

Projeto SATFOR

Caracterização dos efeitos dos incêndios e
métodos de avaliação de danos

1.	INTRODUÇÃO E OBJETIVOS	4
2.	ENQUADRAMENTO	5
3.	OS EFEITOS DOS GRANDES INCÊNDIOS FLORESTAIS	7
3.1.	EFEITOS NO SOLO	8
3.2.	EFEITOS NA ÁGUA	12
4.	MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE DANOS	15
4.1.	MÉTODO DE AVALIAÇÃO LOCAL DA SEVERIDADE (FIELD ASSESSMENT OF FOREST FIRE SEVERITY - FORFIRES) - EUROPA	15
4.1.1.	<i>Descrição do método</i>	16
4.1.2.	<i>Delimitação das parcelas de amostragem</i>	17
4.1.3.	<i>Determinação da severidade</i>	18
4.2.	MÉTODO DE AVALIAÇÃO DA PAISAGEM (LANDSCAPE ASSESSMENT - FIREMON) - ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA	21
4.2.1.	<i>Descrição do método</i>	21
4.2.2.	<i>Medida de Detecção Remota de Severidade: Rácio Normalizado de Incêndio</i>	22
4.2.3.	<i>Medida de Severidade Local: Indicador Complexo de Incêndio</i>	25
4.2.4.	<i>Determinação da severidade</i>	26
4.3.	CONCLUSÕES	27
5.	CRITÉRIOS E TÉCNICAS DE REABILITAÇÃO	28
5.1.	MEDIDAS A CURTO-PRAZO	29
5.1.1.	<i>Extração de madeira queimada (logging)</i>	29
5.1.2.	<i>Sementeira de emergência (seeding)</i>	31
5.1.3.	<i>Aplicação de resíduos orgânicos (mulching)</i>	32
5.1.4.	<i>Estruturas transversais de retenção (prevenção da erosão no solo e nas linhas de água)</i>	33
5.2.	MEDIDAS A MÉDIO E LONGO PRAZO	34
5.2.1.	<i>Recuperação do solo</i>	35

5.2.2. <i>Recuperação dos cursos de água</i>	36
5.2.3. <i>Recuperação da vegetação</i>	36
5.3. CONCLUSÕES	38
6. BIBLIOGRAFIA	40

1. Introdução e objetivos

O presente trabalho surge no âmbito do projeto SATFOR, cujo objetivo final (OF) é realizar diversas ações ao nível tecnológico, de forma a criar uma plataforma acessível aos variados países da zona SUDOE (Sudoeste Europeu - Espanha, França, Portugal e Reino Unido - Gibraltar), que visem a prevenção dos riscos e a mitigação das consequências causadas pelos grandes incêndios florestais (GIF). Para além deste objetivo principal existem também outros objetivos intermédios (OI) (figura 1), em que o objetivo 3 enquadra a pertinência deste trabalho pois tem como fim “estabelecer um espaço para a interação entre os envolvidos e maximizar o aproveitamento da informação e conhecimento” (SATFOR, 2011).

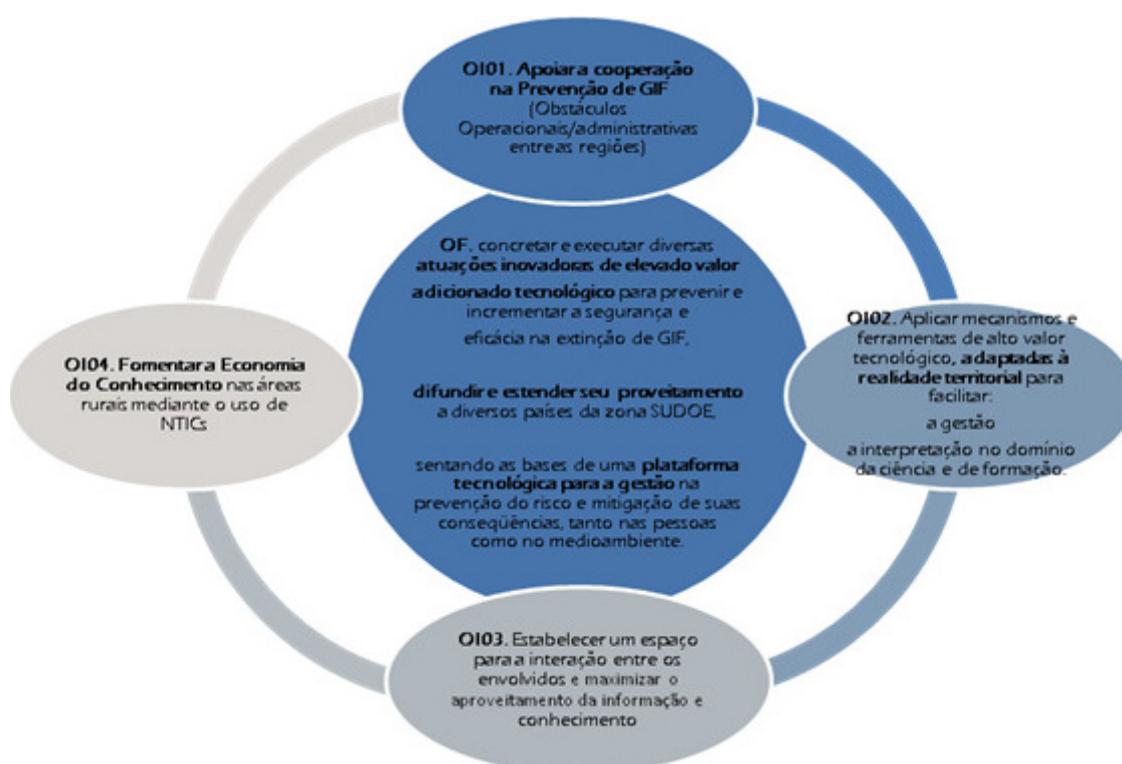


Figura 1 - Esquema representativo dos objetivos e sua inter-relação no programa SATFOR. Fonte: SATFOR

Assim sendo, este trabalho visa a caracterização dos efeitos dos incêndios, o estudo e comparação de métodos de avaliação de danos, assim como a análise das metodologias de reabilitação de incêndios mais frequentemente utilizadas. A primeira fase do trabalho consiste em assinalar os principais efeitos dos incêndios florestais, focando os efeitos no solo, na água, e na vegetação, e também

explicando as propriedades do fogo, os seus regimes e tipos, assim como a definição de severidade de fogo.

A segunda fase pretende estudar e posteriormente comparar dois métodos de avaliação de danos, sendo um deles utilizado nos Estados Unidos da América e outro na Europa. Esta comparação tem como objetivo identificar as diferenças entre os dois métodos, de forma a poder elaborar uma opinião relativa aos pontos fortes e fracos de cada método. Por fim, a última fase deste trabalho visa a caracterização das técnicas e fases de reabilitação mais utilizadas para combater os efeitos nocivos dos incêndios florestais, evidenciando os seus benefícios e prejuízos.

2. Enquadramento

Este capítulo tem como objetivo definir e explicitar os principais termos e conceitos discutidos ao longo do trabalho, de forma a proporcionar o enquadramento adequado para uma melhor compreensão do seu conteúdo. Como tal, a primeira parte deste enquadramento ir-se-á focar no conceito de incêndio florestal e de fogo, os elementos necessários para a sua criação, os seus regimes e tipos, quanto à segunda parte, esta tem como fim definir termos como severidade e intensidade do fogo de forma a evidenciar as suas diferenças.

O fogo é uma manifestação de combustão rápida com emissão de luz e calor e é constituído por três entidades distintas, que compõem o chamado "Triângulo do Fogo". São eles o combustível (aquilo que queima, como a madeira), o comburente (entidade que permite a queima, como o oxigênio) e o calor. Sem uma ou mais dessas entidades, não pode haver fogo (Pyne et al, 1949).

Incêndio florestal é a propagação descontrolada do fogo em áreas florestais e diferencia-se dos restantes tipos de incêndios pela sua rápida difusão e capacidade de alterar o seu curso ultrapassando diversos obstáculos como estradas, rios ou edifícios. A propagação e intensidade de um incêndio estão relacionadas com fatores ambientais, sendo eles o tipo e características do combustível (quantidade, tamanho e forma, teor de humidade, continuidade espacial), o clima (temperatura, precipitação, humidade relativa, vento) e a topografia (configuração do terreno, declive, elevação).

Os diferentes regimes de incêndio variam através da combinação entre a frequência, a intensidade e a estação em que estes ocorrem. A conjugação destes fatores irá determinar o regime de incêndio para determinado ecossistema. É

importante também evidenciar os tipos de incêndios existentes, sendo eles os incêndios subterrâneos, que ocorrem na camada de matéria orgânica do solo, e ardem lentamente devido à falta de oxigênio disponível, os incêndios superficiais, que se desenvolvem acima do solo, consumindo matéria orgânica não decomposta e vegetação arbustiva, sendo o tipo mais comum de incêndio, e por fim os incêndios de copa, que se propagam na vegetação arbórea e normalmente desenvolvem-se a partir de incêndios superficiais (Bond e van Wilgen, 1996).

A severidade do fogo é um termo qualitativo que representa a magnitude de alteração causada pelo fogo nos componentes do ecossistema, incluindo os componentes abaixo e acima do solo (Neary et al, 2005). Estes efeitos resultantes do fogo dependem das interações entre fatores como a combustibilidade e quantidade de combustível, o tipo de vegetação, a intensidade (energia libertada), a duração, o clima, a topografia e a área ardida (Robichaud et al, 2000). Severidade e intensidade do fogo são por vezes considerados sinónimos, porém isso está errado, devido à intensidade do fogo ser um dos componentes que influenciam a severidade por estar relacionado com a quantidade e taxa de consumo de combustível, e logo não pode ser representativo do total de energia produzido no processo de incêndio (DeBano et al, 1998). Porém o componente da severidade do fogo mais influente é a duração do incêndio, pois os impactos de fogos de duração e movimento lentos, independentemente da sua intensidade, causam danos bem mais severos nos solos e vegetação, que incêndios de curta duração e forte intensidade (Robichaud et al, 2000).

Devido ao facto da severidade do fogo não poder ser classificada quantitativamente, foram estabelecidas três classes de severidade por diversos autores, sendo elas baixa, moderada e alta, que por sua vez expressam os diferentes impactos causados pelo fogo no ecossistema como, a quantidade de organismos do solo afetados, a proporção de árvores e arbustos mortas ou o número de novos rebentos nas árvores (DeBano et al, 1998).

3.1. *Efeitos no solo*

O solo é formado a partir das contínuas interações entre as componentes biótica (fauna e flora), climática (atmosférica e hidrológica), topográfica e geológica do ambiente. É um componente importante para a sustentabilidade dos ecossistemas pois providencia água e ar, nutrientes e o suporte físico para o desenvolvimento da matéria vegetal. O solo é também um elemento fundamental para o ciclo hidrológico, pois absorve água, servindo de armazenamento para a mesma, assim como um canal de distribuição. Quando o solo atinge a capacidade máxima de absorção de água, dá-se a erosão do material orgânico e inorgânico através da superfície. O estudo e conclusão dos efeitos dos incêndios nos solos é crucial para a análise e escolha de técnicas e medidas de recuperação adequadas a determinada situação (Neary *et al* 2005).

O solo está disposto segundo camadas horizontais denominadas de horizontes que apresentam propriedades e características diferentes. Estas propriedades químicas, físicas e biológicas resultam de interações e combinações de matéria orgânica, minerais, água e ar (Neary *et al* 2005).

