

EFEITOS DE FOGOS REPETIDOS NA CONCENTRAÇÃO E NA MOBILIZAÇÃO DOS NUTRIENTES DO SOLO

EFFECTS OF REPEATED FIRES ON SOIL NUTRIENTS CONCENTRATION AND ON ITS MOBILIZATION

Liliana Santos

MSc; Bolseira de Investigação do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Ana Machado

MSc; Bolseira de Investigação do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Mohammadreza Hosseini

MSc; Bolseiro de Doutoramento da Universidade de Wageningen e do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Oscar González-Pelayo

PhD; Bolseiro de Pós Doutoramento do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Celeste Coelho

PhD; Professora Catedrática Jubilada do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

Jan Jacob Keizer

PhD; Bolseiro de Gestão de Ciência e Tecnologia do Centro de Estudos do Ambiente e do Mar (CESAM) e Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro

RESUMO: Numa localidade do concelho de Viseu, foram estudadas três zonas de pinhal com diferente histórico de incêndio, designadas como zona "Multifogos" (4 incêndios), zona "Unifogo" (1 incêndio) e zona "Controlo" (0 incêndios), no período de 1975-2012. Nestas zonas, estudaram-se as concentrações de azoto e de fósforo no solo mineral, um ano após incêndio, e a exportação de azoto total e de fósforo total por escorrência, à escala de microparcela, durante o segundo ano após incêndio.

Um ano após incêndio, não se observou uma influência negativa da frequência de incêndios nas concentrações de nutrientes no solo mineral nas zonas ardidas. Na zona "Multifogos", as perdas de nutrientes por escorrência foram uma ordem de grandeza superiores às da zona "Unifogo" e duas ordens de grandeza superiores às da zona "Controlo", no segundo ano após incêndio. O aumento da percentagem de coberto nas microparcelas teve maior impacto na redução de escorrência e de perda de nutrientes na zona "Multifogos".

Palavras-chave: Histórico de incêndio; Escorrência; Azoto; Fósforo; Microparcelas

ABSTRACT: In the municipality of Viseu, north-central Portugal, three pine sites with different fire history were studied, called "Multifogos" (4 fires), "Unifogo" (1 fire) and "Controlo" (0 fires), regarding the period between 1975 and 2012. At these sites, nitrogen and phosphorus concentrations in mineral soil were studied, one year after fire, as well as the total nitrogen and total phosphorus export by runoff, at micro-plot scale, during the second year after fire.

One year after fire, a negative influence due to fire frequency on nutrient concentrations in mineral soil wasn't observed, at the burnt sites. At "Multifogos" site, nutrient losses by runoff were one and two orders of magnitude higher than losses at "Unifogo" site and "Controlo" site, respectively, during the second year after fire. The increase of the cover on micro-plots had higher impact on the reduction of runoff and nutrient losses at "Multifogos" site.

Keywords: Fire history; Runoff; Nitrogen; Phosphorus; Micro-plots

1. INTRODUÇÃO

Em Portugal, o número de incêndios aumentou dramaticamente desde a década de 80 (Comissão Europeia, 2014). Uma das consequências deste aumento é a amplificação do risco de repetição de incêndios numa determinada área (Malkinson *et al.*, 2011) num curto período de tempo.

Estudos apontam para a perda cumulativa de nutrientes, em particular de azoto e de fósforo, com o aumento da frequência de incêndios, resultando num défice de nutrientes do solo (Gosalbo, 2006). A título de exemplo, Carreira *et al.* (1994) observaram que o aumento da frequência de incêndios conduzia à diminuição de azoto na camada do solo mineral (0 - 5 cm), em zona de mato, e Ferran *et al.* (2005) reportaram uma diminuição de fósforo no solo mineral (0 - 2.5 cm) a par do aumento da recorrência de incêndios.

Mais ainda, outros estudos demonstraram que após incêndio, ocorrem substanciais perdas de nutrientes que se encontram na camada superficial de cinzas devido à escorrência e erosão (Knoepp *et al.*, 2005). A maior exportação de nutrientes na forma solúvel ocorre nos primeiros 4 meses após incêndio (Ferreira *et al.*, 2005). Passado este período, os picos de mobilização e exportação de nutrientes ocorrem em sequência de eventos de precipitação fortes (Ferreira *et al.*, 2005). Em zonas de pinhal, as perdas de nutrientes podem persistir por 2 anos, pelo menos (Thomas *et al.*, 2000). O efeito dos fogos repetidos ainda não é suficientemente conhecido (Malkinson *et al.*, 2011). Em Portugal, apenas os trabalhos de Thomas *et al.* (2000) e Ferreira *et al.* (2005) referem as perdas de nutrientes, nas formas dissolvida e permutável, por escorrência após um incêndio.

