

Avaliação do comportamento do fogo em queimas controladas sob povoamentos de *Pinus taeda* no norte do Paraná

ANTONIO CARLOS BATISTA*
RONALDO VIANA SOARES**

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar o comportamento do fogo em diferentes condições de queima controlada em um povoamento de *Pinus taeda* no período de 1991 a 1994. O delineamento estatístico empregado foi de blocos ao acaso com 7 tratamentos e 4 repetições. Para compor os tratamentos utilizaram-se 3 períodos e 2 técnicas de queima e 1 testemunha. Foram analisadas as seguintes variáveis do comportamento do fogo: velocidade de propagação, intensidade, calor liberado e tempo de residência. A velocidade de propagação, estimada diretamente no campo, variou entre 0,004 e 0,01 m.s⁻¹. A intensidade foi estimada através da equação de Byram e apresentou uma variação de 2,47 a 38,82 kcal.m⁻¹.s⁻¹. O tempo de residência do fogo foi estimado em 14,4 s. Para a velocidade de propagação, intensidade e calor liberado as maiores médias foram observadas em 1993 e não houve diferença entre as frequências de queima. Nas queimas a favor do vento as médias de velocidade de propagação e intensidade foram maiores do que nas queimas contra o vento, enquanto que para as médias de calor liberado não houve diferença entre as técnicas.

Palavras-chave: propagação de fogo, intensidade de fogo

ABSTRACT

Fire behavior in loblolly pine prescribed burns in Paraná state, southern Brazil. The objective of this research was to analyze fire behavior in different prescribed burns conditions, in a loblolly pine stand from 1991 to 1994. The statistical design was random blocks with 7 treatments and 4 replications. Treatments were 3 burning intervals (annual, biennial, and triennial), 2 firing techniques (backfire and strip headfire), and a control. The studied fire behavior variables were rate of spread, fireline intensity, released heat, and residence time. Rate of spread, directly measured in the field, ranged from .004 to .01 m.s⁻¹. Fireline intensity, estimated through Byram's equation, ranged from 2.47 to 38.82 kcal.m⁻¹.s⁻¹. Residence time was estimated on 14.4 s. Released heat varied from 530 to 2904 kcal.m⁻². The highest values for all variables, except residence time, were observed in the 1993 burn. Rate of spread and fireline intensity presented higher values in the strip headfire burn. No statistical difference was observed for released heat and among burning intervals.

Key words: fire spread, fire intensity

*Eng. florestal, M.Sc., Dr., Professor Adjunto da UFRPE

**Eng. florestal, M.Sc., Ph.D., Professor Titular do Departamento de Silvicultura e Manejo, UFPR

INTRODUÇÃO

O acúmulo do material combustível sob povoamentos de pinus ao longo dos anos aumenta drasticamente o risco de incêndios. Uma das alternativas para se diminuir este risco ou diminuir o potencial de danos dos incêndios é reduzir periodicamente a quantidade de material combustível no interior dos povoamentos através de queima controlada.

Apesar da queima controlada ser amplamente empregada em muitos países, há divergências a respeito dos efeitos do fogo sobre os diversos componentes do ecossistema. Como os efeitos variam, dentre outros aspectos, principalmente em função das características da queima, isto é, de como o material entra em combustão, como se desenvolvem as chamas e como o fogo se propaga, há necessidade de se conhecer e "medir" o comportamento do fogo para poder relacioná-lo com os efeitos produzidos no ambiente.

Este trabalho teve por objetivo analisar o comportamento do fogo em diferentes condições de queima controlada, no período de 1991 a 1994, em um povoamento de *Pinus taeda*. A velocidade de propagação, a intensidade de fogo, o calor liberado e o tempo de residência foram avaliados em queimas contra e a favor do vento, com periodicidade anual, binal e trienal.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

As publicações sobre os efeitos do fogo e as discussões entre investigadores revelam um sério problema: raramente uma característica referente ao fogo é descrita em termos quantitativos. Frequentemente, o fogo não é descrito inteiramente, apenas sua ocorrência é documentada. Os observadores podem descrever um fogo como quente ou frio, ou em termos, tais como queimando e correndo. Devido a isso, o conhecimento do comportamento e dos efeitos do fogo tornam-se de valor limitado porque é impossível, ou na melhor das vezes, é muito difícil correlacionar e comunicar resultados de diferentes estudos (ROTHERMEL & DEEMING, 1980).