O horizonte mais afetado pelos incêndios e que requer maior atenção é o horizonte superior denominado de horizonte O, sendo composto por três camadas de matéria orgânica em várias fases de decomposição. A camada L (litter) é constituída por material orgânico não descomposto, como folhas e ramos, seguido da camada F (fermentation), formada por matéria orgânica em decomposição. A última camada do horizonte O é denominada de camada H (humus) e é composta por material orgânico totalmente descomposto e onde já não se encontra vestígios de ramos e folhas. Esta camada é uma fonte importante de retenção e armazenamento de nutrientes, sendo também um elemento de ligação com os horizontes minerais inferiores (Neary *et al*, 2005).

Os horizontes minerais começam no horizonte A e terminam na rocha consolidada, podendo existir vários horizontes intermédios (E, B e C) dependendo da maturidade e desenvolvimento do perfil do solo. O horizonte A é composto por grandes quantidades de matéria orgânica descomposta (humus) seguido do horizonte E, onde se dá a lixiviação de elementos como o ferro e o alumínio para o horizonte B. O horizonte C é composto por rocha não consolidada seguido do horizonte R composto por rocha consolidada (Neary *et al*, 2005).

Durante um incêndio florestal as temperaturas no solo podem atingir os 900°C, mas como o solo seco é um mau condutor de eletricidade, 5 cm abaixo da

superfície a temperatura não deve exceder os 150° (DeBano, 1981). As altas temperaturas podem mineralizar ou consumir através da oxidação, a matéria orgânica do solo, resultando na exposição do solo mineral, transformação dos nutrientes, acumulação de cinzas e repelência à água (hidrofobicidade) (Ice *et al*, 2004). As propriedades do solo podem sofrer alterações a curto-prazo, longo-prazo ou permanentes, dependendo do tipo de propriedade, da severidade e frequência dos incêndios, e das condições climáticas após os incêndios (Certini, 2005).

Estas alterações produzem respostas variadas por parte dos componentes dos ecossistemas, como a fauna, a flora e água devido às suas complexas interdependências. Os efeitos do fogo nos solos resultam da combinação entre a quantidade de calor libertado pelo combustível - intensidade do fogo - e a duração da combustão. O impacto destes fatores nas propriedades físicas, químicas e biológicas do solo é medido como severidade (Neary, 2004). A tabela 1 classifica as diferentes classes de severidade de fogo no solo, consoante as características evidenciadas nos diversos parâmetros do solo e resíduos.

Parâmetros do solo e resíduos	Severidade do fogo		
	Baixa	Média	Alta
Resíduos orgânicos (não decomposto)	Queimado, Carbonizado, Consumido	Consumido	Consumido
Resíduos orgânicos (em decomposição)	Intacto, Carbonização Superficial	Carbonização Profunda, Consumido	Consumido
Detritos lenhosos - pequenos	Parcialmente Consumido, Carbonizado	Consumido	Consumido
Detritos lenhosos - troncos	Carbonizado	Carbonizado	Consumido, Carbonização Profunda
Cor da cinza	Preta	Cor Clara	Avermelhada, Laranja
Solo mineral	Não alterado	Não alterado	Estrutura alterada, Porosidade, etc.
Temperatura do solo aos 10 mm de profundidade	<50 °C	100-200 °C	>250 °C
Temperatura letal para os organismos do solo	Até aos 10 mm	Até aos 50 mm	Até aos 160 mm

Tabela 1 - Classificação da severidade do fogo consoante os efeitos observáveis nas características do solo e resíduos. Fonte: Robichaud *et al*, 2000.

A análise do solo após um incêndio em geral é o melhor indicador para revelar as necessidades e consequentes medidas de reabilitação necessárias. Contudo, pode não revelar alterações mais subtis e complexas na rede hidrológica, como a temperatura dos cursos de água ou as concentrações de nutrientes (Ice *et al*, 2004).

Propriedades do solo alteradas pelos incêndios
Propriedades físicas, físico-químicas, e mineralógicas
<i>Repelência à água (hidrofobicidade):</i> A hidrofobicidade natural do solo aumenta devido à formação de uma camada repelente à água poucos centímetros abaixo da superfície. Isto implica limitações na permeabilidade do solo e, assim, aumento da erosão e escorrimento superficial
<i>Estabilidade estrutural:</i> A complexidade diminui como resultado da combustão da matéria orgânica
<i>Densidade estrutural:</i> Aumenta devido ao colapso dos agregados e ao entupimento dos espaços vazios pelas cinzas e minerais argilosos dispersos
<i>pH:</i> Em solos não calcários aumenta, embora temporariamente, devido à libertação de cátions alcalinos (Ca, Mg, K, Na) ligados à matéria orgânica
<i>Distribuição da dimensão de partículas:</i> não se altera diretamente, mas o aumento da erosão pode remover exclusivamente a fração mais fina
<i>Constituição mineralógica:</i> altera-se, mas somente a temperaturas superiores a 500°C
<i>Cor:</i> Escurece, devido à carbonização, e fica com tons avermelhados, devido à formação de óxidos de ferro
<i>Regime de temperaturas:</i> altera-se temporariamente devido ao desaparecimento da manta vegetal e ao escurecimento do solo (albedo reduzido)
Propriedades químicas
<i>Quantidade de matéria orgânica:</i> diminui imediatamente após o fogo, mas a longo prazo geralmente excede as quantidades pré-fogo
<i>Qualidade da matéria orgânica:</i> altera-se notavelmente, com um relativo enriquecimento da fração renitente a ataque bioquímico. Isto devido à queima seletiva de resíduos frescos (folhas, ramos, etc.) e à nova formação de compostos aromáticos e altamente polimerizados
<i>Disponibilidade de nutrientes:</i> aumenta, por vezes extraordinariamente, mas temporariamente.
- Azoto (N) orgânico (indisponível, frequentemente quase coincide com o azoto total) em parte volatiliza e outra parte mineraliza para amónio, uma forma disponível à biota
- Fósforo (P) orgânico mineraliza para ortofosfato e a perda através da volatilização é insignificante
- Cálcio, magnésio, e potássio geralmente aumentam extraordinariamente mas temporariamente
<i>Capacidade de troca:</i> decresce proporcionalmente à perda de matéria orgânica
<i>Saturação por bases:</i> aumenta como consequência da libertação prevalectante de bases a partir da matéria orgânica ardente
Propriedades biológicas
<i>Biomassa microbiana:</i> Diminui; a recuperação do nível pré-fogo depende principalmente da rapidez da recolonização vegetal
<i>Composição da comunidade microbiana:</i> altera-se como consequência do efeito seletivo do fogo em certos grupos de microrganismos e à modificação imposta à vegetação; geralmente, os fungos diminuem mais que as bactérias
<i>Biomassa de invertebrados:</i> diminui, mas menos que os microrganismos graças à maior mobilidade dos invertebrados
<i>Composição da comunidade de invertebrados:</i> altera-se, o tempo de recuperação da composição pré-fogo diferencia-se altamente entre os vários filos

Tabela 2 - Sumário dos efeitos dos incêndios nas propriedades do solo.

Fonte: Certini, 2005

Os incêndios de grande intensidade podem produzir alterações graves nas propriedades do solo, contudo isto nem sempre se aplica, pois incêndios de alta intensidade em que o fogo incida sobretudo na copa das árvores não causam necessariamente um aquecimento considerável no solo, por outro lado, incêndios de baixa intensidade que se propagem nas raízes e matéria orgânica podem causar alterações graves no solo orgânico e mineral (Neary, 2005).

Conforme mencionado anteriormente, o solo sofre impactes nas suas propriedades físicas (quebra da estrutura física, hidrofobicidade, erosão, etc.), químicas (alterações no ciclo de nutrientes, perda de matéria orgânica e nutrientes, etc.) e biológicas (alterações e perdas de organismos microbianos, redução ou perda de

invertebrados, etc.). Como tal, a tabela 2 resume os efeitos dos incêndios nas diferentes propriedades do solo.

Característica física do solo	Temperatura limite (°C)	Fonte
Higroscopicidade	250	DeBano and Krammes 1966
Estrutura do solo	300	DeBano 1990
Formação de calcite	300-500	Iglesias e outros 1997
Argila	460-980	DeBano 1990
Areia (quartzo)	1414	Lide 2001

Tabela 3 - Temperaturas limite para várias características físicas do solo.

Fonte: Neary *et al*, 2005

Característica química do solo	Temperatura limite (°C)	Fonte
Matéria orgânica	100	Hosking 1938
Azoto	200	White e outros 1973
Enxofre	375	Tiedemann 1987
Fósforo e potássio	774	Raison e outros 1985
Magnésio	1107	DeBano 1991
Cálcio	1484	Raison e outros 1985
Manganésio	1962	Raison e outros 1985

Tabela 4 - Temperaturas limite para várias características químicas do solo. Fonte: Neary *et al*, 2005

Componente biológica do solo	Temperatura limite (°C)	Fonte
Raízes da vegetação	48	Hare 1961
Pequenos mamíferos	49	Lyon e outros 1978
Coagulação de proteínas	60	Precht e outros 1973
Fungos - solo molhado	60	Dunn e outros 1975
Sementes - solo molhado	70	Martin e outros 1975
Fungos - solo seco	80	Dunn e outros 1975
Bacteria <i>Nitrosomonas spp.</i> - solo molhado	80	Dunn e DeBano 1977
Bacteria <i>Nitrosomonas spp.</i> - solo seco	90	Dunn e DeBano 1977
Sementes - solo seco	90	Martin e outros 1975
Micorrizas VA	94	Klopatek e outros 1988

Tabela 5 - Temperaturas limite para várias características biológicas do solo. Fonte: Neary *et al*, 2005

É também importante referir as temperaturas limite em que as características físicas, químicas e biológicas do solo são alteradas (tabela 3, 4 e 5), e desta forma permitir uma maior compreensão sobre quais as propriedades do solo que são mais afetadas e suscetíveis a alterações, e também sobre as mais resistentes ao fogo e às temperaturas elevadas. Observando as tabelas, pode-se observar que as características biológicas do solo são as mais facilmente atingidas pelo fogo, sendo as propriedades químicas do solo as mais resistentes com exceção da matéria orgânica, naturalmente por se encontrar na superfície do solo.

3.2. Efeitos na água

O ciclo hidrológico consiste nos processos e transferências pelos quais a água circula perpetuamente na hidrosfera (figura 3), e nos seus três estados (líquido, gasoso e sólido) circula através de diferentes processos (evaporação, precipitação, infiltração, etc.) entre diversos sistemas de armazenamento (rios, aquíferos, nuvens, etc.).



Figura 3 - Esquema representativo dos processos e elementos envolvidos no ciclo da água. Fonte: U. S. Geological Survey

Os grandes incêndios florestais afetam e alteram certos processos do ciclo hidrológico, como a interceção, infiltração, evapotranspiração, a capacidade de armazenamento de água do solo e o escoamento superficial. Estes efeitos são determinados maioritariamente pela severidade do fogo, pelos níveis de precipitação pós-fogo e pelas técnicas de reabilitação aplicadas. A caracterização destes efeitos pode ser sintetizada e avaliada segundo três critérios, a qualidade da água, a quantidade e o seu sistema biota.

Os incêndios causam variados efeitos que por sua vez alteram a qualidade da água de determinada área afetada, expandindo-se por toda a rede hidrológica. Os efeitos que afetam a qualidade da água são o aumento da sedimentação e turvação, o aumento da temperatura da água e o incremento nas concentrações de nutrientes resultantes do escoamento superficial (Clark, 2001). A qualidade da água refere-

PROJETO SATFOR

se às características físicas, químicas e biológicas da água para determinado uso ou fim. As características físicas mais relevantes para o estudo da qualidade da água após incêndio são a temperatura da água, a concentração de sedimentos e a turvação (Neary *et al*, 2005).

