

**POCI/AGR/59180/2004**

***AVALIAÇÃO DO IMPACTE DE FOGOS FLORESTAIS NOS  
RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS***

**Relatório de Execução Material**

**do ano de 2007**



**LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL**

Departamento de Hidráulica e Ambiente  
Núcleo de Águas Subterrâneas



**Instituto Politécnico de Castelo Branco  
Escola Superior Agrária**

**INETI**

**Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação, I.P.**  
Departamento de Hidrogeologia

Departamento de Engenharia Energética e Controlo Ambiental  
Núcleo de Caracterização de Cinzas dos Processos Termoquímicos

## 1 Introdução

O presente relatório apresenta os trabalhos desenvolvidos no âmbito deste Projecto desde 1 de Janeiro de 2007 até 31 de Dezembro de 2007, correspondendo esta última data a 32 meses de decurso do Projecto.

Os grandes objectivos deste Projecto são o estudo do impacte dos fogos na quantidade de água nas diferentes componentes do ciclo hidrológico e o estudo do impacte das substâncias poluentes (existentes nas cinzas florestais) no solo e no meio hídrico subterrâneo.

O relatório organiza-se pela descrição das tarefas a desenvolvidas que, recorde-se, são as seguintes:

- T1 – Selecção das áreas de estudo;
- T2 – Caracterização agro-florestal;
- T3 – Caracterização de cinzas e testes laboratoriais de combustão;
- T4 – Modelação do ciclo hidrológico e caracterização da qualidade da água;
- T5 – Coordenação e integração.

As datas de início e finalização de cada tarefa, obtidas por translação de quatro meses do calendário inicialmente proposto, devida ao início do Projecto quatro meses após a data inicialmente prevista, são as apresentadas no Quadro 1.

**Quadro 1 - Datas de Início e finalização de cada tarefa e esforço para cumprir cada tarefa**

Tarefa	Data de início	Data de fim	Esforço (Pessoa * mês)
T1	2005-05-01	2005-10-30	3,7
T2	2005-08-01	2007-04-30	16,9
T3	2006-01-01	2007-09-30	14,9
T4	2005-08-01	2008-04-30	18,7
T5	2005-05-01	2008-04-30	10,5

Na sequência do deferimento do pedido realizado pela Coordenação, a data de conclusão da primeira fase do Projecto passou a ser 2008-06-30, e da segunda fase passou a ser 2008-12-31, pelo que as tarefas indicadas no Quadro 1 se estenderão até esta última data.

## 2 Selecção das áreas de estudo (Tarefa T1)

A selecção das áreas de estudo foi uma tarefa desempenhada por toda a equipa do Projecto.

As áreas de estudo são as já definidas no ano de 2006 (Relatório de Progresso do 2º Ano):

- bacias hidrográficas a montante das estações hidrométricas 17L/01-Ponte de Panasco (representativa de uma área ardida) e 18L/01-Couto de Andreiros (representativa de uma área não ardida, utilizada para comparação com os escoamentos da bacia anterior).
- área do vale do Zêzere a montante de 11L/02-Manteigas (área ardida durante 2005, para estudar o impacto nos escoamentos).
- quatro áreas do concelho de Mação: área a montante da ribeira dos Currais (no Caratão, área ardida, com estudos já existentes); bacia hidrográfica da ribeira do Carvoeiro (área ardida recentemente); bacia hidrográfica da ribeira da Quebrada (área não ardida, para comparar a qualidade

da água com a da bacia anterior); área ardida em Penhascoso (ardida em 2006-08-04, para estudos de qualidade e quantidade, nos solos e nas águas superficiais e subterrâneas).

### 3 Caracterização agro-florestal (Tarefa T2)

Esta tarefa teve como principal responsável a ESACB.

No ano de 2007 complementou-se a inventariação de informação relativa aos solos e vegetação, já realizada em 2006 para as áreas das bacias hidrográficas do Caratão e do Carvoeiro, com a informação relativa à bacia hidrográfica da Quebrada (rede de amostragem reproduzida na Figura 1) e às áreas recentemente ardidas no Penhascoso e no Vale do rio Zêzere (rede de amostragem reproduzida na Figura 2).

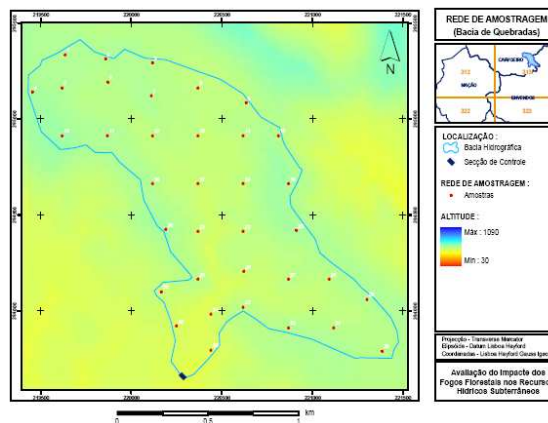


Figura 1 – Distribuição espacial das amostras na bacia da Quebrada.