Comportamento do fogo é o resultado da interação entre clima e condições do combustível, topografia, técnica de queima e forma de ignição. Medidas do comportamento do fogo são úteis para comparar queimas, para o planejamento da supressão e para estimar os efeitos do fogo (WADE citado por DE RONDE *et al*, 1990).

Tradicionalmente, as variáveis que definem o comportamento do fogo são: intensidade de fogo, duração do fogo e calor liberado por unidade de área.

Um dos mais importantes parâmetros do comportamento do fogo é a intensidade de fogo. BYRAM (1959) definiu este termo como "a quantidade de energia liberada por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente do fogo". Numericamente é igual ao produto do peso do combustível disponível, pelo calor de combustão e pela velocidade de propagação do fogo. A equação é :

$I = H \cdot w \cdot r$, onde:

I = intensidade de fogo, em $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

H = calor de combustão, em $\text{kcal} \cdot \text{kg}^{-1}$

w = peso de combustível disponível, em $\text{kg} \cdot \text{m}^{-2}$

r = velocidade de propagação do fogo, em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

Tempo de residência ou duração do fogo é o espaço de tempo que a frente de fogo leva para passar por determinado ponto. A duração da combustão sobre uma determinada área tem um efeito muito significativo em relação ao dano à vegetação viva e a profundidade de penetração do calor no solo (McARTHUR & CHENEY, 1966).

O tempo de residência pode ser estimado em função do calor liberado e intensidade de reação do fogo, mediante a expressão (ROTHERMEL, 1983):

$t_r = H_a / I_r$, onde:

t_r = tempo de residência, em s

H_a = calor liberado, em $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2}$

I_r = intensidade de reação, em $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

O tempo de residência depende da velocidade de propagação do fogo, da quantidade de material combustível disponível e de sua intensidade de reação. Portanto, para um determinado tipo de combustível o tempo está diretamente relacionado com a intensidade de fogo (McARTHUR & CHENEY, 1966).

O calor liberado por unidade de área pode ser calculado através da intensidade de fogo e da velocidade de propagação, conforme ROTHERMEL & DEEMING (1980) e SOARES (1985):

$H_a = I/r$, onde:

H_a = calor liberado por unidade de área, em $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-2}$

I = intensidade de fogo em, $\text{kcal} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$

r = velocidade de propagação do fogo, em $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

A equação mostra que para a mesma intensidade, quanto mais rápida a velocidade de propagação, menor quantidade de calor é direcionada para aquele local. Ao contrário, o fogo se propagando vagarosamente com a mesma intensidade irá concentrar considerável quantidade de calor neste local.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em uma plantação de pinus de propriedade da PISA Florestal S.A., localizada no município de Sengés, Paraná, situada a $24^{\circ}10'$ de latitude sul e $49^{\circ}35'$ de longitude oeste de Greenwich, distante 280 km de Curitiba. A altitude média é de 960 m s.n.m.

Segundo a classificação de Köppen o clima do local de estudos é caracterizado como Cfa, sempre úmido, com o mês mais quente apresentando temperatura superior a 22°C , 12 meses com temperatura superior a 10°C e mais de 5 geadas por ano (MAACK, 1968; PARANÁ; 1987). As menores precipitações ocorrem entre os meses de junho e agosto, período de maior ocorrência de incêndios.

De acordo com MAACK (1968), a predominância da direção dos ventos é dos quadrantes sulinos, com 38,1 %, que segundo o autor são os ventos que desfazem as chuvas. Os ventos que sopram dos quadrantes norte perfazem 29,2 % e são os causadores de chuva. Há também 23,2 % de calmarias.

A região fitogeográfica enquadra-se, utilizando o sistema fitofisiológico-ecológico proposto pelo IBGE (1990), como Savana Arbórea Aberta.

O experimento foi feito no talhão 38 do projeto Mocambo VII, entre as cotas 860 e 830 m acima do nível do mar, em uma meia encosta com relevo suavemente ondulado, com uma inclinação média de 20 %.

