

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

**AVALIAÇÃO DO COMPORTAMENTO DO FOGO EM VEGETAÇÃO DE ESTEPES DO
ESTADO DO PARANÁ**

Autores: Celso Darci Seger e Antonio Carlos Batista

CURITIBA – PR

2012

Título do Projeto:

Avaliação do comportamento do fogo em vegetação de Estepes do estado do Paraná.

I. Autores:

Celso Darci Seger e Antonio Carlos Batista

II. Resumo:

Os efeitos produzidos por um incêndio nos diversos componentes de um determinado ecossistema florestal dependem do comportamento do fogo, isto é, dependem das características da combustão no momento do incêndio, tais como: forma de ignição, taxa de propagação, intensidade do fogo, temperaturas máximas alcançadas, etc. Essas características, por sua vez dependem basicamente das características da vegetação afetada pelo fogo e dos fatores ambientais, principalmente condições meteorológicas, topografia e características do material combustível. O objetivo desta pesquisa é medir os parâmetros do comportamento do fogo em queimas experimentais em condições de campo, a fim de estabelecer correlações entre as variáveis do fogo e os fatores do ambiente para a elaboração de modelos de previsão do comportamento do fogo. Durante um período de 24 meses, serão realizadas queimas em intervalos trimestrais em vegetação de Estepes. A área escolhida para a realização dos experimentos é a Reserva Particular do Patrimônio Natural (RPPN) Botuquara, no município de Palmeira – PR.

Nos locais preparados para as queimas (10 parcelas de 100 m²) serão efetuadas observações e medições sobre o material combustível, declividade do terreno, variáveis meteorológicas e, durante as queimas, sobre o comportamento do fogo: velocidade de propagação, intensidade do fogo, dimensões da chama e altura de crestamento. Mediante a metodologia proposta serão obtidas variáveis ambientais e do comportamento do fogo, que irão compor a matriz de dados para estabelecer as correlações e os modelos de previsão do comportamento do fogo.

III. Objetivos

Analisar as relações entre as características ambientais da vegetação de Estepes com os parâmetros do fogo, através de queimas experimentais para, com base nessas relações, elaborar modelos de previsão do comportamento do fogo.

IV. Introdução

Os incêndios florestais são importantes causadores de danos à vegetação nativa do estado do Paraná. A magnitude dos danos produzidos pelo fogo à vegetação depende basicamente das características do material combustível e dos fatores ambientais. Em outras palavras, os efeitos produzidos pelo fogo em determinado local dependem do comportamento do fogo, que por sua vez é função das características da vegetação e dos fatores do ambiente. Comportamento do fogo é um termo genérico usado para indicar o que o fogo faz, ou seja, para descrever as principais características de um incêndio florestal. O termo comportamento do fogo refere-se à maneira como o material entra em combustão, como se desenvolvem as chamas e como o fogo se propaga e apresenta outros fenômenos.

O comportamento do fogo é o resultado da interação entre clima e condições do combustível, relevo, 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. A ignição, crescimento, propagação e declínio de qualquer incêndio em combustíveis florestais representam um complexo processo de reação em cadeia. Outros tipos de combustão são atualmente muito melhor compreendidos, como por exemplo, as que envolvem combustíveis líquidos e gasosos, cujas composições física e química, taxa de alimentação e proporção de mistura com oxigênio podem ser objeto de preciso controle. A combustão interna dos motores é um bom exemplo de aplicação do que se conhece sobre tais processos de combustão.

O processo de combustão do material florestal é muito mais difícil de ser controlado. O combustível florestal, por ser sólido precisa inicialmente ser convertido ao estado gasoso antes que possa entrar em ignição. Esses gases, por sua vez, variam física e quimicamente durante os vários estágios do processo. Essa variação

depende do tempo, da temperatura e da disponibilidade de oxigênio. A proporção de mistura com o oxigênio, embora possa ser controlada em laboratório, não pode ser regulada no ambiente natural para que possa produzir um resultado preciso. Por isto, um incêndio propagando-se livremente está longe de poder ser adequadamente entendido e prognosticado. Ele aumenta sua energia com o passar do tempo, determina sua própria taxa de alimentação de combustível e interage com o ambiente local originando um processo altamente variável. Por esse motivo pode-se afirmar, devido às variações das condições locais, que nenhum incêndio é exatamente igual a outro. Se todos os fatores que influenciam os incêndios fossem adequadamente conhecidos e compreendidos, o comportamento desses incêndios poderia ser devidamente prognosticado. Apesar de que o completo conhecimento desse importante e extremamente complexo fenômeno ainda esteja longe de ser alcançado, alguns passos decisivos têm sido dados nesse sentido nos últimos anos.