O aumento das descargas nas linhas de água influencia os diversos usos da água (humano, agrícola ou industrial) pois dá-se um maior transporte de materiais sólidos e dissolvidos. Estes processos do ciclo hidrológico afetam a erosão do solo e conseqüentemente as propriedades da água (sedimentação e turvação, e concentração de sedimentos) que determinam a sua qualidade (Neary *et al*, 2005).

Os fogos junto das linhas de água e vegetação ribeirinha podem aumentar a temperatura da água, causando poluição térmica, que por sua vez aumenta a atividade biológica (DeBano *et al*, 1998). Este aumento causa um aumento na demanda de oxigénio dissolvido que consiste numa das mais importantes características da qualidade da água (Neary *et al*, 2005),

As propriedades químicas da água são alteradas após um incêndio e refletem-se essencialmente numa maior concentração de nutrientes, contudo estes níveis voltam geralmente ao normal após as primeiras chuvas. A matéria orgânica do solo constitui um filtro que remova parte das bactérias e outros organismos que se infiltram no solo e sistema hidrológico, logo a remoção desta camada por parte dos incêndios pode resultar numa concentração mais elevada de organismos e bactérias (DeBano *et al*, 1998). Este aumento torna-se particularmente importante quando se pretende usar a água para consumo humano.

Os incêndios florestais constituem a perturbação com maior capacidade de alterar as características de uma bacia hidrológica, estas alterações estão condicionadas pela severidade do fogo, pela sua duração e frequência (Neary, 2004). É necessário compreender as alterações que os incêndios causam no sistema hidrológico de uma floresta para eleger as técnicas de restauro mais adequadas a cada situação. O escoamento superficial durante as primeiras chuvas constitui a maior ameaça para os solos e sistema hidrológico.

Condições da superfície	Infiltração	
	Taxa (mm/hr)	Descrição
1. Solo florestal intacto	>160	Muito rápido
2. Vegetação	5-50	Lento a moderado
3. Solo despido	0-25	Muito a moderadamente lento
4. Solo hidrofóbicos	0-10	Muito lento a nulo

Tabela 6 - Taxas de infiltração para várias condições da superfície do solo.

Fonte: Neary *et al*, 2005

O solo intacto de uma floresta apresenta altos níveis de infiltração (tabela 6) que são afetados pelos incêndios, pois o solo mineral fica exposto pelo consumo da matéria orgânica, apresentando elevadas taxas de erosão com as chuvas. A situação torna-se mais grave quando estas condições se associam à hidrofobicidade do solo, e baixa evapotranspiração devido à perda de vegetação (Neary *et al*, 2005).

Na tabela 7, pode-se observar um resumo dos efeitos dos incêndios nos variados processos hidrológicos de um sistema hidrológico.

Processo hidrológico	Tipo de alteração	Efeito específico
1. Interceção	Reduzida	Menor capacidade de retenção de humidade Maior escoamento em pequenas tempestades Aumento na quantidade de água
2. Armazenamento de água na matéria orgânica	Reduzido	Menor armazenamento de água (0.5 mm/cm matéria orgânica) Aumento do escoamento superficial
3. Transpiração	Exclusão temporária	Aumento do fluxo nas linhas de água Aumento na humidade do solo
4. Infiltração	Reduzida	Aumento do escoamento superficial Aumento do fluxo pós-tempestade
5. Fluxo nas linhas de água	Alterado	Aumenta na maioria dos ecossistemas Diminui nos ecossistemas com neve Diminui nos ecossistemas de humidade elevada
6. Fluxo subterrâneo	Alterado	Diminui (menor infiltração) Aumenta (menor evapotranspiração) Fluxos lentos no verão
7. Fluxo pós-tempestade	Aumenta	Maior volume Picos de fluxo maiores Tempo para o pico de fluxo menor Maior frequência de inundações repentinas Níveis de inundação maiores Aumento do nível de erosão
8. Acumulação de neve	Alterado	Incêndios <4 ha, aumento da acumulação de neve Incêndios >4 há, diminuição da acumulação de neve Aumento no derretimento de neve Aumento da evaporação e sublimação

Tabela 7 - Sumário das alterações causadas aos diversos processos hidrológicos. Fonte: Neary *et al*, 2005

São muitos os animais que dependem da água para a sua sobrevivência, contudo uns são menos afetados pelos efeitos do fogo na água, como os mamíferos, os pássaros, os répteis e os anfíbios, etc., e outros que são mais afetados como é o caso dos peixes.

A maioria dos efeitos sobre os peixes são indiretos, contudo também existem efeitos diretos que estão relacionados com níveis de severidade e combustíveis altos junto a zonas ribeirinhas que podem resultar na morte destes. Associado aos efeitos indiretos estão as alterações nas condições hidrológicas, os altos níveis de sedimentação e a acumulação de cinzas (Neary *et al*, 2005).

Estes impactes na qualidade e quantidade da água podem afetar a longo prazo as condições desejáveis para o estabelecimento e manutenção dos habitats dos peixes, contudo os efeitos podem ser positivos e negativos, pois os sedimentos e resíduos lenhosos podem contribuir para criar habitats específicos e valiosos nas linhas de água, especialmente em altura de cheias (Ice, 2004). Por outro lado, a maioria dos estudos revela que as alterações nas temperaturas da água devido à ausência de vegetação, o transporte das cinzas nas linhas de água, e a sedimentação são nocivas para o habitat ideal dos peixes (Neary *et al*, 2005).

4. Métodos de avaliação de danos

De forma a se poder avaliar os danos dos grandes incêndios florestais, foram desenvolvidos vários métodos de avaliação ao longo dos anos, contudo neste capítulo ir-se-á apenas expor e focar dois métodos, considerados relevantes e mais utilizados nos respetivos países ou conjunto de países. Como tal, esta foi a principal razão para a escolha dos seguintes métodos, pois estes foram concebidos para serem aplicados universalmente e são os principais métodos de avaliação usados quer na Europa quer nos Estados Unidos da América. Esta escolha permite também a comparação entre dois métodos usados em continentes diferentes, considerados bastante desenvolvidos.

4.1. *Método de Avaliação Local da Severidade (Field Assessment of Forest Fire Severity - ForFireS) - Europa*

Foi com o compromisso da União Europeia e seus Estados-Membros em implementar mecanismos para a conservação e proteção da floresta, que surgiu o método ForFireS, inserido no sistema de informação de incêndios florestais europeu (EFFIS - European Forest Fire Information System), que tem como objetivo estabelecer uma avaliação dos danos dos incêndios, e que possa ser utilizada pelos Estados-Membros para incêndios com uma área acima de 50 ha.

O método ForFireS pode ser aplicado a zonas florestais e arbustivas e foi concebido para obter a partir de uma parcela de amostragem, dados sobre a vegetação, efeitos do fogo e vários fatores ambientais da área afetada. Estes dados são depois combinados de forma a obter a severidade, medida utilizada para quantificar os dados causados pelos incêndios (ver figura 6).

4.1.1. Descrição do método

O método ForFireS utiliza sistemas de informação geográfica (SIG) para a criação e estudo de mapas e o Microsoft Access para a introdução e agregação de dados de forma a gerar uma base de dados sobre os efeitos e características do incêndio a estudar. A partir dos dados recolhidos serão utilizados indicadores para calcular e determinar a severidade do incêndio. Contudo, este método necessita de alguns pré-requisitos de forma a ser implementado, estes consistem na estabilização de um sistema de projeção único para os mapas, na recolha de características sobre o fogo e dados sobre a vegetação ardida, e na potencial estratificação da área ardida.

O sistema de projeção dos mapas é o Sistema de Referência Terrestre Europeu 1989 (European Terrestrial Reference System 1989 - ETRS89) também utilizado em Portugal Continental. Quanto às características sobre o fogo estas prendem-se com dados sobre o incêndio, como a data do incêndio e dimensão de área ardida, e podem ser obtidas através dos estados-membro ao abrigo do mecanismo comunitário "Forest Focus", desenvolvido entre 2003 e 2007, e que tem por objetivo efetuar o acompanhamento do estado dos ecossistemas florestais europeus, concentrando-se nomeadamente na proteção contra a poluição atmosférica e na prevenção dos incêndios (Regulamento (CE) n.º 2152/2003). O perímetro do incêndio também está inserido nas características do fogo e pode ser delineado através de imagens de satélite (providenciadas em condições normais pelo Centro Comum de Pesquisa de Ispra - Ispra Joint Research Centre); de pontos de GPS recolhidos por pessoal ao longo do perímetro do incêndio; e também através da comparação de fotografias aéreas antes e após o fogo.

A recolha dos dados sobre a vegetação existente na área de estudo tem como objetivo determinar se o incêndio se estendeu sobre zonas agrícolas ou urbanas, de forma a restringir o estudo sobre as áreas florestais e arbustivas, e se é possível a divisão da área ardida em diferentes unidades de acordo com a vegetação existente (por exemplo áreas arbustivas de áreas florestais). Estes dados podem ser obtidos através de estudos realizados como mapas de vegetação nacionais, assim como também é possível utilizar a base de dados "Corine Land Cover" (Cobertura do Solo Corine), em que Portugal foi o primeiro estado-membro a implementar esta operação, e em caso de ausência de qualquer tipo de estudo pode ser realizada uma interpretação de fotografias aéreas e ortofotomapas (Joint Research Center, s.d.).

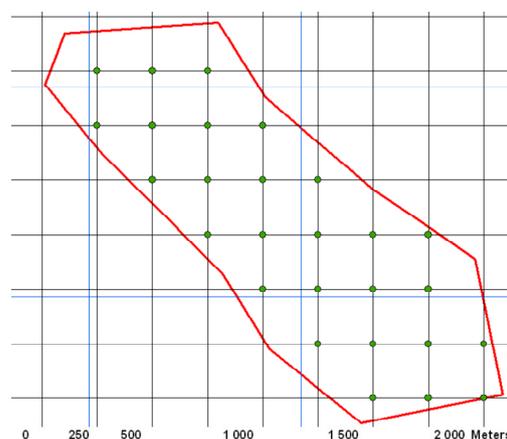
O último pré-requisito para iniciar a recolha e análise dos parâmetros de avaliação da severidade é a possível estratificação do perímetro do incêndio, que resulta da análise da vegetação existente. Esta estratificação não deve ser compulsiva pois quanto mais estratos forem criados maiores serão os meios necessários para realizar o método. Contudo contribui para uma melhor avaliação devido ao maior número de parcelas de amostragem e ao aumento do conhecimento sobre a reação ao fogo de determinadas áreas homogêneas de vegetação. O método ForFireS é aplicado a cada estrato separadamente mas os resultados podem ser combinados de forma a gerar uma avaliação da severidade geral.

4.1.2. Delimitação das parcelas de amostragem

Com os pré-requisitos preenchidos segue-se a delimitação das parcelas de amostragem que consistem numa rede de pontos onde serão instaladas parcelas de amostragem para medições e observações. Para um determinado estrato terão de existir um mínimo de 25 pontos de amostragem e um máximo de 30, distribuídos sobre uma rede quadrícula alinhada pelo sistema de coordenadas usados no país onde o estudo é conduzido, de forma a facilitar a localização dos pontos nos mapas topográficos. O tamanho da rede depende da área total do estrato e do número de pontos de amostragem pretendidos, e pode ser calculado através da divisão da área total do estrato pelo número de pontos desejados, resultando na área de cada quadrícula da rede. A raiz quadrada desta área gera a distância entre dois pontos de amostragem ao longo das coordenadas estabelecidas (Joint Research Center, s.d.).

