

INCÊNDIO DA ARRÁBIDA EM 1991: ANÁLISE DE INDICADORES DE COMPORTAMENTO EXTREMO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS

M.G. CRUZ & D.X. VIEGAS

A.D.A.I., UNIVERSIDADE DE COIMBRA, APARTADO 3131, 3000 COIMBRA, PORTUGAL

RESUMO

A 17 de Setembro de 1991, um incêndio florestal deflagrou no Parque Natural da Arrábida, consumindo uma área de 204 ha pôs em evidência a vulnerabilidade do Parque, mesmo face ao uso maciço de meios de combate. A análise de diversos indicadores de comportamento extremo de incêndios florestais no seu período inicial, revelou a conjugação de condições predisponentes à ocorrência de comportamento extremo do incêndio, sem possibilidade de controle. O uso de índices descritores do *deficit* relativo de humidade nos combustíveis com tempos de resposta mais elevados ($DC \pm 150$; $KBDI \pm 500$), revelou a disponibilidade dos combustíveis mais grossos para participarem nos processos de combustão activa e o baixo teor de humidade dos combustíveis vivos. A conjugação desta situação com a instabilidade da atmosfera nas suas camadas mais baixas, caracterizada por um LASI de 5, e uma possível passagem de um vento de tipo jacto (ISI de 27) junto à superfície, após a quebra da inversão nocturna, levou à propagação do incêndio em condições extremas durante os seus primeiros momentos. A análise da relação entre a quantidade de movimento do campo de ventos e a impulsão gerada na coluna de convecção indica uma predominância do efeito térmico sobre o campo de ventos, tornando qualquer tentativa para predizer o seu comportamento extremamente difícil.

P.C.: incêndios florestais, índices de perigo, comportamento do fogo.

SUMMARY

In the 17th September 1991, a wildfire burned 204 ha in the Natural Park of Arrábida (Portugal) and put in evidence the vulnerability of the area despite the enormous use of firefighting resources. The analysis of several indicators of extreme fire behaviour in the initial stages of the fire, revealed the conjunction of predisponent conditions to the existence of extreme fire behaviour. The use of drought codes ($DC \pm 150$; $KBDI \pm 500$) revealed the availability of large dead fuels to participate in flaming combustion processes and the very low moisture content of live fuels. The conjugation of this situation with atmospheric instability, LASI of 5, and the possible surface of a low level jet after inversion break-up, led to a blow up situation in the first period of the fire. Analysis of convective energy balance equations indicate a dominance of the convective column over the wind field.

K.W.: forest fires, danger index, fire behaviour.

INTRODUÇÃO

A documentação e investigação do comportamento do fogo em incêndios reais é uma importante forma de adquirir dados sobre o comportamento do fogo, indispensável para os vários aspectos da investigação de incêndios florestais. A informação quantitativa recolhida possui grande valor para a validação de modelos de comportamento do fogo, tal como os modelos usados no sistema BEHAVE (ANDREWS 1986; ANDREWS e CHASE 1989), e simuladores da propagação de incêndios florestais, tal como o sistema FARSITETM v2.0 (FINNEY 1996). A construção de modelos de comportamento do fogo com base empírica, tal como o sistema FBP canadiano (FIRE DANGER GROUP 1992), ou o *red book* australiano (SNEEUWJAGT e PEET 1985), requer a descrição quantitativa e precisa de dados de comportamento do fogo que só podem ser adquiridos em fenómenos de larga escala como são os incêndios reais.

Do ponto de vista educacional, a documentação do comportamento do fogo possibilita o estabelecimento de condições tipo para a comparação de incêndios em situações similares e a quantificação das situações de ambiente do fogo que originaram determinados níveis de comportamento.

