



AVALIAÇÃO DO IMPACTE DE FOGOS FLORESTAIS EM RECURSOS HÍDRICOS SUBTERRÂNEOS

PROJECTO POCI/AGR/59180/2004

João Paulo LOBO FERREIRA (Coord.)

Manuel OLIVEIRA

Isabel LARANJEIRA

Teresa LEITÃO

Luís QUINTA-NOVA

Paulo FERNANDEZ

Maria Helena LOPES

Eduardo PARALTA

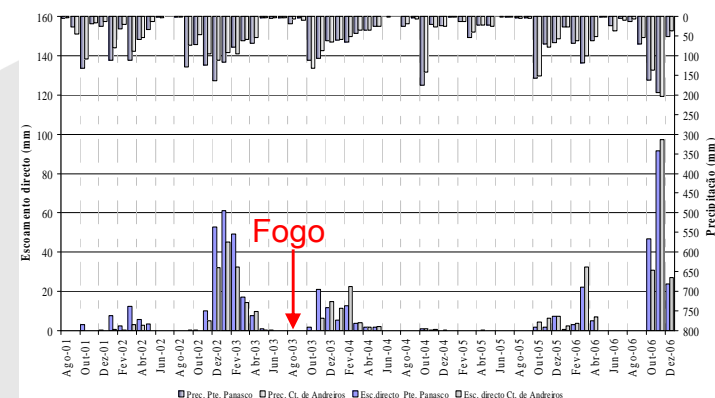
Considerações gerais

- **Objectivos:**
- Contribuir para a análise do impacte dos fogos florestais nas águas superficiais e subterrâneas (qualidade e quantidade), considerando o tipo de vegetação ardida, diferentes condições climáticas, morfológicas, geológicas e hidrológicas, o que inclui (objectivos específicos do estudo):
 - *Avaliação dos impactes sobre os aspectos quantitativos do ciclo hidrológico:*
 - (1) componente superficial (escoamento superficial, evapotranspiração) e
 - (2) subterrânea (recarga);
 - *Avaliação dos impactes sobre a qualidade das águas superficiais e subterrâneas, o que envolve:*
 - (1) Caracterização dos contaminantes da biomassa ardida entrados nos solos e ciclo hidrológico;
 - (2) Avaliação do processo de fixação/libertação de poluentes em campo a partir da biomassa ardida e solos de áreas ardidas;
 - (3) Avaliação de campo da qualidade das águas superficiais e subterrâneas de áreas ardidas
 - *Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação quantitativa do impacte dos fogos sobre a qualidade das águas, aplicada a casos reais de estudo;*
 - *Identificação, num enquadramento DPSIR, de um conjunto de medidas de mitigação e prevenção dos impactes dos fogos, discriminadas em obediência ao parâmetro R – Resposta da metodologia DPSIR.*

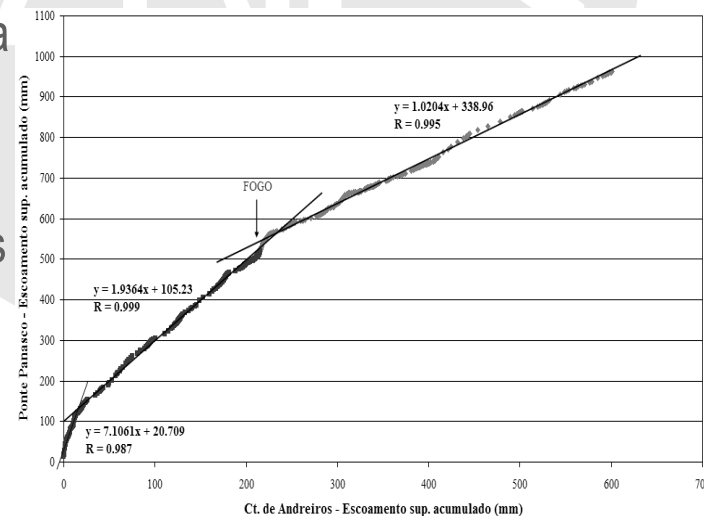
E7: Impacte dos Fogos Florestais nas Águas Subterrâneas

● Principais resultados

- Para algumas bacias foi possível verificar a subida do escoamento superficial após o fogo e uma mais célere resposta do escoamento face à precipitação
- Assim como uma redução do valor médio do escoamento de base na ordem dos 61%, entre período antes e pós-fogo (em parte devido também a descida da precipitação).
- Na caracterização dos contaminantes da biomassa ardida que entram nos solos e no ciclo hidrológico o carbono surge com a maior percentagem de formação, seguindo-se um conjunto de elementos maiores (e.g. Ca, K, Mg, Na) que podem posteriormente ser lixiviados. O Mn liberta-se em áreas de pinheiros (resultante da queima da agulha de pinheiros).



Escoamento directo e precipitação na bacia de Ponte Panasco e de Couto de Andreiros



Curva de dupla acumulação do escoamento superficial (mm) na bacia de Ponte Panasco vs. bacia de Couto de Andreiros (período 12/07/2001 a 28/12/2006)

T4 – Modelação do ciclo hidrológico

Input files, total flow, precipitation

Output files

Programa DECHDR_VB

Programa DECHDR_VB

Gráficos de decomposição

- Ver um episódio...
- Ver todos episódios num período
- Ver todos num período...
- Frequências acumuladas do esc. base
- Ver série total por episódio
- Ver série total sem episódios