Com a rede de pontos de amostragem criada, os membros das equipas de pesquisa atingem os pontos de amostragem com a através de GPS e é instalada uma parcela de amostragem para cada ponto. A parcela de amostragem tem um formato circular para generalidade dos casos, mas pode também ter uma forma retangular em zonas onde o terreno se apresenta em socacos.

A parcela padrão de amostragem circular tem uma área de 500 m² e um raio de 12,62 m tendo como centro o ponto de amostragem. Existindo também uma sub-parcela a partir do mesmo centro com 12 m² e 1,95 m de raio. Quanto á parcela retangular, esta também tem 500 m² de área e uma sub-parcela com 12 m² no seu



Caracterização dos efeitos dos incêndios e métodos de avaliação
Figura 4 - Delimitação e marcação dos pontos de amostragem. Fonte: Joint Research Center, s.d.

PROJETO SATFOR

interior, e é criada utilizando o ponto de amostragem como o seu canto Noroeste, com dois lados paralelos ao alinhamento dos socalcos e dois perpendiculares. Para obter as dimensões dos lados são necessários cálculos, onde o comprimento dos lados perpendiculares é igual ao dobro da largura média dos socalcos. Os lados paralelos são calculados através da divisão de 500 pelo comprimento dos lados perpendiculares. Quanto às dimensões da sub-parcela, o lado perpendicular é igual à dimensão do socalco, e o lado paralelo é igual à divisão de 12 pelo comprimento do lado perpendicular (Joint Research Center, s.d.).

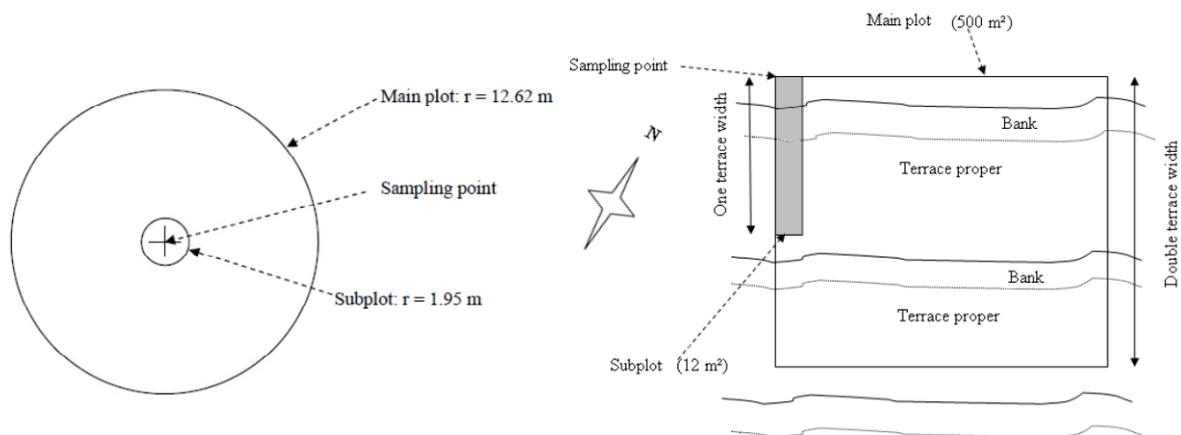


Figura 5 - Duas tipologias de parcelas de amostragem, a parcela circular e a parcela retangular. Fonte: Joint Research Center, s.d.

4.1.3. Determinação da severidade

Após a implementação da rede de parcelas de amostragem procede-se à recolha de dados sobre três classes de objetos (ver figura 6), sendo eles, as parcelas de amostragem, as árvores (classificadas individualmente), que possuam mais de 7 cm de diâmetro ao nível do peito e que potencialmente atinjam os 5 m de altura, e a "regeneração", que incide sobre grupos de árvores da mesma espécie ou grupo de espécies, com mais de 10 cm de altura e com um diâmetro ao nível do peito inferior a 7 cm (caso atinja os 1,30 m) dentro da sub-parcela, ao contrário das outras duas classes que abrangem toda a área da parcela. (Joint Research Center, s.d.)

Os dados recolhidos incidem sobre a descrição da área de estudo, na avaliação da biomassa antes e após o fogo, sobre a extração da madeira queimada, se for o caso, e outros tipos de efeitos, como a erosão (ver figura 6). Parte destes dados são utilizados para determinar a severidade do fogo através da combinação de cinco indicadores para as áreas de floresta, sendo somente os últimos dois usados

PROJETO SATFOR

para áreas arbustivas. Estes são o volume ardido relativo (Indicador I), a probabilidade de sobrevivência de um ano das árvores (Indicador II), a importância da regeneração (Indicador III), o risco de agravamento da erosão (Indicador IV), e a intensidade do fogo (Indicador V).

Cada indicador terá um valor integral de 0 a 4, em que 0 significa que o fogo teve pouco ou nenhum efeito e 4 significa que o fogo teve um grande efeito. Estes indicadores são calculados para cada ponto (parcela) de amostragem e depois combinados com os restantes para gerar uma avaliação geral da severidade do fogo. Sendo o resultado expresso da mesma forma, ou seja, de 0 a 4:

- 0 - Não queimado
- 1 - Ligeiramente queimado
- 2 - Moderadamente queimado
- 3 - Profundamente queimado
- 4 - Muito profundamente queimado

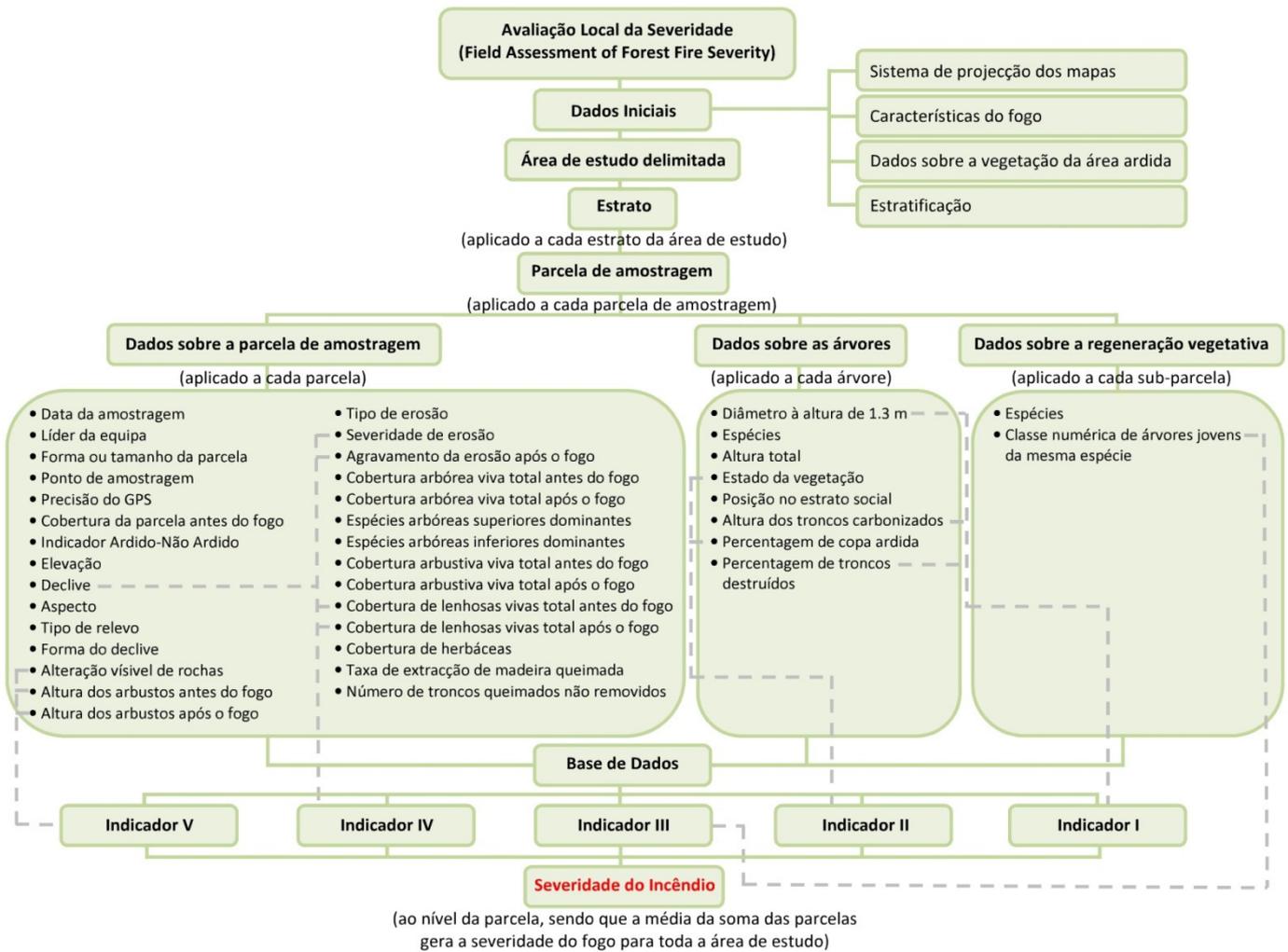


Figura 6 - Esquema representativo do Método de Avaliação Local de Severidade - ForFireS. Fonte: Autor, 2011

4.2. *Método de Avaliação da Paisagem (Landscape Assessment - FIREMON) - Estados Unidos da América*

O método de Avaliação da Paisagem (Landscape Assessment) encontra-se inserido no programa FIREMON que consiste num sistema de monitorização e inventariação dos efeitos do fogo. Este método mede a alteração ecológica causada pelo fogo (severidade do fogo), através da integração de duas metodologias, a Detecção Remota da Severidade (DRS) e a Severidade Local (SL).

Este foi desenvolvido inicialmente por Carl H. Key e Nathan C. Benson em 1996 após os incêndios no Parque Nacional Glacier em 1994, e desde então têm sido reunidos esforços para utilizar e combinar a deteção remota e os trabalhos no local de forma a estabelecer um contexto nacional sobre os incêndios florestais. Como tal, a primeira versão surgiu em 2001 no site do programa FIREMON sofrendo pequenas alterações em 2002 e 2003.

4.2.1. Descrição do método

O método de Avaliação da Paisagem visa a necessidade de identificar e quantificar os efeitos do fogo, de forma a poder agregar e comparar dados espacialmente e temporalmente. Os resultados revelados por este método demonstram a heterogeneidade espacial dos incêndios e como o fogo interage com a vegetação e a topografia. Sendo que a quantidade medida e projetada é a severidade do fogo, também utilizada no método ForFireS.

Este método baseia-se na combinação de duas metodologias de avaliação, a deteção remota da severidade, que consiste na deteção da severidade a partir de dados dos satélites Landsat a 30 m, e um valor radiométrico derivado denominado de Rácio Normalizado de Incêndio (RNI). O RNI é diferenciado entre dados pré-fogo e pós-fogo de forma a avaliar a extensão e o

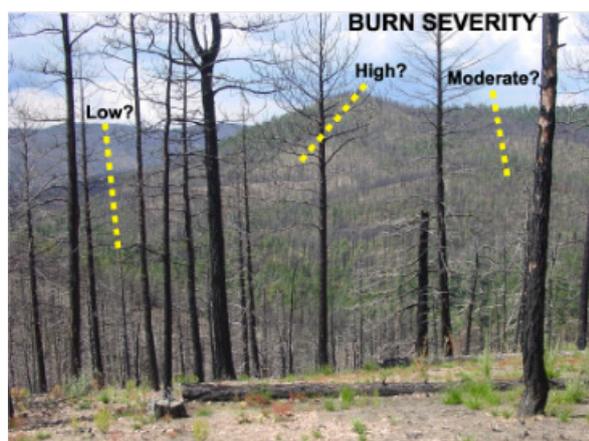


Figura 7 - Imagem que representa a forma como os satélites conseguem através dos sinais espectrais produzir os diferentes graus de severidade presentes na paisagem. Fonte: Key e Benson, 2006

grau de alteração detetado. A outra metodologia de avaliação serve de estudo complementar de forma a afinar e melhorar a deteção remota, contudo pode ser utilizada em caso de não existir a possibilidade de deteção remota, esta metodologia é denominada de Indicador Complexo de Incêndio (ICI). O ICI consiste num método de medição local da severidade através de parcelas de amostragem, em que serão atribuídas classificações de severidade para cada estrato dentro de cada parcela, e uma classificação geral para a parcela (Key e Benson, 2006).

