



Lisboa, 5-6 Março 2009



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

## **Metodologias de Mitigação dos Impactos dos Fogos - Avaliação de Estratégias de Acção**

**Novo, M. E., Lobo Ferreira, J. P.**

# Enquadramento geral

O fogo gera alterações no ciclo hidrológico:

- **Quantitativas:**

- menor capacidade de intercepção e evapotranspiração, por destruição do coberto vegetal,
- alteração da capacidade de infiltração, por alteração das propriedades do solo (ex.: camadas hidrofóbicas),
- conseqüente aumento do escoamento superficial e magnitude do caudal de ponta, e redução da água disponível para a recarga

- **Qualitativas:**

- a queima do coberto vegetal produz poluentes que ficam disponíveis para entrarem no meio hídrico superficial e subterrâneo
- a qualidade das águas superficiais é afectada pela erosão dos solos.

# Enquadramento geral

Para mitigar os impactos dos fogos existe um conjunto de medidas, focadas para a minimização da erosão e para os problemas específicos da água.

- *Caracterização do tipo de coberto vegetal ardido*
- *Estruturas de intercepção em pequena escala*
- *Cobertura de solos*
- *Quebra da camada hidrofóbica superior do solo*
- *Barreiras de vegetação ripícola para protecção das águas dos rios*
- *Filtragem por areias*
- *Desvios de águas superficiais*
- *Terraceamento dos terrenos*
- *Desviar o escoamento superficial para canais de águas subterrâneas*
- *Descontaminação de redes de abastecimento*
- *Criação de estruturas promotoras da infiltração*
- *Captação das águas de escorrência e injeção no meio hídrico subterrâneo*

# Medidas de mitigação - monitorização



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

As diferentes medidas de mitigação – a componente R da metodologia DPSIR – têm eficácias que dependem das características do local onde são aplicadas e da natureza destas medidas. As características do local que mais condicionam o tipo de medida a aplicar, assim como a sua eficácia, são:

- ***Topografia***
- ***Tipo de solo e rocha mãe***
- ***Grau de severidade do fogo***
- ***Dimensão da área afectada***
- ***Condições climáticas***
- ***Tipo de floresta ardida***
- **entre outros aspectos**

A large, semi-transparent watermark of the LNEC logo is centered on the right side of the slide. It consists of the letters 'LNEC' in a bold, white, sans-serif font, with a stylized arrow pointing to the right integrated into the letter 'C'.

# Medidas de mitigação - monitorização



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Para avaliar a eficácia das medidas de mitigação deverá fazer-se a sua **monitorização** para definir qual medida, em que tipo de situação no terreno, é mais eficaz. Para o caso das águas deve considerar-se:

- **Qualidade** - a monitorização deve considerar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas após o fogo e sua evolução temporal até se atingir a qualidade ante-fogo ou, na ausência do conhecimento desta, aos mínimos de qualidade biológica e para consumo humano. A monitorização deve responder às seguintes questões:
  - poluentes mais significativos por tipo de área ardida, intensidade e/ou severidade do fogo;
  - poluentes (e concentrações) que atingem as águas superficiais e subterrâneas, por área de intervenção versus área de controle (área não ardida) para as diferentes acções de mitigação;
  - evolução temporal da qualidade da água para cada tipo de mitigação versus a evolução da qualidade das águas na área de controle;
  - áreas afectadas pela poluição dos fogos e sua evolução ao longo do tempo para as diferentes áreas intervencionadas e para a área de controle;
  - que estratégias de mitigação podem causar impactos adversos na qualidade das águas;

# Medidas de mitigação - monitorização



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

- **Quantidade** - a monitorização deve centrar-se na eficácia das medidas de mitigação na manutenção das reservas de água (ou o seu incremento, no período em que o coberto florestal da zona ardida tem um menor consumo de água), em especial ao nível do solo/zona vadosa e aquíferos. A monitorização deverá responder a:
  - qual a metodologia de controlo da quantidade da água/infiltração mais adequada para cada tipo de área ardida;
  - que volumes máximos e mínimos se pode esperar transferir para o meio hídrico superficial e subterrâneo para cada tipo de área ardida por cada tipo de metodologia utilizada;
  - a evolução temporal das quantidades de recursos hídricos por área ardida e por medida de mitigação considerando ainda, e em especial, as alterações produzidas à medida que se dá a recuperação do coberto vegetal (processo que pode demorar anos, dependendo do tipo de vegetação e das condições locais);
  - que eventuais problemas de qualidade da água as diferentes metodologias poderão originar, quer no meio hídrico superficial, quer no meio hídrico subterrâneo.