2005

T2 – CARACTERIZAÇÃO AGRO - FLORESTAL

Ocupação do solo, Corine Land Cover 2000

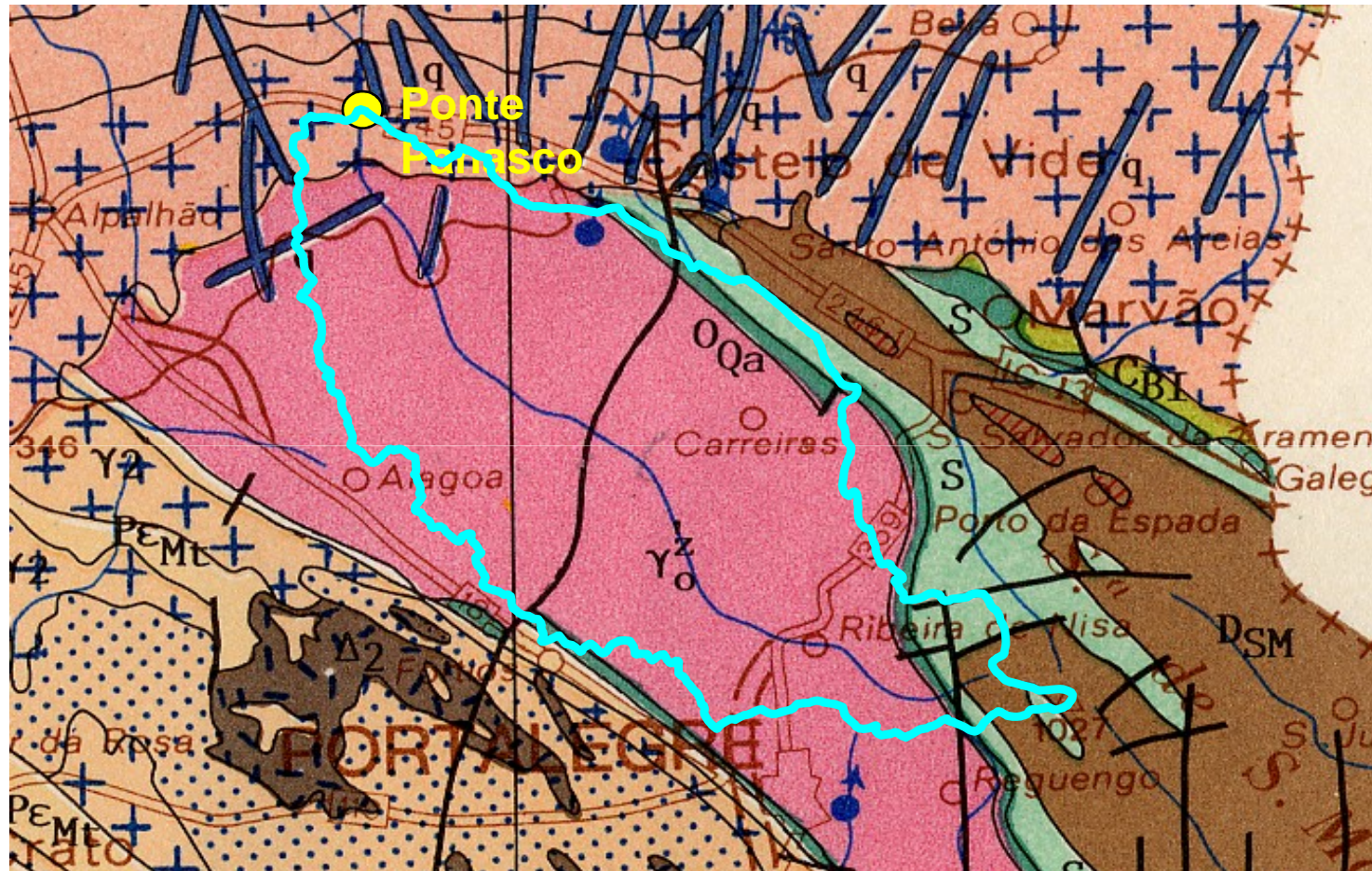


Ponte Panasco

© INEC 2006

Classe	Couto de Andreiros		Ponte Panasco	
	%	hectares	%	hectares
Agricultura com espaços naturais	2,5	612	20,7	2060
Culturas anuais associadas às culturas permanentes	0,8	199		
Culturas anuais de regadio	0,1	26		
Culturas anuais de sequeiro	17,0	4117	2,5	252
Espaços florestais degradados, cortes e novas plantações	1,0	237	7,7	763
Florestas de folhosas	33,5	8125	38,6	3835
Florestas de resinosas			1,7	174
Florestas mistas	1,2	300	3,8	383
Indústria, comércio e equipamentos gerais	0,7	181		
Matos	0,8	187	10,3	1026
Olivais	4,1	1001	5,4	542
Pastagens naturais			1,2	122
Planos de água	0,1	25		
Pomares	1,1	263		
Sistemas agro-florestais	33,7	8165	6,8	672
Sistemas culturais e parcelares complexos	1,6	392	1,1	109
Tecido urbano contínuo	0,1	31		
Tecido urbano descontínuo	0,5	129	0,0	2
Vegetação esclerofítica	0,3	65		
Vinhas	0,8	199		

Geologia



Fonte: Carta Geológica de Portugal
Escala 1:500 000 (IGM, 1992)

Considerações gerais

- > Este estudo realizou-se no âmbito do **PROJECTO POCI/AGR/59180/2004 - Avaliação do Impacte de fogos florestais nas águas subterrâneas**, envolvendo além do LNEC-NAS, as equipas do:



INSTITUTO POLITÉCNICO DE CASTELO BRANCO
ESCOLA SUPERIOR AGRÁRIA



INETI



Fase de Combustão inicial
(Combustão dos Voláteis)



Fase de Combustão final
(Combustão do Char)



Registador de Temperatura
ligado a termopar tipo K

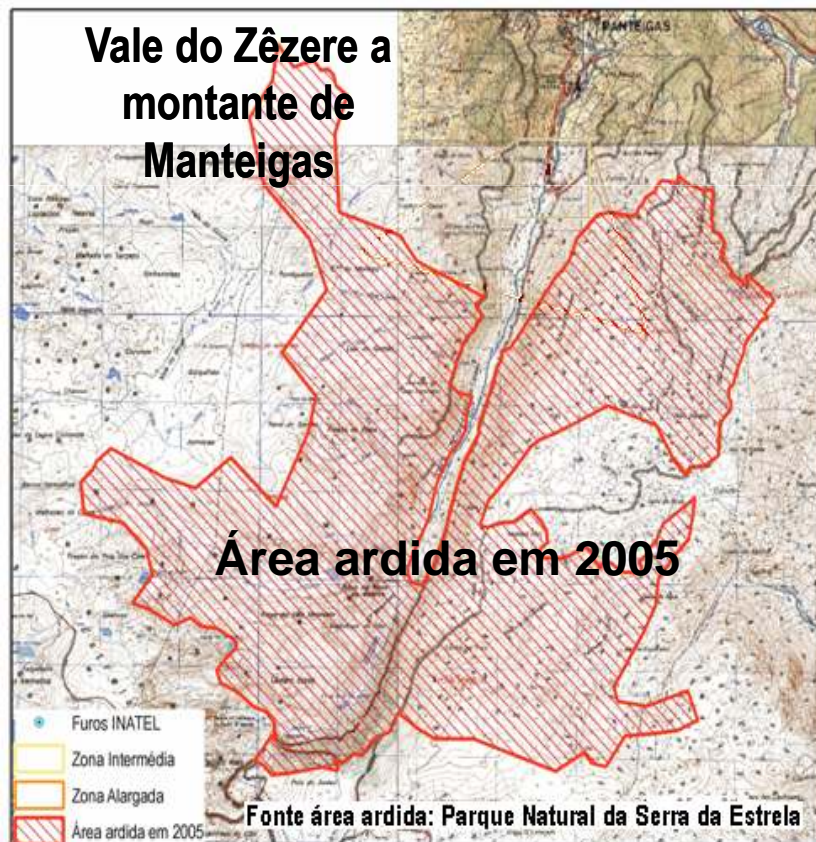
Desenvolvimento e Aplicação de uma Metodologia de Avaliação dos Impactos dos Fogos sobre o Ciclo Hidrológico (caso de estudo: Manteigas)

M. E. Novo; J. P. Lobo Ferreira



2005

“... que tivesse sofrido um fogo recentemente (principal área do Projecto),...”



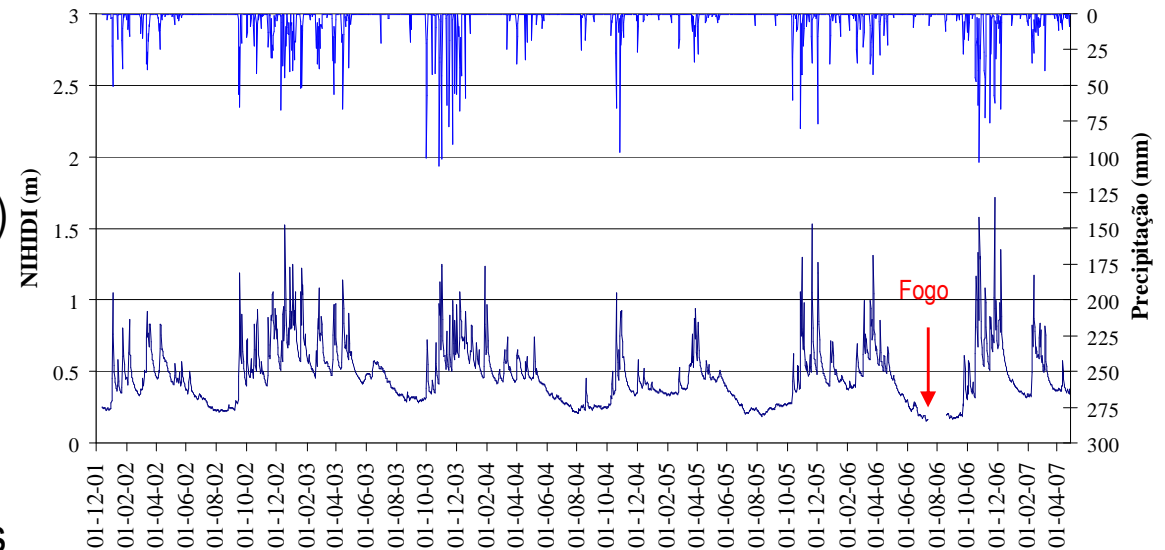
Metodologia para uma área ardida

- A **metodologia de avaliação quantitativa do impacto dos fogos sobre a qualidade das águas (bacia do Zêzere)**, foi criada e estruturada em função de:
 - *A biomassa de uma área ardida, que é função dos valores e características dessa biomassa;*
 - *A carga contaminante nas cinzas e solos e a carga poluente em lixiviados;*
 - *A recarga da área ardida;*
 - *O volume de contaminantes que entram no meio subterrâneo (função do volume de recarga e da quantidade de contaminantes presentes na área ardida passíveis de entrar no ciclo hidrológico);*
 - *Os tempos de permanência do aquífero e o tempo que demora ao meio subterrâneo a recuperar da contaminação.*