O plantio foi efetuado em 1977/1978, com espaçamento inicial de 2 x 2,5 m. No ano de 1991 o povoamento se encontrava com 13 anos, não tinha sofrido nenhum desbaste e apresentava altura média de 15,5 m e DAP médio de 19,5 cm.

O delineamento estatístico utilizado foi de blocos ao acaso, com 4 repetições, cada uma contendo 7 parcelas, representando os tratamentos. Utilizaram-se parcelas retangulares de 1.000 m², com dimensões de 20 x 50 m. Os tratamentos tecnicamente planejados foram:

- T1 - queima anual contra o vento;
- T2 - queima bienal contra o vento;
- T3 - queima trienal contra o vento;
- T4 - queima anual a favor do vento;
- T5 - queima bienal a favor do vento;
- T6 - queima trienal a favor do vento;
- T7 - testemunha.

Ao se efetuar a análise de variância, não havendo diferença significativa entre os blocos, efetuava-se nova análise utilizando-se o delineamento inteiramente ao acaso com os mesmos tratamentos e 4 repetições, aumentando-se o grau de liberdade do resíduo.

Foram aplicadas as seguintes técnicas básicas de queima:

I - queima contra o vento - A inclinação foi usada para simular o efeito do vento. A queima foi realizada de forma que a linha de fogo progredisse no sentido descendente à inclinação do terreno, proporcionando baixa velocidade de propagação e reduzida intensidade de fogo.

II - queima a favor do vento - Também aqui a inclinação foi usada em lugar do vento. A queima foi realizada de forma que a linha de fogo progredisse no sentido ascendente à inclinação do terreno, proporcionando a intensidade média desejada.

As linhas de fogo eram acesas pelo lado de 50 m de cada parcela, utilizando-se acendedor do tipo "pinga-fogo", a partir do acciro. Desta forma, o fogo percorria a largura da parcela, ou seja, 20 m.

Para determinação da quantidade do material combustível foi feito inventário do material existente antes e depois de cada queima, separando-se o material em 4 classes: acículas, material com diâmetro menor do que 0,7 cm, material com diâmetro entre 0,7 e 2,5 cm e material com diâmetro entre 2,5 e 7,6 cm. Utilizou-se 4 parcelas de 1 m² aleatoriamente distribuídas em cada parcela de 20 x 50 m.

Dos parâmetros utilizados para avaliação do comportamento do fogo, alguns foram obtidos diretamente no momento da queima, enquanto outros foram estimados indiretamente através de funções específicas.

A velocidade de propagação do fogo pode ser estimada de várias formas, embora complexas. No entanto, a sua determinação em campo é extremamente simples. Nesse caso, a determinação da velocidade de propagação em cada parcela foi feita cronometrando-se o tempo gasto pela linha de fogo para percorrer a extensão total da parcela, ou seja 20 m. Por exemplo, se o tempo necessário para que a linha de fogo chegasse ao fim da parcela fosse 20 min, a velocidade de propagação do fogo nessa parcela seria igual $20 \text{ m}/20 \text{ min}$, ou $0,0166 \text{ m.s}^{-1}$.

Para estimar a intensidade de fogo utilizou-se a equação $I = H.w.r$ (BYRAM, 1959).

O calor liberado por unidade de área foi calculado através da intensidade de fogo e da velocidade de propagação, mediante a relação I/r proposta por ROTHERMEL & DEEMING (1980).

A estimativa do tempo de residência do fogo foi feita em função do calor liberado e da intensidade de reação, mediante a relação H_a/I_r proposta por ROTHERMEL (1983). A forma de obtenção do calor liberado (H_a) foi mencionada no item anterior. Para obtenção da intensidade de reação (I_r) utilizou-se o programa BEHAVE, desenvolvido para estimativa do comportamento do fogo (ANDREWS, 1986), cujas variáveis básicas utilizadas (input) foram: tipo e umidade do material combustível, declividade e velocidade do vento.

Depois de montadas as matrizes com todas as variáveis, procedeu-se a análise estatística dos tratamentos. Os testes estatísticos empregados foram: análise de variância (ANOVA); análise de regressão; teste de comparação de médias SNK para mais de duas médias; teste "t" para comparação de duas médias e análise de correlação. O nível de significância utilizado nos testes estatísticos foi de 95 %.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De acordo com o planejamento técnico inicial as queimas deveriam ser realizadas anualmente no início da estação normal de perigo de incêndio. Entretanto, as condições meteorológicas, principalmente precipitação e ventos, dificultaram a realização das queimas dos anos de 1991 e 1993 no período previsto. Naqueles anos as queimas só puderam ser realizadas em novembro.