Através da relação entre estes dois métodos serão calculados dados que resultam num mapeamento dos níveis de severidade, em que é possível distinguir áreas ardidadas de não ardidadas, assim como os diferentes níveis de efeitos do fogo, sendo que estes, associados à deteção remota e aos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), permitem a criação de mapas, imagens e estatísticas.

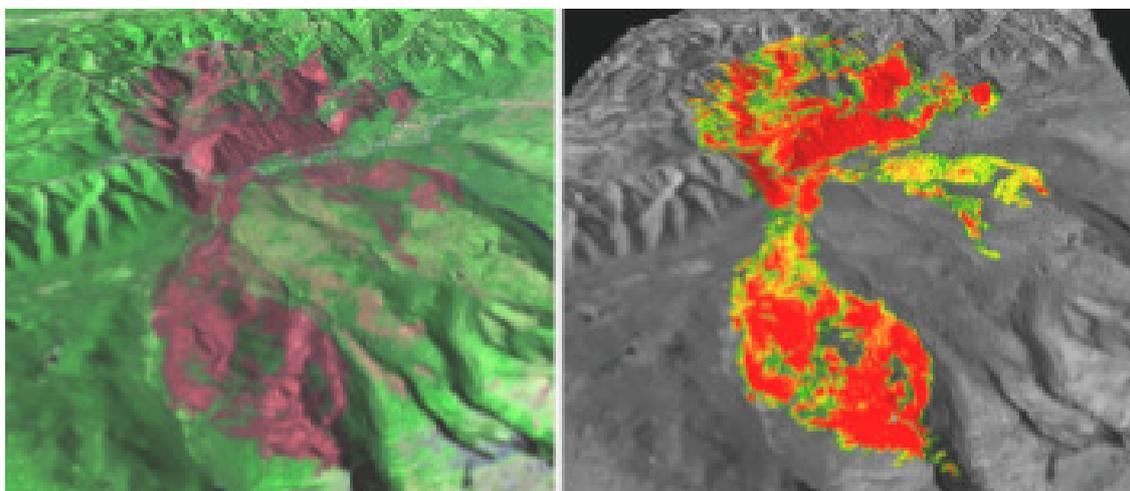


Figura 8 - Visualização em três dimensões do incêndio de Moose, Alasca, EUA, em que na imagem da esquerda se observa duas bandas espectrais recolhidas através dos satélites Landsat, e na da direita pode-se observar o resultado da diferenciação através do Rácio Normalizado de Incêndio antes e após o fogo, resultando na exibição dos diferentes graus de severidade do fogo. Fonte: Key e Benson, 2006

4.2.2. Medida de Deteção Remota de Severidade: Rácio Normalizado de Incêndio

A deteção remota de severidade foi desenvolvida devido ao programa Landsat da NASA (National Aeronautics and Space Administration - Administração Nacional de Aeronáutica e Espaço), que consiste no mais extensivo registo contínuo da

superfície terrestre, criando através dos seus satélites, imagens de informação espectral desde 1972.

Os dados multiespectrais do Landsat contêm diversos dados sobre as características da Terra, em que cada banda espectral responde de forma individual perante as diferentes características superficiais, como a estrutura da vegetação, a composição mineral e o conteúdo de água, sendo estas isoladas e analisadas através da combinação de algoritmos matemáticos com os diferentes níveis de brilho. A resolução espacial utilizada para a recolha das imagens é a de 30 m, permitindo uma cobertura global sem condicionar no entanto a avaliação e registo dos processos gerados à escala humana como o crescimento urbano, ou seja, com esta resolução não é possível observar casas individuais mas no entanto é perceptível a visualização de objetos de grande dimensão como autoestradas (NASA, 2011).

A informação recolhida por parte dos diferentes satélites é depois transformada e calculada através de um índice específico (RNI) cujo objetivo consiste na medição dos efeitos do fogo nas diferentes características da superfície terrestre. Esta informação é analisada antes e depois do fogo, permitindo a sua comparação e consequentemente levando à observação da alteração criada pelo fogo, cujo resultado é denominado de Rácio Normalizado de Incêndio diferenciado (RNId) (ver figura 11). Este método envolve a deteção da alteração criada especificamente nas áreas ardidas, logo é imperativo que os dados antes e após o incêndio sejam recolhidos e comparados em datas cuja fenologia e teor de humidade sejam o mais similar possível. Isto porque a paisagem não é estática e está em constante evolução e transformação através dos seus diversos ciclos de produtividade (Key e Benson, 2006).

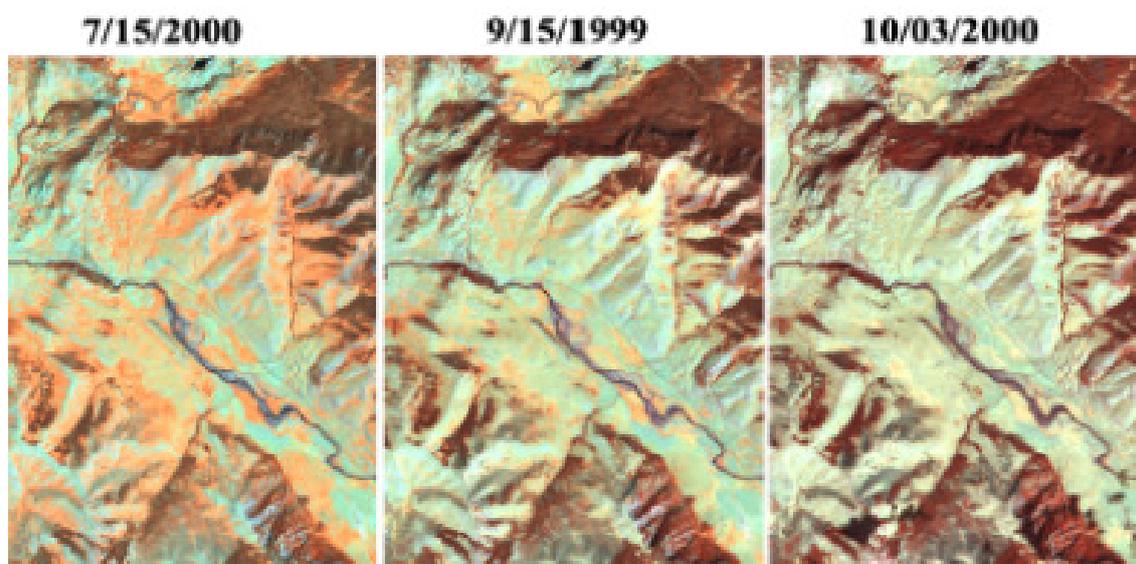


Figura 9 - Visualização de três imagens do Parque Nacional de Yellowstone, Wyoming, EUA, recolhidas pelos satélites Landsat, em três estações diferentes, onde se pode observar as diferenças causadas pelas variadas condições presentes em cada estação. Fonte: Key e Benson, 2006

As alterações observadas na paisagem imediatamente após o fogo estão relacionadas com a queima, carbonização e consumo da vegetação viva e combustíveis, e com a exposição do solo e os níveis de cinzas, consistindo estas alterações na maioria dos indicadores de severidade de incêndio. Contudo há alterações importantes que só são observáveis mais tarde, como a recuperação da vegetação e a mortalidade retardada da mesma.

Existem portanto duas estratégias de avaliação e comparação (ver figura 10), a avaliação inicial e a avaliação extensiva, sendo que ambas apresentam resultados diferentes que devem ser tidos em conta consoante os objetivos do estudo em causa. A avaliação inicial visa a observação dos efeitos imediatos do fogo causados nos componentes biofísicos, enquanto a avaliação extensiva, considerada mais representativa para a severidade real, pretende avaliar as alterações causadas pelo fogo na estação de crescimento seguinte à data do incêndio.

Landsat Acquisition Scenarios Relative to Time of Fire.

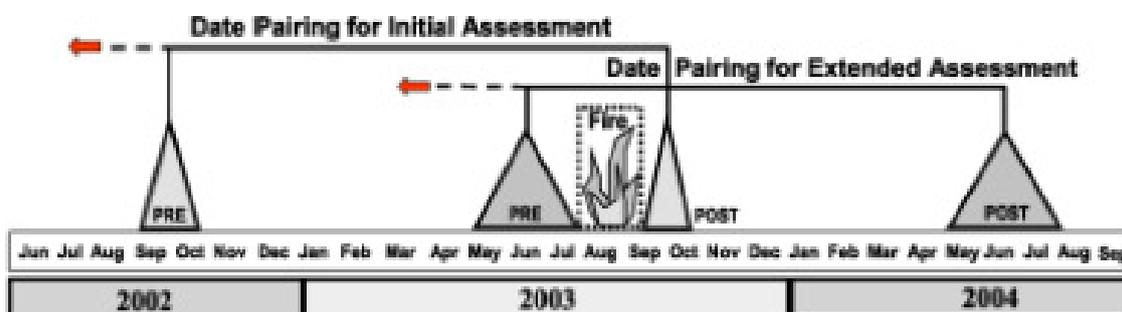


Figura 10 - Esquema representativo da diferenciação do Rácio Normalizado de Incêndio para a avaliação inicial e para a avaliação extensiva. Fonte: Key e Benson, 2006

4.2.3. Medida de Severidade Local: Indicador Complexo de Incêndio

A medida de severidade local visa obter, através das condições observáveis no espaço, valores indicadores, que combinados resumem a severidade geral de uma determinada parcela. O principal objetivo deste método de avaliação é abranger a maioria dos efeitos e alterações causados pelo fogo, ao longo dos diferentes cenários biofísicos existentes, permitindo uma representação espacial da severidade do incêndio, assim como, a possibilidade de afinar e confirmar os resultados obtidos pela detecção remota. Estes indicadores são recolhidos de forma eficiente (30 minutos por parcela), baseando-se na observação e avaliação visual das condições presentes, isto possibilita que um número representativo de parcelas seja avaliado abrangendo áreas extensas (Key e Benson, 2006).

O número de parcelas está relacionado com o tamanho e complexidade do incêndio, mas na maioria dos casos situa-se entre as 50 e as 100 parcelas com a dimensão de 30 por 30 m (900 m²) e com espaçamento mínimo de 90 m. Para delinear a localização das parcelas começa-se por localizar áreas com reduzida variação espacial de RNId, a partir destas áreas procura-se encontrar entre 10 e 20 pontos para cada grau de severidade existente (não queimado, baixo, moderado-baixo, moderado-alto e alto), sendo que estes pontos podem ser localizados de forma aleatória ou não aleatória (Key e Benson, 2006).

Esta avaliação considera uma estratificação das parcelas de amostragem, de acordo com os variados níveis verticais de uma determinada comunidade, sendo estes avaliados independentemente pois apresentam estruturas e características biofísicas diferentes (ver figura 11). Apesar da contiguidade espacial destes níveis, estes são afetados pelo fogo de forma particular e como tal apresentam efeitos distintos, relacionados com a forma e disposição da vegetação, tipo e quantidade de combustível, e também as condições atmosféricas.