Esta metodologia pretende avaliar a carga poluente de um fogo sobre o meio hídrico subterrâneo, em função do tipo de vegetação ardida, da sua densidade de povoamento e de outras características locais. Cargas poluentes globais geradas pela área ardida e valores de recarga baseados em cenários foram calculados por esta metodologia. Desenvolvimentos futuros permitirão chegar a uma curva de evolução temporal da carga poluente (em fase sólida e lixiviados) nas águas superficiais e subterrâneas

Precipitação e escoamento superficial

- Os valores médios diários de NIHIDI e da precipitação diários registam um aumento no valor médio de NIHIDI de 0,46 m (antes) para 0,47 m (pós-fogo) e um aumento de 3,5 mm/d para 4,2 mm/d na precipitação.
- Este aumento do nível hidrométrico instantâneo de apenas 1 cm pode não parecer significativo mas poderá ser considerável em termos de volume de escoamento.
- A ausência da curva de vazão impossibilita saber se a variação no volume de precipitação é superior ou inferior à variação verificada para o escoamento, tornando difícil aferir o papel da precipitação num hipotético aumento significativo do escoamento superficial.



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

- É perceptível um aumento do nível hidrométrico após o fogo, quando se cruzam os episódios de precipitação/nível hidrométrico do ano hidrológico 2005/06 com os do ano hidrológico de 2004/05.
- No período de Outono e Inverno do segundo ano após o fogo (2006/2007), os valores de NIHIDI atingem valores superiores aos de 2005/06, devido à destruição do coberto vegetal e outros factores, mas também pelo aumento da precipitação.

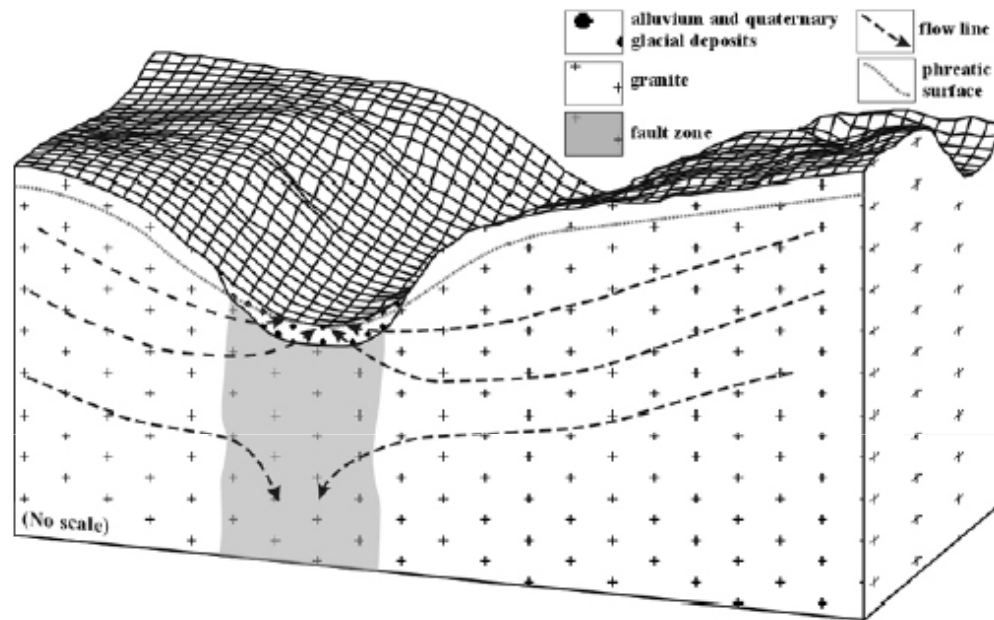
Recarga

Cenários		Intervalo temporal	Recarga (mm/ano)
Cenário 1	Granitos	Série de precipitação 1939 / 2005 (2)	235
		Série de precipitação pós 2005 (1)	194
Cenário 2	Conjunto das formações	Série de precipitação até 1998	450
		Série de precipitação pós 2005 (1)	324
Cenário 3	Granitos	Série de precipitação até 2000 (3)	600
		Série de precipitação pós 2005 (1)	492
	Fluvio-glaciár	Série de precipitação até 2000 (3)	837
		Série de precipitação pós 2005 (1)	673

Recarga na área ardida de Manteigas (alguns cenários)

- **Cenário 1** – nas formações graníticas recarga = 15% da precipitação (Espinha Marques *et al.*, 2006).
- **Cenário 2** – a recarga para a globalidade das formações (granitos e depósitos fluvio-glaciares) equivale a 25% da precipitação (INATEL, 1998).
- **Cenário 3** – considera valores diferentes de recarga para as formações cristalinas (granitos) e depósitos fluvio-glaciares:
 - **Para as formações graníticas** – utiliza-se o método da extrapolação das recargas que usa a recta de correlação da recarga versus precipitação (LNEC, 2000, in Moinante *et al.*, 2005) o que fornece um valor de recarga equivalente a 38% da precipitação;
 - **Para os depósitos fluvio-glaciares** – utiliza-se o método de Vermeulen *et al.* (1993, 1994), desenvolvido a partir do modelo matemático BALSEQ (Lobo Ferreira, 1982), o que fornece um valor de de recarga equivalente a cerca de 52% da precipitação.

Modelo conceptual de circulação subterrânea



Esquema de circulação das águas ao longo dos três sistemas aquíferos (Espinha Marques et al., 2006, in Marques et al., 2007)

- **Profundo** – aquífero fissurado, de circulação ao longo de fracturas profundas (até 3,8 km de profundidade), dá origem às águas termais de Caldas de Manteigas, tendo as águas tempos de residência da ordem de 10 000 anos (Marques et al., 2007).

- **Superficial** – aquíferos superficiais, livres, porosos, hidraulicamente conectados com a zona vadosa; em depósitos de cobertura, têm pequena espessura. Podem ser áreas de possível recarga, por drenância, para o aquífero termal profundo e os sub-superficiais. Águas recentes, vindas da recarga local, com percursos de circulação relativamente curtos (Marques et al., 2007);
- **Sub-superficial** – semi-confinados, pouco profundos (20 a 40 m), com circulação nas fracturas dos granitos mas sem atingir o sistema profundo. Parecem fazer a ligação hidráulica entre as áreas planáticas de recarga e o fundo do vale, donde a circulação é relativamente curta;

Modelo conceptual de circulação subterrânea

Tendo em consideração o tipo de litologias presentes e as propriedades hidráulicas dos materiais, foram definidos dois tipos de aquíferos em função do seu funcionamento:

- **Aquíferos fracturados** – os que se desenvolvem nos granitos e rochas metassedimentares (xistos, grauvaques e metaconglomerados);
- **Aquíferos porosos** – os que se desenvolvem nas formações de cobertura (aluviões, moreias e outros depósitos fluvio-glaciares).