# Medidas de mitigação – aplicabilidade



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Embora a monitorização deva ser sempre realizada nas áreas de intervenção, é possível, com base na literatura, definir algumas condições de aplicabilidade das diferentes medidas de mitigação

Factores	Classes	Acções
Declive	0 – 10%	Barreiras de ramos; Lavra de solos (soil tilling); Barreiras de erva; Escarificação e raspagem mecânica; “Silt fencing”; Cava, lavra e gradagem; Redes de juta
	10 – 20%	Barreiras de ramos; Sacos de areia; “Silt fencing”; “Mulching” manual ou por via aérea; Barreiras de erva; Escarificação e raspagem mecânica; Cava, lavra e gradagem; Açudes de treliças de palha
	20 – 40%	Barreiras de ramos; Barreiras de troncos caídos; Sacos de areia; “Mulching” manual ou por via aérea; Açudes de rochas; Açudes de troncos; Açudes de treliças de palha; Açudes de rolos de palha
	40 – 60%	Sementeira de emergência + mulching; mulching manual ou por via aérea; barreiras de troncos caídos; Cobertura por resíduos orgânicos; Terraceamento; Açudes de rochas
	> 60%	Mulching manual; Hidromulching; Sementeira por via aérea; Sementeiras de emergência; Cobertura por resíduos orgânicos; Terraceamento; Cobertura de solos por geotêxteis; Cobertura de solos por redes de juta, com ancoragem

# Medidas de mitigação – aplicabilidade



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Factores	Classes	Acções
Tipo de solo	Arenoso grosseiro – estes solos tendem a criar camadas hidrofóbicas	Aplicação de técnicas de destruição da camada hidrofóbica; Correção de solos com hidrogel para ajudar à retenção de água; Escarificação e raspagem; Terraços
	Arenoso fino	Açudes de troncos; Terraços
	Siltoso	Trincheiras segundo as curvas de nível; Açudes de troncos; Terraços
	Argiloso – a maquinaria pesada compacta o solo, reduzindo a infiltração (pode causar problemas de erosão), donde não são solos adequados as intervenções com este tipo de maquinaria	Mulching (pode ser usado para evitar a compactação); Gradagem (com ancinho)
	Franco	Trincheiras segundo as curvas de nível
	Pedregoso ou esquelético	Técnicas de recuperação do solo
	Húmico/orgânico – têm elevadas probabilidades de arder na sua maior parte com o fogo	Restauro do solo para contrariar a continuação da sua degradação, aumentar a sua protecção e/ou acelerar a recuperação do ecossistema



# Medidas de mitigação – aplicabilidade



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Factores	Classes		Acções
Vulnerabilidade dos solos à erosão	Fracas		Plantios paralelos às linhas de contorno topográfico
	Moderada		Sementeiras de emergência; Cobertura por resíduos orgânicos e barreiras de troncos; Plantios paralelos às linhas de contorno topográfico
	Elevada		Técnicas de recuperação do solo; Mulching; sementeiras de emergência; Barreiras de troncos; Promover o crescimento da vegetação <sup>[1]</sup> ; Plantios e favorecer regeneração natural (por fertilização dos solos e melhorar a sua qualidade física); Terraceamento
	Muito elevada		Mulching; Sementeiras de emergência <sup>[2]</sup> ; Evitar o corte e remoção de lenhas; Técnicas de recuperação do solo, mas só após acções de emergência como sementeiras e/ou cobertura por resíduos (mulching); Barreiras de troncos; Promover o crescimento da vegetação; Plantios e favorecer regeneração natural (por fertilização dos solos e melhorar a sua qualidade física); Terraceamento; Cobertura de solos por geotêxteis
Tipo de rocha mãe	Granitos <sup>[3]</sup>		Mitigação contra camadas hidrofóbicas (escarificação de solos, etc.); Açudes de troncos e pequenos terraços construídos com troncos (mas de dimensões médias e muito bem calculadas)
	Não granitos	Porosas	Mitigação contra camadas hidrofóbicas (em especial se solo tiver granulometria grosseira)
		Fissuradas	---

