SCIENTIA
FORESTALIS

Avaliação da eficiência de um retardante de longa duração, à base de polifosfato amônico, em queimas controladas em condições de laboratório

Assessment of efficiency of polyphosphate ammonium fire retardant, in control burnings under laboratory conditions

Antonio Carlos Batista[1], Angélica Martini[2], José Fernando Pereira[3] e Juliana Ferreira[4]

Resumo

Foi realizado no Laboratório de Incêndios Florestais da UFPR um ensaio com o objetivo de testar a ação de um retardante de incêndios florestais sobre o material combustível proveniente dos plantios de *Pinus taeda*. A primeira etapa dos trabalhos desenvolvidos buscou verificar qual a concentração ideal para suprimir o fogo. Em seguida, foram simuladas chuvas, a fim de avaliar se a eficiência do produto seria comprometida pela variação de índices pluviométricos. Com base nos parâmetros de comportamento do fogo (velocidade de propagação da frente de fogo e comprimento de chama) e na quantidade de material combustível consumido, foram feitas as análises estatísticas que permitiram verificar que 1000ml/m² de solução retardante é capaz de inibir a propagação do fogo e permitiram também verificar que as chuvas apresentam influência significativa na eficiência do produto.

Palavras-chave: Retardante de incêndios, Comportamento do fogo, Queima controlada

Abstract

In the Forest Fire Laboratory of the UFPR a test was conducted in order to assess the action of a forest fire retardant on forest fuel from *Pinus taeda* plantations. The first stage of work was done to determine the ideal concentration of the retardant in order to suppress the fire. Then, rains were simulated, so as to assess if the efficiency of the product would be influenced by variations in rainfall. Based on the parameters of fire behavior (rate of spread and flame length) and the amount of fuel consumed, statistical analyses were performed that showed that 1000ml/m² of the retardant solution is capable of inhibiting the spread the fire and that rains have a significant influence on its efficiency.

Keywords: Forest fire retardant, Fire behavior, Prescribed burning

INTRODUÇÃO

Um retardante de fogo é um agente químico que utilizado, sozinho ou misturado com água, reduz ou elimina a combustão de um determinado combustível (RIBEIRO *et al.*, 2006). De acordo com Chandler *et al.* (1983), quando se começou a utilizar esses produtos, fazia-se distinção entre produtos retardantes e supressantes de fogo, considerando-se que os retardantes são produtos utilizados para aplicação sobre os combustíveis à frente do fogo que ainda não entraram em combustão, enquanto que os produtos supressantes são aplicados sobre as chamas na frente de fogo, nas operações de combate direto aos incêndios. Atualmente não se faz mais essa distinção, visto que a maioria dos produtos químicos é utilizada para os dois propósitos e, portanto o termo retardante de fogo é empregado para todos os produtos químicos utilizados no combate aos incêndios florestais para a extinção do fogo.

Os retardantes químicos podem ser classificados de diversas maneiras. A classificação mais utilizada e conhecida é aquela que considera o tempo de duração da ação do produto retardante

[1]Bolsista do CNPq – Professor Associado do Laboratório de Incêndios Florestais do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner 634 – Jardim Botânico – Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: batistaufpr@ufpr.br

[2]Bolsista do CNPq – Acadêmica do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner 634 – Jardim Botânico – Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: martini.angelica@gmail.com

[3]Mestrando em Engenharia Florestal no Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner 634 – Jardim Botânico – Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: ultimo.jose@yahoo.com.br

[4]Bolsista voluntária – Acadêmica do Curso de Engenharia Florestal do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná - Rua Lothário Meissner 634 – Jardim Botânico – Curitiba, PR - 80210-170 – E-mail: ju_floresta@hotmail.com

(LIODAKIS *et al*., 2002; PASTOR FERRER, 2004; RIBEIRO *et al*, 2006): Retardantes de curta duração – que atuam simplesmente pela intensificação da capacidade de extinção da água, através da maior retenção da água pelo combustível ou pelo retardamento da evaporação, ou ambos. Nesse grupo estão incluídos os produtos espumógenos e os viscosantes; Retardantes de longa duração – que deixam resíduos de agentes inibidores da combustão sobre o material combustível depois de toda água ter sido evaporada. Nesse grupo estão incluídos todos os produtos retardantes à base de sais de amoníaco, tais como: sulfatos, fosfatos e polifosfatos.

