



RISCOS

territorium 30 (II), 2023, 5-13

journal homepage: <https://territorium.riscos.pt/numeros-publicados/>

DOI: https://doi.org/10.14195/1647-7723_30-2_1

Artigo científico / Scientific article



**EFEITO DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS NO ECOSISTEMA:
REVISÃO INTEGRATIVA***

**EFFECT OF WILDFIRES ON THE ECOSYSTEM:
INTEGRATIVE REVIEW**

António Fidalgo

ISO-SEC - Scientific Press Corporation Limited, Londres (Inglaterra)
ORCID 0000-0002-7306-9151 a.fidalgo@iso-sec.pt

Ana Sá Fernandes

ISO-SEC - Scientific Press Corporation Limited, Londres (Inglaterra)
ORCID 0000-0001-5883-1382 a.sa@iso-sec.pt

RESUMO

A crescente recorrência dos incêndios florestais e o aumento da sua severidade representa um enorme desafio para a regeneração natural os ecossistemas. O impacto que os incêndios florestais provocam são hoje considerados um problema de ordem mundial. Sejam consequências com efeitos diretos ou indiretos, certo é o seu impacto no quotidiano, na comunidade, na economia, no meio ambiente e no ser humano. É sabido que a severidade do fogo provoca alterações em diferentes aspetos do ecossistema do qual se salienta as alterações na paisagem, nas propriedades bioquímicas, nas propriedades físico-químicas e dos nutrientes do solo. No desenvolvimento deste estudo tínhamos como objetivo realizar uma revisão da literatura para conhecer os principais efeitos dos incêndios florestais no ecossistema.

Palavras-chave: Meio ambiente, incêndios florestais, solos queimados.

ABSTRACT

The increasing recurrence and severity of fires represents an enormous challenge for the natural regeneration of ecosystems. The impact that fires have is now considered a worldwide problem. Whether the consequences have direct or indirect effects, their impact on daily life, the community, the economy, the environment, and human beings is certain. Over time, a number of studies have been developed on the subject. The severity of a fire causes changes in different aspects of the ecosystem, of which the changes to the landscape, the biochemical properties, the physical-chemical and nutrient properties of the soil are significant. In this study we aimed to carry out a literature review to understand the main effects of forest fires on the ecosystem.

Keywords: Environment, wildfires/forest fires, burned soils.

* O texto deste artigo foi submetido em 30-03-2022, sujeito a revisão por pares a 10-05-2022 e aceite para publicação em 05-09-2022.

Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 30 (II), 2023, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Os ecossistemas mediterrâneos são ambientes que ao longo dos anos desenvolveram a capacidade de se adaptar aos incêndios através de mecanismos de regeneração aos efeitos imediatos ao fogo (Fernandez-Manso *et al.*, 2016), enquanto outros ecossistemas são mais vulneráveis. Em particular, com a crescente realidade das últimas décadas que além de alterar o regime do fogo, também traz repercussões severas com impacto negativo na água, no solo e na vegetação (Bento-Gonçalves *et al.*, 2012).

Embora sendo um processo natural que beneficia o ambiente, os incêndios florestais são muitas vezes vistos como um fenómeno destruidor para os mesmos (Pausas e Keeley, 2019). A intensidade dos incêndios florestais destrói a camada protetora do solo, o que a deixa desprotegida, podendo originar uma redução da cobertura vegetal e uma maior exposição à erosão hídrica (Meneses, 2013; Vergani *et al.*, 2017).

Quando bem empregue, os incêndios florestais são benéficos para a atividade humana, para a renovação de habitats e para a vida selvagem (Pausas e Keeley, 2019). Também existem outros efeitos imediatos ao fogo que podem provocar complicações às florestas, nomeadamente, a poluição da atmosfera devido à formação de densas colunas de fumo, os efeitos negativos sobre os organismos vivos do solo tais como mamíferos, fungos, bactérias e fauna. Também podem ser observados efeitos sobre a vegetação e sobre as estruturas do solo como consequência da combustão da vegetação (Lourenço, 1990).

A crescente recorrência de incêndios nos países mediterrâneos tem apresentado um enorme desafio à capacidade de regeneração natural desses ecossistemas (Fernandez-Manso *et al.*, 2016). Do ponto de vista da paisagem, as vertentes também podem ficar vulneráveis ao movimento de massa, consequência das alterações da perda de sustentação fornecida pela vegetação e consequente perda de solo (Meneses, 2013; Vergani *et al.*, 2017).

O impacto no ecossistema está dependente de múltiplos fatores, dependendo da sua intensidade, das suas características, da sua recorrência, da sua dimensão, o tipo de combustível e das suas propriedades (Lourenço, 1990). Portanto, os incêndios florestais podem causar diferentes impactos ambientais imediatos na matéria orgânica do solo. Essas alterações podem provocar modificações na estrutura química da matéria carbonizada através da remoção de material local ou da formação de nova biomassa (Jiménez-Morillo *et al.*, 2016).

Do ponto de vista das pessoas, bens e economia, o fenómeno pode induzir situações extremas de perda de bens materiais, infraestruturas, lesões e perda de

vidas humanas (Filipe e Serralha, 2015). Como nos referem os autores, as consequências, sejam de ordem direta ou indireta, podem originar grandes prejuízos monetários com avultadas implicações diretas no normal funcionamento do quotidiano, da economia e da sociedade.