# Medidas de mitigação – aplicabilidade



Factores	Classes		Acções
Área ardida	< 10 ha		Sementeira manual/mecânica; Mulching manual e/ou mecânico
	10 a 100 ha		Sementeira mecânica; Mulching mecânico
	100 a 300 ha		--
	300 a 600 ha		--
	600 a 1000 ha		--
	> 1000 ha		Sementeira e mulching por via aérea (Nota: o hidromulching [mulching aplicado misturado com água] se aplicado em larga escala por meios aéreos pode ser muito caro em comparação com outros sistemas de aplicação de mulching); Plantio escalonado de herbáceas seguido de plantio de árvores
Orientação áreas ardidas	Orientação das vertentes	N <sup>(1)</sup>	Regeneração natural da vegetação
		S	Plantio e sementeira
		E	--
		W	--

# Medidas de mitigação – aplicabilidade



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Factores	Classes		Acções
Condições climáticas	Calendário de chuvas pós fogo	Sem chuvas	--
		Trovoadas Verão	--
		Chuvas Outono-Inverno <sup>[1]</sup>	Mulching (e sementeiras) mas com aplicação estratégias de retenção: incorporação no solo, adição de emulsão aderente ou pela colocação de pequenas árvores ou ramos sobre os resíduos
	Intensidade das chuvas pós-fogo	Sem chuvas	--
		Fraca	Barreiras com toros de madeira
		Mediana	Mulching; Sementeiras; Barreiras com toros de madeira
		Elevada	Plantio escalonado de herbáceas seguido de plantio de árvores
		Muito elevada: tempestades <sup>[2]</sup>	Mulching com estratégias de retenção; Pequenas barreiras de troncos, ancoradas, ao longo das encostas; Estruturas de retenção de emergência nas linhas de água
	Intensidade dos ventos	Fracos	Sementeira aérea; Mulching/cobertura do solo manual ou aéreo
		Moderados	Sementeira manual ou motorizada; Sementeira aérea; Mulching manual ou aéreo
		Fortes	Sementeira manual ou motorizada; Mulching manual
		Muito fortes	Sementeira manual, caso seja possível; Mulching manual

Factores	Classes	Acções
Tipo de ocupação do solo	Eucaliptal – muito propensa a fogos; recuperação por rebentamento dos indivíduos sobreviventes; origina igualmente camada hidrofóbica, mesmo na ausência de fogos	Plantio/repovoamento (em áreas de clima mais frio [fora da sua área de expansão ecológica favorável] a sua recuperação é complicada pelo stress térmico e susceptibilidade a parasitas. Tem o problema adicional de ser uma espécie exótica e com grandes necessidades em água na sua fase de crescimento/ recuperação da floresta ardida)
	Coníferas	Cobertura por materiais da própria floresta <sup>[1]</sup> ; Mulching (quando a cobertura por materiais da floresta não é possível); Plantio combinado de resinosas e folhosas – para restauro de florestas adultas, consiste em plantar pinhos (crescimento rápido) e azinheiras (grande resiliência); Semeadura de herbáceas, em especial em áreas onde se pretende obter alguma produtividade antes da área ardida voltar a produzir madeira <sup>[2]</sup>
	Folhosas	Semeadura de herbáceas (apresenta o mesmo problema referido acima)
	Mista coníferas/folhosa	Plantio combinado de resinosas e folhosas – para restauro de florestas adultas: técnica de plantar pinhos (crescimento rápido) e azinheiras (grande resiliência)
	Matos altos	Plantio de árvores e arbustos de regeneração vegetativa (estas são mais resilientes aos fogos que as plantas de propagação por sementes)
	Matos rasteiros	--
	Prados	Semeadura de herbáceas (em especial para melhorar a produtividade da área)
	Ocupação mosaico – permite algum controlo no avanço, intensidade e severidade do fogo mas nos fogos muito severos a barreira fornecida por este tipo de paisagem pode não ser eficaz	Reconstrução da paisagem segundo a mesma estrutura em mosaico; nas áreas pós-fogo mesmo que inicialmente a ocupação do solo não seja em mosaico, é por vezes aconselhado uma intervenção de modo a constituir uma paisagem deste tipo
	Galeria ripícola	Preservação no fogo e/ou plantio pós fogo pois reduz a carga sedimentar (da erosão) que atinge os cursos de água
	Vegetação ripícola baixa – impede ou reduz significativamente a entrada de sedimentos nos cursos de água	Plantio deste tipo de vegetação ao longo das bordaduras ribeirinhas
	Zonas degradadas/fraca vegetação	Técnicas de recuperação do solo; Regulação dos fluxos hidráulicos (por introdução de herbáceas, arbustivas e árvores); Sementeiras de emergência; Cobertura por resíduos orgânicos; Barreiras de troncos; Promover o crescimento da vegetação; Plantios e favorecimento da regeneração natural (por fertilização dos solos e melhoramento da sua qualidade física)
Zonas de conservação da natureza	Recuperação natural; Protecção das áreas de regeneração natural; Reflorestação com flora nativa	