De acordo com o fabricante, o produto testado é uma substância química apresentada sob forma de um líquido concentrado avermelhado, à base de polifosfato amônico (APP). Foi classificado como retardante químico de longa duração na Espanha e demais países da Comunidade Européia, para uso e aplicação na redução e inibição da combustão em combustíveis florestais e materiais celulósicos.

O objetivo geral desse trabalho foi avaliar o desempenho do retardante à base de polifosfato amônico, determinando a quantidade ideal do produto a ser aplicada para inibir a combustão em combustíveis florestais; e determinando o limite máximo de chuva que o produto suporta sem perder seu efeito retardante.

MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os experimentos foram realizados em condições meteorológicas controladas, no Laboratório de Incêndios Florestais do Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná, a fim de evitar a influência das variáveis meteorológicas.

O produto utilizado como retardante, consiste de um líquido avermelhado concentrado de polifosfatos amônicos (APP). Para todos os testes foi utilizada a mistura de uma parte do retardante para quatro partes de água, de acordo com as instruções do fabricante.

Para determinar a quantidade de produto a ser aplicada para inibir a combustão, foram utilizados os seguintes procedimentos:

Coleta de acículas da camada superficial depositada sobre o piso de um povoamento de *Pinus taeda* e secagem em estufa por 48 horas à temperatura de 75 ºC;

Montagem de uma cama de acículas de 1 m² (1m x 1m) com carga de 800 g/m² e densidade de 9,41 kg/ m³;

Aplicação da mistura retardante e água (em diluição de uma parte do produto para quatro partes de água), utilizando-se um nebulizador com vazão de 1515 ml/min, de acordo com os seguintes tratamentos: 0 ml de solução retardante (SR0); 500 ml de solução retardante (SR1); 1000 ml de solução retardante (SR2); 1500 ml de solução retardante (SR3); 500 ml de água (A1); 1000 ml de água (A2);

Queima de cada parcela, após 24 horas da aplicação do produto ou água, mediante o acendimento de uma linha de fogo em toda a sua extensão (aplicação de álcool 96 °GL), monitorando a cada 10 cm de avanço da linha os seguintes parâmetros do comportamento do fogo: velocidade de propagação e intensidade;

Após a queima, o material residual de cada parcela foi coletado e pesado, para determinação do material combustível consumido.

Para avaliar a eficiência do produto após a chuva, foi realizado um ensaio simulando vários índices de precipitação, de acordo com os seguintes procedimentos:

Coleta das acículas da camada superficial depositada sobre o piso de um povoamento de *Pinus taeda* e secagem em estufa por 48 horas à temperatura de 75 ºC;

Montagem de uma cama de acículas de 1 m² (1m x 1m) com carga de 800 g/m² e densidade de 9,41 kg/ m³;

Aplicação da mistura retardante que apresentou o melhor resultado no ensaio anterior (SRM);

A simulação da precipitação foi realizada com o mesmo equipamento já descrito e os tratamentos foram estruturados da seguinte forma: SRM + 0 mm de chuva. Após 48 horas, queima das parcelas (R0); SRM + 5 mm de chuva após 24 horas da montagem da parcela. Após 48 horas, acendimento e queima das parcelas (R5); SRM + 10 mm de chuva após 24 horas da montagem da parcela. Após 48 horas, acendimento e queima das parcelas (R10); SRM + 15 mm de chuva após 24 horas da montagem da parcela. Após 48 horas, acendimento e queima das parcelas (R15).