Do ponto de vista do ecossistema as consequências dos incêndios podem ser sentidas a longo prazo e causar alterações nos processos geomorfológicos, hidrológicos e ambientais (Diakakis *et al.*, 2017).

A seguir à época de incêndios é normal seguir-se uma época de precipitação suscetível de causar escoamento e erosão do solo que pode levar à ocorrência de diversos riscos naturais, tais como, movimento de massa e inundações (Diakakis *et al.*, 2017; Fox *et al.*, 2006).

Assim, é fundamental elaborar estratégias de conservação para evitar uma degradação irreversível do solo e limitar os danos causados pela precipitação através do uso de vegetação viva ou morta utilizando por exemplo herbáceas ou plantando tiras de grama (Fox *et al.*, 2006; Luis *et al.*, 2003). Outras medidas de recuperação pós-incêndio podem ser através da colocação de troncos finos e grossos para barrar o fluxo de sedimentos (Fox *et al.*, 2006) ou ao recurso a técnicas de silvicultura tal como a arborização (Vergani *et al.*, 2017).

Metodologia

Ao longo dos tempos foram desenvolvidos diversos estudos sobre os efeitos dos incêndios florestais no ecossistema. A pesquisa adotada partiu de dois princípios, a utilização da metodologia PICo e a pesquisa através da análise PRISMA. No contexto da metodologia PICo considerou-se o P de problema: incêndios florestais, o I de interesse: o ecossistema e o Co de contexto para os efeitos sofridos, o que permitiu elaborar de forma consistente o tema e deu origem ao título: efeitos dos incêndios florestais no ecossistema: revisão integrativa.

Com o objetivo principal de conhecer os principais efeitos dos incêndios florestais no ecossistema, foi realizada uma pesquisa com recurso ao PubMed® com os descritores *Environment*, *Wildfires*, *Forest fires* e *Burned soils* e o operador booleano *and*.

Para reduzir a pesquisa foi definido que os estudos deveriam estar incluídos no período temporal 2017-2022 e que seriam excluídos estudos experimentais que se baseassem em simulações, incêndios provocados pelos investigadores, análise de imagens de sistemas de informação geográfica e provenientes de fogo técnico.

Dos 88 artigos encontrados na pesquisa, após leitura do título e resumo permaneceram 31 artigos. Foi feita leitura integral dos artigos e rejeitou-se um artigo por referir medidas de recuperação, sete por serem estudos

experimentais, quatro por não focarem o tema, dois por analisarem dados de sistemas de informação geográfico.

Destes artigos, após leitura integral do texto e tendo em consideração os critérios de exclusão e a riqueza das contribuições das conclusões dos estudos ficaram para análise 17 artigos (TABELA I).

Resultados e discussão

Nas últimas décadas, a comunidade científica tem direcionado esforços na pesquisa do impacto e dos efeitos dos incêndios florestais tais como: os efeitos do fogo, a gravidade do fogo, o sucesso da reabilitação dos impactos do fogo e das medidas de prevenção. O crescente impacto dos incêndios é hoje reconhecido pela comunidade científica como um problema de reconhecimento mundial (Bento-Gonçalves *et al.*, 2012).

Neste capítulo, estruturado em subcapítulos para uma leitura mais fácil, será feita a análise dos 17 artigos selecionados previamente, ao mesmo tempo que se faz a discussão dos resultados com recurso à vasta evidência científica disponível em diferentes motores

de busca e bases de dados científicas. Procura-se ao longo desta análise e discussão de resultados encontrar os mais recentes dados sobre os principais efeitos dos incêndios florestais no ecossistema e em simultâneo perceber se a evidência científica sustenta os dados recentes ou se são obtidos novos dados que contariam o conhecimento atual.

Alteração de biodiversidade, fauna e as espécies invasoras

A desnaturação da matéria orgânica do solo que resulta dos incêndios florestais tem a capacidade de provocar alterações na fauna, na flora e nos microrganismos (Moya *et al.*, 2018; Sazawa *et al.*, 2018). Os dados são consistentes com outros estudos que comprovam que a área acaba por ficar gravemente afetada e pode levar à extinção de espécies e vegetação (Caon *et al.*, 2014; Filipe e Serralha, 2015).

Ainda assim, é possível que as camadas subterrâneas tenham a capacidade de se adaptar aos incêndios e reorganizar a dinâmica do combustível e das comunidades (Semenova-Nelsen *et al.*, 2019).

TABELA I - Artigos incluídos para análise por ano, autor e título.