A previsão do comportamento do fogo é uma forma muito útil de se avaliar os riscos de danos por incêndios florestais, bem como facilita a tomada de decisões na prevenção, no combate e no uso do fogo controlado em áreas florestais.

V. Revisão da Literatura

O termo comportamento do fogo refere-se à maneira como o material entra em combustão, como se desenvolvem as chamas e como o fogo se propaga e apresenta outros fenômenos (BROWN & DAVIS, 1973). Esse conjunto de elementos se denomina variáveis do comportamento do fogo, que se constituem os parâmetros sobre os quais se efetua a avaliação do fenômeno fogo. Por outro lado, também se identificam os fatores do comportamento do fogo, que correspondem às características do terreno e do ambiente no momento da propagação do fogo, que são os que regulam o processo e são responsáveis pela complexidade que pode alcançar um incêndio que se propaga livremente e de forma descontrolada, em um momento e lugar determinados (JULIO, 1996). O estudo do comportamento do fogo tem permitido compreender os fatores que têm um papel importante no início, propagação e dificuldade de extinção dos incêndios. Basicamente, as variáveis que descrevem o comportamento do fogo são: velocidade de propagação, intensidade do fogo, energia libertada e tempo de residência. Outras

variáveis como temperaturas alcançadas nas zonas de combustão e altura de crestamento letal, além de descrever aspectos do comportamento do fogo, possibilitam estabelecer associações com os efeitos produzidos nos elementos do ecossistema florestal (SOARES e BATISTA, 2007).

Taxa de propagação é o termo usado para descrever a taxa segundo a qual o fogo aumenta, tanto em área quanto linearmente. Em estudos de comportamento do fogo, uma das mais importantes variáveis é a taxa de propagação linear, ou velocidade de propagação, que pode ser medida em metros por segundo, metros por minuto ou quilômetros por hora. A velocidade de propagação do fogo é uma das variáveis necessárias para se calcular intensidade do fogo e é a principal determinante da sua variação, principalmente em um tipo específico de combustível. Atualmente, nos programas de simulação do comportamento do fogo e em programas de manejo do fogo, a estimativa da velocidade de propagação geralmente é feita através de modelos semi-físicos derivados do modelo de Rothermel (1972) ou através de modelos empíricos obtidos a partir de dados coletados sob condições naturais. Os sistemas de manejo do fogo que são baseados em equações empíricas são mais fáceis de usar porque requerem poucas variáveis de entrada e podem ser transformados em tabelas. Além disso, os resultados obtidos têm sido satisfatórios, quando utilizados dentro da amplitude de variação das condições para as quais foram desenvolvidos (FERNANDES, 2001).

Uma das mais importantes variáveis do comportamento do fogo é a intensidade. BYRAM (1959) definiu a intensidade do fogo como "a taxa de energia ou calor liberado por unidade de tempo e por unidade de comprimento da frente de fogo". Numericamente, a intensidade é igual ao produto da quantidade de combustível disponível pelo seu poder calorífico e pela velocidade de propagação do fogo. A intensidade do fogo, calculada através das equações de Byram, tem demonstrado ser um parâmetro muito útil na descrição do comportamento do fogo, além de servir como um índice de referência para se visualizar e comparar as taxas de energia liberadas por diferentes incêndios.

A intensidade do fogo pode também ser estimada através de sua relação com o comprimento médio das chamas. O comprimento das chamas pode ser estimado no próprio incêndio ou através de fotografias, desde que se tenha alguma referência no local para servir de escala. Existe também certa dificuldade

em identificar a dimensão que representa o comprimento da chama. Por definição, o comprimento da chama é a distância entre a ponta da chama e a superfície do solo, medida no meio de sua zona ativa (Figura 1) (SOARES e BATISTA, 2007).