Na Tabela 1 é apresentado o sumário das condições meteorológicas e do comportamento do fogo nos dias de queima, nos 4 anos analisados. No ano de 1991, devido ao grande número de parcelas a serem queimadas, a queima foi realizada em 2 dias. É importante salientar que as queimas foram realizadas sempre nos dias em que a velocidade do vento era nula ou mínima (classe 1 da escala Beaufort) no interior do povoamento para que não houvesse alteração na direção das linhas de fogo.

Tabela 1 - Sumário das condições meteorológicas e do comportamento do fogo nos dias de realização das queimas nos povoamentos de *Pinus taeda*, nos anos de 1991 a 1994
 Table 1 - Meteorological and fire behavior variables during the burns

ano year	data date	U. R. (%) R. H. (%)	T (°C) T (°C)	r (m.s ⁻¹) rate of spread	I (kcal.m.s ⁻¹) fireline intensity
1991	28 Nov.	50 - 70	20 - 29	0,003 - 0,020	3,07 - 41,76
	29 Nov.	51 - 76	20 - 29	0,003 - 0,015	1,10 - 47,05
1992	18 Jun.	54 - 72	16 - 18,5	0,004 - 0,007	1 - 5,6
1993	05 Nov.	45 - 78	18,3 - 27,8	0,002 - 0,014	3 - 64,3
1994	30 Jun.	48 - 56	16 - 21,5	0,002 - 0,018	1,6 - 21,9

O inventário inicial (n = 112 amostras) mostrou uma média de 1.253,6 g.m⁻² (variação de 933,9 a 1.788,1 g.m⁻²) de material combustível distribuído em quatro classes: acículas (78,5 % do total), material com diâmetro entre 0 e 0,7 cm (3,7 % do total), material com diâmetro entre 0,7 e 2,5 cm (9,0 % do total) e material com diâmetro entre 2,5 e 7,6 cm (8,8 % do total). Esses valores foram posteriormente comparados com os encontrados após cada queima e serão analisados futuramente.

Os valores médios da velocidade de propagação do fogo, intensidade e calor liberado, obtidos por ano e por tipo de queima, estão apresentados na Tabela 2 e, em função da frequência e da técnica de queima, estão apresentados na Tabela 3.

Os resultados evidenciam que não houve diferença significativa quando se comparou a velocidade média de propagação do fogo nos 4 anos. Analisando-se separadamente, ano a ano, por tipo de queima, observa-se que houve diferença significativa apenas entre as queimas contra e a favor do vento no ano de 1993. Analisando-se conjuntamente todos os anos, houve diferença significativa entre os tipos de queima, sendo que a queima a favor do vento apresentou praticamente o dobro da velocidade da queima contra o vento.

RIGOLOTT (1990) apresenta os seguintes limites para uma escala de velocidade de propagação do fogo: baixa = < 0,0333 m.s⁻¹; média = 0,0333 a 0,1666 m.s⁻¹; alta = 0,1666 a 1,1666 m.s⁻¹ e extrema = > 1,1666 m.s⁻¹.

Apesar da classificação apresentada, a velocidade de propagação varia em função de diversos fatores, sendo os principais a técnica utilizada, as condições climáticas e as características do combustível. WADE & LUNSFORD (1989) afirmam que as queimas contra o vento progridem com velocidades entre 0,0056 e 0,0167 m.s⁻¹. Os resultados da coluna 6 da Tabela 2 mostram que a velocidade média de propagação das queimas contra o vento foi de aproximadamente 0,005 m.s⁻¹. Examinando-se as médias anuais, constata-se que apenas a queima de 1993 esteve no limite inferior de 0,0056 m.s⁻¹. BURROWS *et al* (1989), em experimentos de queima controlada contra o vento em povoamentos

Tabela 2 - Velocidade média de propagação do fogo (r), em $m.s^{-1}$, intensidade média de fogo (I), em $kcal.m^{-1}.s^{-1}$, e médias de calor liberado (H_a), em $kcal.m^{-2}$, por ano e por tipo de queima

