

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO EM MUNICÍPIOS DO  
ESTADO DE MATO GROSSO POR MEIO DA FÓRMULA DE  
MONTE ALEGRE**

**MAURÍCIO MOLEIRO PHILIPP**

**ORIENTADOR: Prof. Dr. Francisco de Almeida Lobo**

Cuiabá - MT  
Junho de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO EM MUNICÍPIOS DO  
ESTADO DE MATO GROSSO POR MEIO DA FÓRMULA DE  
MONTE ALEGRE**

**MAURÍCIO MOLEIRO PHILIPP**

*Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Física e Meio Ambiente da  
Universidade Federal de Mato  
Grosso, como parte dos requisitos  
para obtenção do título de Mestre  
em Física e Meio Ambiente.*

**ORIENTADOR: Prof. Dr. FRANCISCO DE ALMEIDA LOBO**

Cuiabá - MT  
Junho de 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA E MEIO AMBIENTE

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: ANÁLISE DO PERIGO DE INCÊNDIO EM  
MUNICÍPIOS DO ESTADO DE MATO GROSSO POR MEIO  
DA FÓRMULA DE MONTE ALEGRE**

**AUTOR: MAURÍCIO MOLEIRO PHILIPP**

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada em 28 de Junho de 2007, pela comissão julgadora:

---

**Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo**  
Pesquisador da EMBRAPA/CNPAMN  
Examinador Externo

---

**Dr. Carlo Ralph De Musis**  
Prof. da UNIC e colaborador do PGFMA da UFMT  
Examinador Interno

---

**Dra. Carmen Eugenia Rodríguez Ortíz**  
Prof.<sup>a</sup>. do Depto. de Botânica e Ecologia do Instituto de Biociências da UFMT  
Examinadora Interna

---

**Dr. Francisco de Almeida Lobo**  
Prof. do Depto. de Solos e Engenharia Rural da  
Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária/UFMT  
Orientador

## **DEDICATÓRIA**

A minha amada esposa Kellyn e meu amado filho Maurício pela felicidade que me proporcionam e o sentido que dão a minha vida.

## AGRADECIMENTOS

- A Deus, senhor do tempo e do universo, senhor da vida e senhor do meu destino.
- Ao Governo do Estado de Mato Grosso, por meio da Secretaria de Estado do Meio Ambiente-SEMA-MT, por oportunizar a realização deste curso de mestrado e permitir meu aperfeiçoamento profissional.
- Ao meu orientador professor Dr. Francisco de Almeida Lobo, pelo apoio, pela sua competência, precisão, determinação e capacidade de superar grandes obstáculos.
- Ao Professor Dr. José de Souza Nogueira (Paraná), pela dedicação na coordenação deste mestrado e sobretudo, pela compreensão e apoio a mim dispensado para a conclusão do curso.
- A minha esposa Kellyn, que pelo cuidado e dedicação a nossa vida, torna as nossas conquistas possíveis, mais fáceis e mais felizes.
- Ao meu filho Maurício que me ajudou da sua forma, me divertindo.
- Aos meus pais Alfredo e Lourdes, pelo lar sólido que construíram com exemplos de amor, força e fé, valores que me são providenciais para superação de obstáculos e coragem para acreditar que tudo pode dar certo.
- A Olinda e Oselinda pelas orações, incentivo e ajuda imprescindível.
- Aos meus colegas da SEMA-MT, em especial aos colegas da Superintendência de Planejamento/Coordenadoria de Programas e Projetos Especiais, Coordenadoria de Geoprocessamento e Biblioteca, pelo apoio incondicional.
- Aos membros da banca examinadora, Dra. Carmen Eugenia Rodríguez Ortíz, Dr. Carlo Ralph De Muis e Dr. Eugênio Celso Emérito Araújo, pelo apoio e disponibilidade em compartilhar conhecimentos, por meio das valiosas sugestões feitas neste trabalho.
- Aos colegas, técnicos e professores da PGFMA, pelo “bom astral” do curso e ambiente amistoso e de cooperação existente entre todos.