Para a avaliação do impacto dos fogos sobre o meio hídrico subterrâneo considerou-se que estes impactos se fazem sentir essencialmente sobre o sistema aquífero superficial, ou seja a camada de alteração dos granitos (planalto e vertentes do vale) e os depósitos fluvio-glaciares (fundo do vale), o que corresponde ao aquífero poroso

Caracterização hidráulica e tempos de circulação (no meio poroso)

Características hidráulicas das formações constituintes do sistema aquífero superficial e dos aquíferos sub-superficial e profundo (INATEL, 1998, *in* Moinante *et al.*, 2005)

Parâmetros	Granitos		Depósitos fluvio-glaciares
Transmissividade (m ² /d) *	10 - 50		250
Condutividade hidráulica (m/d) *	0,9		10
Coef. armazenamento *	10 ⁻⁴		0,15
Porosidade eficaz (%)	Aquífero profundo	0,1	Cenário A = 5 (3) Cenário B = 15 (3) Cenário C = 30 (3)
	Camada de alteração	20 (2)	
Gradiente hidráulico (%)	Aquífero profundo	Cenário 1 = 36 Cenário 2 = 1	
	Camada de alteração	Planaltos	1 a 15
		Vertentes	36 a 54
Espessura saturada (m)	Aquífero profundo	AC1 = 86,6; AC2 = 78,3; AC3 = 69,9 (1)	
	Camada de alteração	1 - 2	
Espessura total (m)	Aquífero profundo	> 3 800	
	Camada de alteração	2 a 3 (4)	

As velocidades de circulação para as formações graníticas (camada de alteração) e depósitos fluvio-glaciares são:

- **depósitos fluvio-glaciares** - entre 2,5 m/d e 3,5 m/d.

- **formações graníticas** - Planalto: entre 0,009 m/d e 0,135 m/d

- Vertentes: entre 0,324 m/d e 0,486 m/d

Caracterização hidráulica e tempos de circulação (no meio poroso)

Considerando as extensões das diferentes zonas do vale do Zêzere, os tempos de circulação aproximados são:

- **Depósitos fluvio-glaciares** - 73 dias ($V = 2,5$ m/d) e 52 dias ($V = 3,5$ m/d).

• Granitos:

	Velocidade (m/d)	Tempo de residência (dias)
Planalto ocidental (extensão média de 1023 m)	0,009	113 689
	0,135	60 347
Planalto oriental (extensão média de 543 m)	0,009	4 023
	0,135	167 833
Planalto Sul (extensão média de 1515 m)	0,009	11 188
	0,135	

Volumes de armazenamento subterrâneo

Cenários	Depósitos fluvio-glaciares (m ³)	Granitos (m ³)
Fluvio-glaciár – Cenário A	4 689 492	--
Fluvio-glaciár – Cenário B	14 068 475	
Fluvio-glaciár – Cenário C	28 136 950	
Granitos/camada de alteração	--	14 332 812

Extensão das vertentes (m)	Velocidade (m/d)	Tempo de residência (dias)
Extensão média da vertente do planalto ocidental = 496 m	0,324	1 531
	0,486	1 021
Extensão média da vertente do planalto oriental = 463 m	0,324	1 429
	0,486	953
Extensão média da vertente do planalto sul = 450 m	0,324	1 389
	0,486	926
Extensão mínima calculada = 325 m	0,324	1 003
	0,486	669
Extensão máxima calculada = 625 m	0,324	1 929
	0,486	1 286

Caracterização hidráulica e tempos de circulação (no meio poroso)



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Tempos de circulação das águas desde o local de infiltração até ao rio (velocidade de percolação mais rápida)

Sector	Local de infiltração	Planalto	Vertentes	Fluvio-glaciar	Total (dias / anos)	
					Dias	Anos
Planalto Sul	Ponto mais afastado do rio – topo vertente	--	926 dias	52 dias	978	2,7
	Ponto mais próximo do rio – margem rio	--	0 dias (fogo chegou até às margens do rio)	0 dias	0	0
Planalto Ocidental	Ponto mais afastado do rio – lim. planalto	7 579 dias	1 021	52 dias	8 652	23,7
	Ponto mais próximo do rio – base vertente	--	--	52 dias	52	< 1
Planalto Oriental	Ponto mais afastado do rio – lim. planalto	4 023 dias	953 dias	52 dias	5 028	13,8
	Ponto mais afastado do rio – topo vertente	--	669 dias (fogo atingiu só a zona da vertente)	52 dias	721	1,97
	Ponto mais próximo do rio – base vertente	--	--	52 dias	52	< 1

Vegetação

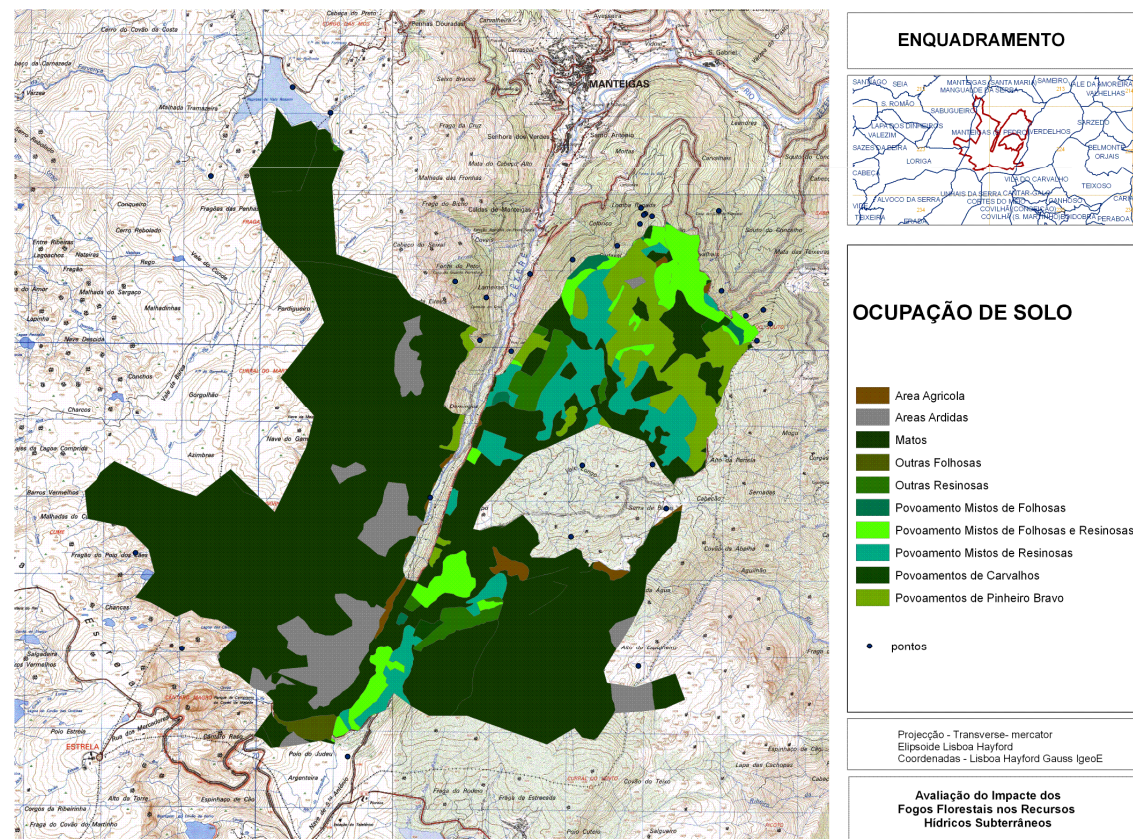
Vegetação / Ocupação do solo	Área ardida (ha)
Matos	2200
Área ardida antes de 2005	208
Área agrícola	25
Pinho bravo	201
Povoamento de carvalhos	11
Povoamentos mistos de resinosas	211
Povoamentos mistos de folhosas e resinosas	149
Povoamentos mistos de folhosas	14
Outras resinosas	65
Outras folhosas	17

Ocupação do solo na área ardida da bacia do Zêzere em 2005 (Quinta-Nova et al., 2008)

A caracterização do coberto vegetal da área ardida foi realizado pela equipa da Escola Agrária de Castelo Branco e a carga poluente foi definida pelos estudos da equipa do INETI

Para avaliar da potencial carga poluente gerada pelo fogo no Zêzere e na ausência de dados directos da vegetação ardida, teve de se inferir a carga poluente a partir dos estudos de vegetação similar noutras áreas ardidas (ex.: Penhascoso).