ANÁLISE DE CONDIÇÕES CRÍTICAS

O presente trabalho baseia-se na análise do estudo e descrição do incêndio da Arrábida elaborada por VIEGAS *et al.* (1992). A análise das condições predisponentes à propagação do fogo durante o incêndio da Arrábida de 1991, revela o risco elevado para a ocorrência de um grande incêndio que caracterizava a zona em questão no período do incêndio. Na caracterização do potencial para a ocorrência de um grande incêndio foram utilizados os seguintes indicadores:

- Sistema de indexação de perigo de incêndio canadiano (FWI) (VAN WAGNER 1987);
- Índice de seca de Keetch-Byram (KEETCH E BYRAM 1968);
- Teor de humidade dos combustíveis;
- Estado da formação combustível;
- Análise da estabilidade atmosférica;
- Índice de severidade na camada baixa da atmosfera (HAINES 1988);
- Análise de fenómenos atmosféricos particulares, jacto de baixa altitude;
- Relação coluna de convecção/campo de ventos (BYRAM 1959; NELSON 1993);

Na tabela 1, verifica-se que segundo o índice canadiano de perigo de incêndio, os dias 16 a 18 caracterizavam-se por um perigo Muito alto, baixando para Alto no dia 19, e no dia vinte o perigo era Extremo. Análise do DC que é um indicador do déficit de água nas camadas mais profundas de combustíveis no solo, revela valores superiores a 150, indicativos de um baixo teor de humidade nessas camadas e da elevada probabilidade de ocorrência de uma combustão sustentável nas camadas orgânicas do solo (DE GROOT 1987; MELTON 1989). O índice de seca de Keetch-Byram expressa também o déficit de humidade das camadas orgânicas profundas e das camadas minerais superficiais do solo. Valores deste índice superiores a 500 são indicativos de teores de humidade dos combustíveis vivos entre 80 e 100 %, e (OLSON 1980; BROWN *et al.* 1989). O teor de humidade dos combustíveis finos durante o incêndio da Arrábida apresentou uma grande variação ao longo do período de actividade do incêndio, como se pode verificar pelos FFMC da tabela 1. Esta situação deveu-se principalmente aos elevados teores de humidade do ar que se verificaram durante a noite após o dia 16. Devido aos ventos de sudoeste, o ar durante a noite apresentava-se saturado, e os combustíveis podiam atingir teores de humidade elevados, que mantinham durante a maior parte do dia. No

entanto no dia 16 e 20 o teor de humidade dos combustíveis finos apresentou-se bastante baixo, provavelmente inferior a 8 %.

O facto das formações combustíveis na serra da Arrábida se apresentarem num estado de maturidade, com a formação de uma camada de manta morta espessa, tornaram a área propensa à ocorrência de fogos no solo. Também a grande quantidade de combustíveis mortos finos existentes nas copas dos arbustos e o baixo teor de humidade dos combustíveis vivos, que é uma característica comum no final do período estival, predispõem a ocorrência de incêndios com intensidades bastante elevadas.

A análise do período inicial de propagação do incêndio, na qual o fogo em poucas horas consumiu 53 % da área total dos 4 dias, revela a existência de determinadas características que explicam a severidade da situação.

A observação do perfil vertical da atmosfera registado em Lisboa às 1200 h de 910917, revela a existência de uma inversão até uma altitude de ± 400 m, e uma atmosfera instável até uma altitude de ± 2000 m. O cálculo do LASI (HAINES 1988), *Lower Atmosphere Severity Index*, que é um índice de severidade na camada baixa da atmosfera, indica o potencial para a ocorrência de um grande incêndio com base na instabilidade atmosférica e no grau higrométrico do ar nas camadas baixas da atmosfera, indica um valor de 5, que pode ser interpretado como um potencial moderado para a ocorrência num grande incêndio.

Ao longo do dia 17 observou-se uma grande variação dos valores do ISI, podendo-se verificar um grande aumento dos valores de ISI pelas 1500-1600 horas. Este aumento do ISI caracteriza perfeitamente o aumento na velocidade de propagação e da intensidade do fogo que se verificou neste período. Este súbito aumento do ISI foi originado por um aumento extraordinário e invulgar da velocidade do vento, para valores médios horários de 32 km/h. Este fenómeno pode ser explicado pela existência de um jacto de baixa altitude que se teria formado acima da camada de inversão, e que com a quebra da inversão pelas 1500 horas atingiu a superfície, originando os fortes ventos que se fizeram sentir nesse período da tarde.

