

Calibração do Sistema Canadano de Perigo de Incêndio para Aplicação em Portugal

Domingos X. Viegas*, Raul M. Reis, Miguel G. Cruz*** e
Maria T. Viegas******

*Professor Catedrático, ***Bolsheiro de Doutoramento, ****Engenheira Silvicultora
Universidade de Coimbra. Departamento de Engenharia Mecânica, Pinhal de
Marrocos, 3031-601 COIMBRA

**Assessor Principal

Instituto de Meteorologia, Rua C - Aeroporto de Lisboa, 1700 LISBOA

Sumário. Descreve-se o Sistema Canadano de indexação do perigo de incêndio, indicando o significado de cada um dos seus sub-índices. Com base em resultados de medições diárias do teor de humidade de combustíveis florestais finos, estabelecem-se equações para estimativa do teor de humidade de combustíveis da folhada e do estrato arbustivo. Mostra-se existir uma relação directa entre a velocidade de propagação do fogo em vegetação arbustiva e o índice de propagação inicial ISI. Apresenta-se em seguida a metodologia empregada para calibrar as classes de perigo, em cada um dos dezoito distritos de Portugal Continental, com base nos valores estatísticos de FWI e do número e área ardida diariamente por distrito. É apresentado o valor médio do índice de secura DC como sendo um bom caracterizador da gravidade relativa de um dado ano.

Palavras-chave: perigo de incêndio; meteorologia aplicada aos incêndios florestais; combustíveis florestais; Sistema Canadano

Calibration of Canadian Fire Danger Rating System for Application to Portugal

Abstract. The Canadian Fire Weather System is briefly described and the meaning of each one of its components is given. Data from direct field measurements of fine fuel moisture content in Central Portugal were used to establish predictors of moisture content of litter and of shrub vegetation. The ability of ISI to predict rate of spread in shrub vegetation is shown. The methodology to calibrate the fire danger classes based on the statistical data of daily FWI, number of fires and burned area for each district of Continental Portugal is presented. It is shown that the average value of the Drought Code (DC) is a good indicator of the relative danger of a fire season.

Key words: fire danger; fire meteorology; forest fuels; Canadian Fire Weather System

Calibration du Système Canadien d'Indexation du Danger Appliqué au Portugal

Résumé. Le Système Canadien d'indexation du danger d'incendie est décrit en indiquant le sens de chacun de ses sous-indices. À partir des résultats de mesures quotidiennes de la teneur d'humidité de combustibles forestiers fins, des équations sont établies pour l'estimation de la

teneur d'humidité de combustibles de la litière et de la strate arbustive. On montre qu'il existe une relation directe entre la vitesse de propagation du feu dans une végétation arbustive et l'indice de propagation initiale ISI. Ensuite, on présente la méthodologie employée pour calibrer les classes de danger pour chacun des dix-huit districts du Portugal Continental, basée sur les valeurs statistiques de FWI et sur la quantité et la surface brûlée quotidiennement par district. La valeur moyenne de l'indice de sécheresse DC est présentée comme étant une bonne indicatrice de la gravité relative d'une année donnée.

Mots clés: danger d'incendie; météorologie appliquée aux incendies forestiers; combustibles forestiers; Système Canadien

Introdução

As condições meteorológicas afectam os incêndios florestais em todas as suas fases, desde a sua eclosão, passando pela propagação até à sua supressão. O perigo de incêndio, considerado como sendo a possibilidade de ocorrer um incêndio condicionada pelos factores ambientais variáveis, refere-se em geral às condições meteorológicas e pode ser estimado de modo objectivo recorrendo a métodos de indexação existentes.

Como é sabido existem múltiplos métodos para estimar o perigo de incêndio, com base em parâmetros meteorológicos, que são utilizados em todo o mundo. Está fora do âmbito deste trabalho uma descrição ou análise dos métodos existentes, podendo consultar-se para o efeito VIEGAS *et al.* (1994) e REIS (1998a). De entre os métodos conhecidos considera-se neste estudo o Sistema Canadano de indexação do perigo, pelas razões que se indicam mais adiante.

A aplicação de um dado método a uma determinada região carece de uma calibração prévia, para se terem em conta as propriedades específicas do clima, do regime de incêndios e da estrutura de prevenção e combate dessa região. No caso presente procedeu-se à calibração de alguns dos indicadores derivados do Sistema Canadano para indexação do perigo de incêndio nos vários distritos de

Portugal Continental e para estimativa do teor de humidade de alguns dos componentes das formações florestais.

O Sistema Canadano

Porquê o Sistema Canadano

Num estudo realizado no âmbito de um programa apoiado pela Comissão Europeia, comparou-se o desempenho de um conjunto de seis diferentes métodos de indexação do perigo de incêndio, face aos dados de ocorrência de incêndios em quatro países do Sul da Europa. Este estudo foi publicado inicialmente como um relatório interno do projecto MINERVE (VIEGAS *et al.*, 1996) e foi mais tarde publicado em VIEGAS *et al.* (1999). Os métodos testados estão indicados no Quadro 1. As regiões geográficas nas quais se aplicou o estudo encontram-se indicadas no Quadro 2, juntamente com o período de extensão da base de dados estatísticos.

Quadro 1 - Métodos de indexação considerados no estudo comparativo

	Índice	País
1	IREPI	Itália
2	SOL	França
3	Nesterov	Portugal
4	ICONA	Espanha
5	FWI	Canadá

Quadro 2 - Áreas e períodos considerados no estudo comparativo de métodos de indexação

País	Região	Época	Período	Média diária	
				Ninc	A (Ha)
Portugal	Região Centro	Jun./Set.	1988-1992	23	261
França	Alpes-H.-Provence	Jan./Abril	1981-1990	0,18	1,77
França	Bouches du Rhone	Jan./Abril	1986-1990	1,47	50,9
França	Var	Jul./Set.	1986-1990	2,07	106
França	Pirenéus Orientais	Jul./Set.	1986-1990	0,63	15,4
Itália	Veneto	Jan./Abril	1989-1990	1,43	14,5
Itália	Savona	Jan./Abril	1987-1989	0,79	6,45
Itália	Savona	Jun./Set.	1987-1989	0,77	5,51

Aplicando um conjunto de testes estatísticos concluiu-se que o sistema Canadano, caracterizado pelo seu índice de perigo de incêndio *Fire Weather Index (FWI)* era de um modo consistente aquele que tinha um melhor desempenho, quer na discriminação de número de incêndios por dia, quer da área ardida por dia numa dada área geográfica. Houve casos, como o Sul de França e o Norte de Itália, em que se verificou que o *FWI* tinha melhor desempenho do que outros índices desenvolvidos especificamente para a região em causa. Embora o *FWI* tenha sido desenvolvido para estimar o perigo de incêndio no caso de fogos típicos de Verão, constatou-se que tinha um bom desempenho também para incêndios do período invernal, como sucede nas regiões alpinas de Itália. É interessante mencionar que nesse estudo o índice de Nesterov, modificado pelo Instituto de Meteorologia (REIS, 1988), e utilizado em Portugal entre 1988 e 1998, se mostrou como segundo classificado na escala de desempenho, no confronto com os restantes índices.