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	i
LISTA DE TABELAS .....	ii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 COMBUSTÃO E O TRIÂNGULO DO FOGO.....	3
2.2 INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	6
2.3 TIPOS DE FOGO.....	7
2.3.1 Queimadas para Desmatamento: Agricultura de Corte e Queima.....	8
2.3.2 Queimadas para Desmatamento: Formação de Pastagens.....	9
2.3.3 Incêndios Florestais Superficiais.....	10
2.3.4 Queimas em Áreas Desmatadas: Manejo de Pastagens.....	10
2.3.5 Queimadas para Reforma de Pastagem .....	10
2.3.6 Incêndios Acidentais em Áreas Desmatadas .....	12
2.4 O USO DO FOGO NAS ÁREAS DE FRONTEIRA AGRÍCOLA .....	12
2.4.1 A Inflamabilidade da Floresta .....	15
2.4.2 Efeitos da Exploração de Madeira sobre a Inflamabilidade da Floresta ....	18
2.4.3 O Uso do Fogo no Cerrado.....	22
2.5 OS IMPACTOS ECOLÓGICOS DO FOGO.....	23
2.5.1 As Queimadas para Desmatamento.....	24
2.5.2 Os Incêndios Florestais Superficiais .....	27
2.5.3 As Queimadas e os Incêndios em Áreas Desmatadas .....	30
2.5.4 O Fogo e o Processo de “Savanização” das Florestas da Região Amazônica .....	32

2.6	RISCO E PERIGO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS.....	33
2.6.1	Agentes Determinantes do Risco.....	33
2.6.2	Agentes Determinantes do Perigo .....	34
2.6.2.1	Fatores Constantes.....	34
2.6.2.1.1	Material combustível .....	34
2.6.2.1.2	Tipo de Floresta.....	36
2.6.2.1.3	Topografia .....	37
2.6.2.2	Fatores Variáveis .....	39
2.7	ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO .....	42
2.8	SISTEMA DE DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR .....	45
2.8.1	Histórico .....	45
2.8.2	Sistema AVHRR/NOAA.....	46
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	49
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	49
3.1.1	Município de Matupá-MT .....	51
3.1.2	Município de São José do Rio Claro-MT.....	51
3.1.3	Município de Sorriso-MT .....	52
3.1.4	Município de Tangará da Serra –MT .....	52
3.1.5	Município de Rondonópolis-MT.....	52
3.2	CARACTERÍSTICAS E ESTRUTURA DA FÓRMULA DE MONTE ALEGRE .....	52
3.3	GERAÇÃO DO GRAU DE PERIGO DE INCÊNDIO (FMA).....	54
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	58
4.1	Análise dos Resultados de Sorriso-MT .....	58

4.2	Análise dos Resultados de São José do Rio Claro-MT .....	62
4.3	Análise dos Resultados de Rondonópolis-MT .....	67
4.4	Análise dos Resultados de Tangará da Serra-MT .....	71
4.5	Análise dos Resultados de Matupá-MT .....	75
4.6	Sugestão para Trabalhos Futuros.....	83
5	CONCLUSÃO.....	85
6	BIBLIOGRAFIA .....	87
6.1	Bibliografia Consultada.....	87
6.2	Bibliografia Citada .....	88