Table 2 - Rate of spread (r), in $m.s^{-1}$, fireline intensity (I), in $kcal.m^{-1}.s^{-1}$, and released heat (H_a), in $kcal.m^{-2}$, per year of burning and firing technique

ano year	r^*	I^*	H_a^*	tipo technique	r^{**}	I^{**}	H_a^{**}
1991	0,0069 ^a	11,88 ^a	1667 ^b	contra/backfire	0,0044	9,73	1858
				favor/strip-headfire	0,0094	14,04	1476
1992	0,0057 ^a	2,88 ^a	530 ^a	contra/backfire	0,0050	2,47	520
				favor/strip-headfire	0,0064	3,30	558
1993	0,0083 ^a	25,22 ^b	2904 ^c	contra/backfire	0,0065 ^a	11,63 ^b	1791 ^c
				favor/strip-headfire	0,0100 ^a	38,82 ^b	4017 ^c
1994	0,0067 ^a	7,06 ^a	1182 ^{ab}	contra/backfire	0,0035	4,90	1027
				favor/strip-headfire	0,0097	9,23	1338
média mean	0,0069	11,76	1571	contra/backfire	0,0049 ^d	7,18 ^c	1372
				favor/strip-headfire	0,0089 ^d	16,34 ^c	1770

*médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de SNK ao nível de 5 %/means followed by the same letter are not significantly different by SNK test at .05 level

**pares de médias seguidas de mesma letra diferem entre si pelo teste t ao nível de 5 %/ means followed by the same letter are significantly different by t test at .05 level

Tabela 3 - Velocidade média de propagação do fogo (r), em $m.s^{-1}$, intensidade média de fogo (I), em $kcal.m^{-1}.s^{-1}$, e médias de calor liberado (H_a), em $kcal.m^{-2}$, em função da frequência e da técnica de queima

Table 3 - Rate of spread (r), in $m.s^{-1}$, fireline intensity (I), in $kcal.m^{-1}.s^{-1}$, and released heat (H_a), in $kcal.m^{-2}$, per burning interval and firing technique

frequência interval	r^*	I^*	H_a^*	tipo de queima firing technique	r^{**}	I^{**}	H_a^{**}
anual annual	0,0068 ^a	10,46 ^a	1495 ^a	contra/backfire	0,0046 ^a	6,53 ^a	1385 ^a
				favor/strip headfire	0,0090 ^{ab}	14,40 ^a	1605 ^a
bienioal biennial	0,0082 ^a	21,84 ^a	2577 ^a	contra/backfire	0,0055 ^{ab}	9,51 ^a	1815 ^a
				favor/strip headfire	0,0109 ^b	34,36	3339 ^a
trienioal triennial	0,0064 ^a	10,67 ^a	1488 ^a	contra/backfire	0,0048 ^a	9,58 ^a	1561 ^a
				favor/strip headfire	0,0080 ^{ab}	11,76 ^a	1416 ^a

*médias seguidas de mesma letra não diferem pelo teste de SNK nível de 5%/means followed by the same letter are not significantly different by the SNK test at .05 level

**pares de médias seguidas de mesma letra diferem entre si pelo teste t ao nível de 5 %/ means followed by the same letter are significantly different by t test at .05 level

de *P. radiata* na Austrália, também obtiveram velocidades de propagação muito baixas em algumas queimas, a menor atingindo apenas $0,0028 \text{ m.s}^{-1}$.

Para as queimas a favor do vento, que normalmente apresentam uma maior velocidade devido a influência do vento ou, no caso deste experimento, da inclinação do terreno, os resultados também foram menores do que se observa na bibliografia. CAIN (1985) observou velocidades de propagação de $0,0307 \text{ m.s}^{-1}$ em queimas de inverno a favor do vento em povoamentos *P. taeda* e *P. echinata* no Arkansas, EUA. Já JOHANSEN (1975) encontrou velocidades entre $0,0762$ e $1,09 \text{ m.s}^{-1}$ em queimas a favor do vento em povoamentos de *P. elliotii*. No entanto, as condições eram extremamente secas e perigosas. KAUFFMAN & MARTIN (1989) analisaram queimas controladas em 3 sítios de uma floresta de coníferas, com diversas condições de combustíveis e topografia, na Califórnia. A velocidade de propagação das queimas de média intensidade variou muito em função das diferentes condições, indo de $0,0033 \text{ m.s}^{-1}$ nas piores até $0,04 \text{ m.s}^{-1}$ nas condições ideais.