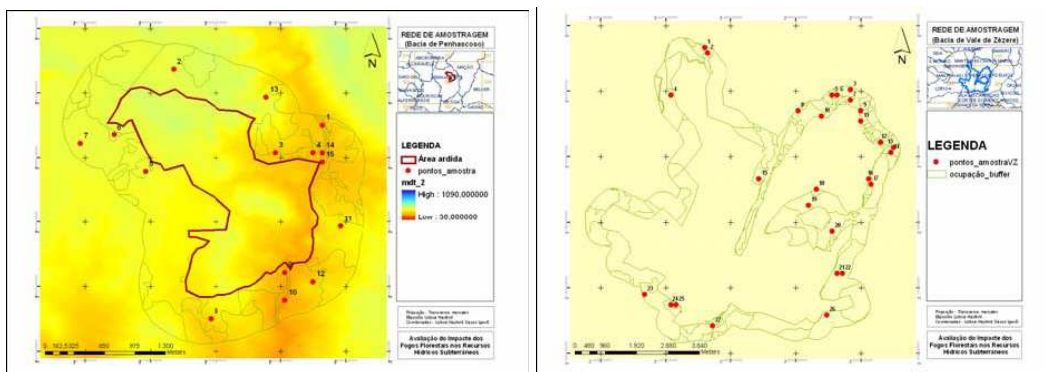


Figura 2 – Distribuição espacial das amostras nas áreas ardidas e zona envolvente (Penhascoso e Vale do Zêzere).

De acordo com a informação recolhida procedeu-se a uma análise estatística e respectiva representação espacial das variáveis em estudo com o intuito de:

- compreender a importância das variáveis ambientais para as comunidades vegetais nas áreas em apreço;
- quantificar as preferências de habitat por parte das mesmas espécies;
- classificar os inventários realizados com base em critérios de dominância e de semelhança na composição florística.



O inventário das espécies arbóreas e arbustivas e respectiva caracterização dendrométrica, de acordo com a respectiva ficha de campo, permite estimar, através de modelos de previsão do crescimento das espécies, a biomassa disponível.

A caracterização da ocupação do solo anterior ao fogo florestal em áreas recentemente ardidadas no Penhascoso (concelho de Mação) e no Vale do rio Zêzere (concelho de Manteigas) permite definir quantitativamente e qualitativamente o seu contributo para a produção de cinzas. Foi realizada uma amostragem estratificada aplicada às zonas não ardidadas contíguas às áreas afectadas por incêndios (Figura 2), sendo realizados 3 inventários por estrato com uma ocupação idêntica aos estratos identificados para a área ardidada.

Os trabalhos e resultados obtidos podem ser vistos no Relatório anexo elaborado pela ESACB.

#### 4 Caracterização de cinzas e testes laboratoriais de combustão (Tarefa T3)

Esta tarefa tem como responsável o INETI-DEECA.

Efectuou-se a caracterização físico-química de amostras de solos, cinzas colhidas em campo e suas misturas com solos. Do conjunto dos parâmetros analisados mostra-se na Figura 3 os teores em metais pesados. Não se detectou a presença de Cd e os teores de outros metais apresentaram-se geralmente abaixo dos 30 mg/kg, à excepção do Zn, com variações entre cerca de 15 e 120 mg/kg, e do Mn, em maiores proporções, de 50 a 2000 mg/kg em solos e suas misturas com cinzas, e de 700 a 4000 mg/kg em cinzas.

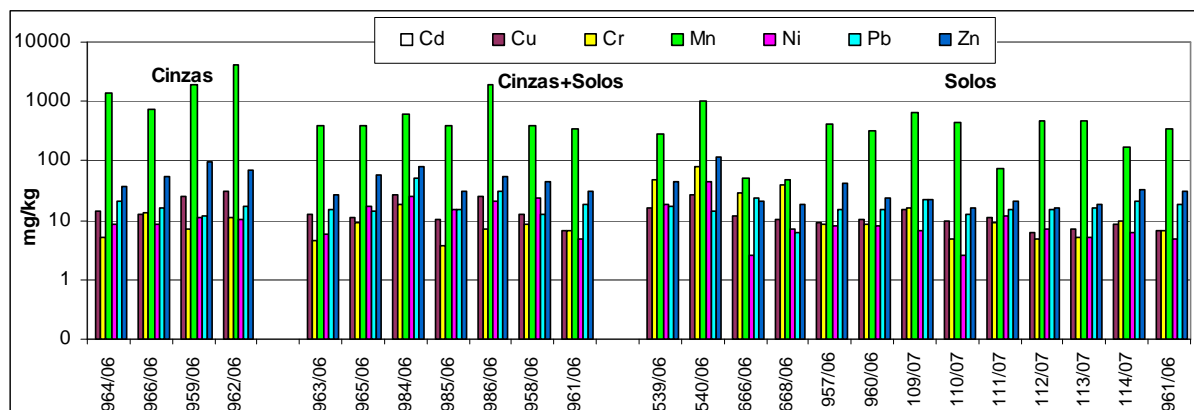


Figura 3 – Teores em metais pesados de cinzas e solos.