TABLE I - Articles included for analysis by year, author and title.

| Ano | Autor | Título |
|------|--|--|
| 2017 | Jensen, Scanlon & Riscassi | Emerging investigator series: The effect of wildfire on streamwater mercury and organic carbon in a forested watershed in the southeastern United States |
| 2017 | Campo, Lorenzo, Cammeraat, Picó & Andreu | Emerging contaminants related to the occurrence of forest fires in the Spanish Mediterranean |
| 2017 | Kamczyc, Urbanowski & Pers-Kamczyc | Mite communities (Acari: Mesostigmata) in young and mature coniferous forests after surface wildfire |
| 2018 | Oliveira-Filho <i>et al.</i> | Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: An ecotoxicological approach |
| 2018 | Sazawa, Yoshida, Okusu, Hata & Kuramitz | Effects of forest fire on the properties of soil and humic substances extracted from forest soil in Gunma, Japan |
| 2018 | Franco, Úbeda, Pereira & Alcañiz | Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula) |
| 2018 | Moya <i>et al.</i> | Temporal characterisation of soil-plant natural recovery related to fire severity in burned <i>Pinus halepensis</i> Mill. forests |
| 2019 | Molinari <i>et al.</i> | Creosote growth rate and reproduction increase in postfire environments |
| 2019 | Semenova-Nelsen, Platt, Patterson, Huffman & Sikes | Frequent fire reorganizes fungal communities and slows decomposition across a heterogeneous pine savanna landscape |
| 2019 | Li, Niu, Liu & Wang | Short-term response of the soil bacterial community to differing wildfire severity in <i>Pinus tabulaeformis</i> stands |
| 2019 | Hohner, Rhoades, Wilkerson & Rosario-Ortiz | Wildfires Alter Forest Watersheds and Threaten Drinking Water Quality |
| 2020 | Dove, Safford, Bohlman, Estes, & Hart | High-severity wildfire leads to multi-decadal impacts on soil biogeochemistry in mixed-conifer forests |
| 2020 | Murphy, McCleskey, Martin, Holloway & Writter | Wildfire-driven changes in hydrology mobilize arsenic and metals from legacy mine waste |
| 2020 | Ribeiro, Marques, Mansilha & Flores | Wildfires effects on organic matter of soils from Caramulo Mountain (Portugal): environmental implications |
| 2021 | Smith, Edy, & Peay | Contrasting fungal responses to wildfire across different ecosystem types |
| 2021 | Kelly <i>et al.</i> | Boreal forest soil carbon fluxes one year after a wildfire: Effects of burn severity and management |
| 2021 | Qin & Liu | Changes in microbial communities at different soil depths through the first rainy season following severe wildfire in North China artificial <i>Pinus tabulaeformis</i> forest |

Oliveira-Filho *et al.* (2018) detetaram que a presença de cinzas tinha diversos componentes nefastos e um pH mais ácido. Estas alterações no solo podiam influenciar negativamente o crescimento dos enquitreídeos e reduzir de forma negativa a reprodução de espécies mais pequenas, tais como, os caracóis.

Os achados do estudo de Oliveira-Filho *et al.* (2018) sobre o pH veio contrariar a evidência científica conhecida que sustentava que o pH das cinzas aumentava (Pereira *et al.*, 2012).

Depois de um incêndio é comum que algumas espécies invasoras exerçam um efeito sobre a macrofauna local que sofreu uma redução temporária de pequenas espécies, tais como, os caracóis, aranhas, lesmas (Lourenço, 1990) e também das espécies microbianas (Bárceñas-Moreno *et al.*, 2011; Fultz *et al.*, 2016; Maksimova e Abakumov, 2015).

Estes dados foram corroborados por, Qin e Liu (2021) que determinaram que há maior impacto na composição das bactérias e fungos na primeira camada do solo (até 5 cm) e menor no subsolo mais profundo (5-20 cm). Ainda assim, Li *et al.* (2019) quando compararam o efeito de um incêndio de elevada severidade na camada superficial e na camada do subsolo encontraram uma maior predominância de bactérias dominantes tais como Proteobacteria, Chlorofexi, Actinobacteria, Acidobacteria e Verrucomicrobia na camada superficial.

No mesmo estudo, os autores consideraram que o diferencial para o crescimento das bactérias na camada superiores seria efeito das condições favoráveis de pH, nitrogénio total e nitrogénio amoniacal presentes nessa camada.

Os fungos são microrganismos mais resistentes ao fogo e têm maior capacidade de fornecer nutrientes para a recuperação do ecossistema (Smith *et al.*, 2021). Qin e Liu (2021) perceberam que os fungos afetados tiveram maior sensibilidade ao fogo porque tinham menor tolerância térmica, o que resultou numa maior mortalidade da espécie.

Smith *et al.* (2021) determinaram que os fungos presentes no solo de sistemas de florestas de carvalho (ecossistema mais habituado ao fogo) sofrem menos alterações que fungos presentes em florestas perenes mistas. Contudo, a literatura também nos diz que espécies bem-adaptadas ao fogo tem a capacidade de se expandir rapidamente ao custo da perda de biodiversidade local (Filipe e Serralha, 2015).

No contexto microbiano várias causas tais como o fogo, a variação do tempo, a profundidade e o pH do solo podem afetar a comunidade (Qin e Liu, 2021). Porém, quando as comunidades se conseguem adaptar ao fogo, demonstram ter uma maior capacidade de se manter persistentes e resilientes ao fogo (Semenova-Nelsen *et al.*, 2019). O que

permite contrariar outros estudos que mencionam que após o incêndio se dá uma colonização por novas espécies (Filipe e Serralha, 2015; Lourenço, 1990).

Em florestas novas é comum que haja uma mudança nos predadores dominantes, mas, em florestas mais maduras é comum que os grandes predadores se mantenham (Kamczyc *et al.*, 2017). O conhecimento diz-nos que no pós-fogo dá-se uma alteração na relação presa-predador. Onde antigamente dominavam os grandes mamíferos, com os efeitos nefastos do fogo há um aumento temporário de algumas espécies de aves que vivem no solo que outrora eram presas (Lourenço, 1990).