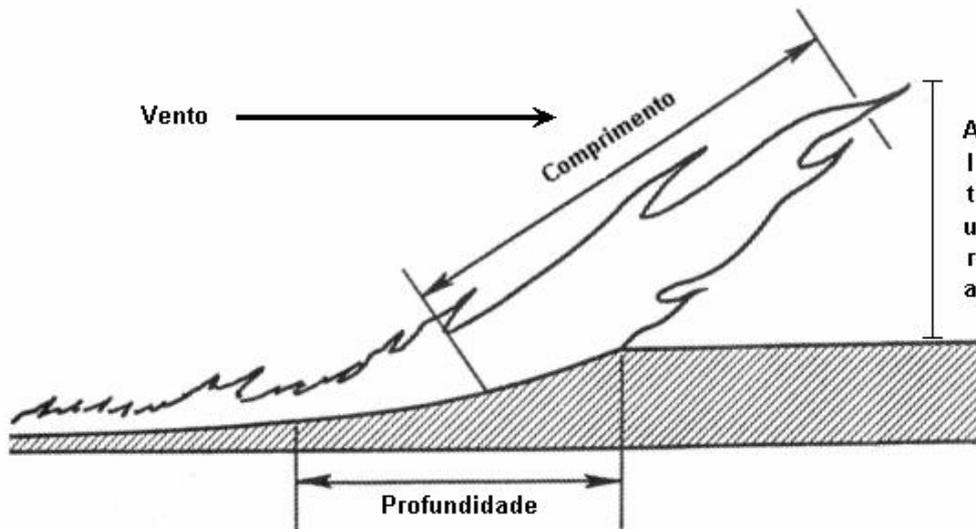


Figura 1. Dimensões da chama em um incêndio dirigido por forte vento

No momento da combustão os gases e vapores liberados sobem, aquecendo as camadas de ar acima da zona de combustão. Embora os gases quentes esfriem rapidamente acima da zona de combustão, dependendo da intensidade do fogo, o calor produzido por esses gases pode provocar a morte da vegetação que esteja acima da área que está queimando. A altura média de secagem letal da folhagem das árvores devido os gases aquecidos que sobem, durante um incêndio, é chamada altura de crestamento. Ela é um efeito imediato do fogo e um importante parâmetro para se estimar os danos causados pelo incêndio ao povoamento e para se estabelecer as condições ideais de uma queima controlada no interior de uma da floresta. (SOARES e BATISTA, 2007).

A modelação do comportamento do fogo é um meio prático de estudo do fenômeno incêndio florestal, constituindo uma das formas de planejar e tomar decisões com vista à sua prevenção e combate (BOTELHO *et al.*, 1989).

Muitos estudos têm sido desenvolvidos com o objetivo de prever o comportamento do fogo em povoamentos florestais. McArthur foi um dos primeiros pesquisadores a estabelecer empiricamente relações entre variáveis e fatores do comportamento do fogo. Através de observações de queimas experimentais em

povoamentos de eucaliptos, McArthur desenvolveu tabelas e gráficos que permitem estimar a velocidade de propagação do fogo e o comprimento das chamas através do peso do material combustível fino (diâmetro < 0,6 cm) disponível, conteúdo de umidade do material morto e velocidade do vento no interior da floresta. (McARTHUR, 1962; McARTHUR, 1967; GOULD, 1994).

Diversas pesquisas realizadas nos EUA, principalmente entre os anos 1970 e 1980 (ALBINI, 1976; ANDERSON, 1982; BYRAM, 1959; ROTHERMEL, 1972; ANDREWS & ROTHERMEL, 1982; ROTHERMEL & DEEMING, 1980; ROTHERMEL, 1983) culminaram com o desenvolvimento do sistema BEHAVE – Fire Behavior prediction and fuel modeling system – uma série de programas computacionais interativos de comportamento do fogo para estimar o potencial dos incêndios florestais sob várias condições meteorológicas, de combustível e sob diversas situações topográficas (BURGAN & ROTHERMEL, 1984; ANDREWS, 1986; BURGAN, 1987; ANDREWS & CHASE, 1989; ANDREWS & BRADSHAW, 1990). Da mesma forma, outros países desenvolveram modelos de comportamento do fogo a partir de informações sobre as características do ambiente e do terreno. Assim foram desenvolvidos os sistemas FBP – Fire Behavior Prediction no Canadá (Canadian Forestry Service, 1992), o sistema CARDIN na Espanha (MARTINEZ *et al.*, 1990) e o sistema KITRAL no Chile (JULIO, 1996).