Total	Sub-camada	Substratos
		Ervas, arbustos de pequeno porte e árvores de altura inferior a 1 m
		Arbustos de grande porte e árvores de altura entre 1 e 5 m
	Sob-camada	Árvores intermédias
		Árvores dominante

Tabela 8 - Tabela representativa da hierarquia dos estratos da Medida de Severidade Local. Fonte: Key e Benson, 2006.

Os valores gerados para cada estrato são combinados de forma a gerar uma classificação para a sub-camada, a sob-camada (caso exista), e o total da parcela. Esta classificação varia entre 0.0 (não queimado) e 3.0 (máximo efeito do fogo), e avalia fatores como a condição do solo, a quantidade de vegetação consumida, o estabelecimento e crescimento de novas espécies, e os níveis de queima e carbonização da vegetação arbórea (Key e Benson, 2006).

Sendo assim o Indicador Complexo de Incêndio (ICI) representa a magnitude dos efeitos do fogo ao longo dos diferentes estratos e camadas de determinada parcela de amostragem, permitindo a correlação e validação dos dados criados a partir da deteção remota (ver figura 12).

4.2.4. Determinação da severidade

A determinação da severidade através do método de Avaliação da Paisagem praticado nos Estados Unidos da América resulta da combinação e relação entre duas metodologias de avaliação, a deteção remota e a avaliação local. Estas metodologias são interdependentes devido ao facto da deteção remota ser um método que resulta de um sistema de avaliação matemático (Rácio Normalizado de Incêndio) que calcula os efeitos criados pelo fogo através de informação recolhida por satélites, sabendo-se que os resultados apesar de serem positivos e menos dispendiosos, necessitam constantemente de afinações e correções identificadas devido à avaliação local. Após comparados e afinados os resultados de ambas as metodologias é gerado a partir da deteção remota um mapa de incêndio, onde se

observa a disposição espacial dos diferentes níveis de severidade de um determinado incêndio.

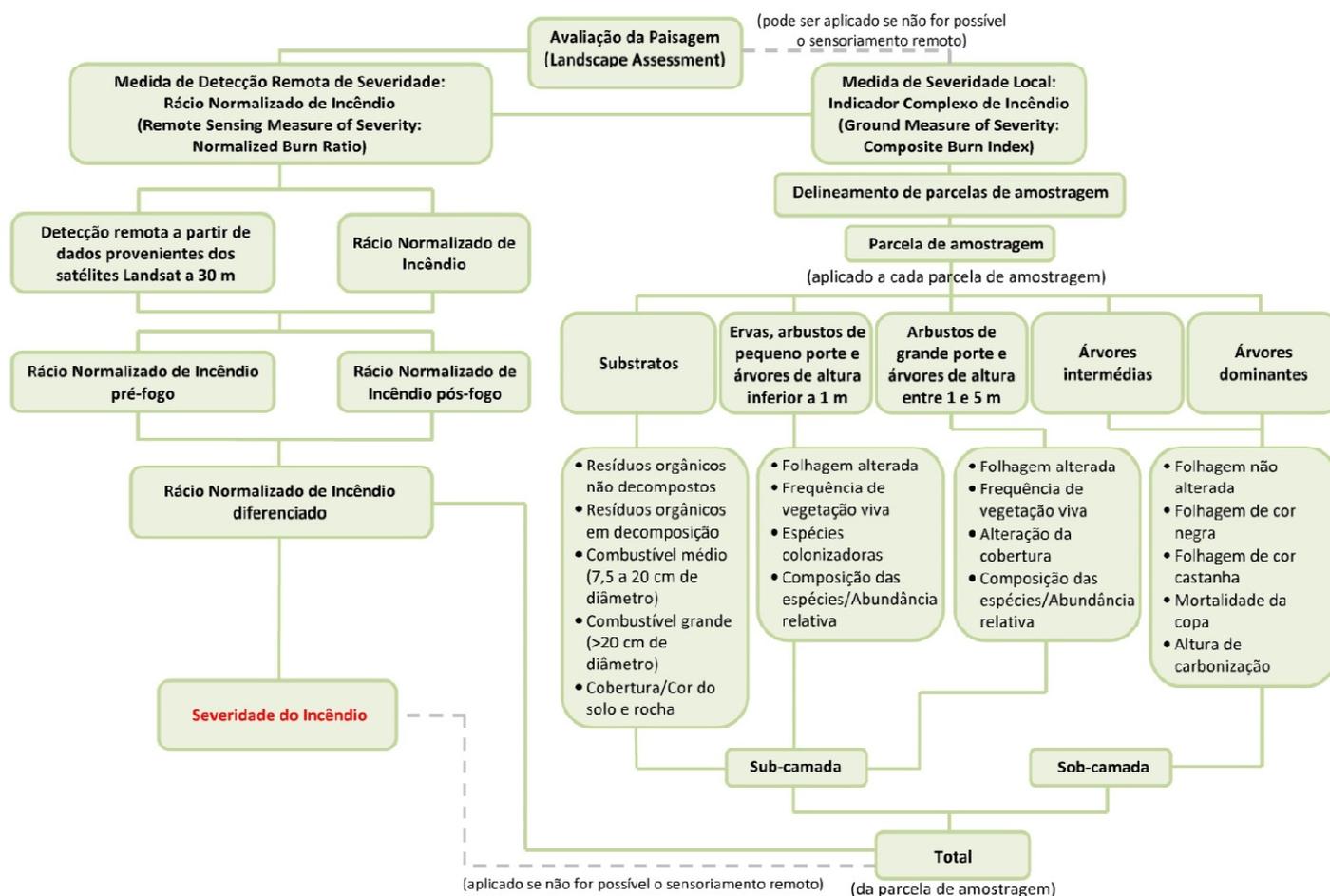


Figura 11 - Esquema representativo do Método de Avaliação da Paisagem - FIREMON. Fonte: Autor, 2011

4.3. Conclusões

Com a análise dos métodos de Avaliação Local da Severidade (ALS), usado na União Europeia (UE), e de Avaliação da Paisagem (AP), usado nos Estados Unidos da América (EUA), é possível, através da comparação dos mesmos, obter as seguintes conclusões:

- Ambos os métodos contemplam a avaliação da severidade no local, sendo que o método usado nos EUA utiliza este tipo de avaliação como complemento para a validação e ajustamento da deteção remota da severidade;
- O método de avaliação no local usado na Europa é mais extensivo no seu conteúdo, contudo só utiliza alguns dos dados recolhidos em campo para a

determinação da severidade, enquanto o método usado nos EUA, utiliza todos os dados recolhidos sendo portanto mais objetivo;

- Ambos os métodos abordam o conceito de estratificação, porém esta estratificação é aplicada de formas diferentes, sendo usada para definir manchas de vegetação homogêneas na área de estudo no método da UE, enquanto no método dos EUA, é utilizada para separar os diferentes níveis da vegetação (substratos, arbustos, árvores, etc.) presentes na área de estudo;
- O delineamento das parcelas de amostragem aparenta ser mais objetivo e simples de aplicar no método da UE, enquanto o método utilizado nos EUA tem como ponto forte, a aplicação de parcelas de amostragem nos diferentes níveis de severidade registados pela deteção remota, permitindo a sua validação e possível ajuste. Porém na ausência de deteção remota, isto torna-se impossível, e apesar de ser referido no método que este pode ser aplicado isoladamente, é evidente que aplicado sem a deteção remota teria resultados pouco conclusivos;
- Os métodos de avaliação classificam a severidade de forma diferente, sendo classificada de 0 a 4 no método da UE e de 0 a 3 no método dos EUA, estando este último de acordo com o sistema de classificação geralmente mais utilizado e referido por diversos autores, logo o método utilizado na UE apresenta esta discrepância na classificação que torna difícil a sua conciliação e comparação com a maioria dos estudos da área;
- O método utilizado nos EUA demonstra ser mais eficaz, menos dispendioso, e também sustentável, pois procura através da deteção remota conciliado com a avaliação no local, a obtenção de um rácio normalizado mais eficaz e objetivo, de forma a no futuro a avaliação da severidade dos incêndios seja feita somente através a deteção remota, eliminando a necessidade da deslocação de equipas aos locais para o registo de dados. Contudo na ausência da deteção remota, o método utilizado na UE aparenta ser mais objetivo e simples, aliando a avaliação da severidade com a obtenção de dados importantes sobre as áreas afetadas, apesar de serem somente utilizados para estudos complementares e não para a determinação da severidade.

5. Critérios e técnicas de reabilitação

De forma a mitigar os danos causados pelos grandes incêndios florestais, é necessária a intervenção e reabilitação nas áreas afetadas. Assim, este capítulo pretende demonstrar as técnicas e critérios de reabilitação frequentemente aplicados, tanto a curto prazo, como a médio e longo prazo, e desta forma tentar

concluir quais os tratamentos mais eficazes, os mais dispendiosos, seja em tempo ou custo, e também os que podem causar impactos negativos no futuro.

5.1. *Medidas a curto-prazo*

Neste capítulo ir-se-á debater sobre as técnicas e critérios de reabilitação mais utilizados nos dias de hoje para a recuperação de áreas ardidas, apresentando os seus benefícios e prejuízos. Após um incêndio florestal surgem várias hipóteses como primeiras medidas de intervenção sendo cruciais para uma melhor recuperação do coberto vegetal e linhas de água, mas que incidem principalmente no combate à erosão do solo. Estas medidas deverão ser aplicadas consoante as características do local, como o tipo de coberto vegetal, a morfologia do terreno ou o tipo de solo.

5.1.1. Extração de madeira queimada (logging)

A remoção de madeira queimada tem sido largamente utilizada após incêndios apesar de esta técnica estar envolta em controvérsia perante a relação entre os contributos e os prejuízos causados. Apesar de opiniões diversas, em geral existe concordância nos seguintes contributos e prejuízos, sendo os contributos evidentes ao nível económico, criando trabalho e recuperando dinheiro com a madeira recuperada, e ao nível ecológico, através da redução do escoamento superficial através dos restos deixados pela remoção dos troncos, com a redução de combustível disponível, e com a redução no risco de pragas (McIver e Starr, 2000) embora este aspeto seja ambíguo pois só irá existir risco de pragas em árvores que estejam parcialmente queimadas e o risco é ainda maior em árvores que estejam ligeiramente queimadas, logo estas provavelmente não deverão ser cortadas (Castro *et al*, s.d.).

Esta técnica consiste em cortar e remover os troncos de árvores queimadas com menor probabilidade de sobrevivência ou já mortas, e tem como objetivos aspetos económicos relacionados com a recuperação de valia além dos danos causados, e objetivos ecológicos que visam combater os prejuízos criados, sendo principalmente o combate à erosão e a remoção de combustível (McIver e Starr, 2000).

Benefícios:

- A obtenção de verbas com a venda da madeira assim como a criação de postos de trabalho;
- A possibilidade destas verbas serem aplicadas na reabilitação da área afectada;
- Os restos deixados pela remoção da madeira contribuem na redução do escoamento superficial (Poff, 1989);
- A remoção da madeira queimada reduz o combustível disponível e consequentemente contribui para uma intensidade de fogo menor em futuros incêndios (Stalling, s.d.);
- Reduções no risco de pragas (Amman e Ryan, 1996), contudo estudos recentes indicam que os insectos preferem árvores ligeiramente queimadas, que por sua vez não devem ser abatidas, às árvores muito queimadas ou mortas (Castro *et al*, s.d.).