No sentido de colmatar esta lacuna de conhecimento, o presente trabalho tem como objetivos estudar os efeitos da repetição de incêndios nas concentrações de azoto e de fósforo no solo mineral, e na mobilização de azoto total e de fósforo total por escorrência, à escala de microparcela. As concentrações de azoto e de fósforo no solo mineral foram analisadas um ano após incêndio e as perdas por escorrência durante o segundo ano, em três zonas de pinhal com diferente histórico de incêndio.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo situa-se na localidade de Várzea, concelho de Viseu, tendo sido selecionada devido à

ocorrência de um incêndio no início de Setembro de 2012, que consumiu cerca de 3000 ha (ICNF, 2012). A área pertence à bacia hidrográfica do rio Vouga. O clima é do tipo Csb, que corresponde a "clima temperado com Verão quente e suave", de acordo com a classificação climática de Köppen (IPMA, s.d). A temperatura média anual correspondente ao período 1981-2010 (dados provisórios) é de 14.0 °C, variando as médias mensais entre 7.1 °C (Janeiro) e 21.7 °C (Julho), medidas na estação sinóptica de Viseu (40° 40' N, 7° 54' O; a 443 m de altitude) (IPMA, s.d). A precipitação média anual (1980-2005) é de 1022 mm, com variação entre 523 mm e 1542 mm (estação udométrica de Calde, 40° 46' N, 7° 54' O; a 505 m de altitude) (SNIRH, s.d).

Na área de estudo, foram selecionadas três zonas com diferente histórico de incêndio no período de 1975-2012. Uma das zonas ardeu quatro vezes (1978, 1985, 2005 e 2012), sendo-lhe atribuída a designação de zona "Multifogos"; outra ardeu uma vez (2012) e designa-se por zona "Unifogo"; e, por último, a zona que não foi afetada por nenhum incêndio no período considerado é denominada de zona "Controlo".

Em cada zona foram selecionadas três encostas, que apresentam características semelhantes em termos de substrato rochoso, declive, uso do solo, tipo de vegetação e de solo, e orientação. As características de cada zona são apresentadas na Tabela 1.

Os solos são, predominantemente, cambisol húmico e umbrisol epilético, e, em menor extensão, leptosol úmbrico, dependendo da profundidade.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Desenho experimental e recolha de amostras

A amostragem de solo foi realizada um ano após a ocorrência do incêndio (setembro de 2013). Em cada uma das 9 encostas selecionadas, recolheram-se 6 amostras de solo: 2 amostras na base, a meio e no topo da encosta a distâncias aproximadamente constantes. As amostras correspondem à profundidade 0-5 cm do horizonte A. Após a recolha, as amostras foram imediatamente secas ao ar e peneiradas (<2 mm).

O estudo da exportação de nutrientes por escorrência foi realizado no segundo ano após incêndio (outubro de 2013 a setembro de 2014). Em cada encosta das zonas afetadas por incêndio ("Multifogos" e "Unifogo"), 3 pares de microparcelas de aproximadamente 0.25 m²,

O texto deste artigo foi submetido para revisão e possível publicação em fevereiro de 2015, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em maio de 2015. Este artigo é parte integrante da *Revista Recursos Hídricos*, Vol. 36, Nº 2, 7-16, novembro de 2015.
© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh36n2-1

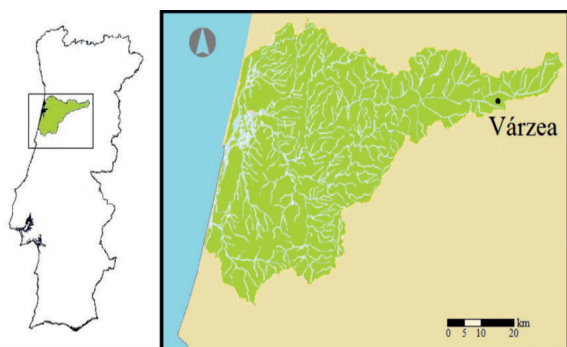


Figura 1 – Área de estudo com indicação da bacia hidrográfica do rio Vouga.

Tabela 1 – Características das zonas de estudo.

	Multifogos	Unifogo	Controlo
Altitude (m)	520 – 550	460 – 475	454 – 462
Coordenadas geográficas	40° 46' N; 7° 51' O	40° 45' N; 7° 51' O	40° 45' N; 7° 52' O
Declive (°)	12 – 17	9 – 12	12 – 15
Orientação (°)	180 – 190	190 – 200	190 – 240
Área (m ²)	3000 – 4800	1200 – 2000	91 – 400
Profundidade do solo (cm)	10 – 40	30 – 40	50
Textura [0-5] cm	Franco	Franco	Franco-arenoso
Densidade aparente (g/cm ³)	0.99 ± 0.16	0.90 ± 0.17	0.96 ± 0.14
pH	4.74 ± 0.03	4.68 ± 0.10	5.02 ± 0.10
Substrato rochoso	Xisto	Xisto	Xisto
Vegetação florestal predominante	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus pinaster</i>	<i>Pinus pinaster</i>

que foram instaladas um mês após incêndio (outubro de 2012), estão dispostas desde a base até ao topo da encosta a distâncias aproximadamente constantes e com declives semelhantes entre si (Figura 2).



Figura 2 – Microparcela conectada a tanque de armazenamento (zona "Unifogo").

Na zona "Controlo", em cada encosta foram colocados 2 pares de microparcelsas respeitando as mesmas condições. As microparcelsas encontram-se ligadas a tanques de armazenamento, cuja capacidade varia entre 30 l e 60 l. As amostras foram recolhidas quando se tinha um volume de água igual ou superior a 0.2 l nos tanques e em intervalos de 1 ou 2 semanas, dependendo da ocorrência de precipitação. Foram utilizadas garrafas de 0.5 l de polietileno, previamente lavadas com ácido clorídrico (pH<2) e água bidestilada, para a recolha das amostras. As amostras foram colocadas em arcas térmicas e encaminhadas para laboratório, ficando armazenadas a 4 °C num frigorífico por um período não superior a 48 h até a respetiva análise ser levada a cabo. A precipitação total foi monitorizada através de pluviómetros, tendo-se 7 pluviómetros totalizadores e 5 automáticos, dispostos nas zonas de estudo.