O sistema BEHAVE tem sido testado em várias regiões do mundo, adaptando-se os programas às condições locais, como é o caso de Portugal (BOTELHO *et al.*, 1989). Em outras situações desenvolveram-se modelos ou sistemas com base nos conceitos do BEHAVE, como é o caso do sistema CARDIN desenvolvido na Espanha.

VI. Materiais e Métodos

Para a realização desta pesquisa será instalado um experimento de queima controlada numa área contendo vegetação de Estepe (Campos Naturais) com idade aproximada de 7 anos, localizada na RPPN Botuquara, município de Palmeira – PR (figura 2) . Durante um período de 24 meses (setembro de 2012 a agosto de 2014) serão realizadas queimas em intervalos trimestrais, abrangendo, dessa forma, as quatro estações do ano. A data das queimas será definida em função das condições meteorológicas ideais, principalmente número de dias sem chuva, umidade relativa do ar e velocidade do vento.



Figura 2. Área dos experimentos – RPPN Botuquara.

Em cada uma das datas escolhidas será realizada a queima de 1000 m² de área, com 10 parcelas previamente estabelecidas e preparadas. Em cada parcela, com dimensão de 100 m² (5 m X 20 m), serão efetuadas observações e medições sobre o material combustível, declividade do terreno, variáveis meteorológicas e, durante as queimas, sobre o comportamento do fogo.

Os resultados obtidos com a execução do presente projeto serão comparados a outros experimentos realizados em vegetação nativa do Brasil, e também, em povoamentos florestais conforme exemplo da Figura 3.

Para a caracterização do material combustível serão obtidas informações sobre o tipo, a quantidade e a espessura formada pela deposição do material sobre o solo. Esses dados serão obtidos através do inventário do material combustível depositado no solo.



Figura 3. Monitoramento das variáveis do comportamento do fogo, durante experimento de queima em plantio de *Pinus taeda*.

Para isso serão alocadas aleatoriamente em cada parcela, 4 amostras de 2500 cm² (50 cm X 50 cm) cada uma, de onde o material será classificado separadamente em 3 categorias: material com diâmetro entre 0 e 0,7 cm, material com diâmetro entre 0,71 e 2,5 cm, material com diâmetro entre 2,51 e 7,6 cm. O inventário do material combustível será feito antes e depois de cada queima. A diferença observada entre a quantidade antes (combustível total) e depois da queima (combustível residual) fornecerá a quantidade de material consumida pela queima (combustível disponível). Em cada lado da amostra será medida a espessura da camada formada pelo material depositado na superfície do solo.

A declividade das parcelas será obtida com clinômetro, fazendo-se visadas no sentido longitudinal e transversal e calculando-se a declividade média conforme metodologia proposta por JENSEN (1986).

Durante o período do experimento, as condições meteorológicas serão monitoradas continuamente através das leituras de equipamentos meteorológicos portáteis de campo (Kestrel). Serão observadas a temperatura, a umidade relativa do ar e a direção e velocidade do vento. As medições serão feitas continuamente durante o período de queima das parcelas.

No momento em que estiver ocorrendo a queima de cada parcela serão feitas observações sobre as seguintes variáveis do comportamento do fogo:

Velocidade de propagação – será obtida determinando-se o tempo (em segundos) que a linha de fogo leva para percorrer cada metro da parcela;

Comprimento das chamas – será feita estimativa visual a cada metro de avanço da linha de fogo, com o auxílio de comparadores (escalas) de dimensões conhecidas;

Altura de carbonização da casca das árvores – será obtida medindo-se a porção da casca que fica enegrecida pelas chamas durante a passagem do fogo.