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 - Mapa de localização dos municípios estudados. .... 50
- Figura 2 – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2003 em Sorriso, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas..... 59
- Figura 3 – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2004 em São José do Rio Claro, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas..... 64
- Figura 4 – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2004 em Rondonópolis, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas..... 69
- Figura 5 – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2003 em Tangará da Serra, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas. .... 73
- Figura 6 – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2003 em Matupá, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas..... 77
- Figura 7 – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2004 em Matupá, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas..... 81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Restrições à somatória de FMA, de acordo com a precipitação do dia.....	54
Tabela 2 – Escala de perigo da Fórmula de Monte Alegre. ....	54
Tabela 3 – Localização das estações meteorológicas do INMET .....	55
Tabela 4– Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre(FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Sorriso-MT.....	58
Tabela 5 – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Sorriso, Mato Grosso, no período de 1º de maio a 30 de novembro de 2003. ....	60
Tabela 6 – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre(FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de São José do Rio Claro-MT.....	63
Tabela 7 – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de São José do Rio Claro- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2004. ....	65
Tabela 8 – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre(FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Rondonópolis.....	68
Tabela 9 – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Rondonópolis- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2004. ....	70
Tabela 10 – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre(FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Tangará da Serra.	72
Tabela 11 – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Tangará da Serra - MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2003. ....	74
Tabela 12 – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre(FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Matupá-MT.....	76
Tabela 13 – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Matupá- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2003. ....	78
Tabela 14 – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre(FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Matupá-MT.....	79

Tabela 15 – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Matupá- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2004. ....	82
--	----

PHILIPP, M. M. - **Análise do Perigo de Incêndio em Municípios do Estado de Mato Grosso Por Meio Fórmula de Monte Alegre (FMA)**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 90 p. Cuiabá, MT.

## RESUMO

Os índices de perigo de incêndio florestal refletem a possibilidade futura de ocorrência de incêndios, bem como a facilidade de os mesmos se propagarem de acordo com as condições atmosféricas do dia, ou de uma seqüência de dias. Neste trabalho, para estimativa diária do perigo de incêndio, foi utilizada a Fórmula de Monte Alegre (FMA), desenvolvida por SOARES em 1972 e utilizada por diversas empresas e instituições florestais do país. A FMA é um índice meteorológico que utiliza dados diários de umidade relativa do ar e precipitação, assim como o número de dias consecutivos sem chuva. O desempenho da FMA foi avaliado em cinco municípios de Mato Grosso, nos anos de 2003 e 2004, por meio da comparação da estimativa diária do grau de perigo de incêndio florestal com as ocorrências de focos de calor detectados a partir do processamento de imagens, geradas pelos satélites NOAA/AVHRR. Os resultados obtidos mostraram um bom desempenho da FMA, para as condições de Mato Grosso. Verificou-se uma tendência dos focos de calor se concentrarem nas classes de perigo alto e muito alto, o valor médio da frequência relativa obtida nestas classes foi de 90,55% nos municípios estudados. O teste de correlação ordinal de Kendall, revelou correlação significativa entre as variáveis estudadas, focos de calor e classes de perigo indicadas diariamente pela FMA, nos municípios de Sorriso-MT, São José do Rio Claro-MT, Tangará da Serra-MT e Matupá-MT.

**Palavras-Chave:** Mato Grosso, incêndio florestal, índice de perigo de incêndio, focos de calor.

PHILIPP, M. M. - **Analysis of Fire Danger in the cities of Mato Grosso State through Monte Alegre Formula (FMA)**. 2006. Dissertation. (Master in Physics and Environment), Department of Physics, Institute of Exact Sciences and the Earth, Federal University of Mato Grosso. 90 p. Cuiabá, MT.

## ABSTRACT

The indices of risk of forest fire reflect the future possibility of the occurrence of fires, as well as how easy it is for the fires to spread according to the atmospheric conditions. In this work, for daily estimate of the danger of fire, it was used the Monte Alegre Formula (AMF), developed by Soares in 1972 and used by several companies and forest institutions of the country. The FMA is an index that uses meteorological data of daily relative humidity of air and precipitation, as well as the number of consecutive days without rain. The FMA's performance was evaluated in five cities of Mato Grosso State, in 2003 and 2004, through the comparison of the daily estimate of the level of risk of forest fire with the occurrences of hot spots detected from the processing of images, generated by the satellites NOAA / AVHRR. The results showed a good performance of FMA, for the conditions of Mato Grosso. There was a trend of the hot spots to concentrate on classes of high risk and very high risk, the average value of the relative frequency obtained in these classes was 90.55% in the studied cities. The test of correlation ordinal of Kendall, showed significant correlation between the variables studied, sources of heat and daily classes of danger indicated by the FMA, in the city of Sorriso - MT, São José do Rio Claro-MT, Tangará da Serra-MT and Matupá - MT.