Depois de um incêndio, o solo sofre alterações que lhe permitem criar um ambiente favorável para que se dê início à sucessão do aparecimento de espécies, onde uma das espécies irá dominar depois de um incêndio (Kamczyc *et al.*, 2017). De acordo com Lourenço (1990), as espécies que dependem da vegetação viva para a sua alimentação ou nidificação, como é o exemplo de algumas aves, só irão colonizar essa zona depois do ecossistema estar reposto.

Alteração no solo

Dependendo da gravidade e do tempo decorrido depois de um incêndio florestal, existe uma tendência para que os efeitos sofridos pelos nutrientes que compõem o solo sofram diferentes efeitos nas suas propriedades físico-químicas e bioquímicas (Francos *et al.*, 2018; Li *et al.*, 2019; Moya *et al.*, 2018).

O estudo de Francos *et al.* (2018) permitiu compreender que os solos afetados precisavam de um longo tempo de recuperação para voltar a registar níveis pré-fogo, sobretudo quando se tratava de incêndios de alta severidade.

Ribeiro *et al.* (2020) identificaram que os solos metasedimentares cobertos por *eucalyptus globulus* apresentavam elevados teores de matéria orgânica, enquanto os solos graníticos sofreram uma degradação da matéria orgânica o que levou à sua significativa diminuição.

Li *et al.* (2019) descobriram que após o fogo, os valores presentes, quer na camada superficial quer na camada do subsolo sofreram alterações. A matéria orgânica, o nitrogénio nitrato, o nitrogénio amoniacal e o nitrogénio total estavam mais diminuídos, enquanto o pH tinha aumentado na camada superior. Inclusive, foi constatado que incêndios com temperaturas inferiores a 350 °C tinham capacidade de causar a libertação de nitrogénio, matéria orgânica e carbono (Hohner *et al.*, 2019).

Tal como descrito no conhecimento científico, após um incêndio os componentes físicos do solo sofreram, em contexto de percentagem, um aumento de areia, uma redução de sedimento e argila (Berber *et al.*, 2015).

Os efeitos na cobertura vegetal, mesmo em fogo de baixa intensidade provocam alterações que podem durar anos e só atingir um ponto de recuperação ao fim de sete anos que aumentaria para 13 anos num fogo de média intensidade e nos fogos de elevada intensidade seria estimado demorar 20 anos (Fernandez-Manso *et al.*, 2016).

Francos *et al.* (2018) detetaram que ao longo do tempo, os nutrientes (nitrogénio total e o carbono total) presentes no solo conseguem recuperar os níveis pré-fogo, enquanto o sódio não sofre qualquer alteração. Contudo, nos incêndios de alta severidade, a recuperação foi escassa ou nula para a matéria orgânica e para os principais nutrientes presentes no solo tais como, o cálcio, o magnésio e o carbono o que implicava a necessidade de medidas de restauração do solo para que houvesse recuperação de níveis pré-fogo.

A resposta poderá estar na literatura, de acordo com Andreu *et al.* (2001), num incêndio com elevada severidade a agregação do solo pode ser afetada nos primeiros 50 mm da superfície do solo, não sendo afetado a mais de 100 mm (Maksimova e Abakumov, 2015). Havendo uma perda da matéria orgânica e alterações nas propriedades bioquímicas do solo que com o tempo voltam gradualmente a recuperar (Rovira *et al.*, 2012).

Os incêndios de elevada intensidade demonstraram ter uma recuperação mais lenta da vegetação afetada e mantiveram níveis de nitrogénio e carbono elevados por um período de tempo de pelo menos 15 anos. Todavia, o mesmo estudo considerou que incêndios de moderada intensidade também tinham efeitos negativos no ecossistema com potencial de contaminação das bacias hidrográficas devido à exportação de carbono e nitrogénio e conseqüente formação dos seus derivados (Hohner *et al.*, 2019).

A exposição a elevadas temperaturas que a matéria orgânica sofre nos incêndios florestais e a exposição a químicos usados na extinção, por exemplo, os retardantes de chama podem proporcionar uma fonte de contaminação adicional (Campo *et al.*, 2017).

As primeiras chuvas levaram ao movimento e transporte dos nutrientes, matéria orgânica queimada e sedimentos acumulados no pós-fogo, que depois foram depositadas nas zonas mais baixas da encosta ou a jusante do incêndio o que originou uma bioacumulação de contaminantes e minerais (Campo *et al.*, 2017).

Segundo Andreu *et al.* (2001) e Campo *et al.* (2006), as maiores perdas da camada superior acontecem, em média nos primeiros cinco meses. Se o solo fica temporariamente enriquecido com nutrientes sob a forma de cinzas devido à matéria orgânica consumida, esta disponibilidade de curto prazo tende a perder-se a longo prazo devido às agressões externas provocadas e.g. pela precipitação (Caon *et al.*, 2014).