Para a realização dos experimentos todos os procedimentos de segurança serão tomados, para evitar a perda de controle do fogo e sua dispersão para outras áreas fora das parcelas de queima. Para tal, haverá a presença de estagiários (alunos) do laboratório de incêndios florestais do curso de engenharia florestal, além de funcionários da fazenda Santa Rita, propriedade da qual a RPPN Botuquara faz parte.

VII. Cronograma

A pesquisa será desenvolvida durante um período de 24 meses, iniciando em setembro de 2012 e encerrando em setembro de 2014, de acordo com o cronograma apresentado a seguir.

DESCRIÇÃO DA ATIVIDADE	ANO DE 2014											
	Janeiro	Fevereiro	Março	Abril	Maior	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Monitoramento das condições meteorológicas	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲			
Preparação e queima das parcelas; medições das variáveis do fogo em experimentos de queima em condições de campo.			▲			▲			▲			
Processamento de dados	▲			▲			▲			▲		
Análise de dados e elaboração de modelos										▲	▲	
Redação de relatório											▲	▲

VIII. Bibliografia

ALBINI, F. A. Estimating wildfires behavior and effects. Gen. Tech. Report INT-30. Ogden, USDA Forest Service, Int. For. Res. Exp. Station; 1976. 92p.

ANDERSON, H. E. Aids to determining fuel models for estimating fire behavior. Gen. Tech. Report INT-122. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1982. 22p.

ANDREWS, P. L. & BRADSHAW, L.S. RXWINDOW: defining windows of acceptable burning conditions based on desired fire behavior. Gen. Tech. Report INT-173. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1990. 54p.

ANDREWS, P. L. & CHASE, C. H. Fire prediction and fuel modeling system – Burn Subsystem, Part 2. Gen. Tech. Report INT-160. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1989. 93p.

ANDREWS, P. L. & ROTHERMEL, R. C. Charts for interpreting wildland fire behavior characteristics. Gen. Tech. Report INT-131. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1982. 21p.

ANDREWS, P. L. Fire Behavior prediction and fuel modeling system – Burn subsystem, Part 1. Gen. Tech. Report INT-194. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1986. 130p.

BOTELHO, H.; REGO, F. C.; VAREJÃO, E.; FERNANDES, P. Caracterização de combustíveis florestais: sua utilização na previsão do comportamento do fogo. Junta Nacional de Investigação Científica – JNICT. 1989, 11p.

BROWN, A. A. & DAVIS, K. P. Forest Fire – control and use. New York, Mc Graw Hill, 2nd Ed., 1973. 686p.

BURGAN, R. E. & ROTHERMEL, R. C. BEHAVE: fire behavior prediction and fuel modeling system – fuel subsystem. Gen. Tech. Report INT-167. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1984. 126p.

BYRAM, G. M. Combustion of forest fuels. In: DAVIS, K. P. Forest Fire – Control and use. New York, Mc Graw Hill, 1959, p.77-84.

GOULD, J. S. Evaluation of McArthur's control burning guide in regrowth Eucalyptus sieberi forest. Australian Forestry 57(2):86-93, 1994.

JENSEN, J. R. Introductory digital image processing. A remote sensing perspective. New Jersey: Prentice Hall, 1986. 377 p.

McARTHUR, A. G. Control burning in eucalypt forest. Comm. Aust. For. Leaflet n. 80. 1962, 33p.

McARTHUR, A. G. Fire behavior in eucalypt forest. Comm. Aust. For. Leaflet n. 107. 1967, 36p.

ROTHERMEL, R. C. & DEEMING, J. E. Measuring and interpreting fire behavior for correlation with fire effects. Gen. Tech. Report INT-93. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1980. 4p.

ROTHERMEL, R. C. How to predict the spread and intensity of forest and range fires. Gen. Tech. Report INT-143. Ogden, UT, USDA Forest Service, Int. Forest and Range Exp. Station, 1983. 161p.

SOARES, R. V.; BATISTA, A. C. Incêndios Florestais – controle, efeitos e uso do fogo. R. V. Soares e A. C. Batista ed. Independentes. Curitiba, 2007. 264 p.