Figura 12 - Imagem de uma área onde foi efetuada a extração da madeira queimada após um incêndio. Fonte: UBC Botanical Garden and Centre for Plant Research

Prejuízos:

- Oportunidades de recreio reduzidas com a remoção da vegetação arbórea;
- Contribui para o aumento da erosão (McIver e Starr, 2000);

- Danifica a estrutura do solo e o ciclo de nutrientes com a compactação e movimentação associadas aos trabalhos de remoção da madeira (McIver e Starr, 2000);
- Reduz a diversidade de habitats assim como condições para o desenvolvimento dos mesmos (DellaSala, 1995);
- Aumenta o risco de incêndio (Donato, 2006).

5.1.2. Sementeira de emergência (seeding)



Figura 13 - Imagem de uma área onde se observa o estabelecimento de ervas disseminadas por sementeira.

Fonte: <http://www.eri.nau.edu/es/intermountain-west/jfsp-post-wildfire-seeding-review>

A sementeira de emergência consiste na distribuição de sementes de ervas não autóctones ou perenes, normalmente através de uma aeronave, embora também seja comum a sementeira a lanço, e visa reduzir a erosão do solo, aumentar a cobertura vegetativa do solo e controlar a estabelecimento de plantas não nativas. Esta técnica para ter sucesso depende altamente da intensidade, estações e quantidades de chuvas, assim como da erosão dos nutrientes do solo (Robichaud *et al*, 2006).

Benefícios:

- Redução no processo erosão, porém alguns estudos mostram resultados ambíguos neste aspecto (Beyers, 2004 e Peppin *et al*, 2010);
- Controlo do estabelecimento de plantas invasivas, também com resultados ambíguos (Beyers, 2004 e Peppin *et al*, 2010).

Prejuízos:

- Competição com espécies autóctones (Beyers, 2004).
- Redução de cobertura vegetativa de plantas autóctones no curto prazo (Peppin *et al*, 2010).

5.1.3. Aplicação de resíduos orgânicos (mulching)

A aplicação de resíduos orgânicos no solo é geralmente usada na agricultura, para controlar a humidade no solo e temperatura, e melhorar a sua estrutura e conteúdo de nutrientes. Esta técnica tem sido utilizada também para tratamento de incêndios florestais, consistindo na aplicação essencialmente de duas formas resíduos orgânicos, os molhados (hydromulch), preparados juntamente com água para posterior aplicação no solo, o que permite uma maior consistência e compactação da camada aplicada, e os secos (dry mulch), que consistem em palhas e materiais lenhosos (Robichaud *et al*, 2010).

Benefícios:

- Redução no processo de erosão (Bautista *et al*, 2009);
- Redução do escoamento superficial (Bautista *et al*, 2009 e Robichaud *et al*, 2000);
- Proteção do solo do impacto da chuva (Bautista *et al*, 2009 e Robichaud *et al*, 2000);
- Redução na compactação e formação de sulcos (Robichaud *et al*, 2000);
- Aumento na infiltração da água (Bautista *et al*, 2009).



Figura 14 - Aplicação de mulch de forma aérea. Fonte: Robichaud *et al*, 2010.

Prejuízos:

- Tarefa dispendiosa (Robichaud *et al*, 2000);
- Possibilidade de introdução de espécies não autóctones (Beyers, 2004).

5.1.4. Estruturas transversais de retenção (prevenção da erosão no solo e nas linhas de água)

As estruturas transversais de retenção, são concebidas a partir de materiais naturais ou artificiais, e têm sido utilizados durante décadas para minimizar os impactes associados ao escoamento superficial e à erosão (Robichaud *et al*, 2000). Estas estruturas são instaladas com a intenção de combater os efeitos associados aos incêndios, e essencialmente variam entre barreiras com troncos de madeira (geralmente utilizados troncos provenientes da remoção da madeira queimada), com rolos de palha, com ramos e galhos e com fardos de palha. Sendo que estes métodos podem ser aplicados de forma a combater a erosão e escoamento superficial tanto nas encostas como nas linhas de água (Robichaud, 2010).



Figura 15 - Aplicação de estruturas de transversais de retenção com fardos de palha, no incêndio de Hayman, Colorado, EUA. Fonte: Robichaud, 2010.

Benefícios:

- Retenção de sedimentos (Robichaud, 2005);
- Redução do escoamento superficial (Robichaud, 2005);
- Aumenta a infiltração da água (Robichaud *et al*, 2000).

Prejuízos:

- Tarefa dispendiosa (Robichaud, 2000);
- Criação de socacos.

5.2. Medidas a médio e longo prazo

Após a aplicação das medidas de urgência adequadas a determinada situação, segue-se um processo de restauração dos variados componentes do ecossistema, sendo eles o solo, a água e a vegetação. A recuperação destes componentes visa melhorar determinadas características que apesar de poderem ter sido intervencionadas continuam a evidenciar problemas ou deficiências. Como tal, neste capítulo serão expostas as medidas de recuperação do solo, água e vegetação mais comuns no médio e longo prazo

5.2.1. Recuperação do solo

Para uma recuperação do solo adequada em solos mais suscetíveis à erosão e escoamento superficial, é necessária a adoção de medidas a curto-prazo referidas anteriormente, de forma a combater no curto prazo os processos de degradação do solo. Após aplicação das medidas a curto-prazo em casos mais graves, pode-se proceder numa fase mais avançada a determinadas correções e procedimentos, que consistem essencialmente em métodos que visem melhorar as características químicas e físicas dos solos (Fuentes, 2006).

Como correções físicas, são frequentemente utilizados os hidrogéis e a aplicação de resíduos (mulching) referida anteriormente. Os polímeros hidrófilos em gel surgiram nos Estados Unidos na década de 50 e visam absorver e reter grandes quantidades de água em relação ao volume que ocupam, sendo as suas características posteriormente aplicadas na agricultura. Como tal, foram evidenciados vários benefícios para o desenvolvimento das plantas e melhoria das qualidades do solo, como o aumento da retenção de água no solo, a redução da lixiviação dos nutrientes, a melhoria na capacidade de troca catiónica e uma maior disponibilidade de água para as plantas uso de hidrogel na agricultura (Azevedo *et al*, 2002). Contudo, a sua aplicação deverá ser estudada em solos argilosos ou de textura fina e onde se evidencie níveis extremos de falta de água, devido à afinidade por parte dos hidrogéis em relação à água em quantidades residuais, e que desta forma impossibilita a sua utilização por parte das raízes das plantas. Como tal, os hidrogéis apresentam maiores taxas de sucesso em solos arenosos do que em solos argilosos (Valdecantos, 2006).

A utilização de biossólidos (lamas de águas residuais) é o método mais frequentemente utilizado para a correção química e fertilização dos solos, contribuindo para um melhor desenvolvimento vegetal, contudo esta técnica pode levar ao aumento da salinidade e em caso de utilização de lamas semilíquidas, pode também trazer problemas físicos com a secagem das lamas. A sua aplicação em solos florestais tem que cumprir os mesmos critérios estabelecidos para a agricultura, como por exemplo, nas concentrações de metais pesados (Valdecantos, 2006).

5.2.2. Recuperação dos cursos de água



Figura 16 - Barreira de retenção de sedimentos numa linha de água, constituída por fardos de palha e troncos. Fonte: Land Stewardship Associates LLC,

Os grandes incêndios florestais afetam a estrutura e composição da vegetação, influenciando por sua vez a vegetação ribeirinha e as funções das linhas de água. Os fluxos de água são afetados pela combinação de efeitos causados nos seus componentes, como as raízes da vegetação ribeirinha que mantêm a estrutura do solo

e previnem a erosão, as copas das árvores, que afetam as temperaturas da água através da sombra, e a vegetação que aumenta a evapotranspiração (Kobziar e McBride, 2006).

Assim como na recuperação dos solos, em caso de elevado risco de erosão e taxa de transporte de sedimentos nos cursos de água, é necessária a intervenção a curto-prazo de forma a minimizar estes efeitos. Como tal, a intervenção consiste no estabelecimento de um ou mais tipos de estruturas de retenção de sedimentos, referidos anteriormente, ao longo das linhas de água, permitindo a redução dos fluxos nos cursos de água, e a retenção de sedimentos que serão libertados gradualmente com a degradação da estrutura.

Para intervenção nas linhas de água pode-se utilizar um dos métodos de retenção de sedimentos mencionados anteriormente, contudo, em casos em que se pretende que haja uma estabilização a longo prazo é aconselhada a construção de uma barreira com troncos e rochas pois irá perdurar durante um maior período de tempo, comparando com as barreiras feitas de palha ou ramos, sendo estas mais adequadas para linhas de água de menor caudal (Miles *et al*, 1989).

5.2.3. Recuperação da vegetação

A reflorestação é uma etapa bastante importante do processo de recuperação de uma área ardida, pois vai estabelecer o futuro uso para o local, assim como influenciar a potencialidade de futuros incêndios. Esta etapa comporta um elevado risco de falha e como tal, cada caso deverá ser escrupulosamente estudado e avaliado para reduzir a taxa de erro e beneficiar o espaço com as melhores condições para um desenvolvimento sustentável e equilibrado. A avaliação deverá

ter em conta as características ecológicas do local assim como o futuro uso pretendido de forma a fundamentar a escolha das espécies a introduzir, os métodos e etapas de propagação das espécies escolhidas.

Os planos de reflorestação nas últimas décadas apresentam critérios de seleção de espécies ambíguos, ora optando por espécies nativas ou exóticas, e coníferas ou folhosas, sendo que esta ambiguidade está intimamente relacionada com as características de determinado local assim como o uso pretendido. Por exemplo, se um futuro uso pretendido for a conservação, é natural a escolha de espécies nativas ao invés de espécies exóticas, sendo os métodos e etapas de propagação também afetados (Vallejo, 2006).

Normalmente as coníferas são das espécies mais utilizadas na reflorestação de áreas ardidas pela elevada taxa de sucesso e pela capacidade de providenciar um micro clima favorável para o estabelecimento de espécies folhosas posteriormente. Contudo, as coníferas apresentam um potencial elevado para a propagação do fogo, e esta é mais uma evidência da dificuldade e complexidade da tarefa de avaliação e seleção de espécies para um determinado espaço pois todas as opções apresentam benefícios e prejuízos que terão que ser cuidadosamente levados em conta (Vallejo, 2006).

Após a seleção da espécie ou espécies a introduzir, existem essencialmente dois métodos de propagação, sendo eles a plantação e a sementeira. A plantação apresenta maiores taxas de desenvolvimento em áreas com condições favoráveis ao crescimento, como a disponibilidade de recursos hídricos e nutrientes, porém em áreas com um nível baixo de recursos hídricos, como é o caso do clima semiárido do Mediterrâneo, este método de propagação apresenta taxas de sucesso muito baixas. Como tal, surgiu nos últimos anos o cultivo de espécies através de viveiro sob determinadas condições que vão adaptar as plantas às condições desfavoráveis onde serão introduzidas, desta forma as plantas irão superar mais facilmente os primeiros períodos de seca e irão ser reduzidos os impactes causados pelo transplante.

O cultivo em viveiro consiste em quatro componentes principais: o substrato ou meio de crescimento, em que o bom desenvolvimento das raízes e planta através de um substrato rico irá favorecer as taxas de sucesso da sua futura introdução; o contentor e o sistema radicular, sendo que a forma e a dimensão do contentor irão favorecer o desenvolvimento saudável do sistema radicular; o pré-condicionamento ao stress hídrico, que é considerado como o componente principal deste método, pois vai induzir nas plantas mecanismos de resistência a condições de seca, sendo

que nas espécies mediterrânicas é indicado um pré-condicionamento a longo prazo para melhores resultados; e a fertilização, em que o objetivo é promover o desenvolvimento das características morfológicas e funcionais das plantas que lhes permitam uma maior resistência às condições ambientais desfavoráveis (Vilagrosa, 2006).