Tal como nos refere o estudo de Swindle *et al.* (2021) após a primeira tempestade pós-fogo houve uma grande mobilização dos nutrientes presentes nas cinzas a montante da zona afetada pelo fogo. A vegetação costuma reter mercúrio que é libertado quando um incêndio devasta a vegetação. Esta descoberta é particularmente importante porque o mercúrio libertado além de ir para a atmosfera, deposita-se na matéria orgânica carbonizada sendo depois transportado para jusante com a chuva e misturado com a água (Jensen *et al.*, 2017).

No estudo de Smith *et al.* (2021) não foram encontradas alterações no pH nas florestas de carvalhos, ao contrário das florestas verdes que sofreram alterações.

Li *et al.* (2019) observaram que os incêndios de baixo a moderada severidade apresentavam uma redução da humidade do solo, enquanto, nos incêndios de elevada severidade, a humidade do solo tinha aumentado.

Quanto ao nitrogénio, foram encontradas alterações num período temporal de 4 anos, voltando a valores normais ao fim de 13 anos (Dove *et al.*, 2020), enquanto que no caso do mercúrio apenas foram encontrados valores elevados nos primeiros oito meses após um incêndio, retornando depois a valores normais (Jensen *et al.*, 2017).

A desnaturação da matéria orgânica do solo que resulta dos incêndios florestais provoca diversas alterações nas propriedades, estrutura e nutrientes do solo, tal como a influência que exerce no ciclo de carbono presente no ecossistema (Sazawa *et al.*, 2018).

De acordo com o conhecimento científico, os efeitos do fogo tendem a aumentar a matéria orgânica, o alumínio (Leite, 2011), o potencial de hidrogénio (Berber *et al.*, 2015), as concentrações de fosfato, carbono, cálcio, magnésio e manganês (Costa *et al.*, 2013). Leite (2011) e Berber *et al.* (2015) identificaram uma diminuição do fosforo contrariamente a Sulwiński *et al.* (2017) que encontraram um aumento substancial no seu solo.

Dove *et al.* (2020) analisaram os primeiros cinco cm da camada de solo de zonas afetadas por fogos de elevada severidade e concluíram que o fogo provocou alterações na atividade das enzimas extracelulares do solo, no carbono orgânico e na respiração microbiana basal.

A perda de coberto vegetal nos incêndios provoca erosão da superfície e transporte de sedimentos para jusante do incêndio tais como magnésio e o ferro (Murphy *et al.*, 2020).

Do ponto de vista da perda de vegetação, Kelly *et al.* (2021) constataram que um ano após um incêndio de severidade alta, onde a vegetação tinha sido dizimada houve uma redução da respiração do solo o que originou valores de dióxido de carbono no solo mais baixos. Em particular, quando se comparava solos de zonas de baixa severidade ou que não foram afetados por um incêndio.

Os mesmos autores observaram que um incêndio com características idênticas, num povoamento jovem tendem a apresentar uma respiração diminuída do solo e menor quantidade de nutrientes quando comparado com um povoamento maduro porque o povoamento mais novo tem menor capacidade de resiliência e menor camada orgânica face ao povoamento maduro.

Campos *et al.* (2017) determinaram que a camada superior do solo continha produtos contaminados que se poderiam acumular em incêndios recorrentes. Ainda assim, Oliveira-Filho *et al.* (2018) verificaram que um ano após um incêndio, à exceção da matéria orgânica que se mantinha com uma proporção idêntica, os efeitos de fertilização e de alcalinização das cinzas (pH mais ácido no pós-fogo) tinham predisposição para voltar aos valores normais.

A incapacidade de os nutrientes retornarem aos níveis pré-fogo pode ter sido influenciada por dois fatores: a perda de vegetação que teve uma influência direta na redução dos nutrientes presentes no solo e as perturbações originadas pelo fogo no solo causadas entre outros, pela erosão, pela retirada de vegetação e/ou pela lixiviação (Francos *et al.*, 2018).

Alteração na vegetação

Molinari *et al.* (2019) concluíram que a exposição ao fogo foi benéfica para a reprodução dos arbustos locais dado que os mesmos demonstraram ter capacidade para um crescimento vigoroso pós-fogo.

Como se observa na literatura, nem toda a vegetação morre depois de um incêndio, a vegetação que sobrevive ao fogo, parte nunca chega a recuperar ou a atingir o crescimento necessário para sobreviver. As mais afetadas se não morrem durante o fogo acabam por ficar tão enfraquecidas que sucumbem a médio prazo às pragas, à falta de nutrientes ou a doenças (Lourenço, 1990).

A exposição ao fogo, no caso dos arbustos do estudo de Molinari *et al.* (2019) foi considerada uma oportunidade para que algumas espécies conseguissem garantir a sua sobrevivência ao lhes proporcionar uma reprodução e desenvolvimento mais rápido. Este crescimento vem, de certa forma, contrariar as consequências que os incêndios costumam provocar na morte da vegetação e por conseguinte, a desflorestação massiva (Diakakis *et al.*, 2017; Filipe e Serralha, 2015).

Molinari *et al.* (2019) reforça que a recorrência de incêndios é considerada um problema que pode ser um forte condicionador e não permitir o desenvolvimento esperado da espécie de arbustos mesmo quando tem um bom potencial de recuperação porque após um incêndio de alta severidade a respiração do solo diminuiu drasticamente como consequência da mortalidade das árvores (Kelly *et al.*, 2021).