Para avaliar somente a influência da chuva foram realizados ensaios (nos mesmos moldes anteriores), obedecendo aos seguintes tratamentos: Chuva0 – nenhuma aplicação de água nem de retardante; Chuva5 – aplicação de água equivalente a 5 mm de chuva; Chuva10 – aplicação de água equivalente a 10 mm de chuva; Chuva15 – aplicação de água equivalente a 15 mm de chuva.

Os parâmetros do fogo, velocidade de propagação e intensidade do fogo foram estimados através de procedimentos padrão adotados internacionalmente (ROTHERMEL, 1983; ROTHERMEL e DEEMING, 1980). A intensidade do fogo foi estimada através do comprimento das chamas, mediante o modelo (BYRAM, 1959):

$$I = 62{,}08 h_c^{2{,}17}$$

Onde:
I = Intensidade do fogo, em kcal.m^{-1}.s^{-1}
h_c = comprimento da chama, em m.

A velocidade de propagação do fogo foi estimada através da determinação do tempo médio gasto pela frente de fogo (em m.s^{-1}) para percorrer distâncias pré-estabelecidas durante as queimas (ROTHERMEL e DEEMING, 1980; SOARES e BATISTA, 2007).

Com os dados experimentais obtidos, procedeu-se à análise estatística através de análise de variância (ANOVA) e teste de comparação de médias (SNK).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Condições meteorológicas durante as queimas

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentados os dados referentes às condições meteorológicas em que foram realizados os experimentos no laboratório. Pode-se observar que todas as queimas foram realizadas em condições homogêneas de temperatura e umidade atmosférica e sem vento. Esta situação só é possível em ambiente controlado de laboratório, possibilitando avaliar o efeito do produto sem a influência dos elementos meteorológicos.

Comportamento do fogo

O comportamento do fogo variou visivelmente em função dos diferentes tratamentos testados para avaliar a quantidade ideal da solução retardante. Verificou-se nitidamente o efeito do material combustível tratado com a solução retardante sobre o comportamento do fogo.

Tabela 1. Condições meteorológicas do ambiente de queima durante a realização dos trabalhos em laboratório – Teste de quantidade de produto aplicado por parcela.
Table 1. Meteorological conditions of the environment of burning during laboratory work - Test of the amount of the product applied per plot.

Tratamentos	Repetição	Temp. (°C) antes da queima	Temp. (°C) após a queima	UR (%) antes da queima	UR (%) após a queima
SR1	1	26,0	27,0	66	64
	2	27,0	28,0	64	63
	3	27,5	28,0	64	63
	4	27,5	28,0	63	62
SR2	1	260	27,0	62	61
	2	27,0	27,0	61	62
	3	27,0	27,0	62	62
	4	27,0	27,0	61	61
A1	1	28,5	30,5	63	62
	2	28,0	30,0	64	65
A2	1	26,5	30,5	62	54
	2	28,5	29,0	62	62
SR0	1	27,5	30,0	62	61
	2	27,0	28,5	61	61

Tabela 2. Condições meteorológicas do ambiente de queima durante a realização dos trabalhos em laboratório – Teste de chuva simulada.
Table 2. Meteorological conditions of the environment of burning during laboratory work - Simulated rain test.

Tratamentos	Repetição	Temp. (°C) antes da queima	Temp. (°C) após a queima	UR (%) antes da queima	UR (%) após a queima
R0	7	21,0	22,0	71	72
R5	7	21,0	22,0	71	72
R10	7	22,o	22,5	71	72
R15	7	22,0	22,5	70	71
Chuva0	7	21,0	21,0	74	75
Chuva5	7	21,0	21,0	74	75
Chuva10	7	21,0	21,0	74	75
Chuva15	7	21,0	21,0	74	75