A fenomenologia dos jactos de baixa altitude, *low level jets* ou *jet points*, não é perfeitamente conhecida, e a sua origem pode-se dever a uma série de mecanismos (PYNE 1984). A grande maioria dos jactos de baixa altitude surgem acima de inversões, já que o topo da camada de inversão proporciona uma interface suave, com pouco atrito, que propencia a formação dos jactos de baixa altitude (HOECKER 1965 em BAUGHMAN 1981)

Após este período, verificou-se uma acalmia geral do vento para valores inferiores a 10 km/h. No entanto o incêndio continuou a propagar-se com grande intensidade, possivelmente devido à dominância da coluna de convecção sobre o campo de ventos. A análise da relação entre a quantidade de movimento do campo de ventos e a impulsão gerada na coluna de convecção pode ser feita através do numero convectivo, N_c (BYRAM 1959; NELSON 1993). Na tabela 2 pode-se verificar que o numero convectivo, excede o valor de 1 até uma altitude considerável (o P_w , energia cinética associada ao campo de ventos, calculado para a este período do incêndio da Arrábida foi 0.109 kW/m^2), indicando uma predominância do efeito térmico do incêndio sobre o campo de ventos, tornando qualquer tentativa para predizer o seu comportamento com base em dados meteorológicos de superfície extremamente difícil. O conceito do número convectivo parte da aceitação de diversos pressupostos, sendo o mais importante o facto de que a atmosfera se encontra neutra, em que o gradiente de temperatura é igual ao gradiente adiabático. Da análise do perfil vertical de temperatura para as 1200 de 17 de Setembro de 1991 em Lisboa, verifica-se que a atmosfera se encontra estável acima de 1900 m, inibindo a deslocação de momento vertical do ar quente.

O uso do modelo PLUMP (LATHAM 1993), que calcula diversas características da coluna de convecção de um incêndio florestal, indica o topo da coluna de convecção a uma altitude de 1100 metros e velocidades verticais nos primeiros 300 metros da coluna de convecção na

ordem de 8 a 10 m/s. De referir que esta altura do topo da coluna de convecção se situa dentro dos limites indicados por BYRAM (1959) para a ocorrência de comportamento do fogo extremo e errático.

CONCLUSÃO

Diversas conclusões devem ser retiradas dos resultados apresentados, nomeadamente nas implicações no planeamento/gestão das operações relacionadas com a protecção contra os incêndios florestais:

- A utilização de diversos indicadores de perigo e comportamento do fogo permitem prever o tipo de comportamento do fogo a esperar numa dada situação. Apesar dos indicadores utilizados neste estudo não se encontrarem calibrados para a situação particular da realidade portuguesa, para o caso estudado os valores limite utilizados operacionalmente noutros países permitiram a obtenção de conclusões válidas.
- Na presença de valores elevados de DC como os observados durante o período do incêndio da Arrábida, especial atenção deverá ser dada às operações de vigilância e rescaldo.
- A necessidade de incluir informação respeitante à estrutura vertical da atmosfera no planeamento das acções de controle dos incêndios foi igualmente constatada.

AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento à direcção do P.N. da Arrábida, e à Corporação de Bombeiros de Setúbal pela sua cooperação e apoio no presente estudo. Também é agradecida a disponibilização de dados meteorológicos pelo Instituto de Meteorologia e pela EDP. Este trabalho está incluído no âmbito de diversos projectos da CE e JNICT/CNEFF. O primeiro autor beneficia de uma bolsa no âmbito do programa PRAXIS XXI (BTL/6361/95).

BIBLIOGRAFIA

ANDREWS, P.L. 1984. *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part 1*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-260, Intermountain For. and Range Exp. Stn., Ogden Utah.

ANDREWS, P.L. CHASE, C.H. 1989. *BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system - BURN subsystem, part 2*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-194, Intermountain For. and Range Exp. Stn., Ogden Utah.

BAUGHMAN, R.G. 1981. *Why windspeeds increase on high mountain slopes at night*. USDA For. Serv. Res. Pap. INT-276, Intermountain For. and Range Exp. Stn., Ogden Utah.

BROWN, J.K., BOOTH, G.D., SIMMERMAN, D.G. 1989. Seasonal change in live fuel moisture of understory plants in Western U.S. Aspen. Pages 406-412 in *Proceedings of 10th Conference on Fire and Forest Meteorology*. Ottawa, Canada.

BYRAM, G.M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, K.P., Ed. *Forest fire control and use*. New-York: McGraw-Hill Book Co.