Ocupação vegetal da área ardida da bacia do Zêzere no ano de 2005 (Tujeira et al., 2007)



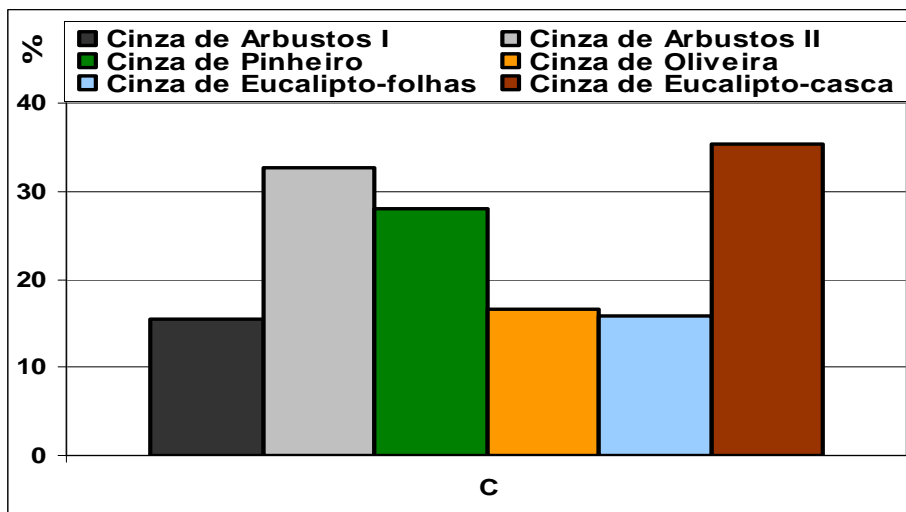
T4 – CARACTERIZAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA

PENHASCOSO - Área ardida em 2006

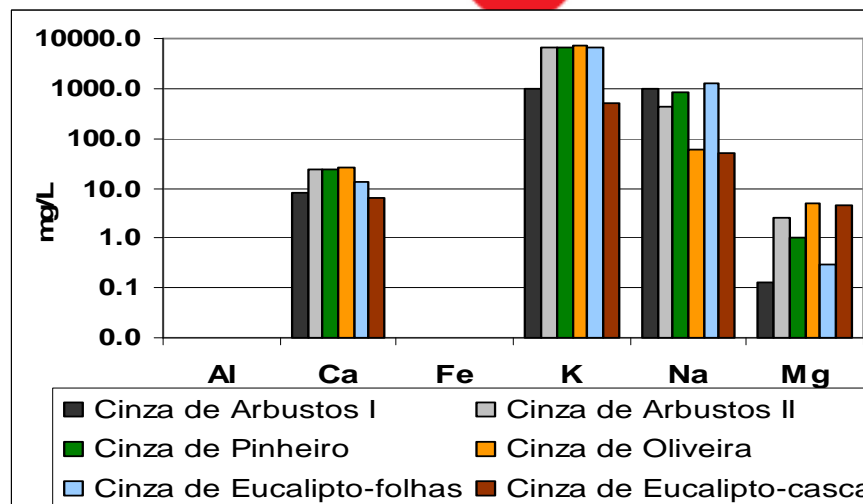


● Pontos de monitorização de água

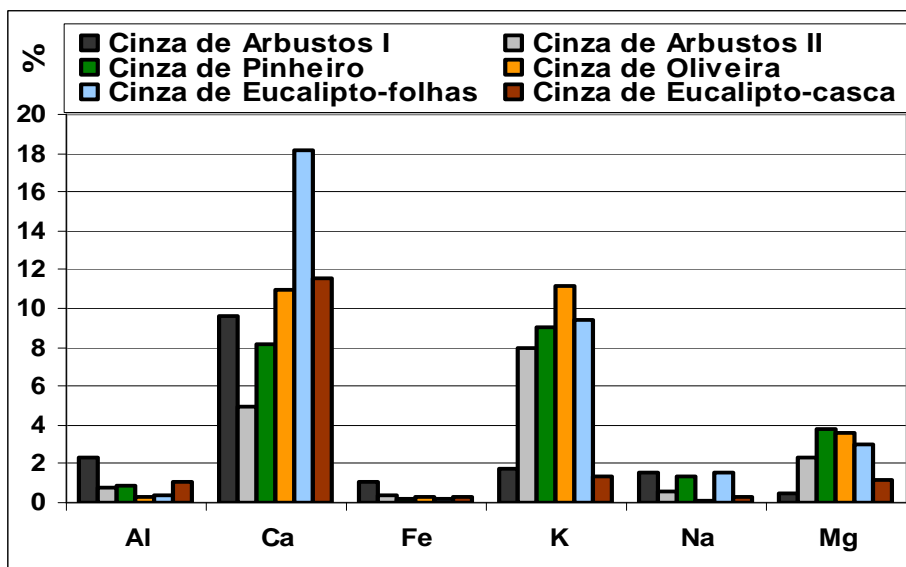
Vegetação – carga poluente



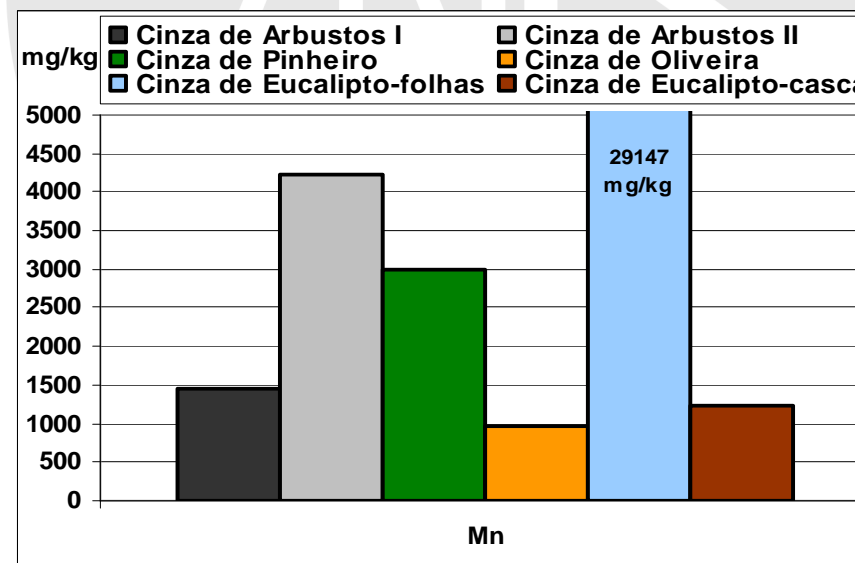
Teores em C da biomassa (Lopes, 2008)



Elementos maiores lixiviação de cinzas de biomassa (Lopes, 2008)

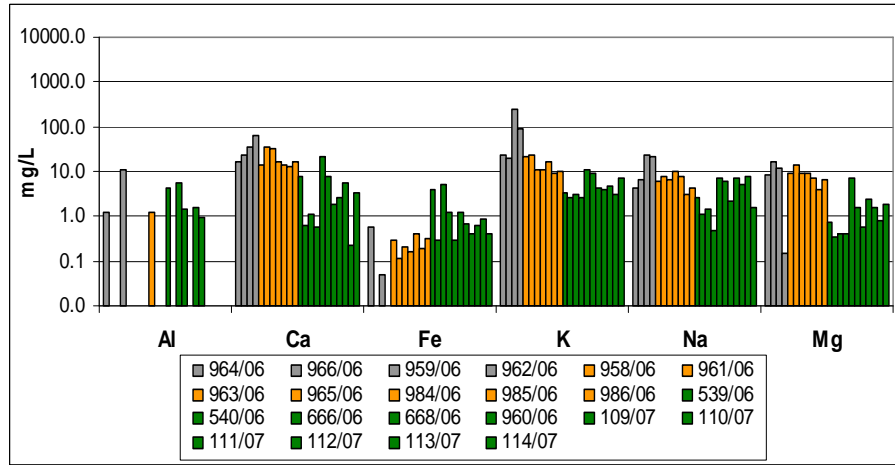


Teores em Al, Ca, Fe, K, Na e Mg da biomassa (Lopes, 2008)

