C.A., Silva, T.P. & Pereira, J.M. [2006] - Emissões e impactes na atmosfera. In: Pereira, J.S.; Pereira, J.M.; Rego, F.C.; Silva, J.M. & Silva T.P., *Incêndios Florestais em Portugal*, 165-198, Lisboa.
- Póvoas, I. & Barral, M.F. [1992] - *Métodos de análise de solos*. Série de ciências agrárias, Instituto de Investigação Científica Tropical, MPAT, Lisboa.
- Ramos, C. [2005] - *Programa de Hidrogeografia*. Linha de Investigação em Dinâmica Litoral e Fluvial. DILIF - 3. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa. Lisboa.
- Shakesby, R.A. & Doerr, S.H. [2006] - Wildfire as a hydrological and geomorphological agent. *Earth-Science Reviews*, 74 (3-4), 269-307.
- Shakesby, R.A., Boakes, D.J., Coelho, C.O., Gonçalves, A.J. & Walsh, R.P. [1996] - Limiting the soil degradational impacts of wildfire in pine and eucalyptus forests in Portugal: A comparison of alternative post-fire management practices. *Applied Geography*, 16 (4), 337-355.
- Smith, H.G., Sheridan, G.J., Lane, P.N., Nyman, P. & Haydon, S. [2011] - Wildfire effects on water quality in forest catchments: A review with implications for water supply. *Journal of Hydrology*, 396, 170-192.
- Vergnoux, A., Di Rocco, R., Domeizel, M., Guiliano, M., Doumenq, P. & Théraulaz, F. [2011a] - Effects of forest fires on water extractable organic matter and humic substances from Mediterranean soils: UV-vis and fluorescence spectroscopy approaches. *Geoderma*, 160, 434-443.
- Vergnoux, A., Malleret, L., Asia, L., Doumenq, P. & Théraulaz, F. [2011] - Impact of forest fires on PAH level and distribution in soils. *Environmental Research*, 111 (2), 193-198.
- Vila-Escale, M., Vegas-Vilarrubia, T. & Prat, N. [2007] - Release of polycyclic aromatic compounds into a Mediterranean creek (Catalonia, NE Spain) after a forest fire. *Water Resources*, 41, 2171-2179.