Foi ainda analisada a evolução de coberto de 3 microparcelsas em cada encosta (topo, meio e base) das zonas afetadas por incêndio e 2 microparcelsas em cada encosta (topo e base) da zona "Controlo". Esta análise foi levada a cabo em quatro datas do segundo ano após incêndio: 6 de novembro (2013), 22 de janeiro, 3 de abril e 25 de junho (2014). Foram considerados três componentes como parte do coberto: pedras, detritos e vegetação; tendo-se calculado a percentagem de cada componente presente com base em fotografias de cada parcela.

3.2. Análise de amostras de solo

Foram analisadas 54 amostras de solo. Os parâmetros analisados em laboratório foram o fósforo (na forma de ortofosfato) e o azoto de Kjeldahl (nas formas de azoto orgânico e amoniacal). O fósforo foi analisado com base no método de Bray e Kurtz (1945) e o azoto segundo o método de Kjeldahl (Tecator, 1987).

Para a caracterização das encostas em termos de textura e de densidade aparente do solo, foram recolhidas 3 amostras do horizonte A (0-5 cm) por encosta. A textura foi analisada com base no método internacional de análise mecânica e avaliada segundo os critérios da "United States Department of Agriculture" (USDA) e a densidade aparente do solo foi determinada recorrendo à utilização de anéis de densidade, com um volume de 250 cm³. Para a determinação do pH do solo, foram recolhidas 3 amostras em cada zona de estudo relativas ao horizonte A e analisadas de acordo com o método adaptado de Ross (1995).

3.3. Análise de amostras de escurência

Foram recolhidas e analisadas 715 amostras de escurência relativas às três zonas de estudo. As amostras foram analisadas em termos de azoto total e fósforo total. O azoto total (gama de deteção: 0.1 - 5 mg/l N; comprimento de onda: 540 nm) e o fósforo total (gama de deteção: 0.01 - 1 mg/l PO₄-P e 0.5 - 5 mg/l PO₄-P; comprimento de onda: 720 nm) foram determinados seguindo os métodos mais recentes aprovados pela ISO (ISO 11905 e 13395; ISO 15681-1) e com recurso a um sistema de análise por injeção em fluxo da FOSS (FIAstar 5000 Analyser).

3.4. Análise estatística

O teste Kruskal-Wallis ($\alpha < 0.05$) foi aplicado na comparação de três grupos de dados. Quando se obtiveram diferenças significativas entre grupos, aplicaram-se os métodos de Tukey e de Dunn para

comparação dos grupos em pares. O método de Tukey aplicou-se quando os grupos apresentavam iguais dimensões e o método de Dunn aplicou-se quando esta condição não se verificava. Para conhecer a correlação entre duas variáveis, recorreu-se à Correlação de Spearman, r_s , ($\alpha < 0.05$).

4. RESULTADOS

4.1. Nutrientes no solo

As concentrações de azoto (nas formas orgânica e amoniacal) e de fósforo (na forma de ortofosfato) um ano após incêndio apresentam-se na figura 3.

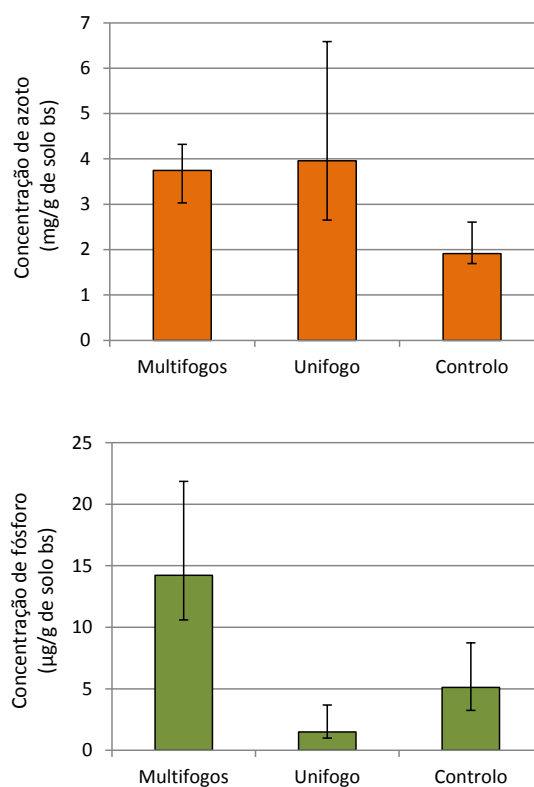


Figura 3 – Concentração de azoto (0-5 cm: mg/g de solo bs) [em cima] e de fósforo (0-5 cm: µg/mg de solo bs) [em baixo] no solo. Os resultados apresentam-se em mediana e percentis 75 e 25.

Nas três zonas de estudo, a concentração de azoto é superior em duas ordens de grandeza à concentração de fósforo.

Em termos de azoto, as zonas ardidas não diferem significativamente entre si (teste Tukey: $p > 0.05$), sendo a mediana da concentração obtida na zona "Multifogos" de 3.74 mg/g solo bs e a da zona "Unifogos" de 3.96 mg/g solo bs. A zona "Controlo" apresenta uma mediana de concentração de azoto cerca de 2 vezes menor que as restantes duas áreas (1.91 mg/g solo bs).