A metodologia empregada naquele estudo foi mais tarde aplicada a outras áreas geográficas e à análise comparativa do sistema Canadano com diversos outros métodos utilizados nessas regiões,

com resultados muito semelhantes e com a mesma conclusão geral de bom desempenho global do sistema Canadano. São exemplos de tais estudos SAMPAIO *et al.* (1998) e DIMITRAKOPOULOS and BEMMERZU (1998).

O Sistema Canadano é muito fácil de utilizar, porque apenas requer dados que se encontram disponíveis na larga maioria das estações meteorológicas. Sucede ainda que o sistema Canadano de indexação é composto por um conjunto de indicadores ou sub-índices, que se descrevem na secção seguinte, os quais contêm informação complementar de grande interesse para a gestão dos incêndios florestais.

Pelas razões apontadas, em resultado do estudo mencionado atrás, foi feita em 1995 uma recomendação, através da Comissão Europeia, para que os países da Comunidade adoptassem como método comum de indexação do perigo de incêndio, o sistema Canadano. A adopção de um método comum permitiria, além de outras vantagens, o emprego de uma linguagem comum, com indicadores de fácil reconhecimento e interpretação pelos diversos intervenientes, no âmbito de uma colaboração ou intercâmbio internacionais. Esta recomendação foi adoptada

pela Météo-France, que abandonou o conjunto de índices que anteriormente utilizava para estimar o perigo diário de incêndio, a partir dos valores obtidos para cada um deles. Tal análise requeria a intervenção de especialistas e dava origem a interpretações por vezes pouco objectivas.

Em Portugal a recomendação feita foi acolhida pelo Instituto de Meteorologia em 1997, que na sequência do relatório de REIS e RIJKS (1997), baseado nas respostas a um questionário dirigido a todos os Países da Europa e nas recomendações nele elaboradas, passou a determinar o índice de perigo diário FWI simultaneamente com o índice de Nesterov, para efeitos de análise. Em 1998, após a elaboração da climatologia do sistema de índices Canadano, para o território do Continente (REIS, 1998b), passou o IM a difundir para as entidades operacionais a probabilidade de ocorrência de fogos por distritos, com bons resultados (baseada no FWI), além do índice de perigo determinado por ambos os sistemas. O índice de perigo baseado no FWI, devido à sua deficiente aferição mereceu reservas de algumas entidades. A fim de melhorar a fiabilidade das indicações dadas pelo FWI procedeu-se a um estudo detalhado de calibração do sistema, de cuja metodologia e resultados se dá conta neste trabalho.

Descrição do Sistema Canadano

O *Canadian Forest Fire Weather Index System* (CFFWIS) é o resultado de anos de investigação aplicada realizada naquele País, a partir de 1968, que culminou com a apresentação do sistema num documento coligido por VAN WAGNER (1987). Nas referências indicadas pode encontrar-se a história do desenvolvi-

mento do sistema. Apesar do seu interesse, está fora do âmbito deste trabalho a sua reprodução aqui. Limitar-nos-emos a mencionar que a base em que assenta o CFFWIS é a estimativa do teor de humidade de diferentes componentes dos complexos combustíveis típicos das florestas daquele País, feita a partir de um conjunto de equações físicas, que foram aferidas com dados obtidos experimentalmente. Neste facto, de se basear parcialmente em leis físicas, radica porventura a generalidade, quase universal diríamos, do sistema e, por outro lado, a necessidade da sua calibração para cada uma das realidades a que se pretenda aplicar.

A estrutura do sistema Canadano encontra-se representada esquemáticamente na Figura 1. Como se pode ver existem três níveis nesta estrutura, que passaremos a analisar sucintamente:

- Observações meteorológicas
- Índices de teor de humidade
- Índices de comportamento do fogo.

O último destes índices, o *Fire Weather Index*, é simultaneamente um indicador de comportamento e de perigo de incêndio, sendo o que é mais utilizado como variável de saída do sistema. Apesar do seu interesse e elevado significado o FWI representa apenas uma faceta do complexo papel da meteorologia nos incêndios. A fim de se obter uma percepção mais completa deve analisar-se o conjunto dos sub-índices, como se procurará fazer neste trabalho. Para uma informação mais detalhada sobre o significado dos diversos componentes do Sistema Canadano, assim como para obtenção das fórmulas matemáticas que relacionam as variáveis envolvidas ver VAN WAGNER (1987).

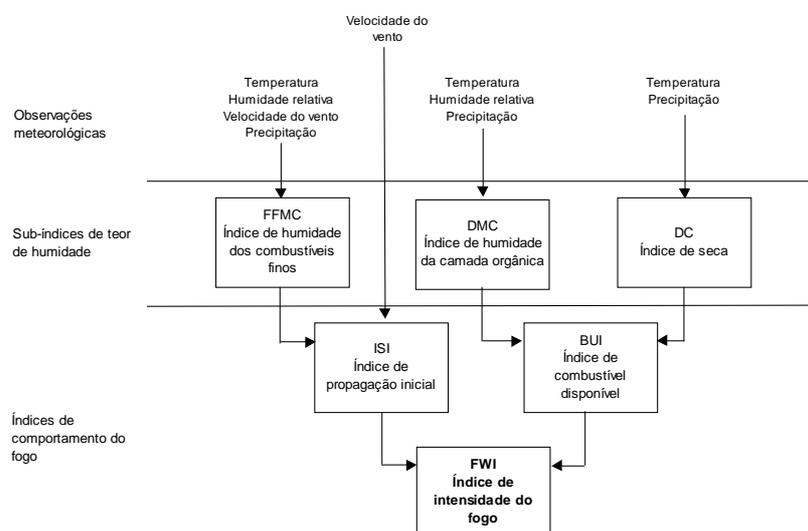


Figura 1- Estrutura do sistema de indexação de perigo de incêndio Canadano (FWI)

Parâmetros meteorológicos

Os parâmetros meteorológicos que o Sistema Canadano requer como dados de entrada são, como se pode ver naquela figura, os seguintes:

- A temperatura do ar;
- A humidade relativa do ar;
- A velocidade do vento, medida a 10m de altura;
- A precipitação ocorrida nas últimas 24 horas.