Para o tratamento SR1 (Figura 1), a linha de fogo propagou-se apenas em alguns pontos, geralmente não chegando a atingir mais do que 10% da extensão total da linha. Em todas as repetições realizadas, a combustão era lenta, com chamas pequenas e muita fumaça, indício característico da ação do retardante que age sobre as fases da combustão, inibindo a combustão dos gases e intensificando a combustão dos sólidos. Os retardantes à base de fosfato alteram o mecanismo de decomposição térmica (pirólise) dos combustíveis florestais, geralmente pelas reações de desidratação dos ácidos catalisados. Portanto, promovendo a formação de água, dióxido de carbono e carvão (muita fumaça), às expensas dos gases inflamáveis (aldeídos, ácidos orgânicos e outros hidrocarbonos) (LIODAKIS *et al.*, 2002). Nesse caso, a quantidade da mistura aplicada não foi suficiente para inibir totalmente a combustão. No entanto, reduziu sensivelmente o processo de combustão, como se pode verificar ao analisar a quantidade de combustível que não foi consumida pelo fogo (combustível residual). Nos pontos onde o fogo se propagou, o comprimento das chamas não ultrapassou 20 cm e a velocidade de propagação média foi de 12,05 cm/min.

Para o tratamento SR2 (Figura 2), a quantidade da mistura aplicada ao combustível inibiu totalmente a combustão, impedindo a sua propagação. Nesse caso, embora a linha de fogo tenha sido iniciada com o auxílio de álcool, esta não se sustentou depois que o álcool foi consumido, devido ao efeito do retardante sobre o material combustível. A cama de acículas permaneceu praticamente intacta logo após a linha de fogo ter-se extinguido. Como a combustão não se sustentou nessas parcelas, não foi possível medir os parâmetros do fogo.

Em decorrência da inibição da combustão no tratamento SR2, não foi necessário testar o tratamento SR3 (parcelas tratadas com 1500 ml da mistura).

No tratamento SR0 (Figura 3), observa-se o avanço homogêneo e intenso da linha de fogo em toda a extensão da parcela. O fogo propagou-se a uma velocidade média de 27,09 cm/min e o comprimento médio das chamas foi de 58 cm.

Para os tratamentos R0, R5 e R10, o comportamento do fogo variou muito, porém visualmente não foi possível identificar os efeitos do retardante e da "chuva". Apenas foi possível observar claramente a diferença entre o tratamento R0 e os demais tratamentos, já que no tratamento R0 repetiu-se o fato comprovado no tratamento SR2, isto é, a combustão não ocorreu em nenhuma das repetições (Figura 2). Nos demais tratamentos o fogo se propagou lentamente, com baixa intensidade, sendo que a frente de fogo apresentou desenvolvimento irregular e descontínuo em algumas parcelas.