A concentração de fósforo na zona "Multifogos" (mediana: 14.22 $\mu\text{g/g}$ solo bs) é significativamente superior às das zonas "Unifogo" (mediana: 1.50 $\mu\text{g/g}$ solo bs) e "Controlo" (mediana: 5.11 $\mu\text{g/g}$ solo bs), sendo que estas últimas não diferem significativamente entre si (teste Tukey: $p > 0.05$).

4.2. Valores globais de escorrência e de exportação de nutrientes

Na figura 4 apresentam-se os valores globais de escorrência, de coeficiente de escorrência e de exportação de nutrientes.

Existem diferenças significativas entre as três zonas de estudo relativamente aos parâmetros mencionados (Teste de Kruskal-Wallis: $p < 0.001$). A zona "Multifogos" apresenta maior formação de escorrência, maior coeficiente de escorrência e maior exportação de azoto total e de fósforo total; seguida da zona "Unifogo", e, por último, da zona "Controlo".

A formação de escorrência na zona "Multifogos" é cerca de 694 mm, sendo 5 vezes superior à zona "Unifogo", cujo valor obtido é de aproximadamente 138 mm. Na zona "Controlo", a escorrência formada é

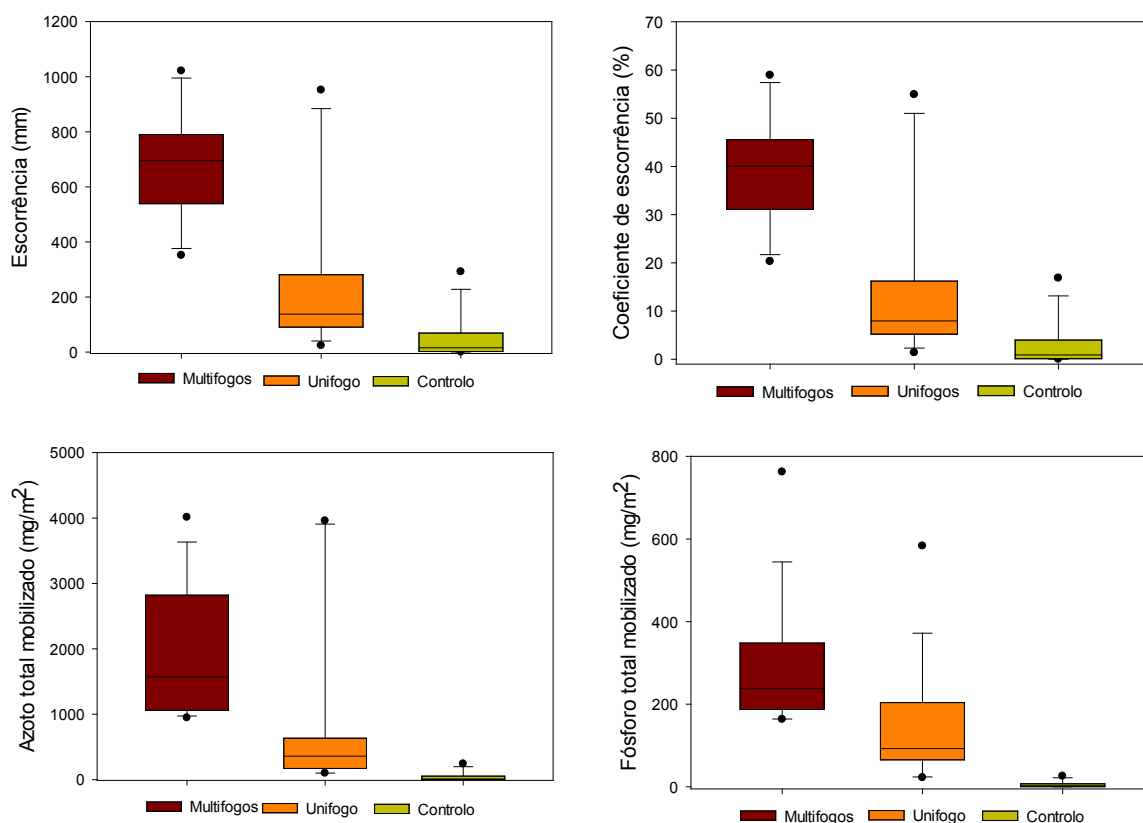


Figura 4 – Diagramas de caixa com a mediana dos valores globais de: escorrência (a), coeficiente de escorrência (b), azoto total mobilizado (c) e fósforo total mobilizado (d).

muito menor do que nas restantes zonas, com cerca de 15.5 mm.

O coeficiente de escorrência global na zona "Multifogos" (mediana: 40.1 %) é uma ordem de grandeza superior ao da zona "Unifogo" (mediana: 8.0 %) e duas ordens de grandeza superior ao da zona "Controlo" (mediana: 0.9 %).

Quanto aos nutrientes, verifica-se que houve muito maior exportação de azoto total do que de fósforo total em todas as zonas de estudo. A exportação de azoto total nas zonas "Unifogo" e "Controlo" representa cerca de 23 % e 0.7 %, respetivamente, da exportação ocorrida na zona "Multifogos". A exportação de azoto total e de fósforo total na zona "Unifogo" representa 23 % e 39 %, respetivamente, da exportação registada dos nutrientes na zona "Multifogos". Considerando ainda esta última zona, a exportação de azoto total e de fósforo total na zona "Controlo" representa 0.7 % e 1.1 %, respetivamente.