Atendendo a que o valor diário mais significativo do índice de perigo é precisamente o máximo diário e que este ocorre cerca do meio do dia, normalmente os parâmetros meteorológicos utilizados no sistema, são os observados às 12 TUC ou previstos para as 12 TUC (13.00 horas locais, durante o Verão). É no entanto possível calcular os valores dos diferentes sub-índices do sistema a uma hora qualquer do dia e estudar inclusivamente a sua variação diurna, embora a interpretação desta variação deva ser

efectuada com cuidado. Se não houver outra referência explícita entender-se-á que o valor do índice é o valor diário, calculado com os valores das 12 TUC.

Tratando-se de um índice cumulativo, existe a necessidade de conhecer os valores dos parâmetros meteorológicos para um conjunto sucessivo de dias. A fim de assegurar uma boa estabilidade das estimativas, o cálculo deve ser iniciado num período em que os valores dos teores de humidade sejam máximos, ou seja logo depois de um período de elevada precipitação. Em Portugal é suficiente começar o cálculo a partir do início da Primavera, utilizando os valores de partida recomendados no formulário.

Sub-índices de teor de humidade

O sistema Canadano tem três sub-índices que estão relacionados com o teor de humidade de estratos de combustíveis finos mortos (*FFMC*), dos combustíveis que constituem a camada orgânica existente no solo (*DMC*) e do solo (*DC*).

As designações destes índices têm alguma correspondência com a estrutura dos combustíveis típica das florestas canadianas e de outras regiões em que existe uma camada orgânica bastante desenvolvida subjacente à folhada, facto que não ocorre usualmente nas florestas portuguesas. Ainda assim manteremos as designações originais destes índices e as respectivas abreviaturas, reconhecendo embora que a sua interpretação no âmbito da nossa realidade deva ser revista.

Fine Fuel Moisture Code (FFMC) – Índice de teor de humidade de combustíveis finos.

Duff Moisture Code (DMC) - Índice de teor de humidade da camada orgânica.

Drought Code (DC) – Índice de Secura, representativo do déficite de água no solo.

Cada um destes índices é calculado a partir de dados meteorológicos, empregando um formulário que produz um número que é tanto mais elevado quanto menor for o teor de humidade de cada um dos estratos mencionados. O valor do índice assim produzido tem por isso um sentido meramente convencional. A relação entre o valor do índice e o teor de humidade de um dado estrato combustível, ao depender de diversos outros factores que não estão contidos nas fórmulas, deverá ser obtida em cada caso por meio de calibração.

Índices de comportamento do fogo

Num nível intermédio encontram-se dois índices relacionados com aspectos do comportamento ou propagação do fogo. São o índice de propagação inicial (*ISI*) e o índice de combustível disponível (*BUI*), que têm os significados que se indicam em seguida:

Initial Spread Index (ISI) - Índice de

propagação inicial, incorpora o índice de teor de humidade dos combustíveis finos e o valor da velocidade do vento para produzir uma medida da velocidade de propagação do fogo em terreno plano, se não houver combate, como deverá ocorrer na fase inicial de um fogo nascente.

Build Up Index (BUI) - Integra os dois sub-índices restantes, *DMC* e *DC* para obter uma estimativa da proporção da vegetação disponível - partículas médias e grossas - que irá participar efectivamente na propagação. Esta fracção é, como se sabe, dependente do teor de humidade dos vários componentes do leito combustível.

Índice de perigo

O resultado final do sistema é uma conjugação dos dois índices anteriores, designado por índice de perigo (*FWI*) e constitui o dado de saída que mais directamente se relaciona com a possibilidade de ocorrência de incêndios e com a respectiva perigosidade.

Fire Weather Index (FWI) - Índice de perigo meteorológico.

Ao ligar um indicador da velocidade de propagação (*ISI*) com um indicador do combustível disponível (*BUI*), o *FWI* é na verdade um índice de intensidade de propagação do fogo e, por esse motivo, poderia ser considerado como mais um índice de comportamento. Pelo facto de integrar aqueles dois componentes constitui ao mesmo tempo uma boa medida da facilidade de ignição - relacionada com o teor de humidade dos combustíveis finos - da extensão possível dos incêndios - dependente da velocidade de propagação - e com a dificuldade de extinção - proporcional à intensidade de propagação, ou ao comprimento das chamas, que lhe é equivalente.

Estimativa do teor de humidade

Amostragem de vegetação

Espécies e local de amostragem

O Centro de Estudos sobre Incêndios Florestais (CEIF), tem, desde o ano de 1987, um programa de medição diário do teor de humidade e da inflamabilidade de um conjunto de combustíveis finos representativos da floresta na Região Centro de Portugal. O local de colheita é o aeródromo da Lousã e as amostras são recolhidas, durante o período de Verão, diariamente entre as 12 e as 13 horas locais e analisadas no Laboratório de Estudos sobre Incêndios Florestais (LEIF), situado no próprio aeródromo.

As espécies recolhidas têm variado ao longo do tempo, mas na sua maioria têm-se mantido, dada a sua importância e representatividade. No presente estudo iremos considerar apenas três casos, que são os seguintes:

- Caruma de *Pinus pinaster*
- Folhas mortas de *Eucalyptus globulus*
- Folhas e extremidades de ramos de *Calluna vulgaris*.

As duas primeiras amostras são representativas dos combustíveis finos da folhada, ao passo que a terceira representa os combustíveis arbustivos. Estes caracterizam-se por, poderem ter partes vivas e outras mortas, consoante o período do ano e o estado vegetativo da planta. Para simplificar a terminologia designaremos os dois primeiros combustíveis como sendo mortos e ao último designaremos por vivo, embora esta designação não seja muito apropriada, como vimos.