Efectuaram-se ainda ensaios de lixiviação normalizados (Norma EN-12457), de solos e de cinzas, com vista a avaliar o potencial de transferência de espécies químicas com possível impacto ao nível de qualidade das águas. Apresenta-se os resultados da solubilização dos metais pesados (Figura 4). Verificou-se que para a maioria das amostras os metais não são libertados em níveis significativos, à excepção do Zn e do Mn, o que se verifica indistintamente para os vários tipos de amostras.



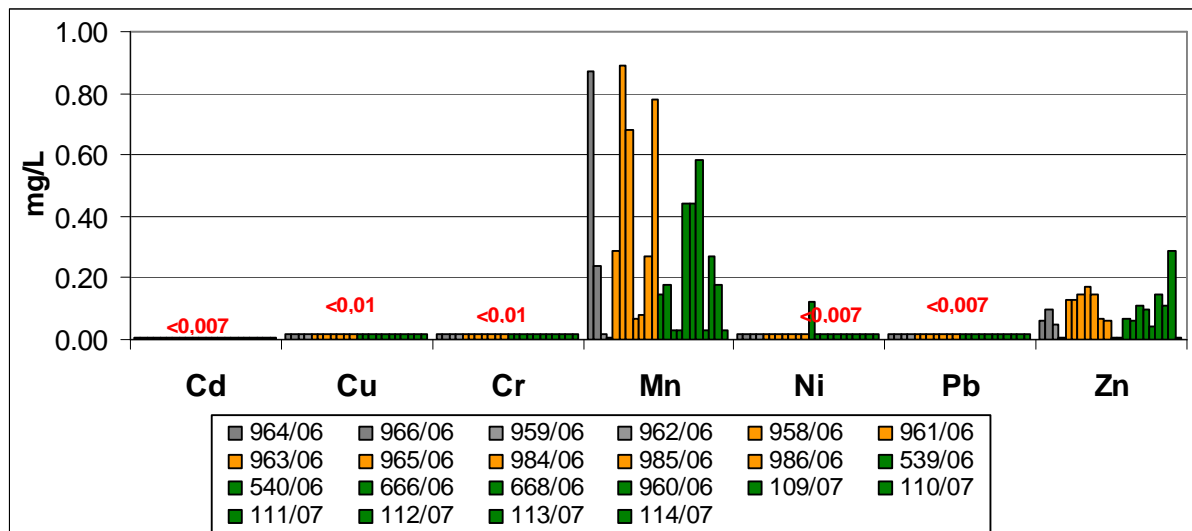


Figura 4 – Solubilização de metais pesados por lixiviação de cinzas e solos.

Caracterizaram-se as cinzas produzidas em ensaios de combustão de espécies florestais e arbustivas colhidas nas regiões em estudo. Foram queimadas amostras de arbustos, ramagem de Oliveira, ramagem e casca de Eucalipto e ramagem de Pinheiro.

Os teores de cinza obtidos variaram entre 1,3 e 3,6% (relativos à massa inicial de biomassa usada em cada ensaio, com uma humidade reduzida (em avaliação) - Figura 5. Verificou-se que os teores são mais elevados no caso das cinzas de eucalipto, quer de folhas, quer de casca.

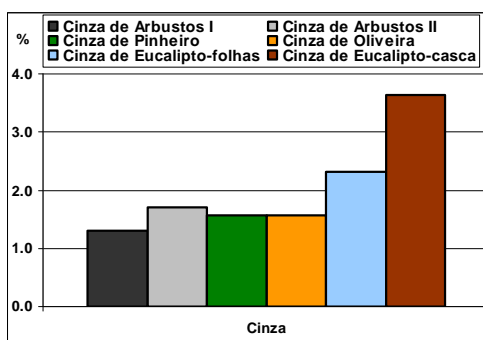


Figura 5 – Taxa de produção de cinzas de combustão de biomassas.

Nas cinzas de biomassa - Figura 6 - não se encontraram níveis de Cd detectáveis. No entanto os valores de Zn são significativos, verificando-se também vestígios de Cu, Ni e Pb. O manganês encontra-se em níveis superiores ao dos outros metais pesados, sendo especialmente importante em cinzas de eucalipto.