Os resultados, portanto, comprovam a variabilidade da velocidade de propagação do fogo, em função das diferentes épocas analisadas e das técnicas empregadas.

Não houve diferença significativa entre as médias de velocidade de propagação de queimas anuais, bienais e trienais (Tabela 3). Com relação às frequências por tipo de queima, houve diferença significativa apenas entre a queimas anuais e trienais contra o vento e as queimas bienais a favor do vento. Pode-se observar também que comparando-se em cada frequência, anual, bienal ou trienal, a velocidade de propagação na queima a favor do vento sempre foi numericamente maior que a velocidade da queima contra o vento, embora não tenha sido detectada diferença significativa.

As médias de intensidade de fogo mostram valores bem distintos em cada ano analisado, embora tenha sido detectada diferença significativa apenas entre a média de 1993 e as demais (coluna 3 da Tabela 2). Quanto ao tipo de queima empregado, também em 1993 houve diferença significativa entre os tipos de queima. Houve diferença entre os tipos de queima também quando se analisou a média entre todos os anos. Em geral as intensidades foram semelhantes aos valores encontrados na bibliografia para queimas experimentais.

KAUFFMAN & MARTIN (1989) obtiveram valores muito distintos de intensidade quando analisaram queimas de média intensidade em povoamentos mistos de coníferas na Califórnia. Nas queimas a favor do vento realizadas no final do outono em 3 sítios distintos, as intensidades foram respectivamente $3,32$; $20,55$ e $5,02 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$. As queimas a favor do vento realizadas no início do outono nos mesmos sítios apresentaram, respectivamente, as seguintes intensidades: $36,33$; $5,02$ e $13,38 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.

Em várias queimas experimentais de baixa intensidade realizadas em povoamentos de *P. radiata* na Austrália, BURROWS *et al* (1989) obtiveram intensidades de fogo variando desde $4,78$ até $144 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$, evidenciando amplitude muito maior do que deste trabalho que foi de $2,88$ a $25,22 \text{ kcal.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$.

Em experimentos de queima controlada desenvolvidos em povoamentos de *P. pinaster* e *P. radiata* no noroeste da Espanha, para redução do material combustível, VEGA *et al* (1983) obtiveram intensidades de fogo entre 22 e 86 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

WADE & LUNSFORD (1989) afirmam que em povoamentos de pinus do sul dos EUA, cuja quantidade de material combustível varia entre 13 e 30 ton.ha⁻¹, uma queima controlada de baixa intensidade com velocidade de propagação de 0,0085 m.s⁻¹ pode atingir intensidade entre 20 e 54 kcal.m⁻¹.s⁻¹.

JULIO & GIROZ (1975) realizaram diversos experimentos com queima controlada em povoamentos de *Pinus sp* e *Ulex sp* na província de Valdivia no Chile. A intensidade de fogo nesta queimas variou entre 18 e 450 kcal.m⁻¹.s⁻¹, dependendo das condições do povoamento e do clima.

Pela diversidade dos resultados da literatura apresentados, juntamente com os valores de intensidade encontrados nas queimas realizadas, confirma-se a informação de que uma queima nunca é igual a outra, devido a imensa variedade de condições que podem ocorrer antes e durante a passagem do fogo.

É importante salientar a necessidade de se conhecer os valores máximos aceitáveis de intensidade de fogo em povoamentos florestais, que não produzam danos às árvores e ao ambiente. McARTHUR (1962) apresenta uma escala de intensidade, descrevendo o comportamento do fogo e seus possíveis efeitos em florestas de eucaliptos. De acordo com esta escala a máxima intensidade para danos aceitáveis em florestas de eucaliptos é de 80 kcal.m⁻¹.s⁻¹. SOARES (1985) afirma que em povoamentos de pinus, a intensidade máxima aceitável é de 120 kcal.m⁻¹.s⁻¹. É óbvio que estes valores, tanto para pinus como para eucaliptos, referem-se a povoamentos adultos, e não jovens ainda em formação.