# Medidas de mitigação – avaliação da eficácia



Vê-se deste modo que para as acções de mitigação terem efeitos práticos de protecção dos recursos hídricos, exigem serem programadas em função:

- intensidade e severidade do fogo,
- topografia onde ocorreu o fogo,
- tipo do solo da área ardida,
- coberto vegetal atingido,
- risco de erosão dos solos atingidos,
- geologia
- dimensão da área ardida e sua orientação geográfica

E ainda:

- rede hidrográfica afectada,
- aquíferos – especialmente zonas de recarga – que podem ser afectados,
- sistemas de abastecimento de água que podem ser afectados (ETAs, condutas, pontos de captação, etc.).

# Medidas de mitigação – avaliação da eficácia

Nos quadros seguintes é apresentado um conjunto de medidas de mitigação vocacionadas sobretudo para a acção sobre a qualidade e quantidade das águas nas áreas ardidas, com a avaliação do seu desempenho para diferentes condições locais.

Acções	Condições para as quais as acções dão...		
	Resultado fraco	Resultado médio	Resultado bom
Estruturas de intercepção em pequena escala – regueiras, faixas de herbáceas interceptoras.			
Estruturas de intercepção em pequena escala – Outras pequenas estruturas usadas para controlar e reduzir o escoamento superficial.			Muito usadas em Israel e Grécia pequenas barragens de betão em linhas de água torrenciais (para evitar os riscos de cheia).
Estruturas de intercepção em pequena escala – barreiras temporárias de retenção de siltes e finos.			
Estruturas de intercepção em pequena escala – rolos de palha ancorados nos solo, ou outras.			A bioturbação pós-fogo, assim como as pequenas repesas de resíduos reduzem a distância potencial de transporte pela erosão e escoamento superficial, especialmente em áreas afectadas por fogos de baixa a moderada severidade (Shakesby <i>et al.</i> 2007).

# Medidas de mitigação – avaliação da eficácia



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

Acções	Condições para as quais as acções dão...		
	Resultado fraco	Resultado médio	Resultado bom
Estruturas de intercepção em pequena escala – uso de pequenas barreiras de troncos individuais de árvores.	Têm como inconveniente poder causar a compactação do solo por mor da maquinaria e pessoas a passar na área ardida; pode aumentar a erosão e ESC; ocupam até 10% do terreno e criam um padrão regular artificial no terreno: solo descoberto seguidas por zonas de solo de acumulação atrás das barreiras onde se tem 2 tipos de solo: o original e o que resulta da acumulação do material erodido. As barreiras ficam na zona durante muitos anos, logo os impactos não ocorrem só tempo do corte dos troncos e sua recolha, sendo que o padrão de distribuição das espécies nas zonas em recuperação é afectado e as barreiras são uma biomassa seca, logo combustível, aumentando o risco de recorrência do fogo nos primeiros anos e pode mesmo funcionar como propagador do fogo; as pragas de bichos furadores da madeira encontram refúgio e expansão a partir destas estas barreiras.	As distâncias entre barreiras dependem da inclinação da vertente. As barreiras devem ser construídas logo após o fogo e antes das primeiras chuvas pós-fogo, a sua distribuição não deve ser regular para evitar a formação de padrões repetidos paralelos da vegetação e solos, a colocação dos troncos perto do local onde foram cortados reduz o pisoteio e a erosão e degradação a ele associada, e a distância entre troncos (ou linhas de troncos) deve ser reexaminada para reduzir a área de ocupação da zona ardida por estas estruturas.	Nas florestas ardidas barragens de madeira (nas zonas mais elevadas das encostas, barreiras de ramos; nas zonas intermédias ou de declive mais acentuado, barreiras de troncos caídos).
Barreiras de vegetação ripícola para protecção das águas dos rios			
Quebra da camada hidrofóbica superior do solo - adição de matéria orgânica (pode ser conseguido pela própria cobertura do solo – estratégia de combate à erosão – com materiais de origem vegetal.			
Terraceamento dos terrenos – estas e outras técnicas que melhorem o arejamento e as capacidades de infiltração (ex.: lavras) possuem potencial como técnicas de melhoramento para locais perturbados, no que se refere à infiltração das águas.			