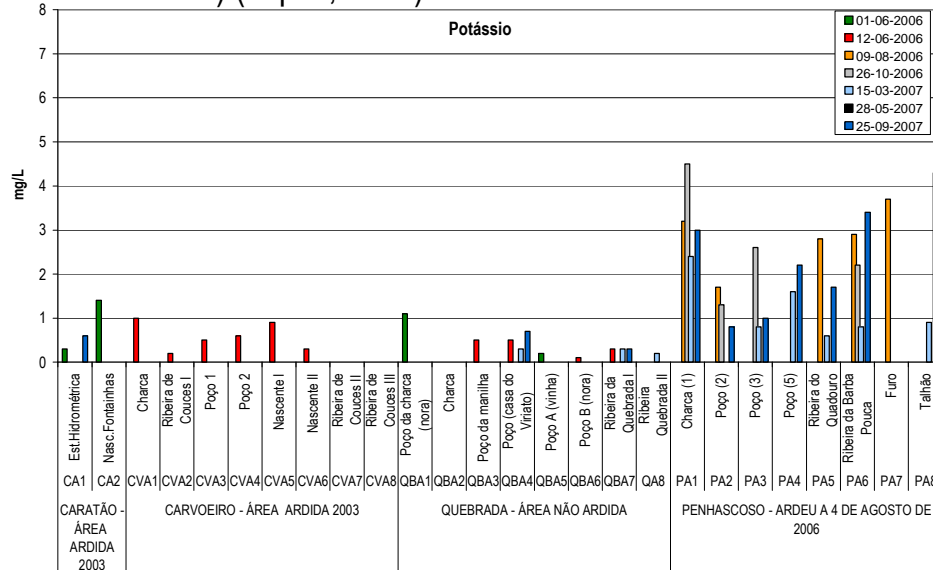


Teores em Mn da biomassa (Lopes, 2008)

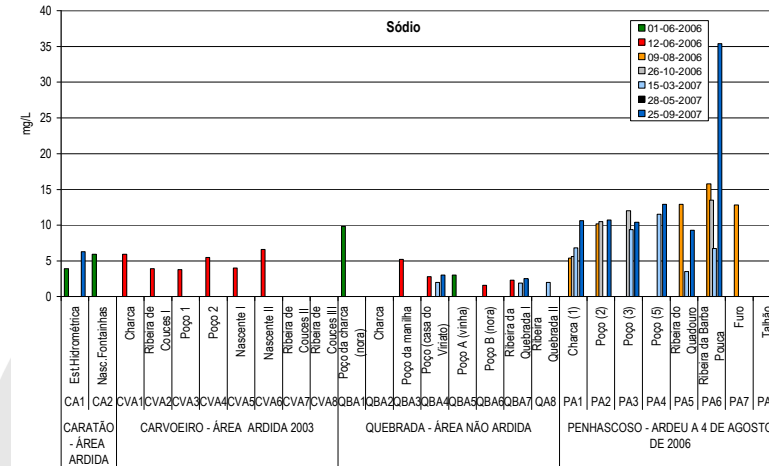
Vegetação – carga poluente



Al, Ca, Fe, K, Na e Mg na lixiviação de cinzas e solos (a cinzento estão representadas as cinzas, a laranja as cinzas e solos e a verde os solos) (Lopes, 2008)



Concentração em K nos pontos de água (Laranjeira e Leitão, 2008)



Concentração de Na nos pontos de água (Laranjeira e Leitão, 2008)

PARÂMETRO	ALTERAÇÃO VERIFICADA	POCI - Fogos
Carbono	Solos: 🚫 e 🚫; Água: 🚫	MO ✓
Cálcio	Solos: 🚫; Água: 🚫 até 40 x no ano após fogo; rápida diluição e deposição	Ca ✗
Magnésio	Água: 🚫 até 50 x no ano após fogo; rápida diluição e infiltração	Mg ✗
Azoto	Solos: 🚫 (fogos baixa intensidade) e 🚫 (fogos intensos devido a volatilização); Água: 🚫 e 🚫; > ≠ nas 2 semanas seguintes	NO3 ✗
Potássio	Solos: 🚫 até 800 x; água: 🚫 até 5 x; efeito de vários anos	K ✓
Sódio	Solos: 🚫	Na ✗
Fósforo	Solos e água: 🚫 até 3 x	PO4 ✓
Sulfato	Solos e água: 🚫	SO4 ✗
Manganés	Solos e água: 🚫	Não analisado
Cobre	Solos: ligeiro 🚫	Não analisado
Zinco	Solos: ligeiro 🚫	Não analisado
CE		CE ✓
Si		Si ✓

Parâmetros detectados nos solos e águas de áreas ardidas

Vegetação – carga poluente

Esta carga poluente vai ocorrer sob forma de **partículas sólidas** arrastadas pelas águas, e sob forma de **elementos dissolvidos** (lixiviados).

Tipos de ocupação vegetal, área ardida e respectiva biomassa ardida no fogo de 2005 na bacia do rio Zêzere

Tipo de povoamento	Biomassa ardida (ton / ha)	Área (m ²)	Área (ha)	Total de toneladas	Fracção do total da área ardida (%)
Area Agricola	Sem Informação	252 558	25,3	Sem Informação	0,82
Areas Ardidas	Sem Informação	2 083 889	208,4	Sem Informação	6,72
Matos	236,2	2 2004 078	2200,4	519 736,3221	70,96
Outras Folhosas	Sem Informação	166 179	16,6	Sem Informação	0,54
Outras Resinosas	Sem Informação	645 489	64,5	Sem Informação	2,08
Mistos de Folhosas	Sem Informação	135 829	13,6	Sem Informação	0,44
Mistos de Folhosas e Resinosas	Sem Informação	1 488 554	148,9	Sem Informação	4,80
Mistos de Resinosas	Sem Informação	2 114 051	211,4	Sem Informação	6,82
Carvalhos	Sem Informação	111 599	11,2	Sem Informação	0,36
Pinheiro Bravo	355,1	2 007 528	200,8	71 287,3018	6,47

A poluição segue dois caminhos:

- a via superficial, sendo transportada (carga sólida e lixiviados) pelas águas do escoamento superficial
- a via subterrânea, sendo os poluentes resultantes da infiltração dos materiais lixiviados a partir das cinzas que ficaram retidas no solo e não foram arrastadas pelo escoamento superficial

Taxas de transferência entre as cinzas da biomassa e os respectivos lixiviados aquosos