Por norma, o solo possui um banco de sementes que permite minimizar o risco de declínio ou extinção de uma dada espécie no pós-fogo. Contudo, quando o fogo é severo, dá-se a mortalidade das sementes que estão perto da superfície do solo e a redução da disponibilidade de sementes. Quanto maior a área do solo afetada maior será a quebra do banco de sementes e consequente dificuldade de recuperação da espécie afetada (Auld e Denham, 2006).

Alteração na qualidade da água

Depois de um incêndio, a precipitação com severa intensidade podem aumentar a probabilidade de escoamento dos nutrientes das áreas afetadas. O elevado escoamento pode corroer as cinzas, alterar a paisagem e denegrir a qualidade da água ao introduzir nutrientes tais como carbono orgânico, nitrogénio e seus derivados nas propriedades da água (Hohner *et al.*, 2019).

A morte da vegetação provoca a deposição dos minerais na camada superior sob a forma de cinzas e o desnudamento do solo, o que torna o solo vulnerável à erosão do vento e da chuva (Meneses, 2013). O arrastamento provocado pela chuva vai provocar a jusante a contaminação das linhas de água (Costa *et al.*, 2013).

As alterações nos solos e o escoamento de cinzas são uma preocupação ambiental dada a elevada probabilidade de contaminação a que os solos, as bacias hidrográficas e a saúde dos seres humanos estão expostos (Ribeiro *et al.*, 2020). Também as libertações de elevadas quantidades dos produtos da combustão do incêndio podem causar graves problemas ambientais e económicos (Maksimova e Abakumov, 2015).

Hohner *et al.* (2019) identificaram após um incêndio que havia derivados de nitrogénio nas propriedades da água o que provocou uma alteração negativa na qualidade da água. Estes derivados são conhecidos por serem prejudiciais para a saúde devido à sua toxicidade, sendo, inclusive, considerados um problema de saúde pública.

A ausência da cobertura vegetal consequência dos efeitos dos incêndios, proporcionou que em dias de maior precipitação ocorresse um maior escoamento superficial de minerais, muitos deles contaminados. Este facto pode explicar que a curto prazo pode haver um rápido escoamento superficial e consequentes concentrações elevadas de ferro, magnésio e arsénico (Murphy *et al.*, 2020).

Como nos referem vários estudos, a ausência da vegetação favorece a erosão e proporciona o escoamento da superfície do solo (Costa *et al.*, 2013) dado que a lixiviação das cinzas promovido pelas chuvas pós incêndio promoveu a mobilização dos nutrientes para os cursos de água (Swindle *et al.*, 2021), em particular em zonas mais declivosas que potencia o movimento de massas, o arrastamento de nutrientes e de inundações (Diakakis *et al.*, 2017; Filipe e Serralha, 2015).

As alterações das propriedades da água podem tornar-se um desafio porque na sua maioria a água pode ficar, a curto prazo, condicionada para consumo, podendo este tempo ser aumentado quando se está perante uma recuperação lenta do ecossistema afetado (Hohner *et al.*, 2019).

A inundação de minas pode agravar este problema porque os minerais presentes são escoados com os efeitos da precipitação e como resultado alteram a quantidade de minerais presentes e a qualidade da água local (Murphy *et al.*, 2020).

Os mesmos autores detetaram que depois de um incêndio, a infiltração de água em minas provocou uma acumulação de água que provocou o transporte de sedimentos e deposição de minerais e nutrientes a jusante do incêndio. Nessa água e sedimentos foram detetadas elevadas concentrações de arsénio e metal, o que representa um risco acrescido para a qualidade e abastecimento de água.

Conclusão

As alterações na cobertura vegetal do solo provocam alterações na fauna, na flora e nos microrganismos. Embora algumas espécies se tenham tornado resilientes ao fogo, na sua maioria, existe uma grande mortalidade das espécies, principalmente quando o fogo se desenvolve em florestas jovens.

Os incêndios têm um impacto negativo no solo com perda substancial de determinados nutrientes que agravam com a erosão do vento e da chuva. A precipitação potência o risco de movimento de massas e inundações e a movimentação e transporte da água leva consigo sedimentos, nutrientes e material contaminado que se acumula a jusante do incêndio e tem um elevado potencial de contaminar bacias hidrográficas.

O que resulta num impacto ainda mais gravoso para a economia e sociedade porque além dos custos associados ao pós-fogo na mitigação e recuperação, induz contaminantes na água utilizada no uso doméstico além dos riscos para a saúde, tal como a exposição a produtos carcinogénicos.

Daí a importância de implementar medidas de recuperação do solo o mais precoce possível para recuperar os danos provocados pelo fogo.