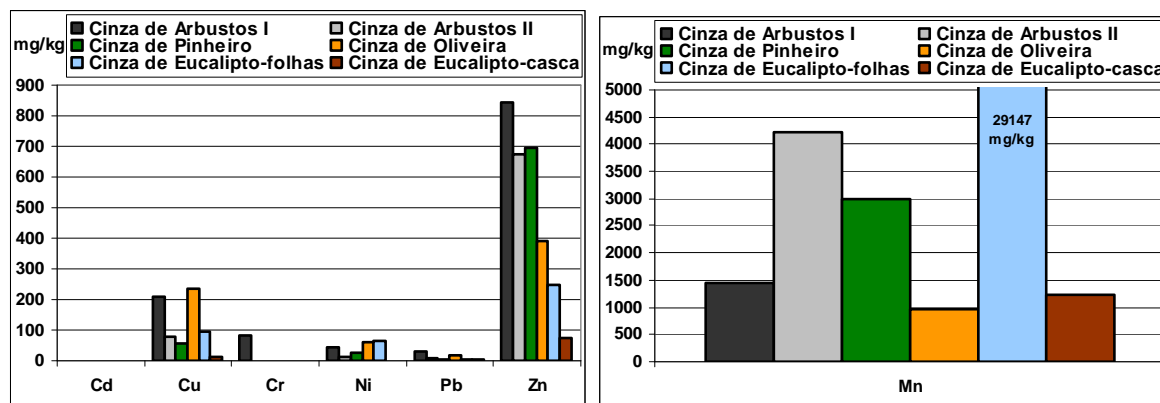


Figura 6 – Teores de metais pesados em cinzas de combustão de biomassas.

Nos lixiviados das cinzas da biomassa (Figura 7), verificou-se que os metais pesados apresentam valores insignificantes, ocorrendo casos pontuais de lixiviação das cinzas de eucalipto-folhas, de Cr, Ni e Pb.

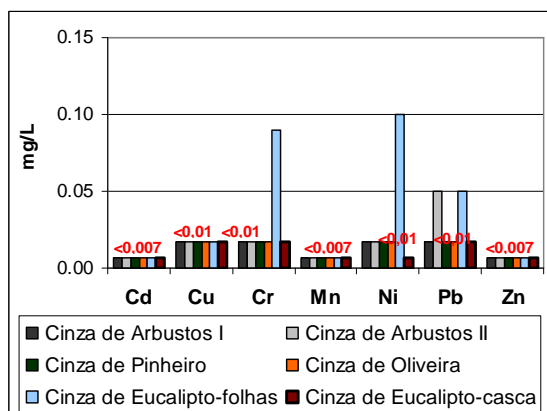


Figura 7 – Solubilização de metais pesados por lixiviação de cinzas de combustão de biomassas.

Para além dos metais pesados cujos resultados foram apresentados, nos solos, cinzas e mistura de solos e cinzas também foram analisados: Al, Ca, Fe, K, Na, Mg, S, N, Cl, carbono total e mercúrio. Nos lixiviados foram também analisados: pH, condutividade eléctrica, Al, Ca, Fe, K, Na, Mg, Cl,  $\text{SO}_4$  e  $\text{NO}_3$ . Estes resultados e toda os trabalhos desenvolvidos na Tarefa T3 podem ser vistos no relatório de Lopes *et al.* (2008) que se anexa.

De acordo com as conclusões desse relatório, verifica-se que tanto as cinzas de incêndios colhidas em campo, como os solos e suas misturas com cinzas ou cinzas obtidas em laboratório, apresentam uma variedade de metais, em níveis diferentes e com comportamentos distintos. Os metais mais solubilizáveis são em geral o Ca, K e também o Na e Mg. Para além deste verificam-se também níveis significativos de solubilização de cloro e sulfato.

Alguns metais pesados apresentam-se em níveis vestigiais, sendo o Mn o que se apresenta em teores mais elevados nos vários tipos de amostras. A maioria dos metais não é lixiviável, ocorrendo no entanto a lixiviação de Mn e Zn em amostras de cinzas e solos colhidos em campo, mas não em cinzas de biomassa obtidas em laboratório.

As diferentes propriedades exibidas pelas amostras nos ensaios de lixiviação, nomeadamente em termos de pH, poderão justificar as diferenças de libertação dos seus componentes. Quer o estado



de envelhecimento das amostras ambientais, quer a sujeição a condições ambientais naturais, mais agressivas do que o contacto com água (efectuado em laboratório) poderão justificar as diferentes tendências observadas.

Por forma a melhor poder elucidar os factos observados serão efectuados ensaios de lixiviação com simulação de águas das chuvas (SAR), em amostras seleccionadas. Serão também estudadas misturas de cinzas obtidas em laboratório com amostras de solos, por forma a averiguar as interacções no que diz respeito à libertação de substâncias a partir das cinzas, numa fase inicial, quando em contacto com solos.

## **5 Modelação do ciclo hidrológico e caracterização da qualidade da água (Tarefa T4)**

Esta tarefa tem como principais intervenientes o LNEC e o INETI-DH.

Relativamente à modelação hidrológica que permite o estudo do impacto dos fogos na quantidade de água nas diferentes componentes do ciclo hidrológico, foram consideradas como áreas de estudo a bacia hidrográfica a montante da estação hidrométrica de Ponte Panasco e a bacia hidrográfica a montante da estação de Manteigas. Para comparação com a primeira bacia, utilizou-se a bacia hidrográfica a montante de Couto de Andreiros.