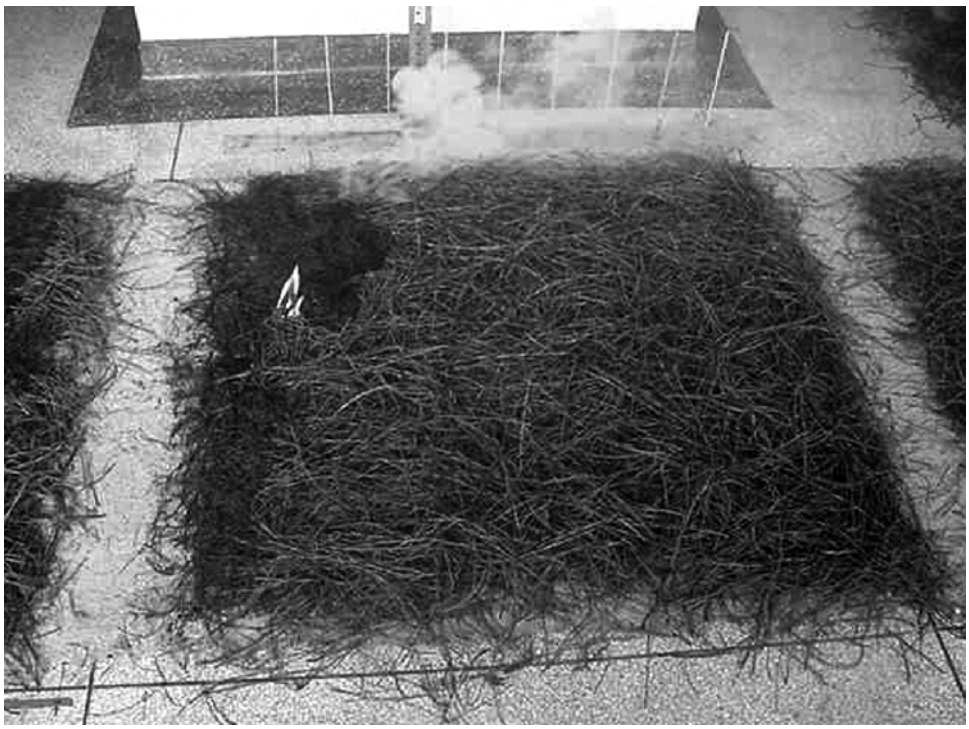

Figura 1. Área tratada com a mistura retardante + água (1:4) na proporção de 500 ml/m².
Figure 1. Area treated with a mixture of retardant + water (1:4) at the rate of 500ml/m².

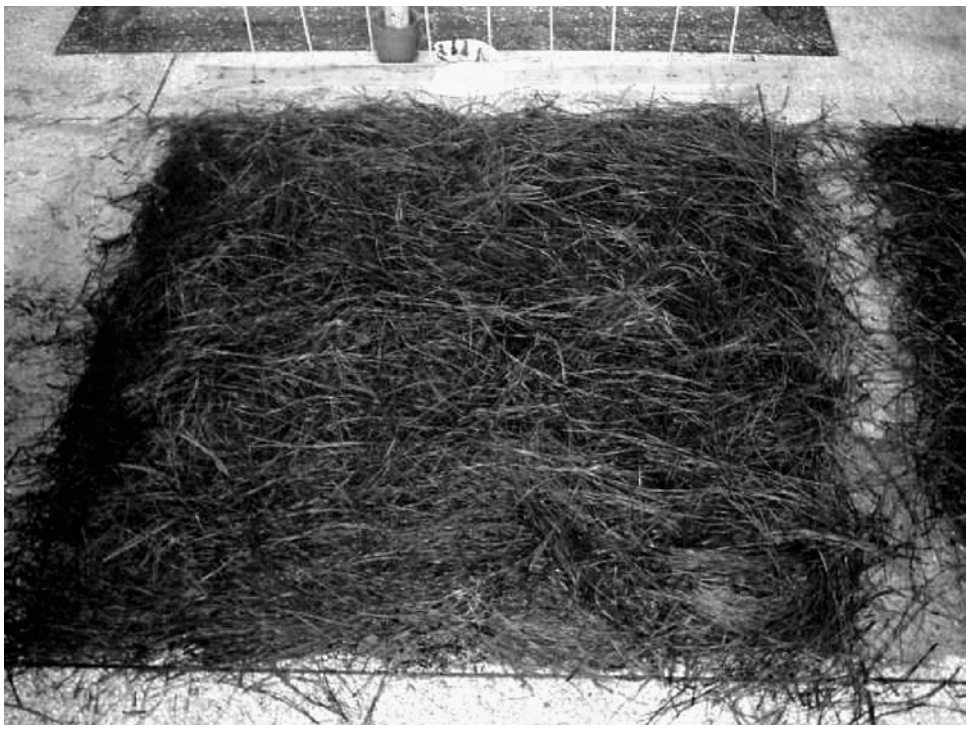

Figura 2. Área tratada com a mistura retardante + água (1:4) na proporção de 1000 ml/m².
Figure 2. Area treated with a mixture of retardant + water (1:4) at the rate of 1000ml/m².