**Keywords:** Mato Grosso, forest fire, fire danger index, hot spot.

## 1 INTRODUÇÃO

No estado de Mato Grosso a cobertura florestal vem se reduzindo ao longo das últimas décadas, seja em função da exploração comercial da matéria-prima florestal, seja pela expansão da fronteira agrícola. Aliada à crescente busca pela produção de alimento e de produtos florestais, a ocorrência de incêndios florestais vem preocupando os órgãos responsáveis pela política florestal do Estado pelos prejuízos por eles causados, tanto no aspecto econômico quanto na biodiversidade. Anualmente são observadas várias ocorrências de incêndios em áreas destinadas a pecuária, agricultura, reflorestamentos, áreas com vegetação original inalterada, unidades de conservação sob administração estadual e federal, o que é extremamente preocupante pelos danos causados à flora, à fauna e ao solo. A partir de 1995, quando teve o início o processo de monitoramento de focos de calor em Mato Grosso, por meio dos satélites do grupo NOAA, pode-se observar a gravidade e dimensão do problema das queimadas no Estado, que vem sofrendo continuamente grandes prejuízos ambientais e econômicos em decorrência dos incêndios florestais.

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associadas às condições climáticas ou fatores climáticos. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados à umidade relativa, temperatura e velocidade do vento. A utilização de dados meteorológicos e climatológicos precisos é, portanto, vital para o planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais. Os meios de combate aos incêndios florestais existentes atualmente, mesmo com seus elevados custos, tem alcançado grande

avanço, mas as técnicas de prevenção não apresentaram o mesmo ritmo de evolução. Vale ressaltar que dentre as medidas preventivas existentes, a utilização de um índice de perigo confiável é fator fundamental para um planejamento mais eficiente das medidas de prevenção e para a adoção de ações rápidas e efetivas nas atividades de combate aos incêndios florestais, visando a redução das perdas e, conseqüentemente, dos prejuízos financeiros advindos da ocorrência de eventos catastróficos. Outras utilidades dos índices de perigo de incêndio são o estabelecimento de zonas de risco, possibilitando um melhor planejamento das atividades de prevenção contra incêndios florestais, a definição da estação de incêndios, a permissão para queimas controladas em períodos menos perigosos, a previsão do comportamento do fogo visando a adoção de técnicas mais efetivas de combate e a advertência pública do grau de perigo, fator importantíssimo nos programas de educação ambiental, informando à população por meio de veículos de comunicação para que sejam adotadas medidas preventivas e em casos extremos, limitando o acesso a áreas de risco e proibindo o uso de fogo em locais próximos à floresta. Desta forma, este trabalho visa gerar subsídios e informações a sociedade e instituições públicas responsáveis pela gestão ambiental e de alguma forma auxiliar o processo de tomada de decisão e formulação de políticas públicas para minimizar o problema do uso do fogo no Estado de Mato Grosso.

Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar a o desempenho da Fórmula de Monte Alegre para as condições climáticas dos municípios de Sorriso, São José do Rio Claro, Matupá, Tangará da Serra e Rondonópolis a partir da comparação dos focos de calor detectados por meio de imagens NOAA/AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration/Advanced Very High Resolution Radiometer), processados pelo INPE.