Analisando-se as médias de intensidade de fogo em relação à frequência de queimas pode-se verificar na coluna 3 da Tabela 3 que não houve diferença significativa entre os tratamentos, embora a queima bienal tenha apresentado o dobro do valor obtido para queimas anuais e trienais.

Quanto à técnica de queima por frequência, os resultados mostram que houve diferença significativa entre a queima bienal a favor do vento e as demais queimas. Aqui novamente, como nos casos anteriores, é possível que tenha havido interação entre o melhor ano de queima e a queima bianual, proporcionando uma intensidade maior nesta frequência.

Os dados da coluna 4 da Tabela 2 revelam diferenças significativas entre as quantidades de calor liberado nas queimas de 1991, 1992 e 1993. A maior liberação de calor ocorreu para as queimas de 1993, com 2904 kcal.m⁻², e a menor para as queimas de 1992, com apenas 530 kcal.m⁻². As queimas de 1994 apresentaram liberação de calor inferior a 1993, não diferindo estatisticamente das queimas de 1991 e 1992.

Quanto à técnica de queima, verifica-se que não houve diferença significativa entre as queimas contra e a favor do vento em todos os anos, com exceção do ano de 1993. Na média geral de todos os anos também não houve

diferença entre as técnicas, embora a queima a favor do vento tenha apresentado maior liberação de calor do que a queima contra o vento.

Analisando-se as frequências de queima, os dados da coluna 4 da Tabela 3 mostram que não houve diferença entre as médias, embora a queima bional tenha apresentado valores bem superiores às médias anuais e trienais. Pela análise estatística também não se verificou diferença entre os tipos de queima por frequência.

A duração média do fogo num determinado ponto, ou seja, o tempo de residência para cada ano está apresentado na Tabela 4. Os resultados mostram que o tempo de residência permaneceu constante (14 s), praticamente não variando em nenhum dos anos analisados. Isto ocorreu porque, de acordo com ROTHERMEL (1983), o tempo de residência depende basicamente das características do material combustível, principalmente da relação entre a superfície e o volume da camada de material combustível depositado sobre o piso florestal. A relação superfície/volume do material combustível, por sua vez, depende do tipo e das dimensões das partículas que compõem o material combustível. Considerando que as características básicas do material combustível, como o tipo, os elementos componentes (galhos e acículas) e a proporção de cada componente em relação ao total, praticamente não variaram ao longo dos anos analisados, o tempo de residência também não se alterou. Se, por exemplo, a composição do material combustível for alterada, devido a incorporação de novos componentes provenientes de um desbaste (galhos mais grossos), o tempo de residência iria aumentar. Isso significa também que o aquecimento e a intensidade de fogo seriam alterados para níveis bem diferentes dos observados.

Para os 13 modelos de combustíveis encontrados nas áreas florestais dos E.U.A., o tempo de residência variou entre 6 e 20 s (ROTHERMEL, 1983).

BOTELHO *et al* (1990) estimaram o tempo de residência para 2 povoamentos de *P. pinaster* em Portugal. Os valores encontrados foram respectivamente 15,26 s e 13,04 s, semelhantes aos observados neste trabalho.

Tabela 4 - Tempo de residência médio do fogo (t_r), calor liberado (H_r) e intensidade de reação (I_r) durante as queimas de 1991 a 1994

Table 4 - Residence time (t_r), released heat (H_r), and fireline intensity (I_r) means observed in the burns during the studied period

ano/year	H_r	I_r	t_r
1991	1667,29	118,29	14,09
1992	530,13	36,71	14,44
1993	2904,10	202,39	14,35
1994	1182,33	81,38	14,52

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste experimento permitem as seguintes conclusões:

A intensidade e o calor liberado apresentaram variação semelhante nos tratamentos analisados; as maiores médias se verificaram em 1993 e não houve diferença entre as frequências de queima.

Não houve diferença significativa da velocidade de propagação entre os anos e entre as frequências de queima.

Para a velocidade de propagação e intensidade, a média das queimas a favor do vento foi maior que a das queimas contra o vento, fortemente influenciadas pelos resultados do ano de 1993.