Figura 3. Área testemunha (sem tratamento).
Figure 3. Control area (no treatment).

Comparando-se os parâmetros do comportamento do fogo - velocidade de propagação e intensidade do fogo, através da análise de variância, verificou-se não haver diferença significativa entre os tratamentos quando se comparou a variável velocidade de propagação. Com relação à intensidade do fogo, houve diferença entre os tratamentos, sendo que o tratamento R0 apresentou a maior intensidade e o tratamento SR2 a menor intensidade, refletindo as observações visuais do comportamento do fogo descritas anteriormente.

As médias destes parâmetros estão apresentadas na Tabela 3.

Nos tratamentos onde se buscou a melhor concentração da solução retardante a ser utilizada, as análises estatísticas que apresentaram diferenças altamente significativas foram as relacionadas à quantidade de material consumido durante a queima. Essas análises são mostradas nas Tabelas 4 e 5.

Nos tratamentos onde se buscou avaliar a influência das chuvas, as análises estatísticas que apresentaram diferenças altamente significativas são apresentadas nas Tabelas 6 e 7:

Observa-se na tabela 7 que no tratamento R0 praticamente não houve consumo de material combustível, comprovando o efeito da aplicação do produto nessa proporção, como se verificou anteriormente no tratamento SR2. No entanto, quando se simulou chuva nas parcelas tratadas com retardante (R5, R10 e R15) em todos os tratamentos houve um aumento significativo no consumo de combustível (40

a 50 %). Nas parcelas em que se aplicou somente chuva (Chuva5, Chuva10, Chuva15) houve um consumo de cerca de 50 a 60 % do combustível, enquanto que nas parcelas testemunhas (Chuva 0) o consumo de combustível superou os 80 %.

Tabela 3. Parâmetros do comportamento do fogo, observados durante as queimas – testes de avaliação da quantidade do produto aplicada por parcela.
Table 3. Parameters of fire behavior observed during the burning – evaluation tests of the amount of the product applied per plot.

Tratamento	Vel. propagação do fogo – cm.min^{-1}	C. V. %	Intensidade do fogo - kW.m^{-1}	C. V. %
SR1	11,11	111,03	2,23 ab	68,81
	8,78	106,95	2,98 ab	82,00
	12,24	99,42	3,18 ab	62,09
	15,87	131,22	4,84 ab	30,63
SR2	11,74	118,47	1,41 a	48,68
	5,76		0,12 a	
	4,00		0,12 a	
	5,00		0,57 a	
A1	21,55	48,13	30,37 b	37,96
	27,33	44,87	63,55 c	17,03
A2	18,33	60,76	15,27 ab	33,57
	21,53	128,11	16,69 ab	30,72
SR0	24,91	13,00	83,40 d	11,96
	29,26	21,25	82,80 d	17,02

Tabela 4. Análise de Variância – Quantidade de material consumido em função do tratamento – Teste de quantidade aplicada por parcela.
Table 4. Analysis of Variance – Amount of material consumed as a function of treatment – Test of the amount applied per plot.

F. variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor de F	Nível de significância
Tratamentos	1,25218E6	4	313046,0	75,23	0,0000
Repetições	37449,2	9	4161,02		
Total	1,28963E6	13			

Tabela 5. Teste de Comparação de Médias (SNK) – combustível consumido pelo fogo nos diferentes tratamentos - Teste de quantidade aplicada por parcela.
Table 5. Means Comparison Test (SNK) - fuel consumed by fire in the different treatments – Test of the amount applied per plot.

Tratamentos	Média (g/m²)	C.V. %	Grupos Homogêneos
SR0	756,25	1,63	X
A1	751,25	3,06	X
A2	551,25	34,31	X
SR1	258,36	7,03	X
SR2	0,00	0,00	X

Tabela 6. Análise de Variância – Quantidade de material consumido em função do tratamento – Teste de simulação de chuva.
Table 6. Analysis of Variance – Amount of material burnt as a function of treatment – Rain simulation test.