4.3. Variação temporal de escorrência e de exportação de nutrientes

A precipitação total registada durante o período de monitorização (Outubro de 2013 a Setembro de 2014) foi de 1734 mm, sendo superior à média anual relativa à estação udométrica mais próxima em cerca de 70% [Calde; SNIRH, 2014]. Registou-se maior precipitação (cerca de 43%) no segundo trimestre e menor precipitação no período compreendido entre julho e setembro de 2014.

No entanto, foi no primeiro trimestre que se obteve maior escorrência e exportação de nutrientes nas zonas ardidas. Nestas mesmas zonas, a escorrência apresentou uma correlação muito forte com a precipitação (Spearman: $0.838 < r_s < 0.896$, $p < 0.05$), apresentando uma diminuição mais acentuada na zona "Multifogos" (Figura 5). Considerando os nutrientes (Figuras 6 e 7), nas zonas ardidas existe uma boa correlação entre a perda de nutrientes e a precipitação (Spearman: $0.477 < r_s < 0.724$, $p < 0.05$) e a escorrência (Spearman: $0.670 < r_s < 0.814$, $p < 0.05$). Na zona "Multifogos", entre o primeiro e o segundo trimestre, regista-se uma grande redução da exportação de nutrientes, sendo esta redução de 62% no caso do azoto total e de 69% relativamente ao fósforo total. No período restante, a tendência decrescente de exportação de nutrientes é menos acentuada em ambas as zonas ardidas. A mobilização dos dois nutrientes apresenta um comportamento muito similar nas três zonas de estudo. A zona "Controlo" apresenta uma tendência relativamente estável em termos de escorrência e de exportação de nutrientes ao longo do período de monitorização.

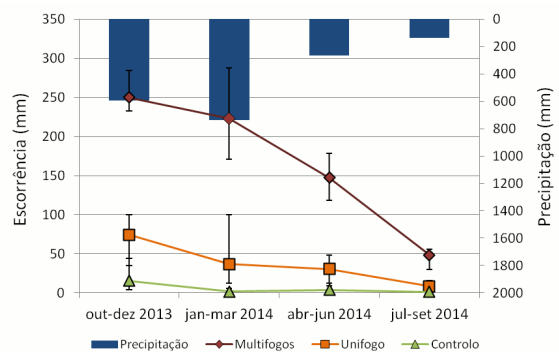


Figura 5 - Evolução trimestral da precipitação e da escorrência nas zonas de estudo. Valores apresentados em mediana e percentis 75 e 25.

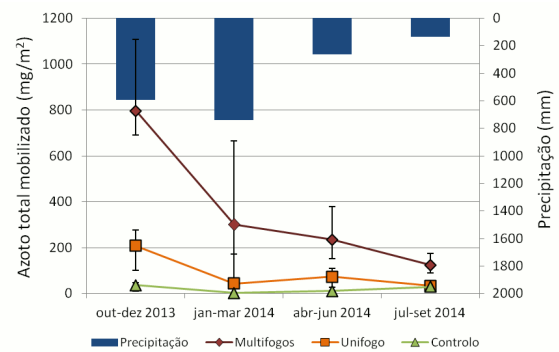


Figura 6 - Evolução trimestral da precipitação e da mobilização de azoto total nas zonas de estudo. Valores apresentados em mediana e percentis 75 e 25.

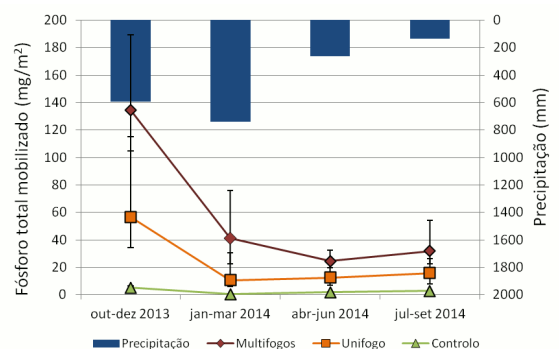


Figura 7 - Evolução trimestral da precipitação e da mobilização de fósforo total nas zonas de estudo. Valores apresentados em mediana e percentis 75 e 25.

4.4. Influência do coberto na escorrência e na exportação de nutrientes

A evolução da percentagem de coberto, que inclui as componentes pedras, detritos e vegetação, nas três zonas de estudo, é apresentada na figura 8.

Na zona "Controlo", a percentagem de coberto manteve-se estável no período considerado, sendo por esta razão que se focará o estudo da influência de coberto nas duas zonas aridas.

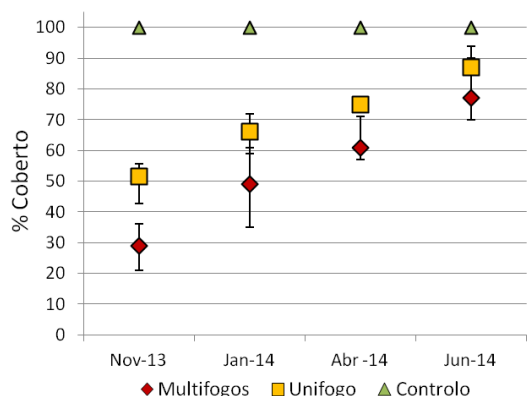


Figura 8 – Evolução da percentagem de coberto nas microparcelas nas zonas de estudo. Os resultados são apresentados em mediana e percentis 25 e 75.