Metodologia de ensaio

De cada espécie são constituídas cinco amostras de massa inicial (M_i) igual a dez gramas, que são colocadas durante 24 horas numa estufa termo-regulada a 85°C. Após este período as amostras são retiradas e novamente pesadas, de forma a obter o peso seco de cada amostra (M_s). O teor de humidade m_f de cada amostra é então calculado através de:

$$m_f = \frac{M_i - M_f}{M_f} \quad (1)$$

Como se vê o teor de humidade é referido à massa seca M_f , como é usual. O teor de humidade diário é tomado como sendo a média dos valores das cinco amostras desse combustível.

Dados meteorológicos

No presente estudo os dados meteorológicos empregados foram os do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra, situado no Penedo da Saudade, em Coimbra. A partir de 1995 o Instituto de Meteorologia transferiu a sua estação de referência, para a área de Coimbra, daquele local para o Aeródromo de Cernache, a cerca de 6km de distância. Passou também a dispor de uma estação meteorológica no Aeródromo da Lousã. Um estudo comparativo dos indicadores fornecidos por cada uma destas novas estações permitiu concluir que a capacidade da estimativa da humidade da vegetação era melhorada quando se utilizavam os dados do Aeródromo da Lousã, o que é compreensível, dada a sua proximidade em relação ao local de colheita das amostras. Como se sabe, os

episódios de precipitação ou de nebulosidade, que condicionam o teor de humidade da vegetação durante o Verão, podem ter um carácter localizado, pelo que não é de estranhar o resultado mencionado acima.

Atendendo a que a série de dados do I. Geofísico é mais extensa e, como tal, mais homogénea, foi a utilizada neste estudo. Por outro lado importa avaliar a capacidade de estimar o teor de humidade da vegetação, empregando índices calculados com base em dados de estações meteorológicas porventura não muito próximas do local de interesse.

Combustíveis da manta morta

Existência de diversas curvas de calibração

O índice que se relaciona mais directamente com o teor de humidade dos combustíveis mortos finos é, como se viu, o *FFMC*. É pois esse índice que iremos tomar como estimador do teor de humidade dos combustíveis desta classe. LAWSON *et al.* (1996) referem a existência de diferentes funções de calibração, para relacionar o *FFMC* com o teor de humidade da manta morta.

Na Figura 2 mostram-se graficamente três dessas funções, sendo as duas primeiras, F1 e F2, utilizadas no Canadá e a terceira, F3, empregada na Nova Zelândia. Estas funções, que foram obtidas empiricamente têm as seguintes equações (cf LAWSON, 1996):

$$F1 = 101 - FFMC \quad (2)$$

$$F2 = 205,2 \frac{(101 - FFMC)}{(82,9 + FFMC)} \quad (3)$$

$$F3 = 32,87 \frac{(101 - FFMC)}{(13,28 + FFMC)} \quad (4)$$

É interessante verificar que os dados presentes se situam entre as F2 e F3, o

que seria de esperar, pelo facto de nos encontrarmos numa situação climática intermédia, relativamente àqueles dois países.

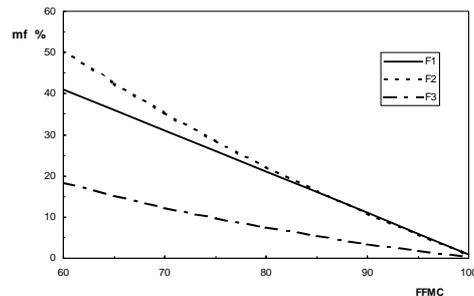


Figura 2 – Funções de estimativa do teor de humidade de combustíveis finos mortos, a partir do *FFMC*

Resultados obtidos com *Pinus pinaster* e *Eucalyptus globulus*

Nos nossos estudos não se encontrou diferença, em termos práticos, na distribuição dos valores obtidos com *Pinus pinaster* ou com *Eucalyptus globulus*, pelo que iremos tratar dos dois indistintamente. Na Figura 3 podem ver-se os resultados obtidos. A curva de regressão dos dados que permitiu obter o melhor ajuste ($r^2=0,766$; $n=42$) tem por equação:

$$m_f = 9 \times 10^{-9} \cdot FFMC^{-4,54} \quad (5)$$

Os combustíveis arbustivos são os responsáveis pela propagação do fogo na maior parte das situações, quer sob a forma de comunidades arbustivas quer como estratos arbustivos em situações de povoamentos arbóreos. As extremidades finas dos arbustos, que participam na propagação, podem ser constituídas por partes vivas ou por partes já mortas da planta, dependendo do estado vegetativo do arbusto. Uma vez que este estado será dependente do nível de água no solo ou do grau de secura da estação, foi testada a hipótese de o índice de secura *DC* ser

um bom estimador do teor de humidade do estrato arbustivo, pelo menos durante a estação quente do ano.

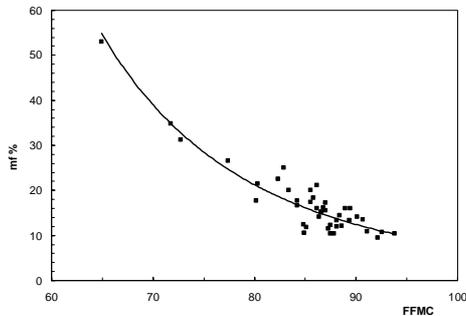


Figura 3 - Relação entre o teor de humidade de combustíveis mortos finos (*Eucalyptus globulus*) medido diariamente na Lousã e o valor de FFMC registado em Coimbra
Combustíveis arbustivos

Empregando os dados de um conjunto de anos e de diversas espécies arbustivas constatou-se que efectivamente o índice *DC* se relacionava de uma forma unívoca com o teor de humidade das espécies arbustivas estudadas, obtendo-se distribuições médias como a que se reproduz na Figura 4, para a *Calluna vulgaris*. Nesta figura cada ponto representa a média dos valores de um conjunto de dez dias, quer para o teor de humidade, quer para o *DC*. Este estudo foi alargado a outras espécies amostradas na Catalunha, com resultados muito similares (VIEGAS *et al.*, 1998 e VIEGAS *et al.*, 2001). Nestes trabalhos podem encontrar-se mais detalhes sobre a metodologia utilizada e sobre os resultados alcançados para o conjunto de espécies estudadas.

A curva de regressão obtida para as diversas espécies tem por equação geral:

$$m_f = a \cdot DC^{-b} \quad (6)$$

em que *a* e *b* são constantes que dependem da espécie estudada. No caso

da *Calluna vulgaris*, representada na Figura 4, aqueles valores são respectivamente iguais a 616,5 e 0,332 ($r^2=0,484$; $n=79$). Os valores correspondentes para as restantes espécies têm a mesma ordem de grandeza e podem ser encontrados nos trabalhos referidos anteriormente.