F. variação	Soma dos Quadrados	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Valor de F	Nível de significância
Tratamentos	1,11186E6	7	158837,0	91,99	0,0000
Repetições	41439,4	24	1726,64		
Total	1,1533E6	31			

Tabela 7. Teste de Comparação de Médias (SNK) – combustível consumido pelo fogo nos diferentes tratamentos – teste de chuva simulada.
Table 7. Means Comparison Test (SNK) - fuel consumed by fire in the different treatments – Rain simulation test.

Tratamentos	Média (g/m²)	C.V %	Grupos Homogêneos
R0	18,0	10,143	X
R5	376,25	9,666	X
R15	436,125	10,522	XX
R10	458,75	12,784	X
Chuva15	520,0	8,006	X
Chuva5	563,875	5,398	X
Chuva10	578,25	7,496	X
Chuva 0	676,75	7,253	X

CONCLUSÕES

Os resultados realizados com o retardante à base de polifosfato amônico, em queimas controladas de acículas de *Pinus taeda* em condições de laboratório, permitem concluir que:

• O produto testado apresentou propriedades características de um retardante, reduzindo e inibindo a combustão dos materiais combustíveis florestais testados;

• A aplicação de 500 ml/m² do produto diluído em água à razão de 1:4 mostrou-se efetiva para reduzir a combustão em cerca de 70 %, enquanto que a aplicação de 1000 ml/m² inibiu totalmente a combustão nas parcelas testadas;

• A chuva interfere na eficiência do retardante, reduzindo consideravelmente seus efeitos. Em condições de laboratório, uma chuva de 5 mm, após 48 horas da aplicação do produto, pode reduzir pela metade a eficiência do retardante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BYRAM, G.M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K.P. (Ed.) **Forest fire: control and use**. New York: McGraw Hill, 1959.

CHANDLER, C.; CHENEY, P.; THOMAS, P.; TRABAUD, L.; WILLIAMS, D. **Fire in forestry**. New York: John Wiley, 1983. v.2, 298 p. (Forest Fire Management and Organization).

LIODAKIS, S.; BAKIRTZIS, D.; LOIS, E.; GAKIS, D. The effect of $(NH_4)2HPO_4$ and $(NH_4)2SO_4$ on spontaneous ignition properties of Pinus halepensis pine needles. **Fire Safety Journal**, Amsterdam, v.37, p.481-494, 2002.

PASTOR FERRER, E. **Contribució a l'estudi dels efectes dels retardants en l'extinció d'incendis forestals**. 2004. 304 p. Tese (Doutorado) - Centre de Estudis del Risc tecnològic, Departament d'Enginyeria Química, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, Barcelona, 2004.

RIBEIRO, G.A.; LIMA, G.S.; OLIVEIRA, A.L.S.; CAMARGO, V.L.; MAGALHAES, M.U. Eficiência de um retardante de longa duração na redução da propagação do fogo. **Revista Árvore**, Viçosa, v.30, p.1025-1031, 2006.

ROTHERMEL, R.C. How to predict the spread and intensity of forest range fires. **USDA. Forest Service**. **INT General Technical Report**, Ogden, n.143, p.1-161, 1983.

ROTHERMEL, R.C.; DEEMING, J.E. Measuring and interpreting fire behavior for corelation with fire effects. **USDA. Forest Service**. **INT General Technical Report**, Ogden, n.93, p.1-4, 1983.

SOARES, R.V.; BATISTA, A.C. **Incêndios florestais: controle, efeitos e uso do fogo**. Curitiba: Ronaldo Viana Soares e Antonio Carlos Batista Editores Autônomos, 2007. v.1, 250p.

Recebido em 08/05/2008
Aceito para publicação em 21/10/2008