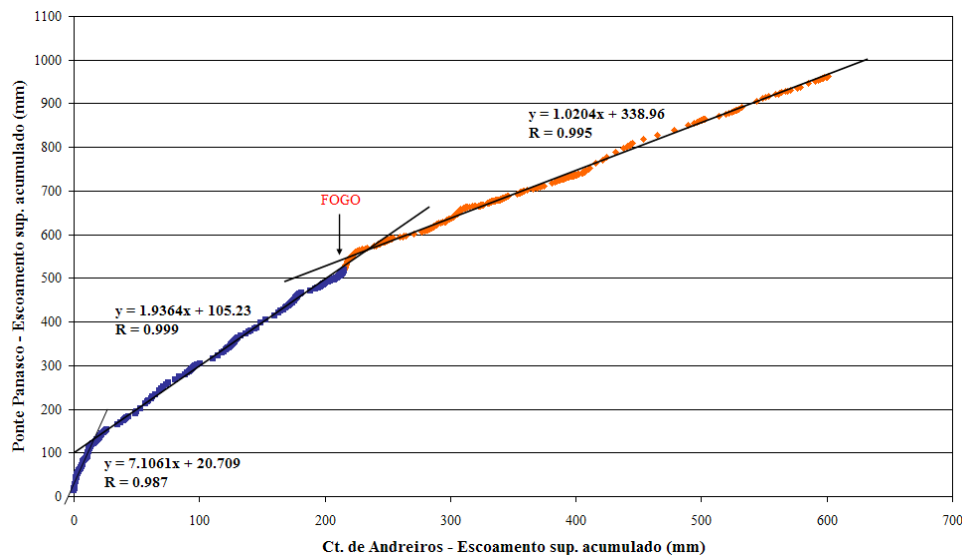
O desenvolvimento desta actividade contou com a colaboração do estagiário Nuno Martinho, aluno do último ano da Licenciatura em Engenharia do Ambiente, da Escola Superior de Tecnologia e Gestão, do Instituto Politécnico de Leiria, que desenvolveu o seu estágio no LNEC, de Março a Agosto de 2007.

Durante o desenvolvimento do estágio foi feita a revisão bibliográfica sobre a matéria, onde se incluiu, a descrição do fenómeno do fogo, a caracterização dos fogos em Portugal, os estudos existentes do impacto dos fogos na parte quantitativa do ciclo hidrológico, e os métodos para fazer a sua análise (incluindo a decomposição do escoamento superficial em escoamentos directo e de base).

De acordo com os resultados obtidos a partir do cruzamento dos dados da monitorização de escoamento superficial e precipitação verificou-se para a bacia de Ponte Panasco, a existência de perturbações causadas pelo fogo sobre o escoamento superficial (Figura 8) e suas componentes e consequentemente nos processos de recarga/descarga.

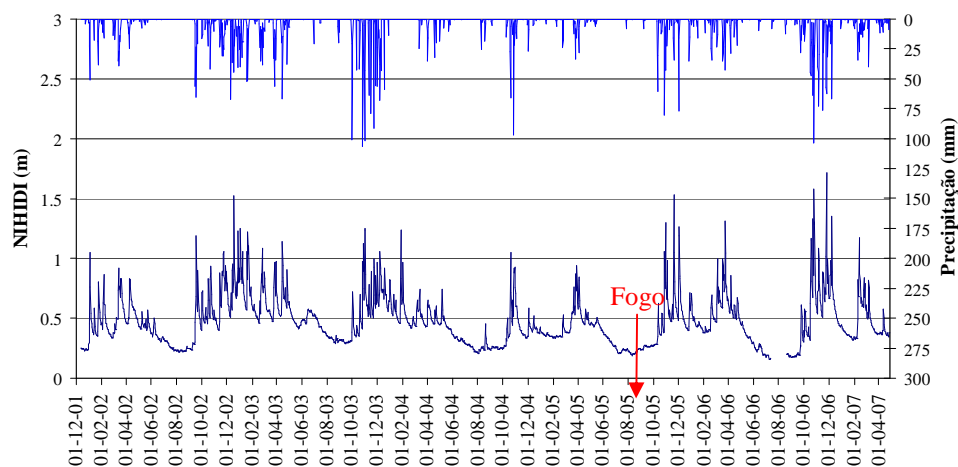
Todavia as alterações no regime pluviométrico, um curto período de monitorização e o desconhecimento de outros parâmetros além do escoamento e da precipitação, tornaram os resultados inconclusivos quanto à magnitude da alteração causada.





**Figura 8 – Curva de dupla acumulação para o escoamento superficial (mm) para a bacia de Ponte Panasco em comparação com a bacia de Couto de Andreiros, para o período de 12/07/2001 a 28/12/2006.**

No caso de estudo da bacia de Manteigas verificou-se uma subida dos níveis hidrométricos no período pós fogo (Figura 9). Todavia, a inexistência de curva de vazão para a estação hidrométrica impossibilitou análises posteriores.