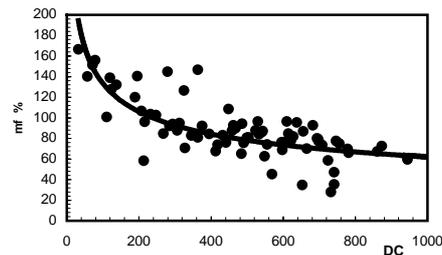


Figura 4 - Relação entre o teor de humidade de combustíveis arbustivos finos (*Calluna vulgaris*) medido na Lousã e o valor de *DC* registado em Coimbra (valores médios de dez dias)

Se bem que nos modelos de comportamento conhecidos o peso atribuído ao teor de humidade dos combustíveis vivos seja muito reduzido, face ao dos combustíveis mortos, é compreensível que as condições de propagação dos incêndios dependerão certamente deste parâmetro. É pois de esperar que, no futuro, com o desenvolvimento dos conhecimentos sobre os mecanismos de propagação do fogo em combustíveis vivos, o conhecimento da variação deste parâmetro seja um dado importante para melhorar a capacidade de previsão do comportamento do fogo.

Indicadores de comportamento

Metodologia de amostragem

A equipa do CEIF tem vindo a realizar diversos ensaios de campo, nos quais são

queimadas parcelas de vegetação previamente preparadas, com a finalidade de determinar as características de propagação do fogo em diferentes condições ambientais, semelhantes às que ocorrem em alguns incêndios florestais. Alguns destes ensaios foram realizados em vegetação arbustiva, dispondo-se de dados sobre as condições meteorológicas existentes durante os mesmos.

Os ensaios cujos resultados se apresentam neste trabalho foram realizados no Alto de Trevim, na Serra da Lousã, em vegetação arbustiva homogénea, com cerca de 0,6 a 0,8m de altura, composta essencialmente por *Ericaceae*. Nestes ensaios a velocidade de propagação era medida com razoável precisão, recorrendo a um conjunto de fios colocados transversalmente ao longo dos talhões, distanciados entre si de 5 metros.

Resultados

Na Figura 5 estão representados os resultados de um conjunto de treze ensaios de campo realizados no Trevim, sendo comparada a velocidade de propagação medida durante os ensaios com o valor de *ISI* determinado a partir dos dados meteorológicos de estações situadas na vizinhança próxima dos ensaios. Como se pode observar, existe uma boa correlação entre a velocidade de propagação e o *ISI*, para estes ensaios. O conjunto de resultados apresentados é muito limitado em termos de campo de aplicação, embora sirva para ilustrar o potencial que se dispõe, de empregar o *ISI*, mediante uma calibração adequada, como um estimador expedito da velocidade de propagação. Deveriam ser reunidos dados que permitissem produzir curvas semelhantes à da Figura 5 para

cada um dos principais tipos de coberto vegetal existentes no nosso País, para efeitos de aplicação prática.

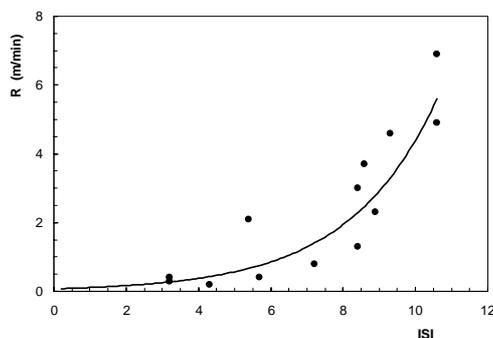


Figura 5 - Relação entre o índice de propagação inicial (*ISI*) e a velocidade de propagação medida ou estimada em vegetação arbustiva

A curva que se mostra naquela figura representa um ajustamento dos dados com uma função exponencial de equação:

$$R = 0,0736 \cdot e^{0,409ISI} \quad (7)$$

Nesta equação, que corresponde ao melhor ajustamento obtido entre diversas funções testadas, o valor de *R* vem expresso em [m/min] e o coeficiente de correlação obtido foi $r^2=0,794$.

Indicador de ocorrência diário

Base de dados

Conforme se disse acima iremos considerar como indicador de ocorrência por excelência o Índice de Perigo Meteorológico *FWI*, que sintetiza os sub-índices já referidos.

A fim de aferir o *FWI* como indicador diário de ocorrência de incêndios florestais nas diversas regiões de Portugal efectuámos um estudo estatístico da relação entre este índice e os dados de

ocorrência diária de incêndios. A base territorial empregada foi a dos Distritos, dado o seu interesse operacional, dentro da actual estrutura organizativa dos serviços de gestão dos incêndios florestais em Portugal. Atendendo à elevada incidência dos incêndios durante o período de Verão, o presente estudo concentrou-se no período compreendido entre os meses de Junho a Setembro. Os dados estatísticos utilizados corresponderam ao período de 1988 a 1996. Constatou-se que durante este período ocorreu uma variação inter-anual muito ampla nos parâmetros que traduzem a incidência dos incêndios florestais. A título de exemplo pode referir-se que a área ardida no País variou entre 28 kHa, em 1988, e 195 kHa, em 1995, sem que se notasse qualquer tendência de variação com o tempo, pelo que se considera que a amostra utilizada é representativa das condições vigentes nos anos próximos do período de estudo.

Os dados estatísticos de ocorrência de incêndios foram o número de incêndios (*Ninc*) e a área ardida por dia (*A* [Ha]) no distrito. É sabido que qualquer um destes parâmetros é susceptível de conter erros

de diversa natureza e que a homogeneidade espacial e temporal da base de dados poderá ser questionada. Ainda assim cremos que o elevado número de dados tratados permite assegurar uma consistência suficiente ao estudo realizado, tendo em vista o fim a que se destina e atendendo ainda que são estes os melhores dados de que podemos dispor.

Quanto aos dados meteorológicos, seleccionou-se uma estação principal da rede do IM (dispondo de valores às 12 TUC, durante uma série longa de anos) representativa para cada um dos dezoito distritos do Continente. Infelizmente para o período total de análise não se dispunha, para cinco daqueles distritos, de uma estação localizada no próprio distrito. Esta situação, levou-nos a tomar algumas das estações principais como sendo representativas de mais do que um distrito, como se pode ver no Quadro 3. Também, para alguns distritos, a representatividade da estação escolhida (única hipótese) poderá ser menor, em determinadas situações meteorológicas, como é o caso de Faro.