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

	Arbustos I			Arbustos II			Oliveira		
	Concent. nas cinzas	Concentração nos lixiviados (mg/l)	Potencial de transferência (%)	Concentr. nas cinzas	Concentração nos lixiviados (mg/l)	Potencial de transferência (%)	Concentr. nas cinzas	Concentração nos lixiviados (mg/l)	Potencial de transferência (%)
Al %	2,32	< 0,10	< 0,004	0,78	< 0,10	< 0,013	0,33	< 0,10	< 0,030
Ca %	9,62	8,23	0,086	4,94	22,95	0,465	11	25,09	0,228
Fe %	1,08	< 0,1	< 0,009	0,35	< 0,1	< 0,029	0,28	< 0,1	< 0,036
K %	1,77	1 007	56,893	7,98	6 637	83,170	11,15	7 133	63,973
Na %	1,51	958	63,444	0,6	419,6	69,933	0,1	58,62	58,620
Mg %	0,51	0,13	0,026	2,33	2,48	0,106	3,6	5,08	0,141
C %	15,5	--	--	32,6	--	--	16,5	--	--
Cd (mg/Kg)	< 5	< 0,02	< 4,000	< 5	< 0,02	< 4.000	< 5	< 0,02	< 4,000
Cu (mg/Kg)	209	< 0,05	< 0,239	80	< 0,05	< 0.625	234	< 0,05	< 0,214
Cr (mg/Kg)	81	< 0,05	< 0,617	< 5	< 0,05	< 10.000	< 5	< 0,05	< 10,000
Ni (mg/Kg)	43	< 0,05	< 1,163	12	< 0,05	< 4.167	62	< 0,05	< 0,807
Pb (mg/Kg)	29	< 0,05	< 1,724	7	0,05	< 7.143	16	< 0,05	< 3,125
Zn (mg/Kg)	842	< 0,05	< 0,059	676	< 0,05	< 0.074	391	< 0,05	< 0,128
Mn (mg/Kg)	1 454	< 0,05	< 0,034	4 225	< 0,05	< 0.012	976	< 0,05	< 0,051

Taxas de transferência entre as cinzas da biomassa e os respectivos lixiviados aquosos



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

	Eucaliptos – ramagens			Eucaliptos - cascas			Pinheiro		
	Concentr. nas cinzas	Concentração nos lixiviados (mg/l)	Potencial de transferência (%)	Concentr. nas cinzas	Concentração nos lixiviados (mg/l)	Potencial de transferência (%)	Concentr. nas cinzas	Concentração nos lixiviados (mg/l)	Potencial de transferência (%)
Al %	0,37	< 0,10	< 0,027	1,11	< 0,10	< 0,009	0,84	< 0,10	< 0,012
Ca %	18,16	13,86	0,076	11,55	6,31	0,055	8,15	24,22	0,297
Fe %	0,23	< 0,1	< 0,044	0,27	< 0,1	< 0,037	0,23	< 0,1	< 0,044
K %	9,38	6 568	70,021	1,37	526	38,394	9,04	6 823	75,476
Na %	1,51	1 256	83,179	0,28	49,91	17,825	1,31	851,2	64,977
Mg %	3	0,29	0,010	1,14	4,73	0,415	3,74	1,03	0,028
C %	15,8	--	--	35,3	--	--	28,1	--	--
Cd (mg/Kg)	< 5	< 0,02	< 4,000	< 5	< 0,02	< 4,000	< 5	< 0,02	< 4,000
Cu (mg/Kg)	96	< 0,05	< 0,521	13	0,04	< 3,077	55	< 0,05	< 0,909
Cr (mg/Kg)	< 5	0,09	< 18,000	< 5	< 0,05	< 10,000	< 5	< 0,05	< 10,000
Ni (mg/Kg)	66	0,1	< 1,515	< 5	< 0,05	< 10,000	28	< 0,05	< 1,786
Pb (mg/Kg)	6	0,05	< 8,333	3	< 0,05	< 16,667	4	< 0,05	< 12,500
Zn (mg/Kg)	247	< 0,05	< 0,202	74	< 0,05	< 0,676	694	< 0,05	< 0,072
Mn (mg/Kg)	29 147	< 0,05	< 0,002	1 240	< 0,05	< 0,040	3 000	< 0,05	< 0,017

Vegetação – carga poluente/resultados



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Carga poluente presente, em Kg por hectare de área ardida, para povoamentos de arbustos e pinheiro com densidade similar à do vale do Zêzere

Nas cinzas (carga sólida)

Tipo de carga poluente	Arbustos I	Arbustos II	Pinheiros
Total cinzas	3 070,61	4 015,41	6 390,30
C	475,95	1 309,03	1 795,67
Al	71,24	31,32	53,68
Ca	295,39	198,36	520,81
Fe	33,16	14,05	14,70
K	54,35	320,43	577,68
Na	46,37	24,09	83,71
Mg	15,66	93,56	239,00
Cd	--	--	--
Cu	0,64	0,32	0,35
Cr	0,25	0,00	--
Ni	0,13	0,05	0,18
Pb	0,09	0,03	0,03
Zn	2,59	2,71	4,44
Mn	4,46	16,97	19,17
Área total ardida(ha)	2 200,4	2 200,4	200,8

Nos lixiviados (resultados provisórios)

Elementos	Arbustos I	Arbustos II	Pinheiros
C	Sem valores	Sem valores	Sem valores
Al	< 0,307	< 0,402	< 0,639
Ca	25,27	92,15	154,81
Fe	< 0,307	< 0,402	< 0,639
K	3 092,09	26 650,21	43 611,25
Na	2 941,64	1 684,86	5 440,70
Mg	0,39	9,96	6,58
Cd	Sem valores	Sem valores	Sem valores
Cu	< 0,154	< 0,201	< 0,320
Cr	< 0,154	0	Sem valores
Ni	< 0,154	< 0,201	< 3,196
Pb	< 0,154	0,201	< 0,320
Zn	< 0,154	< 0,201	< 0,320
Mn	< 0,154	< 0,201	< 0,320
Área total ardida (ha)	2 200,4	2 200,4	200,8

Vegetação – carga poluente/resultados



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Na ausência de dados directos, construíram-se cenários de percentagem de arraste de cinzas pelo escoamento superficial, para determinar a carga poluente que derivaria para o meio superficial e o meio subterrâneo
Meio Superficial - cinzas

Massa **potencial** de poluentes, em Kg, na fase sólida em diferentes cenários de arraste de cinzas, para a totalidade da área ardida

Cenários	Arbustos I				Arbustos II				Pinheiros			
	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%
C	1 047 269	523 63	261 817	52 363	2 880 379	1 440 189	720 095	144 01	360 571	180 286	9 0143	18 029
Al	156 753	78 376	39 188	7 838	68 917	34 459	17 229	3 446	10 779	5 389	2 695	539
Ca	649 982	324 991	162 496	32 499	436 475	218 237	1 09 119	21 824	104 579	52 289	26 145	5 229
Fe	72 971	36 486	18 243	3 649	30 924	15 462	7 731	1 546	2 951	1 476	738	148
K	119 591	59 796	29 898	5 980	705 074	352 537	176 269	35 254	115 999	57 999	29 000	5 800
Na	102 024	51 012	25 506	5 101	53 013	26 507	13 253	2 651	16 810	8 405	4 202	841
Mg	34 459	17 229	8 615	1 723	205 866	102 934	51 467	10 293	47 991	23 995	11 998	2 400
Cd	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cu	1 412	706	353	71	707	353	177	35	71	35	18	4
Cr	547	274	137	27	0	0	0	0	--	--	--	--
Ni	291	145	73	15	106	53	27	5	36	18	9	2
Pb	196	98	49	10	62	31	16	3	5	3	1	0,3
Zn	5 689	2 845	1 422	285	5 973	2 986	1 493	299	891	445	223	45
Mn	9 824	4 912	2 456	491	37 330	18 665	9 333	1 867	3 850	1 925	962	193
Biomassa ardida	519 736 322,1				519 736 322,1				71 287 301,82			

Vegetação – carga poluente/resultados



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Meio Superficial – lixiviados (resultados provisórios)

Concentração **potencial** de poluentes, para diferentes cenários de arraste de cinzas, para a totalidade da área ardida