**Figura 9 – Precipitação e nível hidrométrico instantâneo (NIHIDI) antes e após o fogo, para a bacia de Manteigas, denotando-se a lacuna dos dados de NIHIDI.**

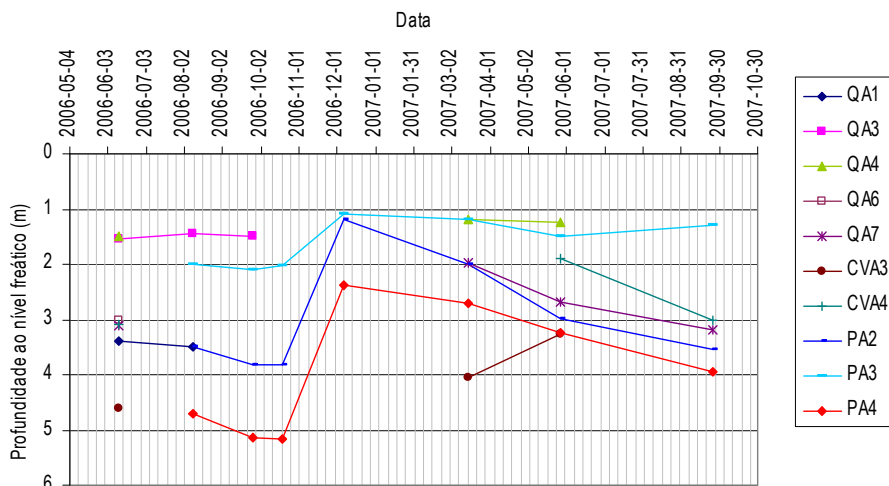
O desenvolvimento desta actividade é apresentado em relatório anexo da autoria de Martinho e Oliveira (2008).

Relativamente à caracterização da qualidade da água, para dar cumprimento ao estudo do impacto das substâncias poluentes existentes nas cinzas florestais nos solos e nos corpos hídricos, foi levado a cabo um plano de monitorização e amostragem de águas subterrâneas e superficiais e de solos nas áreas de estudo do Caratão, Quebrada, Carvoeiro e Penhascoso. Este Plano foi iniciado em 2006 e continuado em 2007 com campanhas realizadas em 15-Março-2007, 28-Maio-2007 e 25-Setembro-2007. Foi também feita a monitorização dos níveis freáticos em poços.



Ao todo existem 4 pontos de amostragem de solo e 23 pontos de amostragem de água, sendo 3 em charcas, 5 em linhas de água, 10 em poços existentes, 3 em nascentes, 1 num talhão de escoamento directo e 1 num furo de abastecimento de água.

Relativamente à monitorização dos níveis freáticos, apresenta-se na Figura 10 a evolução dos níveis medidos em poços desde que eles são monitorizados nas áreas em estudo de Penhascoso, Quebrada e Carvoeiro.



**Figura 10 – Níveis freáticos registados nas áreas de estudo do Penhascoso, Quebrada e Carvoeiro.**

A análise global da qualidade química do solo e das águas foi orientada de acordo com os elementos poluentes provenientes dos fogos florestais. Na sua origem estão incluídos grupos de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs) e elementos maiores (cloreto, sulfato, bicarbonato, nitrato, fluoreto, fosfato, cálcio, magnésio, sódio e potássio).

A primeira análise dos resultados da monitorização de 2006 nos quatro locais de estudo permitiu verificar a presença de elementos nas águas subterrâneas e superficiais cuja origem se deverá às cinzas dos incêndios e aos solos. Pelo menos 10 dos 16 HAPs considerados prioritários pela US EPA – acenafileno, antraceno, benzo(a)antraceno, benzo(b)fluoranteno, criseno, fluoranteno, fluoreno, indeno(1,2,3-cd)pireno, naftaleno, fenantreno e pireno – foram identificados nas amostras de solos queimados recolhidos em 2006 na área de estudo de Penhascoso, verificando-se que os valores registados para os HAPs individualmente são bastante inferiores aos esperados. Nas amostras de solos recolhidas em 2007 já não se encontraram HAPs.

Relativamente às amostras de água subterrânea e superficial recolhidas em 2006, não se verificou a presença de Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (HAPs), com excepção das amostras de água recolhidas no talhão de escoamento, onde se verificou a presença de acenafeno e naftaleno.

De entre o conjunto de elementos maiores identificados como potencialmente originados pelos incêndios, especialmente na zona de Penhascoso (ardida em 4 de Agosto de 2006) referem-se: carbono, potássio, fósforo e sílica. Os restantes elementos, cálcio, magnésio, sódio, azoto, sulfato podem ter ou não origem nos fogos florestais. As Figura 11 e Figura 12 mostram, ao longo do tempo, os resultados obtidos para os fosfatos e para a sílica.