Em ambas as zonas aridas, a percentagem de coberto aumenta, sendo superior na zona "Unifogo" em todo o período considerado. O aumento de coberto deveu-se principalmente à recuperação de vegetação, constituída essencialmente por *Pterospartum tridentatum*, *Calluna vulgaris* e *Erica umbellata*. No segundo ano após incêndio, havia uma considerável percentagem de detritos (maioritariamente na forma de caruma) na zona "Unifogo", que representava, em média, 30-40 % da área das microparcelas, enquanto na zona "Multifogos" essa componente era praticamente inexistente.

Para análise da influência do coberto na exportação de nutrientes e na escorrência, considerou-se o período compreendido entre outubro de 2013 e agosto de 2014 (figura 9).

Os resultados obtidos mostram que o aumento de coberto tem impacto na exportação de fósforo total considerando a precipitação na zona "Multifogos", sendo a correlação encontrada negativa e significativa (Spearman: $r_s = -0.543$, $p < 0.05$). O mesmo não

se verificou no caso do azoto total (Spearman: $r_s = -0.249$, $p > 0.05$) e de escorrência (Spearman: $r_s = -0.149$, $p > 0.05$), cujas correlações não são significativas.

Na zona "Unifogo", também não se encontra uma relação entre os parâmetros em análise e a evolução da percentagem de coberto (Spearman: $-0.083 < r_s < 0.139$, $p > 0.05$).

5. DISCUSSÃO

Conhecer a concentração e a distribuição espacial dos nutrientes no solo é importante na medida em que estes poderão constituir um fator limitante na recuperação do coberto vegetal original em zonas afetadas por incêndios (Caon, 2014), sendo o azoto e o fósforo nutrientes essenciais, cuja concentração e mobilização é afetada pelos incêndios (Ferran *et al.*, 2005).

Um ano após incêndio, a concentração de azoto no solo mineral nas zonas aridas é cerca de 2 vezes mais elevada do que a da zona "Controlo". Os resultados obtidos sugerem que, a curto prazo, a repetição de incêndios não influencia negativamente a concentração de azoto no solo. Também Iglesias (2010) obteve concentrações de azoto total superiores em zonas de pinhal aridas uma e duas vezes, cerca de 9 meses após o incêndio mais recente, para a profundidade 0-5 cm do horizonte A, apresentando a zona de um só incêndio uma concentração ligeiramente superior. Carreira *et al.* (1994) verificaram que o aumento da frequência de incêndios estava relacionado com menores concentrações de azoto total na profundidade 0-5 cm, numa zona semi-árida de mato, embora a zona afetada por um só incêndio tenha apresentado uma concentração de azoto ligeiramente superior à da zona de controlo. As zonas deste último estudo apresentavam um histórico de incêndio de 1, 2 e 3 ocorrências num período de 30 anos, tendo o estudo sido levado a cabo 13, 7 e 2 anos após as ocorrências de incêndio em cada zona, respetivamente. As diferenças encontradas entre os estudos poderão dever-se ao facto dos efeitos da frequência de incêndios poderem ter maior expressão apenas a médio e longo prazo.

Quanto ao fósforo, obteve-se maior concentração deste elemento na zona de fogos repetidos em comparação com as zonas de um só incêndio e controlo. Iglesias (2010) observou que as zonas de pinhal aridas uma e duas vezes apresentavam maior concentração de fósforo (na forma disponível) relativamente à zona controlo, na profundidade 0-5 cm do horizonte A. Por outro lado, Ferran *et al.* (2005) verificaram que concentração de fósforo (na forma disponível) na profundidade 0-2.5 cm tendia a diminuir com o aumento da frequência de incêndios.