As hipóteses formuladas neste estudo são as seguintes:

a) Existe uma tendência dos focos de calor se concentrarem nas classes de perigo da FMA, que indicam situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndios florestais (nível alto e muito alto).

b) Existência de associação estatisticamente significativa entre a distribuição de focos de calor detectados pelo NOAA/AVHRR e as classes de perigo de incêndio da FMA.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 COMBUSTÃO E O TRIÂNGULO DO FOGO**

Fogo, de um modo geral, é o termo aplicado ao fenômeno físico resultante da rápida combinação entre o oxigênio e uma substância qualquer (madeira, por exemplo), com produção de calor, luz e, geralmente, chamas. Fogo, ou mais precisamente combustão, é, portanto uma reação química de oxidação. O processo é quimicamente idêntico ao de formação de ferrugem em um pedaço de ferro ou a decomposição da madeira, apenas muitíssimo mais rápido.

Conforme CANDIDO e COUTO (1980), em qualquer incêndio florestal é necessário haver combustível para queimar, oxigênio para manter as chamas e calor para iniciar e continuar o processo de queima. Essa inter-relação entre os três elementos básicos da combustão é conhecida como “triângulo do fogo”. A ausência, ou redução abaixo de certos níveis, de qualquer um dos componentes do triângulo do fogo inviabiliza o processo da combustão.

A influência do oxigênio na combustão pode ser evidenciada por meio de uma experiência bastante simples. Acende-se uma vela e coloca-se sobre ela uma campânula de vidro. Coberta a vela, a chama logo começará a diminuir de intensidade até se extinguir completamente. Eliminando-se o oxigênio, quebrou-se o triângulo do fogo e a combustão foi contida. Aliás, não é necessário eliminar totalmente o oxigênio para interromper a combustão. Basta reduzir sua concentração abaixo de certo limite. O ar atmosférico contém cerca de 21% de oxigênio e

experiências demonstram que reduzindo essa concentração para 15% inviabiliza-se a combustão.

Uma experiência que demonstra a importância do calor na combustão é a seguinte: pega-se uma folha de papel previamente umedecida e tenta-se queimá-la com um fósforo aceso. Isto não será possível, pois a temperatura produzida pelo fósforo será parcialmente consumida na secagem do papel e não será suficiente para elevar a temperatura do mesmo até o ponto de ignição. Se em vez do fósforo se usar uma tocha, o calor despreendido secará imediatamente o papel, provocando sua ignição e combustão. Segundo CANDIDO e COUTO (1980) a temperatura de ignição para a maioria dos materiais combustíveis florestais está entre 260 a 400°C.

Quanto ao material combustível, é visível sua função limitante na combustão, pois se não houver nada para queimar certamente não haverá incêndio.

Então para “fazer fogo” é fundamental a existência dos três elementos do triângulo do fogo: combustível, oxigênio e calor. Todas as técnicas usadas no combate a incêndios são, na verdade, maneiras de se “quebrar” um dos lados do triângulo. Por meio do resfriamento com água tenta-se quebrá-lo pelo lado do calor; por meio do abafamento, pelo lado do oxigênio; e por meio do aceiramento, pelo lado do combustível.

### **2.1.1 Fases da Combustão**

Quando uma substância, líquida ou sólida é submetida à ação do calor, suas moléculas se movem mais rapidamente, o que se traduz pelo aumento de temperatura da substância. Aumentando a quantidade de calor, algumas dessas moléculas se despreendem para formar vapor ou gás. Existindo calor suficiente, esse vapor, desde que inflamável, se converterá em chamas, iniciando o processo de combustão.