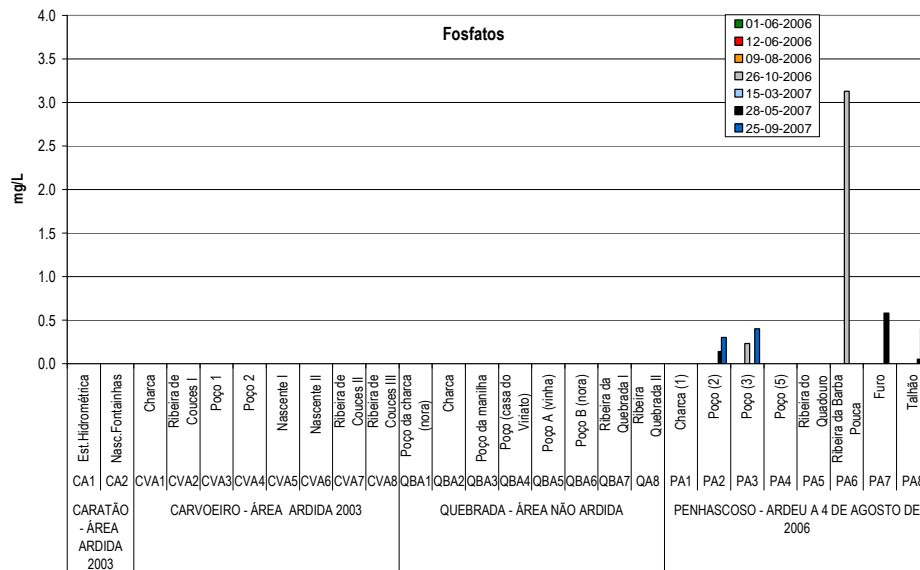


Figura 11 – Valores de concentração em fosfatos nas bacias do Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso

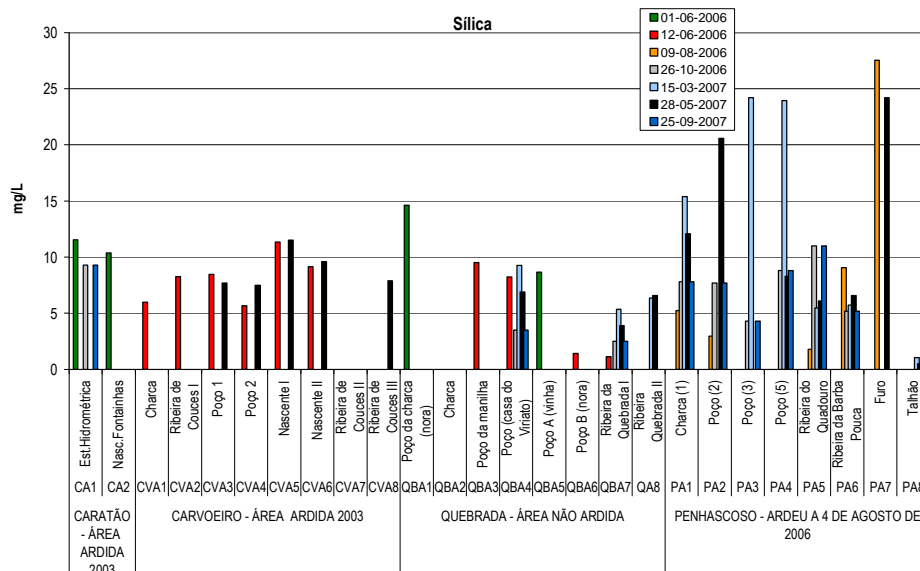


Figura 12 – Valores de concentração em sílica nas bacias do Caratão, Carvoeiro, Quebrada e Penhascoso

Os resultados mais detalhados e as conclusões sobre os aspectos de qualidade da água subterrânea e superficial e dos solos são apresentados em relatório anexo da autoria de Laranjeira e Leitão (2008).

## 6 Coordenação e integração (Tarefa T5)

A Coordenação é da responsabilidade do LNEC. A integração é feita com a participação de todas as equipas. Para além das três campanhas de monitorização e amostragem já referidas, realizou-se em 20-Abril-2007 uma reunião geral do Projecto e em 12-Dezembro-2007 um Workshop



dedicado ao Projecto intitulado "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacto dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água", com o seguinte programa e intervenientes:

09:30 – Abertura e apresentação do Projecto " <i>Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos</i> ", João Paulo Lobo Ferreira (LNEC)
10:00 – " <i>Estudo do impacte dos fogos florestais na parte quantitativa do ciclo hidrológico</i> ", Manuel M. Oliveira (LNEC) e Nuno Martinho (IPLeiria)
10:30 – " <i>Impacte dos fogos florestais na qualidade da água</i> ", Isabel Laranjeira (LNEC) e Teresa Leitão (LNEC)
11:00 – " <i>Effects of the overland fire on stream health as measured by stream chemistry and benthic macroinvertebrate indices</i> ", Rosário Pereira (UTAD)
11:30 – Pausa para café
12:00 – " <i>Impacte dos fogos florestais na qualidade ecológica das Ribeiras de Monchique</i> ", Paulo Pinto (U. Évora)
12:30 – "David contra Golias: uma luta de todos os dias em Mação", António Louro (CMMação)
13:00 – Almoço
14:30 – " <i>Changes in land use and land management practices affecting land degradation within forest and grazing ecosystems in Western Mediterranean</i> ", Celeste Coelho (U. Aveiro)
15:00 – " <i>Spatial and temporal patterns of solute loss following wildfires in central Portugal</i> ", Dinis Ferreira (U. Aveiro)
15:30 – " <i>Caracterização e análise do coberto vegetal lenhoso e o seu contributo para a produção de cinzas resultantes de incêndios florestais</i> ", Paulo Fernandez; Luís Quinta-Nova; Rui Tujeira (ESACB)
16:00 – " <i>Características das cinzas de incêndios</i> ", M. Helena Lopes (INETI)
16:30 – " <i>Repercussões de Fogos Florestais</i> ", João Pinho (Direcção-Geral de Recursos Florestais)
17:00 – Debate

O folheto de divulgação do workshop pode ser consultado em [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/novidades/FolhetoWSFogos\\_final3.pdf](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/novidades/FolhetoWSFogos_final3.pdf)). As apresentações em powerpoint são apresentadas em Anexo a este documento e podem também ser consultadas on-line em [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/novidades/workshop\\_lista](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/novidades/workshop_lista).

O Projecto tem uma página de divulgação na Internet onde pode ser consultada diversa informação: [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/estudos\\_id/Ficha\\_POCI\\_Fogos\\_PT](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nas/estudos_id/Ficha_POCI_Fogos_PT).

Ao longo do ano relevam-se no Quadro 2 as principais actividades do Projecto (missões à área de estudo, reuniões e workshop).



**Quadro 2 – Reuniões e missões do Projecto**

<b>Data</b>	<b>Local</b>	<b>Objectivo</b>	<b>Presenças (Instituição)</b>
2007-03-15	Mação	Monitorização e amostragem de águas e solos. Verificação dos locais para montagem de estação hidrométrica (Quebrada e Carvoeiro)	Isabel Laranjeira (aquisição de Serviços - LNEC) Manuel Mendes Oliveira (LNEC) Miguel Gamboa
2007-04-20	Lisboa, LNEC	Reunião plenária do Projecto, no LNEC	João Paulo Lobo Ferreira (LNEC) Manuel Mendes Oliveira (LNEC) Isabel Laranjeira (aquisição de Serviços - LNEC) Nuno Martinho (estágio Inst. Polit. Leiria) Luís Quinta-Nova (ESACB) Paulo Fernandez (ESACB) Rui Tojeira (aquisição de Serviços – ESACB) Eduardo Paralta (INETI-DH) Maria Helena Lopes (INETI-DEECA)
2007-05-28	Mação	Monitorização e amostragem de águas e solos	Isabel Laranjeira (aquisição de Serviços - LNEC) Manuel Mendes Oliveira (LNEC) Nuno Martinho (estágio Inst. Polit. Leiria)
2007-09-25	Mação	Monitorização e amostragem de águas e solos	Isabel Laranjeira (aquisição de Serviços - LNEC) Odair Maurício (LNEC)
2006-12-12	Lisboa, LNEC	Workshop "Estratégias e respostas para minimizar o efeito do impacto dos fogos florestais na quantidade e na qualidade da água"	Ver programa.

**7 Anexos**

Fazem parte deste Relatório de Execução Material os seguintes anexos:

ESACB (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. 3º Relatório de Progresso. Relatório de progresso. Relatório referente ao 3º ano de execução." ESACB.

LARANJEIRA, I.; LEITÃO, T. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Análise do impacto dos fogos florestais na qualidade química das águas superficiais e subterrâneas das áreas de estudo da Região Centro". 3.º Relatório de Progresso relativo ao ano de 2007. LNEC.

LOPES, M.H.; FREIRE, M.; GALHETAS, M. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. 3º Relatório de Progresso". INETI/DEECA.

MARTINHO, N.; OLIVEIRA, M.M. (2008) – "Avaliação do Impacte de Fogos Florestais nos Recursos Hídricos Subterrâneos. Estudo do impacto dos fogos florestais na parte quantitativa do ciclo hidrológico". LNEC.



## 8 Equipa responsável pelo Relatório de Execução Material (e anexos)

### **Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Coordenação)**

João Paulo Lobo Ferreira  
Manuel Mendes de Oliveira  
Teresa E. Leitão  
Isabel Laranjeira (aquisição de serviços)  
Miguel Gamboa (participante convidado)  
Nuno Martinho (estágio do Instituto Politécnico Leiria)

### **Escola Superior Agrária de Castelo Branco (ESACB)**

Paulo Fernandez  
Luís Quinta-Nova  
Rui Tujeira (aquisição de serviços)

### **Instituto Nacional de Engenharia, Tecnologia e Inovação (INETI)**

Maria Helena Lopes (DEECA)  
Márcia Freire (DEECA)  
Margarida Galhetas (DEECA)  
Eduardo Paralta (DH)