Referências bibliográficas

- Andreu, V., Imeson, A. & Rubio, J. (2001). Temporal changes in soil aggregates and water erosion after a wildfire in a Mediterranean pine forest. *Catena*, 44, 69-84.
- Auld, T. D. & Denham, A. J. (2006). How much seed remains in the soil after a fire?. *Plant Ecology*, 187(1), 15-24. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11258-006-9129-0>
- Bento-Gonçalves, A., Vieira, A., Úbeda, X. & Martín, D. (2012). Fire and soils: Key concepts and recent advances. *Geoderma*, 19, 3-13. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.01.004>
- Berber, A., Tavşanoğlu, Ç. & Turgay, O. (2015). Effects of surface fire on soil properties in a mixed Chestnut-beech-pine forest in Turkey. *FLAMMA*, 6, 2, 78-80.
- Bárceñas-Moreno, B., García-Orenes, F., Mataix-Solera, J., Mataix-Beneyto, J. & Bååth, E. (2011). Soil microbial recolonisation after a fire in a Mediterranean forest. *Biol Fertil Soils*, 47, 261-272. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0532-2>
- Campo, J., Andreu, V., Gimeno-García, E., González, O. & Rubio, J. (2006). Occurrence of soil erosion after repeated experimental fires in a Mediterranean environment. *Geomorphology*, 82, 376-387. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.05.014>
- Campo, J., Lorenzo, M., Cammeraat, E. L. H., Picó, Y. & Andreu, V. (2017). Emerging contaminants related to the occurrence of forest fires in the Spanish Mediterranean. *Science of the Total Environment*, 603-604, 330-339. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.005>
- Caon, L., Vallejo, V., Coen, R. & Geissen, V. (2014). Effects of wildfire on soil nutrients in Mediterranean ecosystems. *Earth-Science Reviews*, 139, 47-58. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.earscirev.2014.09.001>
- Costa, M., Calvão, A. & Aranha, J. (2013). Linking wildfire effects on soil and water chemistry of the Marão River watershed, Portugal, and biomass changes detected from Landsat imagery. *Applied Geochemistry*, 44, 93-102. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2013.09.009>
- Diakakis, M., Nikolopoulos, E., Mavroulis, S., Vassilakis, E. & Korakaki, E. (2017). Observational evidence on the effects of mega-fires on the frequency of hydrogeomorphic hazards. The case of the Peloponnese fires of 2007 in Greece. *Science of the Total Environment*, 592, 262-276.
- Dove, N. C., Safford, H. D., Bohlman, G. N., Estes, B. L. & Hart, S. C. (2020). High-severity wildfire leads to multi-decadal impacts on soil biogeochemistry in mixed-conifer forests. *Ecological Applications*. 30(4). DOI: <https://doi.org/10.1002/eap.2072>
- Fernandez-Manso, A., Quintano, C. & Roberts, D. (2016). Burn severity influence on post-fire vegetation cover resilience from Landsat MESMA fraction images time series in Mediterranean forest ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, 184, 112-123.
- Filipe, M. & Serralha, M. (2015, Jul). Os impactos e consequências dos incêndios florestais. Disponível

- em <https://dica.madeira.gov.pt/index.php/outros-temas/florestas/1154-os-impactos-e-consequencias-dos-incendios-florestais>.
- Fox, D., Berolo, W., Carrega, P. & Darboux, F. (2006). Mapping erosion risk and selecting sites for simple erosion control measures after a forest fire in Mediterranean France. *Earth Surf. Process. Landforms*, 31, 606-621.
- Franco, M., Úbeda, X., Pereira, P. & Alcañiz, M. (2018). Long-term impact of wildfire on soils exposed to different fire severities. A case study in Cadiretes Massif (NE Iberian Peninsula). *Science of The Total Environment*, 615, 664-671.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.311>
- Fultz, L., Moore-Kucera, J., Dathe, J., Davinic, M., Perry, G., Wester, D., Schwilk, D. & Rideout-Hanzak, S. (2016). Forest wildfire and grassland prescribed fire effects on soil biogeochemical processes and microbial communities: Two case studies in the semi-arid Southwest. *Applied Soil Ecology*, 99, 118-128.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.apsoil.2015.10.023>
- Hohner, A. K., Rhoades, C. C., Wilkerson, P. & Rosario-Ortiz, F. L. (2019). Wildfires Alter Forest Watersheds and Threaten Drinking Water Quality. *Accounts of Chemical Research*, 52, 1234-1244.
DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.accounts.8b00670>
- Jensen, A. M., Scanlon, T. M. & Riscassi, A. L. (2017). Emerging investigator series: the effect of wildfire on streamwater mercury and organic carbon in a forested watershed in the southeastern United States. *Environmental Science: Processes & Impacts*, 19(12), 1505-1517.
DOI: <https://doi.org/10.1039/c7em00419b>
- Jiménez-Morillo, N., Rosa, J., Waggoner, D., Almendros, G., González-Vila, F. & González-Pérez, J. (2016). Fire effects in the molecular structure of soil organic matter fractions under *Quercus suber* cover. *Catena*, 145, 266-273.
- Kamczyc, J., Urbanowski, C. & Pers-Kamczyc, E. (2017). Mite communities (Acari: Mesostigmata) in young and mature coniferous forests after surface wildfire. *Experimental and Applied Acarology*, 72, 145-160.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s10493-017-0148-4>
- Kelly, J., Ibáñez, T. S., Santín, C., Doerr, S. H., Nilsson, M.-C., Holst, T., Lindroth, A. & Kljun, N. (2021). Boreal forest soil carbon fluxes one year after a wildfire: Effects of burn severity and management. *Global Change Biology*.
DOI: <https://doi.org/10.1111/gcb.15721>
- Leite, M. M. (2011). *Impacto dos incêndios nas propriedades dos solos em áreas de montanha sob coberto de matos (Dissertação de Mestrado)*. Apresentada ao Instituto Politécnico de Bragança, Escola Superior Agrária. Disponível em: <https://bibliotecadigital.ipb.pt/handle/10198/6811>
- Li, W., Niu, S., Liu, X. & Wang, J. (2019). Short-term response of the soil bacterial community to differing wildfire severity in *Pinus tabulaeformis* stands. *Scientific Reports*, 9.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-38541-7>
- Lourenço, L. (1990). *Impacte ambiental dos incêndios florestais*. Disponível em https://www.uc.pt/fluc/nicif/Publicacoes/Colectaneas_Cindinicas/Download/Colecao_IV/Artigo_III.pdf
- Luis, M., González-Hidalgo, J. & Raventós, J. (2003). Effects Of Fire And Torrential Rainfall On Erosion In A Mediterranean Gorse Community. *Land Degrad. Develop.*, 14, 203-213.
- Maksimova, E. & Abakumov, E. (2015). Wildfire effects on ash composition and biological properties of soils in forest-steppe ecosystems of Russia. *Environ Earth Sci*, 74, 4395-4405.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4497-1>
- Meneses, B. (2013, SET). O Impacto Dos Incêndios Florestais Na Perda De Solo Por Erosão Hídrica Na Serra De Santa Helena. *Revista Geográfica de América Central*, 51, 215-232.
- Molinari, R. L., Bishop, T. B. B., Bekker, M. F., Kitchen, S. G., Allphin, L. & Clair, S. B. S. (2019). Creosote growth rate and reproduction increase in postfire environments. *Ecology and Evolution*, 9, 12897-12905. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.5771>
- Moya, D., González-De Vega, S., García-Orenes, F., Morugán-Coronado, A., Arcenegui, V., Mataix-Solera, J., ... De las Heras, J. (2018). Temporal characterisation of soil-plant natural recovery related to fire severity in burned *Pinus halepensis* Mill. forests. *Science of The Total Environment*, 640-641, 42-51.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.05.212>
- Murphy, S. F., McCleskey, R. B., Martin, D. A., Holloway, J. M. & Writer, J. H. (2020). Wildfire-driven changes in hydrology mobilize arsenic and metals from legacy mine waste. *Science of the Total Environment*, 743
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140635>
- Oliveira-Filho, E. C., Brito, D. Q., Dias, Z. M. B., Guarieiro, M. S., Carvalho, E. L., Fascineli, M. L., ... Grisolia, C. K. (2018). Effects of ashes from a Brazilian savanna wildfire on water, soil and biota: An ecotoxicological approach. *Science of The Total Environment*, 618, 101-111.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.051>