Outro método de propagação é a sementeira, que apresenta vantagens em termos de custos e redução do tempo. Esta pode ser aplicada de duas formas: a lanço, manual ou aéreo; e enterradas, localizadas ou em linha. Contudo estes métodos de propagação apresentam diversas taxas de sucesso dependente das técnicas associadas, pois segundo um trabalho experimental realizado para o desenvolvimento de *Pinus halepensis* utilizando três métodos diferentes, a sementeira a lanço com cobertura de resíduos, foi o método com melhores taxas de sucesso, pois providencia as condições de humidade e proteção para a germinação das sementes (Bladé, 2006).

É importante referir a capacidade de dispersão do método de sementeira aérea, não contemplado no estudo anteriormente referido, que tem a capacidade de cobrir entre os 600 e 800 hectares por dia, sendo o método adequado para a propagação de espécies em áreas de grandes dimensões onde a sementeira a lanço se torna demasiado dispendiosa (Barnett e Baker, 2001).

5.3. *Conclusões*

As técnicas de reabilitação anteriormente referidas são comparadas em termos de resultados, custos, eficácia, risco de fracasso e tempo de instalação nas tabelas 9 e 10, de forma a ser possível concluir quais os tratamentos mais eficientes e adequados a determinadas situações. Assim sendo, pode-se concluir através da tabela 9, que o método mais eficaz para o tratamento das encostas é a aplicação de resíduos orgânicos, apesar do seu custo ser bastante mais elevado que a sementeira aérea para áreas de grandes dimensões. A sementeira aérea é o tratamento com menor custo, sendo as estruturas de retenção o tratamento com maior custo associado. Porém, segundo Robichaud (2000), as estruturas de retenção apresentam-se relativamente eficazes durante o primeiro ano para áreas com elevada taxa de erosão. Quanto ao tratamento das linhas de água a barragem com pastos apresenta-se como a melhor opção pois além de possuir alta eficácia, também apresenta baixo risco de fracasso e rápida instalação.

Tipo de tratamento	Custo				Categoria de Eficácia	Tempo de Instalação	Risco de Fracasso
	(\$ yd ⁻³)	(\$ m ⁻³)	(\$ ac ⁻¹)	(\$ ha ⁻¹)			
Tratamento das encostas							
Sementeira aérea	\$23	\$23	\$79	\$196	Moderado ¹	Rápido	Moderado
Resíduos orgânicos	\$50	\$52	\$504	\$1245	Alto ²	Lento	Baixo
Estruturas de retenção	\$180	\$183	\$720	\$1778	Baixo ²	Lento	Alto
Tratamento das linhas de água							
Barragem de pastos	\$105	\$107	\$158	\$392	Alto ²	Rápido	Baixo
Barragem de troncos e pedras	\$33	\$33	\$1346	\$3325	Alto ²	Lento	Moderado

¹ Perda de solo estimada usando a Universal Soil Loss Equation (USLE)

² Perda de solo estimada usando a medição no local

Tabela 9 - Comparação entre vários tratamentos, atendendo ao custo, eficácia, tempo de eficácia e risco de fracasso, sendo que o custo é representado em \$ de 1999. Fonte: Robichaud, 2000.

Em relação à tabela 10, pode-se observar no tratamento das encostas, que o tratamento com resíduos orgânicos (mulching) também apresenta excelentes resultados, assim como as estruturas de retenção de sedimentos com ramos, contudo esta técnica somente foi utilizada em três incêndios, e com lamas (silt fence). Por outro lado, as barreiras com rochas e a sementeira com fertilizante apresentam resultados considerados menos eficazes. Quanto ao tratamento das linhas de água é de destacar os resultados para a barragem de troncos e de rolos de palha, pelos resultados bastante positivos.

Tratamento BAER	Incêndios (n.º)	Excelente (%)	Bom (%)	Razoável (%)	Fraco (%)
Tratamento de encostas					
Sementeira aérea	83	24.1	27.7	27.7	20.5
Estrutura transversal de retenção (troncos)	35	28.6	37.1	14.3	20.0
Aplicação de resíduos orgânicos (mulching)	12	66.8	16.6	16.6	0.0
Sementeira a lança	11	9.1	81.8	9.1	0.0
Barreira de retenção de sedimentos (silt fence)	8	37.5	62.5	0.0	0.0
Sementeira com fertilizante	4	25.0	0.0	50.0	25.5
Barreira estabilizadora de rocha	3	0.0	33.3	67.7	0.0
Estrutura transversal de retenção (ramos)	3	67.7	33.3	0.0	0.0
Vedação temporária	3	0.0	67.7	33.3	0.0
Barreira de retenção de sedimentos (rolos de palha)	3	33.3	33.3	33.3	0.0
Escarificação/Lavragem	3	33.3	33.3	33.3	0.0
Tratamento das linhas de água					
Barragem de retenção (fardos palha)	10	30.0	30.0	30.0	10.0
Barragem estabilizadora (troncos cruzados)	10	30.0	30.0	10.0	30.0
Limpeza de resíduos	7	0.0	71.4	0.0	28.6
Barragem de troncos	5	40.0	60.0	0.0	0.0
Barragem estabilizadora (rochas)	3	0.0	33.3	67.7	0.0
Barragem de retenção (rolos de palha)	3	33.3	67.7	0.0	0.0

Tabela 10 - Classificação de eficácia de variados tratamentos adoptados, fornecida por especialistas do programa BAER (Burn Area Emergency Rehabilitation). Fonte: Robichaud, 2000.

A generalidade de resultados ambíguos e dispersos, apenas vem realçar a complexidade associada ao tratamento de áreas ardidas, isto devido à necessidade de adaptação e consideração das condições específicas de cada ecossistema. Os resultados demonstram que o tratamento que apresenta resultados excelentes num determinado sítio pode ter resultados fracos noutra enquadramento, como se pode observar nos tratamentos de sementeira aérea, retenção transversal de sedimentos com troncos, e a barragem estabilizadora com cruzamento de troncos.

6. Bibliografia

- Amman, G.D., Ryan, K.C., 1991. Insect infestation of fire-injured trees in the greater Yellowstone area. Ogden, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Azevedo, T., Bertonha, A. e Gonçalves, A., 2002. Uso de hidrogel na agricultura. Em: Revista do Programa de Ciências Agro-Ambientais, 1(1): 23-31.
- Barnett, J.P. e Baker, B., 1991. Regeneration methods. Em: Forest regeneration manual: 35-50.
- Bautista, S., Robichaud, P.R. e Bladé, C., 2009. Post-fire mulching. Em: Fire effects on soils and restoration strategies. Enfield, EUA: Science Publishers: 353-372.
- Beyers, J.L., 2004. Postfire Seeding for Erosion Control: Effectiveness and Impacts on Native Plant Communities. Em: Conservation Biology, 18: 947-956
- Bladé, C., 2006. Sementeira directa. Em: Ferramentas e metodologias para o restaura de áreas ardidas: 37-39.
- Bond, W. e Wilgen, B. van, 1996. Fire and Plants. Londres, Reino Unido: Chapman & Hall.
- Castro, J., Marañón-Jimenez, S., Sánchez-Miranda, A. e Lorite, J., s.d.. Efecto del manejo de la madera quemada sobre la regeneración forestal post-incendio: Desarrollo de técnicas blandas de restauración ecológica. Em: Proyectos de investigación en parques nacionales: 2006-2009: 139-157.

- Certini, G., 2005. Effects of fire on properties of forest soils: a review. Em: *Oecologia*, 143: 1-10.
- Clark, B., 2001. Chapter V - Soils, Water and Watersheds. Em: *Fire Effects Guide*.
- DeBano, L.F., 1981. Water repellent soils: a state-of-the-art. Gen. Tech. Rep. PSW-46. Berkeley, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- DeBano, L.F., Neary, D.G., Ffolliott, P.F., 1998. Fire's effects on ecosystems. EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- DellaSala, D.A., Olson, D.M., Barth, S.E., Crane, S.L., e Primm, S.A., 1995. Forest health: moving beyond rhetoric to restore healthy landscapes in the inland Northwest. Em: *Wildlife Society Bulletin*, 23(3): 346-356.
- Fuentes, D., 2006. Preparação do Local. Em: *Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardida*: 31-32.
- Ice, G.G., Neary, D.G. e Adams. P.W., 2004. Effects of Wildfire on Soils and Watershed Processes. Em: *Journal of Forestry*: 16-20.
- Joint Research Center, s.d.. Field Assessment of Forest Fires Severity - Manual. Acedido em: Outubro, 2011, em: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/reports/forest-focus-studies>.
- Key, C. e Benson, N., 2006. Landscape Assessment - Sampling and Analysis Methods. Em: FIREMON: Fire Effects Monitoring and Inventory System. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-164-CD. Fort Collins, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Kobziar, L.N. e McBride, J.R., 2006. Wildfire burn patterns and riparian vegetation response along two northern Sierra Nevada streams. Em: *Forest Ecology and Management*, 222 (1-3): 254-265.
- McIver, J.D., Starr, L., 2000. Environmental effects of postfire logging: literature review and annotated bibliography. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-486. Portland, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Miles, S.R., Haskins, D.M. e Ranken, D.W., 1989. Emergency burn rehabilitation: cost, risk, and effectiveness. Em: *Proceedings of the symposium on fire and watershed management*. Gen. Tech. Rep. PSW-109. Berkeley, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- NASA, 2011. Acedido em: Outubro, 2011, em: <http://landsat.gsfc.nasa.gov/>

- Neary, D.G., 2004. An overview of fire effects on soils. Em: Southwest Hydrology, 18-19.
- Neary, D.G., Ryan, K.C., DeBano, L.F., et al, 2005. Wildland fire in ecosystems: effects of fire on soils and water. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-42 Volume 4. Ogden, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Poff, R.J., 1989. Compatibility of timber salvage operations with watershed values. Em: Proceedings of the symposium on fire and watershed management. Gen. Tech. Rep. PSW-109. Berkeley, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Pyne, S., Andrews, P. e Laven, R., 1949. Introduction to wildland fire. EUA: John Wiley & Sons, Inc.
- Regulamento (CE) n.º 2152/2003 do Parlamento Europeu e do Conselho de 17 de Novembro de 2003 relativo ao acompanhamento das florestas e das interacções ambientais na Comunidade (Forest Focus).
- Robichaud, P., 2005. Measurement of post-fire hillslope erosion to evaluate and model rehabilitation treatment effectiveness and recovery. Em: International Journal of Wildland Fire, 14: 475-485.
- Robichaud, P.R., Ashmun, L.E. e Sims, B.D., 2010. Post-fire treatment effectiveness for hillslope stabilization. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-240. Fort Collins, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Robichaud, P.R., Beyers, J.L., Neary, D.G., 2000. Evaluating the effectiveness of postfire rehabilitation treatments. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-63. Fort Collins, EUA: U.S. Department of Agriculture.
- Robichaud, P.R., Lillybridge, T.R. e Wagenbrenner, J.W., 2006. Effects of postfire seeding and fertilizing on hillslope erosion in north-central Washington, USA. Em: Catena, 67: 56- 67
- SATFOR, 2011. Acedido em: Outubro de 2011, em: <http://www.satfor.com/>
- Stalling, D., s.d.. Forests, fires and elk: Logging for healthy habitat?. Acedido em: Outubro, 2011, em: <http://www.idahoforests.org/elk.htm>.
- Valdecantos, A., 2006. Correção do solo. Em: Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardidas: 33-35.
- Vallejo, R., 2006. Selecção de espécies para plantação. Em: Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardidas: 36.

PROJETO SATFOR



- Vilagrosa, A., 2006. A qualidade das plantas: o cultivo em viveiros. Em: Ferramentas e metodologias para o restauro de áreas ardidas: 41-44.