Quadro 3 – Listagem dos Distritos do Continente e das respectivas estações meteorológicas de referência

Distrito	Estação	Distrito	Estação
V. Castelo	V. Castelo	Coimbra	Coimbra/Cernache
Braga	Porto/ PR	Leiria	Coimbra/Cernache
Porto	Porto/ PR	Santarém	Lisboa/GC
Aveiro	Porto/ PR	Lisboa	Lisboa/GC
V. Real	V. Real	Setúbal	Lisboa/GC
Bragança	Bragança	Portalegre	Portalegre
Viseu	Viseu/ CC	Évora	Évora/ CC
Guarda	P. Douradas	Beja	Beja
C. Branco	C. Branco	Faro	Faro/ Aerop.

Metodologia de aferição

A análise dos valores de *Ninc*, *A* e de *FWI* calculados para cada um dos distritos permite constatar imediatamente que a gama de variação de qualquer um destes parâmetros difere de um distrito para outro. Decorre daqui que o conceito de escala de risco tem de ter uma interpretação ou carácter relativo. Por outras palavras, um dado valor de *FWI* pode significar um nível de perigo extremo em Viseu, mas não em Beja, por exemplo. Por outro lado um dia com 20 incêndios poderá ser considerado como "normal" na Guarda, ao passo que seria um dia excepcional em Évora.

Uma vez que nos propomos aferir o *FWI* para cada distrito, de acordo com as cinco classes de risco adoptadas em Portugal, teremos de admitir que cada uma dessas classes tem uma interpretação relativa, que varia de um distrito para outro. As cinco classes consideradas são as indicadas no Quadro 4.

Quadro 4 – Classes de risco

1	Risco Baixo
2	Risco Moderado
3	Risco Alto
4	Risco Muito Alto
5	Risco Extremo

Poderia ainda definir-se uma classe adicional, que designaríamos por classe de Risco Nulo, ao constatarmos a existência de um número significativo de dias, em cada distrito, em que o número de ocorrências e a respectiva área ardida eram nulos ou muito baixos, mas por razões de ordem prática esta classe está incluída na classe de risco baixo.

Os valores do *FWI* que definem as classes acima mencionadas foram estabelecidos do seguinte modo:

Verificando-se que, de uma forma geral, o *FWI* se correlacionava muito bem com *Ninc* e menos bem com *A*, para a maior parte dos distritos, especialmente nas regiões do Norte e Centro, foram calculadas para cada distrito e para o período de 15 de Maio a 15 de Outubro (1988-1996) as frequências de ocorrência diária por classes, tanto do número de incêndios como da área ardida. Em função daquelas frequências acumuladas (VIEGAS, 1999) e das probabilidades cumulativas da ocorrência do *FWI* (REIS, 1998) foram determinados os limites para as classes de risco.

Um dos princípios adoptados foi o de que os dias de perigo extremo não deveriam exceder 5% do total. Outro foi o de que os dias de risco baixo deveriam corresponder a um número de ocorrências diário da ordem de um ou a uma área ardida da ordem de um hectare ou inferior.

A título de exemplo mostram-se os caso dos Distritos do Porto, Coimbra e Évora, os quais tipificam algumas das diversas situações encontradas no conjunto do País. Na figura 6 apresenta-se, para cada um destes distritos, a distribuição estatística de número de incêndios, área ardida por dia e valor de *FWI*, em função da respectiva probabilidade cumulativa. Entrando com o valor da probabilidade definida para cada classe no eixo das abcissas, pode ler-se na curva respectiva o valor de *FWI*, do número de incêndios e da área ardida que em média não serão excedidos na referida classe.

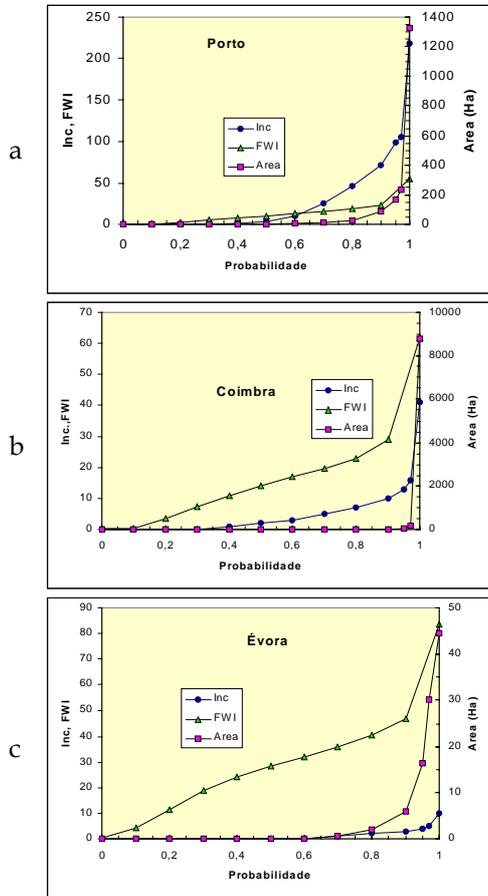


Figura 6 - Probabilidade de o valor de FWI ser alcançado num dado dia, entre Junho e Setembro, no Distrito de Évora

A partir daquela figura foi construído o Quadro 5, nas quais se apresentam os

valores da probabilidade acumulada considerada em cada distrito e os respectivos valores limites de *FWI*, *Ninc* e *A*. Tendo em conta a especificidade de cada distrito o critério não foi uniforme em cada um deles. Para cada distrito, em função da probabilidade de ocorrências e de área ardida, foram determinados limites para aqueles dois parâmetros. Tomando a média das probabilidades que limitavam as classes de cada um daqueles dois parâmetros (*Ninc* e *A*), foram estabelecidos os correspondentes limites para probabilidade de ocorrência de *FWI*. Como se disse este procedimento sofreu diversos ajustes, consoante os distritos.

Por exemplo, para se estabelecer a classe de risco Baixo consideraram-se os dias em que o número de incêndios havia sido menor ou igual a três no Porto, dois em Coimbra e um em Évora, correspondendo a uma área ardida em média, por dia da ordem de 0,1 a 1,5Ha. Como se pode ver as probabilidades acumuladas variam entre 40% para o Porto e 70% para Évora. Para o risco Moderado considerou-se um número de incêndios correspondente a cerca de 80% dos casos, tomados por ordem crescente de número de incêndios. No caso de Évora essa percentagem foi elevada para 90%, dado o anterior valor de percentagem para a classe mais baixa.