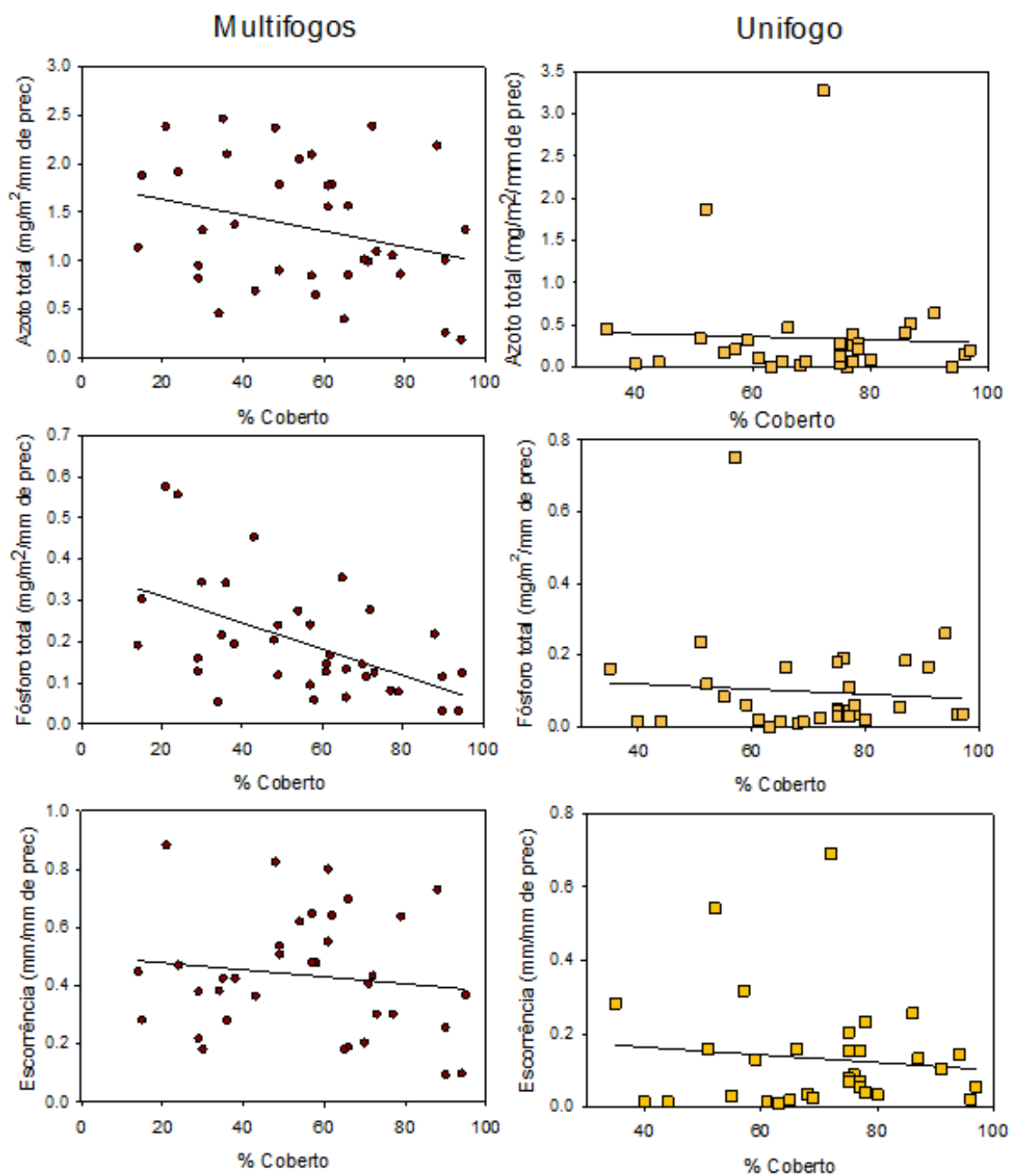


Figura 9 – Evolução da escorrência e da mobilização de azoto total e de fósforo total, considerando a precipitação, nas zonas afetadas por incêndio, em função da percentagem de coberto.

Relativamente à exportação de nutrientes por escorrência, verificou-se que o diferente histórico das zonas em estudo teve um papel preponderante nos resultados obtidos. Ou seja, quanto maior o número de incêndios, maior a suscetibilidade de haver perdas significativas de nutrientes, como azoto e fósforo. Do ponto de vista ambiental, estas perdas poderão gerar problemas de poluição a jusante, como eutrofização, sendo especialmente grave se existirem barragens e captações de água muito próximas das zonas queimadas (Ferreira *et al.*, 2010).

Comparando a exportação de nutrientes entre o primeiro (Varandas, 2014) e segundo ano após incêndio, verifica-se que houve uma redução em uma ordem de grandeza em ambas as zonas ardidas, à exceção do azoto total na zona "Multifogos", onde a diferença foi de duas ordens de grandeza. Segundo Thomas *et al.* (1999), uma das possíveis razões para o declínio da exportação de nutrientes ao longo do tempo está relacionada com a diminuição da camada de cinzas, devido à erosão.

De um modo geral, tem-se maior exportação de nutrientes nas zonas ardidas aquando de eventos de precipitação fortes, o que vai de encontro ao observado por Ferreira *et al.* (2005), que mostrou que as perdas de nutrientes são significativas nos primeiros 4 meses após incêndio e que os picos registados após esse período apenas ocorrem em eventos de precipitação fortes.

A diferença na resposta à evolução do coberto, essencialmente devida à recuperação de vegetação, em ambas as zonas ardidas poderá estar relacionada com a componente de detritos nas microparcelas (maioritariamente na forma de caruma). O facto de esta componente ter uma maior representatividade na zona "Unifogo" deverá fazer com que o efeito da recuperação da vegetação na escorrência e na exportação de nutrientes seja mascarado, pois a caruma já se encontrava a proteger uma grande superfície do solo, ao contrário do que sucedeu na zona "Multifogos", onde a recuperação da vegetação teve maior repercussão no curto prazo. De facto, é referido que a simples presença da caruma no solo proveniente dos pinheiros tem um impacte significativo nos processos hidrológicos, nas taxas de erosão e na exportação de nutrientes (Ferreira *et al.*, no prelo; Pannkuk e Robichaud, 2003).

A quase inexistência de caruma na superfície do solo da zona "Multifogos" enfatiza a influência negativa da ocorrência de incêndios frequentes, pois o intervalo entre os incêndios muitas vezes não é suficiente para que haja uma completa recuperação da vegetação. Assim, é natural que na zona "Multifogos" não haja caruma pois os pinheiros aí existentes tinham apenas

7 anos na data do incêndio, ao contrário da zona "Unifogo". Nesta zona, os pinheiros eram maiores, não tendo sido consumida grande parte das suas copas, de onde proveio a caruma que se depositou no solo.

6. CONCLUSÃO

Os principais objetivos deste estudo eram averiguar os efeitos da frequência de incêndios na concentração de azoto e de fósforo no solo e na mobilização destes por escorrência, em três zonas com distinto histórico de incêndio.

Os resultados obtidos sugerem que, a curto prazo, a ocorrência de fogos repetidos não influencia negativamente a concentração de nutrientes no solo, sendo este resultado mais evidente no caso do fósforo. Verificou-se que quanto maior a frequência de incêndios, maior a exportação de nutrientes por escorrência. A exportação de nutrientes é expressiva aquando de eventos de precipitação fortes e tende haver um declínio desta perda ao longo do tempo.