- Pausas, J. P. & Keeley, J. E. (2019). Wildfires as an ecosystem service. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 17(5), 289-295. DOI: <https://doi.org/10.1002/fee.2044>
- Pereira, P., Úbeda, X. & Martin, D. A. (2012). Fire severity effects on ash chemical composition and water-extractable elements. *Geoderma*, 191(), 105-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.005>
- Qin, Q. & Liu, Y. (2021). Changes in microbial communities at different soil depths through the first rainy season following severe wildfire in North China artificial *Pinus tabulaeformis* forest. *Journal of Environmental Management*, 280. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111865>
- Ribeiro J., Marques, J. E., Mansilha, C. & Flores, D. (2020). Wildfires effects on organic matter of soils from Caramulo Mountain (Portugal): environmental implications. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(1), 819-831. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-020-10520-w>
- Rovira, P., Romanyà, J. & Duguay, B. (2012). Long-term effects of wildfires on the biochemical quality of soil organic matter: A study on Mediterranean shrublands. *Geoderma*, 9-19. DOI: [10.1016/j.geoderma.2012.02.011](https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.02.011)
- Sazawa, K., Yoshida, H., Okusu, K., Hata, N. & Kuramitz, H. (2018). Effects of forest fire on the properties of soil and humic substances extracted from forest soil in Gunma, Japan. *Environmental Science and Pollution Research*. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-3011-1>
- Semenova-Nelsen, T. A., Platt, W. J., Patterson, T. R., Huffman, J. & Sikes, B. A. (2019). Frequent fire reorganizes fungal communities and slows decomposition across a heterogeneous pine savanna landscape. *New Phytologist*. 224, 916-927. DOI: <https://doi.org/10.1111/nph.16096>
- Smith, G. R., Edy, L. C. & Peay, K. G. (2021). Contrasting fungal responses to wildfire across different ecosystem types. *Molecular Ecology*. 30(3), 844-854. DOI: <https://doi.org/10.1111/mec.15767>
- Sulwiński, M., Mętrak, M. & Suska-Malawska, M. (2017). Long-term fire effects of the drained open fen on organic soils. *Environmental Protection*, 43(1), 11-19. DOI: <https://doi.org/10.1515/aep-2017-0002>
- Swindle, C., Shankin-Clarke, P., Meyerhof, M., Carlson, J. & Melack, J. (2021). Effects of Wildfires and Ash Leaching on Stream Chemistry in the Santa Ynez Mountains of Southern California. *Water*, 13, 2402. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13172402>.
- Vergani, C., Werlen, M., Conedera, M., Cohen, D. & Schwarz, M. (2017). Investigation of root reinforcement decay after a forest fire in a Scots pine (*Pinus sylvestris*) protection forest. *Forest Ecology and Management*, 400, 339-352.