Segundo CANDIDO e COUTO (1980), a combustão do material florestal compreende três fases distintas, que entretanto, em um incêndio florestal, se sobrepõe e ocorrem simultaneamente:

a) Pré-aquecimento - nesta fase o material combustível é seco, aquecido e parcialmente destilado, porém não existem chamas. O calor elimina o vapor d'água e continua aquecendo o combustível até a temperatura de ignição, aproximadamente entre 260 e 400°C para a maioria do material florestal . A temperatura de ignição

será alcançada rápida ou lentamente, dependendo do tipo de combustível, seu conteúdo de umidade e seu estágio de maturação (se está verde ou em dormência, no caso de vegetação viva). Os componentes voláteis se movem para a superfície do combustível e são expelidos para o ar circundante. Inicialmente esses voláteis contêm grandes quantidades de vapor d'água e alguns componentes orgânicos não combustíveis. Nos combustíveis florestais, quando a temperatura aumenta, a hemicelulose, seguida da celulose e da lignina, começam a se decompor e liberam um fluxo de produtos orgânicos combustíveis (pirolisados). Devido esses gases estarem aquecidos, elevam-se misturando-se com o oxigênio do ar e incendeiam-se produzindo a segunda fase.

b) Destilação ou combustão dos gases - nessa fase os gases destilados dos combustíveis se acendem e queimam, produzindo chamas e altas temperaturas, que podem atingir 1250°C ou um pouco mais. Nesse estágio do processo de combustão os gases estão queimando, mas o combustível propriamente dito ainda não está incandescente. Olhando atentamente para um pedaço de madeira que está queimando, por exemplo, um fósforo aceso, observa-se que as chamas não estão ligadas diretamente à superfície da madeira, mas separadas dela por uma fina camada de vapor ou gás. Isto ocorre porque combustíveis sólidos não queimam diretamente, necessitando primeiro serem decompostos ou pirolisados, pela ação do calor, em vários gases - uns inflamáveis e outros não. Os gases inflamáveis não possuem suficiente quantidade de oxigênio para queimar quando liberados da madeira, precisando primeiro se misturar com o ar em redor para formar uma mistura inflamável. Se a pirólise é lenta, pouco gás é destilado e as chamas são curtas e intermitentes, mas quando grandes quantidades de combustível estão queimando rapidamente, como em um incêndio florestal, o volume de gases é grande e alguns deles necessitam se expandir, afastando-se a consideráveis distâncias do combustível antes que a mistura se torne inflamável. Neste caso, longas e compactas chamas são formadas.

c) Incandescência ou consumo do carvão - nessa fase o combustível (carvão) é consumido, restando apenas cinzas. O calor gerado é intenso, mas praticamente não existem chamas nem fumaça. A quantidade de calor liberada nessa fase depende do tipo de combustível mas de um modo geral, pode-se dizer que 30 a 40% do calor de

combustão da madeira está no seu conteúdo de carbono. A composição do carvão residual que é liberado após a fase de destilação varia de acordo com a temperatura em que ocorreu a destilação dos hidrocarbonos. Se ela ocorreu no limite inferior de temperatura, 260 a 300°C, o carvão retém considerável quantidade de alcatrão e o conteúdo de carbono pode ser apenas 60%. Porém, considerando-se que em um incêndio florestal, as temperaturas atingem facilmente a 800°C ou mais, a porcentagem de carbono chega a 96%.

Embora haja certa superposição entre elas, as três fases da combustão podem ser perfeitamente observadas em um incêndio florestal. A primeira é a zona na qual folhas e gramíneas se enrolam e se crestam, à medida que são pré-aquecidas pelo calor das chamas que se aproximam. Em seguida vem a zona de combustão dos gases, onde se destacam as chamas. Após a passagem das chamas vem a terceira e menos distinta das zonas, a do consumo do carvão.

Uma aplicação prática da teoria das fases de combustão é a produção de carvão vegetal. Para produzir o carvão provoca-se a combustão de uma pilha de madeira, em ambiente semifechado, interrompendo-se o processo (por meio da eliminação do oxigênio) ao final da segunda fase, isto é, impedindo-se que o carvão resultante da fase de destilação seja consumido.

## **2.2 INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Historicamente, o fogo está intimamente ligado à evolução humana, desde o início da civilização o fogo tem sido utilizado por todas as culturas com o fim de modificar o ambiente, visando satisfazer as necessidades humanas.