Quadro 5 – Valores limite das classes de perigo para os Distritos de Porto, Coimbra e Évora

Classe de Risco	Porto				Coimbra				Évora			
	Prob.	FWI	Inc	Area	Prob.	FWI	Inc	Area	Prob.	FWI	Inc	Area
1 Baixo	40	8	3	0,1	60	17	2	1,5	70	36	1	0,5
2 Moderado	80	19	46	27	80	23	7	5,5	90	47	3	6
3 Alto	90	24	72	88	90	29	10	16	95	65	4	17
4 Muito Alto	95	39	99	166	95	46	13	55	97	75	5	30

Para a classe de risco Alto tomou-se a percentagem de 90% para Porto e Coimbra e 95% para Évora. O limite superior da classe de Muito Alto, que coincide com o limite inferior da classe de risco Extremo, corresponde a 95% e a 97% dos casos, respectivamente. É interessante notar que os valores do número de incêndios que limita esta classe é sensivelmente igual ao dobro do valor limite para a classe de risco Moderado. Um exercício análogo realizado sobre as distribuições de *Ninc* e de *A*, permitiram determinar os valores que completam aquela tabela.

Resultados

Aplicando o método descrito a cada um dos dezoito distritos de Portugal construiu-se o seguinte quadro de aferição do índice *FWI*. Atendendo ao

carácter aproximado da aferição realizada e ao fim a que se destina, foram efectuados arredondamentos nos valores de *FWI* definidores dos limites de classes. O resultado final encontra-se no Quadro 6.

Este quadro tem sido utilizado pelo Instituto de Meteorologia, desde 1999, tendo sofrido algumas alterações em 2001, com resultados satisfatórios, na difusão do perigo de incêndio diário. Pode-se comparar os valores obtidos pela aplicação do método de aferição descrito, que se mostraram no Quadro 5, para os distritos de Porto, Coimbra e Évora, com os valores corrigidos pela aplicação prática, que se mostram no Quadro 6. Tem-se verificado uma boa relação geral, em média, entre a classe de perigo calculada e a ocorrência de incêndios no distrito nesse dia.

Quadro 6 – Valores limite de *FWI* para as classes de risco em cada Distrito

Distritos	Classes de Risco				
	Baixo	Moderado	Alto	Muito Alto	Extremo
Viana do Castelo	<10	15	30	45	>45
Braga	<10	15	30	50	>50
Porto	<8	15	25	40	>40
Vila Real	<13	20	30	50	>50
Bragança	<23	30	45	55	>55
Aveiro	<10	17	23	40	>40
Viseu	<15	25	45	70	>70
Guarda	<8	15	25	50	>50
Coimbra	<15	22	30	45	>45
Leiria	<15	25	30	50	>50
C. Branco	<20	35	45	60	>60
Lisboa	<25	35	50	70	>70
Santarém	<25	33	50	60	>60
Setúbal	<30	40	55	70	>70
Portalegre	<35	50	65	75	>75
Évora	<40	50	65	75	>75
Beja	<40	50	65	75	>75
Faro	<30	40	60	75	>75

Constata-se que o quadro de aferição obtida pode ser melhorada, tendo em conta a variação média das condições de perigo de um mês para outro, dentro do período de quatro meses considerado. Efectivamente, tal como existe uma variação espacial do perigo de incêndio - que foi considerada neste trabalho - em cada distrito existe uma variação temporal, que não foi tida em conta. Esperamos melhorar esta aferição utilizando os dados mensais de cada distrito.

Apesar do bom desempenho geral do *FWI*, verifica-se que os dias críticos, em que ocorrem os maiores incêndios, nem sempre são bem caracterizados por este parâmetro. Constata-se que tais dias correspondem antes a valores extremos de *FWI*, ou de *BUI*, ou de ambos, o que é compreensível. Esperamos num trabalho futuro abordar esta questão.

Indicador de ocorrência anual

A variabilidade inter-anual na ocorrência dos incêndios numa dada região e mesmo em todo o País é naturalmente reflexo de condições naturais, associadas à meteorologia, que variam de um ano para outro. Torna-se pois interessante encontrar indicadores que traduzam de alguma forma esta variabilidade. Testes efectuados com o Índice de Secura *DC* mostraram que o valor de *DC* constituía um bom indicador sobre a gravidade relativa da situação num dado ano, em confronto com anos anteriores. Assim sendo, tomou-se o valor médio de *DC* de Coimbra durante o período de 1 de Junho a 30 de Setembro de cada ano como sendo característico das condições de secura desse ano e comparou-se com o valor da área ardida em todo o País, tendo-se obtido os resultados que se

mostram na Figura 7.

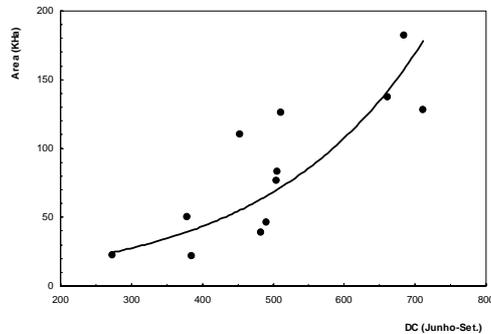


Figura 7 - Área queimada anualmente em Portugal Continental em função do valor médio do índice de secura *DC*, em Coimbra, entre Junho e Setembro. (Dados DGF 1987-2000)

Como se pode observar nesta figura existe uma correlação muito estreita entre o valor médio de *DC* para o ano, referente a Coimbra, e a área ardida em todo o País nesse ano. Este facto evidencia a importância dos factores meteorológicos na incidência dos incêndios. A relevância de outros factores, nomeadamente da eficácia das medidas de prevenção e de combate, pode ser avaliada pelo afastamento positivo ou negativo dos valores correspondentes a um dado ano, em relação à curva "normal" do País. A equação da curva representada na figura, que corresponde, uma vez mais ao melhor ajuste conseguido ($r^2=0,688$; $n=12$), entre diversas funções analíticas testadas, tem por equação:

$$A = 7,07e^{-0,0045DC} \quad (8)$$

Nesta equação o valor da área vem expresso em kHa (1000 Ha).