# Medidas de mitigação – avaliação da eficácia

Acções	Condições para as quais as acções dão...		
	Resultado fraco	Resultado médio	Resultado bom
Mitigação da poluição causada pelos retardantes e outros produtos químicos usados no combate aos fogos			
Captação das águas de escorrência e injeção no meio hídrico subterrâneo			
Quebra da camada hidrofóbica superior do solo – lavra dos terrenos.			
Filtragem por areias			
Desviar o escoamento superficial para canais de águas subterrâneas			
Descontaminação de redes de abastecimento			
Cobertura de solos			
Quebra da camada hidrofóbica superior do solo – plantio imediato de floresta (ou pelo menos uma cobertura inicial de herbáceas).			



# Medidas de mitigação – avaliação da eficácia



Acções	Condições para as quais as acções dão...		
	Resultado fraco	Resultado médio	Resultado bom
Desvios de águas superficiais			
Criação de estruturas promotoras da infiltração	A incorrecta implementação destas estruturas ou os eventos de precipitação extremos podem causar a sua ruptura, gerando escorrência concentrada e sulcos de erosão.		Podem ser úteis nas zonas semi-áridas mediterrânicas para assegurar um maior abastecimento de água às plantas e também promover a infiltração.
Mitigação da poluição causada pelos fumos e cinzas			
Correcção do solo – <b>correção física por hidrogel</b> (aumenta a capacidade de retenção de água pelo solo).	Em solos de forte défice em água o hidrogel pode absorvê-la de modo que não fique disponível para as árvores novas; em solos margosos e argilosos as argilas retiram a água do hidrogel, reduzindo a sua eficácia.		Resulta melhor em solos arenosos.
Correcção do solo – <b>correção por fertilizantes inorgânicos podem contaminar as águas de superfície e em especial as subterrâneas.</b>	Pouco comum no Mediterrâneo onde a carência hídrica domina face ao eventual défice de nutrientes.		Parece haver redução da mortalidade das árvores plantadas mas os seus sucessos dependem do local e da espécie plantada.
Correcção do solo – <b>correção química por biossólidos</b> (lamas de águas residuais) e fertilizantes orgânicos (promovem a actividade microbiana, aumentam a capacidade de retenção da água e a infiltração). <b>podem contaminar as águas de superfície e em especial as subterrâneas</b>	Geram aumentos de salinidade e as lamas semi-líquidas podem afectar propriedades físicas do solo pela secagem das lamas; as lamas de águas residuais e eventualmente outros podem constituir potencial risco de poluição para as águas subterrâneas (metais pesados, etc.)	Funcionam como fertilizantes de libertação lenta (melhores portanto do que os artificiais, que têm efeitos mais curtos; mas se houver poluição, o seu efeito é mais prolongado no tempo).	A questão do seu bom uso é determinar as suas quantidades óptimas de aplicação.

# Conclusões

Dentro da componente R (resposta) da metodologia DPSIR aos impactos dos fogos sobre o meio hídrico subterrâneo surgem dois campos de acção:

- **A Prevenção**
- **A Mitigação**

Das várias medidas possíveis de **prevenção** para a redução da incidência dos fogos, algumas com melhores resultados têm sido:

- ✓ Alteração à política de subsídios
- ✓ Campanhas de informação às populações com actividade ligada aos fogos ocupacionais
- ✓ Brigadas de limpeza de matos e bermas de estrada, e municipais de limpeza de matos para auxiliar os pequenos proprietários
- ✓ Criação e funcionamento eficaz de equipas de vigilância e 1ª intervenção
- ✓ Disseminação no terreno de material de combate aos fogos
- ✓ Constituição de ZIF's (Zonas de Intervenção Florestal)
- ✓ Pastoreio com caprinos em áreas propensas a fogos
- ✓ Proibição da alteração do uso dos terrenos nas áreas ardidas
- ✓ Uso de fogos controlados
- ✓ Auxílio aos pequenos proprietários na realização de fogos controlados
- ✓ Valorização dos resíduos da limpeza de matos
- ✓ Código de boas práticas de gestão dos fogos

# Conclusões

Para avaliar e definir quais as melhores metodologias de **mitigação** do impacto dos fogos sobre o meio hídrico é fundamental:

- reconhecer que **as condições locais condicionam** as melhores medidas de mitigação a adoptar e deste modo têm:
  - de ser identificadas previamente ao estabelecimento de um plano de mitigação
- de se realizar uma **monitorização** das medidas aplicadas, para verificar da sua eficácia:
  - a monitorização permite também identificar eventuais locais onde estas medidas não estejam a funcionar eficazmente e poder definir formas de actuação para ultrapassar o problema