DE GROOT, W.J. 1987. *Interpreting the Canadian Forest Fire Weather Index (FWI) System*. Fourth Central Region Fire Weather Committee Scientific and Technical Seminar. 7 pp.

FINNEY, M.A. 1996. *FARSITE - Users guide and technical documentation*. Systems for Environment Management. Missoula, Montana.

FIRE DANGER GROUP 1992. *Development and structure of the Canadian forest fire behavior prediction system*. Forestry Canada, Information Report ST-X-3, Ottawa.

HAINES, D.A. 1988. A Lower Atmospheric Severity Index for wildland fires. *National Weather Digest* Vol. 13(2):23-27.

KEETCH, J.J., BYRAM, G.M. 1968. *A drought index for forest fire control*. Southeast Forest Exp. Sta., USDA For. Ser. Res. Pap. SE-38, 32 p.

LATHAM, D.J. 1994. *Plump: A plume predictor and cloud model for fire managers*. USDA For. Serv. Gen. Tech. Rep. INT-314, Intermountain For. and Range Exp. Stn., Ogden Utah, 15 p.

MELTON, M. 1989. The Keetch/Byram Drought Index: a guide to fire conditions and suppression problems. *Fire Management Notes* 50(4):30-34.

NELSON, R.M. 1993. *Byram's energy criterion for wildland fires: units and equations*. USDA For. Serv. Res. Note INT-415, Intermountain Research Stn., Ogden Utah, 5 p.

OLSON, C.M. 1980. An evaluation of the Keetch-Byram drought index as a predictor of foliar moisture content in chaparral community. In *Proceedings Sixth Conference on Fire and Forest Meteorology*, April 22-24, 1980. Society of American Foresters, 241-245.

PYNE, S.J. 1984 - *Introduction to Wildland Fire, fire management in the United States* - John Wiley & Sons, New York, 456 p.

SNEEUWJAGT, R.J., PEET, G.B., 1985. Forest fire behaviour tables for western Australia. Department of Conservation and Land Management. 59 p.

VAN WAGNER, C.E. 1987. *Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System*. Can. For. Serv., Ottawa, Ontario. For. Tech. Rep. 35. 34 p.

VIEGAS, D.X., VIEGAS, M.T., NEVES, A., OLIM, A. 1992. *Análise do incêndio florestal ocorrido na Serra da Arrábida de 16 a 20 Setembro 1991*. Rel. Interno, G.M.F.-RIIF-9201, Universidade de Coimbra.60 pp.

Data	FFMC	DMC	DC	ISI	BUI	FWI		KBDI	
9	85.0	71.6	77.8	4.75	71	15.5	Alto	668	Extremo
10	85.1	74.5	86.3	4.57	73.9	15.4	Alto	675	Extremo
11	81.4	73.8	93.5	5.08	73.3	16.6	Alto	411	Moderado
12	81.8	75.3	101	3.37	74.8	12.2	Alto	419	Moderado
13	85.9	79.4	109.6	4.43	78.9	15.6	Alto	427	Moderado
14	87.7	83.6	118.4	4.44	83.1	16.1	Alto	440	Moderado
15	87.2	85.1	126.4	3.68	84.6	14	Alto	462	Moderado
16	92.3	91.2	135.7	7.5	90.7	24.7	Muito alto	474	Moderado
17	92.6	97.1	145	6.62	96.6	23.3	Muito alto	490	Moderado
18	88.5	99.9	153.4	4.89	99.4	19	Muito alto	503	Moderado
19	88.6	103.1	161.8	4.43	102.6	18	Alto	515	Moderado
20	93.5	109.6	171	9.54	109.1	32	Extremo	531	Moderado

Tabela 1 - Índices de perigo de incêndio para a zona da Arrábida, Setembro 1991

h (m)	ρ (kg/m ³)	U (m/s)	P_f (kW/m ²)	N_c
1600	1.112	2.57	0.00838	13
3200	0.9093	5.15	0.05855	1.8
6000	0.6601	7.7	0.14188	0.7

h – Altitude.

ρ - Densidade do ar a altura h

U- Velocidade do vento à altura h

P_f – Taxa de conversão de energia na coluna de convecção

N_c – Numero convectivo

Tabela 2 - Evolução da impulsão convectiva com a altitude