Certos biomas, como o cerrado brasileiro, convivem com o fogo e dependem dele para que determinadas espécies possam se regenerar e propagar.

No caso do cerrado, o fogo é um fenômeno cíclico e ocorre quando existe acúmulo de combustíveis florestais nessas áreas. O uso do fogo em queimas controladas, tem desempenhado um papel fundamental na distribuição e manutenção de determinados ecossistemas artificiais como pastagens e áreas agrícolas e florestais.

Porém, com a intensificação das atividades agrosilvopastoris no meio rural os incêndios florestais passaram a constituir uma fonte de perturbação permanente, acarretando perdas e danos materiais.

Segundo SOARES (1985), incêndio florestal é o termo utilizado para definir um fogo incontrolado que se propaga livremente e consome os diversos tipos de material combustível existentes em uma floresta. Um incêndio florestal não deve ser confundido com a queima controlada, que é a utilização do fogo em uma área circunscrita, sob determinadas condições de clima, umidade do material combustível, umidade do solo e outras, produzindo a intensidade de calor e taxa de propagação necessárias para favorecer certos objetivos de manejo.

### **2.3 TIPOS DE FOGO**

Conforme FEARNSIDE (1997), os tipos de fogo podem ser agrupados em três categorias principais. São elas:

“Queimadas para desmatamento” - são aqueles fogos estabelecidos geralmente de forma intencional e associados ao corte e a queima de floresta para plantio agrícola ou formação de pastagens.

“Incêndios florestais superficiais” - são aqueles fogos que queimam a camada de combustível depositada no chão das florestas primárias ou exploradas.

“Queimadas e incêndios em áreas já desmatadas” - são resultantes do fogo intencional (queimadas) ou acidental (incêndios) em pastagens, lavouras e capoeiras.

Os fogos para desmatamento são, virtualmente, todos intencionais, com exceção daqueles que começam em uma época do ano não desejada. Os fogos superficiais nas florestas, por outro lado, são em sua maioria acidentais, dado que os proprietários de terra têm poucos motivos para atear fogo diretamente na floresta em pé. Os incêndios florestais superficiais, por exemplo, não substituem a derrubada da floresta, dado que muitas árvores permanecem vivas após a passagem do fogo. As áreas já desmatadas geralmente são queimadas intencionalmente quando os proprietários ateam fogo em suas pastagens para eliminar plantas invasoras que impedem que o pasto se desenvolva adequadamente, ou quando eles cortam e queimam florestas secundárias na preparação do terreno para agricultura ou formação de novas pastagens. Acidentes são freqüentes nesse tipo de queimada. O

fogo escapa ao controle e queima áreas de pastagens, lavoura e capoeira que não se deseja queimar. Esses incêndios podem alcançar grandes proporções principalmente nas pastagens, provocando grandes perdas econômicas.

### **2.3.1 Queimadas para Desmatamento: Agricultura de Corte e Queima**

Sob condições onde o solo é infértil, a floresta é abundante e barata, e onde o trabalho e o capital são geralmente escassos, a forma mais lógica de enriquecer o solo é usar a própria floresta como fertilizante. Todo ano, nas florestas brasileiras, aproximadamente 600 mil famílias carentes cortam e queimam de um a três hectares de floresta para plantar mandioca, arroz, milho, feijão e outras culturas, cuja produção é destinada à subsistência ou à comercialização nos mercados locais (NEPSTAD, 1999). As práticas antigas de agricultura de corte e queima permitem o cultivo em solos ácidos e inférteis que dominam grande parte da Amazônia. A queima transforma a biomassa florestal em cinzas ricas em nutrientes que fertilizam o solo. Esta fertilidade, no entanto é temporária. Grande parte desses nutrientes são volatilizados no processo de combustão e ainda exportados pela ação do vento e principalmente pela ação das chuvas, onde o solo exposto favorece o escoamento superficial e a lixiviação de nutrientes mineralizados. A rápida infestação dos campos agrícolas por plantas invasoras reduz ainda mais a produtividade dessas áreas. Os rendimentos oriundos dos cultivos frequentemente declinam entre um e três anos após a derrubada da floresta. Assim, a cada ano uma nova área de floresta é derrubada e queimada pelas famílias de agricultores carentes da Amazônia para que haja garantia de continuidade na produção de subsistência.