Para as médias do calor liberado não houve diferença entre as técnicas utilizadas.

O tempo de residência do fogo se manteve constante nos 4 anos analisados, demonstrando que não houve alteração nas características básicas dos combustíveis.

BIBLIOGRAFIA CITADA

- ANDREWS, P. 1986. BEHAVE: Fire behavior prediction and fuel modeling system - burn subsystem, Part 1. U.S.D.A. Forest Service, Gen. Tech. Rep., INT-194, 130 p.
- BOTELHO, H; REGO, F. C.; VAREJÃO, E. & FERNADES, P. 1990. Caracterização de combustíveis florestais: sua utilização na previsão do comportamento do fogo. Junta Nacional de Investigação Científica-JNICT, 11 p.
- BURROWS, N. D.; WOODS, Y. C.; WARD, B. G. & ROBINSON, A. D. 1989. Prescribed low intensity fire to kill wildings in *Pinus radiata* plantations in western Australia. *Australian Forestry*, 52:45-52.
- BYRAM, G. M. 1959. Combustion of forest fuels. In: Davis, K. P., *Forest Fire - Control and use*. McGraw Hill, New York. p.77-84.
- CAIN, M. D. 1985. Prescribed winter burns can reduce the growth of nine year old loblolly pines. U.S.D.A. Forest Service, Research Note, SO-312, 4 p.
- DE RONDE, C.; GOLDAMMER, J. G.; WADE, D. D. & SOARES, R. V. 1990. Prescribed fire in industrial plantations. In: Goldammer, J. G. (ed.), *Fire in the Tropical Biota - Ecosystem Processes and Global Challenges*. Springer-Verlag, Berlin, p. 216-272.
- IBGE. 1990. *Geografia do Brasil: Região Sul*, v. 2. Rio de Janeiro, 420 p.
- JOHANSEN, R. W. 1975. Prescribed burning may enhance growth of young slash pine. *Journal of Forestry*, 73:148-149.
- JULIO, G. & GIROZ, G. 1975. Notas sobre el comportamiento del fuego y su aplicacion en el control de incendios forestales. *Bosque*, 1:18-27.
- KAUFFMAN, J. B. & MARTIN, R. E. 1989. Fire behavior, fuel consumption, and forest-floor changes following prescribed understory fires in Sierra Nevada mixed conifer forests. *Can. J. For. Res.*, 19:455-462.
- McARTHUR, A. G. 1962. Control burning of eucalypt forests. *Dep. of Development, Forestry and Timber Bureau*, n. 80.

- McARTHUR, A. G. & CHENEY, N. P. 1966. The characterization of fires in relation to ecological studies. *Aust. For. Res.*, 2:36-45.
- PARANÁ, SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E DO ABASTECIMENTO. 1987. *Atlas do estado do Paraná*. Curitiba, 73 p.
- RIGOLOT, E. 1990. Combustíveis. In: Rego, F. C. & Botelho, H. S. *A técnica do fogo controlado*. Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, p. 35-48.
- ROTHERMEL, R. C. 1983. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. *U.S.D.A. Forest Service, Gen. Tech. Rep., INT-143*, 161 p.
- ROTHERMEL, R. C. & DEEMING, J. E. 1980. Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects. *U.S.D.A. Forest Service, Gen. Tech. Rep., INT-93*, 4 p.
- SOARES, R. V. 1985. *Incêndios Florestais - controle e uso do fogo*. FUPEF, Curitiba, 213 p.
- SOARES, R. V. & HAKKILA, P. 1984. Potencial energético dos resíduos de desbastes em plantações de *Pinus taeda* no estado do Paraná, Brasil. *Floresta*, 15:73-94.
- VEGA, J. A.; BARA, S. & GIL, M. C. 1983. Prescribed burning in pine stands for fire prevention in the N.W. of Spain: some results and effects. In: Goldammer, J. G. (IRSg). DFG - Symposium "Feuerökologie". Albert Ludwigs - Universität Freiburg i.Br., p. 49-73.
- WADE, D. D. & LUNSFORD, J. D. 1989. A guide for prescribed fire in Southern forests. *U.S.D.A. Forest Service, Tech. Publication, R8-TP11*, 56 p.

Trabalho submetido em 08.95 e accito em 05.96