Cenários	Arbustos I				Arbustos II				Pinheiros			
	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%
C	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Al	< 676	< 338	< 169	< 34	< 884	< 442	< 221	< 44	< 128	< 64	< 32	< 6,4
Ca	55 607	27 803	13 902	2 780	202 775	101 388	50 694	10 139	31 078	15 539	7 770	1 554
Fe	< 676	< 338	< 169	< 34	< 884	< 442	< 221	< 44	< 128	< 64	< 32	< 6,4
K	6 803 868	3 401 934	1 700 967	340 193	58 641 330	29 320 665	14 660 332	2 932 066	8 755 079	4 377 539	2 188 770	437 754
Na	6 472 796	3 236 398	1 618 199	323 640	3 707 383	1 853 692	926 846	185 369	10 92 235	546 118	273 059	54 612
Mg	878	439	220	44	21 912	10 956	5 478	1 096	1 322	661	330	66
Cd	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cu	< 338	< 169	< 84	< 17	< 442	< 221	< 110	< 22	< 64	< 32	< 16	< 3,2
Cr	< 338	< 169	< 84	< 17	0	0	0	0	--	--	--	--
Ni	< 338	< 169	< 84	< 17	< 442	< 221	< 110	< 22	< 64	< 32	< 16	< 3,2
Pb	< 338	< 169	< 84	< 17	< 442	< 221	< 110	< 22	< 64	< 32	< 16	< 3,2
Zn	< 338	< 169	< 84	< 17	< 442	< 221	< 110	< 22	< 64	< 32	< 16	< 3,2
Mn	< 338	< 169	< 84	< 17	< 442	< 221	< 110	< 22	< 64	< 32	< 16	< 3,2
Biomassa ardida	519 736 322,1				519 736 322,1				71 287 301,82			

Vegetação – carga poluente/resultados



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

Meio Subterrâneo – lixiviados (resultados provisórios)

Concentração **potencial** de poluentes, para vários cenários de lixiviação das cinzas presentes nos solos, para a totalidade da área ardida

Cenário	Arbustos I				Arbustos II				Pinheiros			
	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%	A = 100%	B = 50%	C = 25%	D = 5%
C	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Al	--	< 338	< 507	< 642	--	< 442	< 663	< 839	--	< 64	< 96	< 122
Ca	--	27 803	41 705	52 826	--	101 388	152 081	192 636	--	15 539	23 309	29 524
Fe	--	< 338	< 507	< 642	--	< 442	< 663	< 839	--	< 64	< 96	< 122
K	--	3 401 934	5 102 901	6 463 675	--	29 320 665	43 980 997	55 709 263	--	4 377 539	6 566 309	8 317 325
Na	--	3 236 398	4 854 597	6 149 156	--	1 853 692	2 780 537	3 522 014	--	546 118	819 177	1 037 624
Mg	--	439	659	834	--	10 956	16 434	20 817	--	661	991	1 256
Cd	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
Cu	--	< 169	< 253	< 321	--	< 221	< 331	< 420	--	< 32	< 48	< 61
Cr	--	< 169	< 253	< 321	--	0	0	0	--	--	--	--
Ni	--	< 169	< 253	< 321	--	< 221	< 331	< 420	--	< 32	< 48	< 61
Pb	--	< 169	< 253	< 321	--	< 221	< 331	< 420	--	< 32	< 48	< 61
Zn	--	< 169	< 253	< 321	--	< 221	< 331	< 420	--	< 32	< 48	< 61
Mn	--	< 169	< 253	< 321	--	< 221	< 331	< 420	--	< 32	< 48	< 61
Biomassa a ardida	519 736 322,1				519 736 322,1				71 287 301,82			

Vegetação – carga poluente/resultados



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Estes valores são cargas potenciais poluentes globais produzidas em toda a área ardida. Contudo estas cargas não são mobilizadas ao mesmo tempo, entrando no meio hídrico (superficial e subterrâneo) em função dos episódios de precipitação/escoamento. É assim necessário compreender a evolução temporal da entrada destes poluentes no meio hídrico.
- Esta evolução temporal implica seguir também a limpeza gradual dos poluentes dos solos e do meio hídrico superficial por acção dos sucessivos eventos de chuva. Os estudos desenvolvidos neste projecto mostraram uma redução relativamente rápida da poluição após o fogo, e que no caso do Zêzere foi documentada para o Mn:
 - no rio Zêzere: 7810 µg/l a 30 de Outubro; 5 dias mais tarde a água tinha 14 µg/l; passados mais 7 dias já não havia Mn (Laranjeira e Leitão, 2007).
- Esta “curva de decaimento” que se admite distinta para cada poluente tem de ser definida se se pretende conhecer a evolução da poluição na zona e os seus impactos reais sobre o meio hídrico. Só após a definição da variação temporal da carga poluente se pode relacionar os volumes de biomassa ardida com os valores registados na qualidade química dos meios superficial e subterrâneo ao longo de todo o período pós-fogo.
- A poluição do meio hídrico pelos fogos é assim não apenas uma questão de ordem espacial mas também temporal.

Metodologia de vulnerabilidade do meio hídrico à poluição por fogos



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

- Fez-se uma primeira abordagem, com base nos estudos efectuados, para a definição dos factores que condicionam o impacto dos fogos sobre o meio hídrico, com vista à elaboração futura duma metodologia de vulnerabilidade do meio hídrico à poluição por fogos. Os factores considerados foram:
 - **Tipo de coberto vegetal**
 - **Variabilidade do coberto vegetal**
 - **Densidade do coberto vegetal**
 - **Potencial hidrofóbico da vegetação**
 - **Severidade do fogo**
 - **Variabilidade do fogo**
 - **Topografia**
 - **Tipo de solo**
 - **Espessura do solo**
 - **Dimensão da área afectada**
 - **Condições climáticas** – analisado segundo: (1) intensidade das primeiras chuvas após o fogo, (2) duração destes primeiros eventos de chuvas, (3) tempo entre o fim do fogo e os primeiros eventos de chuvas e/ou a época húmida do ano hidrológico, (4) intensidade dos eventos de precipitação ao longo do tempo, (5) distância temporal entre a época seca do ano hidrológico e a ocorrência do fogo.
 - **Tipo de aquífero** – Considera-se: (1) aquífero confinado, (2) aquífero semi-confinado, (3) aquífero livre profundo, (4) aquífero livre superficial.
 - **Localização das áreas aridas face às zonas de recarga**

Conclusões

- **Conclusões:**

- *Os fogos constituem um importante fenómeno perturbador do ciclo hidrológico, tanto ao (1) nível superficial como (2) subterrâneo, e tanto nas vertentes (A) quantidade como (B) qualidade.*
- *Na caracterização dos contaminantes da biomassa ardida entrados nos solos e ciclo hidrológico o C tem a maior percentagem de formação, seguindo-se um conjunto de elementos maiores (e.g. Ca, K, Mg, Na) que podem vir a ser lixiviados. O Mn liberta-se em áreas de pinheiros (resultante da queima da agulha de pinheiros).*
- *O impacte dos fogos está dependente das características do fogo em si (intensidade, severidade, extensão), das condições climáticas (regime de chuvas após o fogo) e de características intrínsecas da área ardida (tipo e densidade da vegetação, declive, tipo e espessura do solo, dimensão da área ardida, etc.)*
- *A conjugação das diferentes características intrínsecas da área ardida, assim como da vegetação envolvida e condições climáticas definem a vulnerabilidade do sistema hídrico aos impactes dos fogos*
- *Existe um conjunto muito variado de intervenções ao nível da prevenção e em especial ao nível da mitigação que podem ser judiciosamente utilizados para minorar os impactes dos fogos sobre o meio hídrico. Estas intervenções focam-se sobre: (1) solos, (2) água. As suas estratégias de actuação visam controlar: (A) erosão, (B) qualidade das águas que chegam às áreas de captação.*
- *Estas intervenções têm eficácias diferentes consoante as características intrínsecas da área ardida, do fogo ocorrido e das respectivas condições climáticas pós-fogo*
- *É necessário prosseguir com o desenvolvimento de uma metodologia que avalie a eficácia destas medidas de mitigação*
- *Outro importante aspecto a estudar para o futuro é o do **impacte dos fogos em condições de variabilidade hídrica, a que se associam alterações nos regimes dos fogos, induzidas pelas alterações climáticas***