Conclusão

Tendo em vista a aplicação operacional do Sistema Canadano de indexação do perigo meteorológico em Portugal, à semelhança do que vem ocorrendo noutros países europeus, foi efectuada uma calibração de alguns indicadores deste sistema ao nosso País. Foram apresentadas relações empíricas que permitem estimar o teor de humidade de combustíveis finos da manta morta e do estrato arbustivo, com base em dois daqueles indicadores. Mostrou-se que o índice de propagação inicial pode ser empregado para estimar a velocidade de propagação das chamas em leitos de combustível arbustivo, salvaguardando algumas limitações, relacionadas com efeitos de vento ou de topografia.

Com base em dados estatísticos de cerca de dez anos aplicou-se uma metodologia de calibração original à definição das classes de perigo de incêndio, para cada um dos distritos de Portugal Continental, para o período de Verão.

Mostrou-se que o índice de secura pode constituir um bom indicador da gravidade relativa de uma época de incêndios, em termos de área ardida.

Em trabalhos futuros os autores tencionam aprofundar o tema dos dias críticos e também refinar a calibração das classes, tendo em conta a variação mensal dos parâmetros de ocorrência.

Agradecimentos

Os autores desejam manifestar o seu reconhecimento à Direcção Geral das Florestas e ao Serviço Nacional de Bombeiros e à Inspeção Nacional de Bombeiros pela colaboração prestada, na cedência de dados estatísticos e na realização da parte experimental deste

programa de investigação. A disponibilidade da estação de Coimbra, por parte do Instituto Geofísico da Universidade de Coimbra é aqui reconhecida.

Os autores da ADAI agradecem o apoio prestado a esta investigação pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, no âmbito do projecto Condor, e pela Comissão Europeia, no âmbito dos projectos MINERVE (contractos EV5V-CT91-0019 e EV5V-CT94-0570) e INFLAME (contracto ENV4-CT98-0700). Agradecem ainda aos membros da equipa do CEIF que colaboraram ao longo dos anos na recolha de dados sobre o teor de humidade dos combustíveis finos e na realização dos ensaios laboratoriais, em particular ao Sr. Nuno Luís e ao Sr. António Cardoso.

Bibliografia

- ALMEIDA, M., REIS, R.M., 2000. *Previsão da tendência do índice meteorológico de perigo de incêndio (Sistema Canadano) - Utilização de um modelo atmosférico de mesoscala*. Instituto de Meteorologia, Lisboa.
- DIMITRAKOPOULOS, A.P., BEMMERZU, A.M., 1998. Evaluation of the Canadian forest fire danger rating system (CFFDRS) and the Keetch-Byram index (KBDI) in the Mediterranean climate of Greece. In Proc. of III International Conf. on Forest Fire Research/14th Conf. on Fire and Forest Meteorology. Luso, 16/20 November 1998, Vol I: 995-1009.
- LAWSON, B.D., ARMITAGE, O.B., HOSKINS, W.D., 1996. *Diurnal Variation in the Fine Fuel Moisture Code: Tables and Computer Source Code*. FRDA report. Canada
- REIS, R.M., RIJKS, D., 1997. Scales for the assessment of forest fire danger. Report of Working Group on Agricultural Meteorology (Regional Association VI - WMO).

- REIS, R.M., 1998a. Scales for the assessment of forest fire danger. In Proc. of III International Conf. on Forest Fire Research/14th Conf. on Fire and Forest Meteorology. Luso, 16/20 November 1998, Vol I: 1235-1247.
- REIS, R.M., 1998b. *Determinação do risco de incêndio à escala nacional - Integração de informação proveniente de um índice meteorológico e do risco regional*. Instituto de Meteorologia, Lisboa.
- REIS, R.M., 1989. *Nota explicativa sobre o índice meteorológico de incêndios rurais*. Instituto Nacional de Meteorologia e Geofísica, Lisboa.
- ROTHERMEL, R.C., 1972. *A Mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels* - USDA, Forest Service, Research Paper, INT -115.
- SAMPAIO, O.B., SOARES, R.V., VIEGAS, D.X., 1998. Calibration and test of four fire danger methods in Agudos region, state of São Paulo, Brazil. In Proc. of III International Conf. on Forest Fire Research/14th Conf. on Fire and Forest Meteorology. Luso, 16/20 November 1998, Vol I: 1249-1262.
- VAN WAGNER, C.E., 1987. *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35, Ottawa.
- VAN WAGNER, C.E., PICKETT, T.L., 1985. *Equations and FORTRAN program for the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 33, Ottawa.
- VIEGAS, D.X., LOURENÇO, L., NETO, L.P., VIEGAS, M.T., MONTEIRO, J.M., FERREIRA, A.D., GOULÃO, M., 1987. *Análise do incêndio florestal ocorrido em Arganil/Oliveira do Hospital de 13 a 20 de Setembro de 1987*. Relatório Técnico CMF-IF-8704, Dezembro 1987.
- VIEGAS, D.X., VIEGAS, M.T., NEVES, A.G., OLIM, A.G., 1992. *Análise do incêndio florestal ocorrido na Serra da Arrábida de 16 a 29 de Setembro de 1991*. Relatório Técnico CMF-IF-9201, Julho 1992.
- VIEGAS, D.X., SOL, B., BOVIO, G., NOSENZO, A., FERREIRA, A.D., 1994. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. In Proceedings of the II International Conference on Forest Fire Research, pp.571-590, Coimbra.
- VIEGAS, D.X., BOVIO, G., FERREIRA, A.D., NOSENZO, A., SOL, B., 1996. *Critical analysis of the application of meteorological fire danger methods in Southern Europe*. Internal Report of the MINERVE Project.
- VIEGAS, D.X., PIÑOL, J., VIEGAS, M.T., OGAYA, R., 1998. Moisture content of living forest fuels and their relationship with meteorological indices in the Iberian Peninsula. In Proc. of III International Conf. On Forest Fire Research/14th Conf. On Fire And Forest Meteorology. Luso, 16/20 November 1998, Vol I : 1029 - 1046.
- VIEGAS, D.X., BOVIO, G., FERREIRA, A., NOSENZO A., SOL, B., 1999. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe. *International Journal of Wildland Fire* 9(4): 235-246.
- VIEGAS, D.X., PIÑOL, J., VIEGAS, M.T., OGAYA, R., 2001. Estimating live fine fuels moisture content using meteorologically-based indices. *International Journal of Wildland Fire* 10(2) : 223-240.

Entregue para publicação em Setembro de 2002
Aceite para publicação em Novembro de 2003