A recuperação de vegetação e a presença de caruma têm potencial de redução da escorrência e da perda de nutrientes, sendo sugerida que é a caruma a principal responsável pelas diferenças encontradas entre as zonas ardidas.

No intuito de compreender melhor a temática da frequência de incêndios, recomenda-se que se estude a evolução das concentrações de nutrientes no solo a longo prazo e a exportação de nutrientes à escala de encosta e à escala de bacia hidrográfica.

BIBLIOGRAFIA

- Bray, R. H., & Kurtz, L. T. (1945). Determination of total, organic, and available forms of phosphorus in soils. *Soil Science*, Vol. 59, 39–46.
- Caon, L., Vallejo, V. R., Coen, R. J. & Geissen, V. (2014). Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth Science Reviews*, Vol. 139, 47–58.
- Carreira, J. A., Niell, F. X. & Lajtha, K. (1994). Soil-nitrogen availability and nitrification in Mediterranean shrublands of varying fire history and successional stage. *Biogeochemistry*, Vol. 26, 189–209.
- Comissão Europeia (2014). *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2013*. European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability, Report EUR 26791 EN.
- Durán, J., Rodríguez, A., Fernández-Palacios, J. M. & Gallardo, A. (2008). Changes in soil N and P availability in a *Pinus canariensis* fire chronosequence. *Forest Ecology and Management*, Vol. 256(3), 384–387.

- Ferran, A., Delitti, W. & Vallejo, V. R. (2005). Effects of fire recurrence in *Quercus coccifera* L. shrublands of the Valencia Region (Spain): II. plant and soil nutrients. *Plant Ecology*, Vol. 177, 71–83.
- Ferreira, A. J. D., Coelho, C., Silva, J. S. & Esteves, T. (2010). Efeitos do fogo no solo e no regime hidrológico. In: F. Moreira, F. X. Catry, J. S. Silva e F. Rego (eds.), *Ecologia do Fogo e Gestão de áreas ardidas*, pp. 21–48, ISA Press, Lisboa, Portugal.
- Ferreira, A. J. D., Coelho, C. O. A., Boulet, A. K. & Lopes, F. P. (2005). Temporal patterns of solute loss following wildfires in Central Portugal. *International Journal of Wildland Fire*, Vol. 14(4), 401–412.
- Ferreira, A. J. D., Prats, S., Coelho, C. O. A., Shakesby, R. A., Páscoa, F. M., Ferreira, C. S. S., Keizer, J. J. & Ritsema, C. (no prelo). Strategies to prevent forest fires and techniques to reverse degradation processes in burned areas. *Catena*.
- Gosalbo, M. E. (2006). Fire recurrence effects on *Pinus halepensis* Mill. communities of Catalonia. Tese de doutoramento, Universitat Autònoma de Barcelona, Barcelona, Espanha.
- ICNF. (2012). Relatório anual de áreas ardidas e incêndios florestais em Portugal Continental. Autoridade Nacional da Proteção Civil, Guarda Nacional Republicana, Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas. <http://www.icnf.pt/portal/florestas/dfci/Resource/doc/rel/2012/rel12>.
- Iglesias, M. T. (2010). Effects of fire frequency on nutrient levels in soils of Aleppo pine forests in southern France. *Lazaroa*, Vol.31, 147–152.
- IPMA. (s.d). Normais climatológicas. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa, Portugal. In: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/> (acedido em agosto de 2014).
- IPMA. (s.d). Normais climatológicas - 1981-2010 (provisórias) - Viseu. Instituto Português do Mar e da Atmosfera, Lisboa, Portugal. In: <http://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/1981-2010/022/> (acedido em agosto de 2014).
- Knoepp, J. D., DeBano, L. F. & Neary, D. G. (2005). Soil Chemistry. In; D. G. Neary, K. C. Ryan e L. F. DeBano (eds.), *Wildland Fire in Ecosystems - Effects of fire on Soil and Water*, pp.53-72. USDA, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, GTR RMRS-GTR-42-volume 4.
- Malkinson, D., Wittenberg, L., Beerli, O. & Barzilai, R. (2011). Effects of Repeated Fires on the Structure, Composition, and Dynamics of Mediterranean Maquis: Short- and Long-Term Perspectives. *Ecosystems*, Vol. 14(3), 478–488.
- Pannkuk, C. D., & Robichaud, P. R. (2003). Effectiveness of needle cast at reducing erosion after forest fires. *Water Resources Research*, Vol.39, 1333.
- SNIRH. (s.d). Dados de Base - Calde. Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos. In: http://snirh.apambiente.pt/snirh/_dadosbase/site/janela_verdados.php?sites=920685152&pars=4237&tmin=01/09/1980&tmax=04/01/2010 (acedido agosto de 2014).
- Tecator. (1987). Determination of Kjeldahl Nitrogen Content with Kjelttec System 1026. Application Note AN, 86/87 (1987:02.18). Kjelttec 1026 Manual, Tecator A B, Sweden.
- Thomas, A. D., Walsh, R. P. D. & Shakesby, R. A. (2000). Solutes in overland flow following fire in eucalytus and pine forests, northern Portugal. *Hydrological Processes*, Vol. 985, 971–985.
- Varandas, D. (2014). Efeitos dos fogos florestais repetidos na exportação de nutrientes. Tese de mestrado, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.