O ciclo da agricultura de corte e queima começa no período de estiagem, quando uma área de floresta é cortada com auxílio de machados ou motosserras. Inicia-se então um “jogo de adivinhação”. Os agricultores deixam suas áreas de floresta secarem o máximo possível. Se a floresta cortada for queimada antes de estar totalmente seca, o teor de umidade dos troncos caídos impedirá a queima completa de toda a biomassa disponível. Por consequência, haverá uma má distribuição de cinzas no solo, levando a redução da produtividade dos cultivos. Além disso, uma floresta queimada de forma incompleta dificulta o trabalho do agricultor, pois um maior número de galhos e troncos caídos permanece na área cultivada. Os fogos

produzidos pela agricultura de corte e queima podem escapar facilmente para as florestas, pastagens ou campos agrícolas adjacentes à área que está sendo queimada. A queima do emaranhado de galhos e troncos secos das árvores produz faíscas que são lançadas ao vento e podem iniciar o fogo em outras áreas. Muitas árvores mortas são deixadas em pé após a derrubada e podem servir de “ponte” para a passagem do fogo. Durante o processo de queima, muitas dessas árvores acabam caindo ainda em chamas sobre as áreas vizinhas, expandindo a área de abrangência do fogo. Os incêndios nas áreas de agricultores de subsistência são também difíceis de conter ou prevenir, pois a mão-de-obra é escassa e muitos não dispõem de recursos para abrir aceiros entre os lotes e os ecossistemas vizinhos.

### **2.3.2 Queimadas para Desmatamento: Formação de Pastagens**

As florestas são também cortadas e queimadas para a formação de pastagens. O primeiro passo para a conversão em pastagem é a derrubada, a secagem e a queima da floresta. Raramente, pastagens são formadas sem o uso de fogo, dado que a deposição das cinzas no solo é o grande benefício desta técnica; além disso, é mais barato cortar e queimar do que limpar a terra utilizando tratores de esteira com correntes atreladas. Fazendeiros que tem acesso a estes tratores, muitas vezes, utilizam-nos para remover troncos e galhos carbonizados, facilitando o plantio e a roçagem mecanizada. Muitos produtores rurais, principalmente os pequenos proprietários, não plantam pastagem imediatamente após a derrubada e a queima da floresta. Inicialmente, plantam culturas de subsistência (mandioca, arroz, feijão, milho) e iniciam a introdução de capins, quando a produtividade da lavoura começa a dar sinais de declínio, ou ao final dos primeiros dois anos de cultivo. Dessa forma, as culturas que requererem níveis de nutrientes mais altos do que as espécies de capim são beneficiadas pelo pulso de nutrientes fornecidos pelas cinzas após a queimada.

É também comum que os proprietários de terra vendam a madeira de suas florestas antes da formação de pastagens, principalmente se estas áreas estiverem nas proximidades de serrarias. As queimadas para formação de pastagens, como também aquelas associadas à agricultura, são difíceis de conter e, freqüentemente, escapam para as florestas vizinhas ou outros campos agrícolas e pastagens. Os grandes proprietários freqüentemente têm acesso a tratores de esteiras e, por essa razão, têm a

opção de abrir aceiros ao redor de suas áreas a um custo menor do que os proprietários que necessitam abri-los manualmente.

### **2.3.3 Incêndios Florestais Superficiais**

As florestas tropicais podem incendiar durante secas severas, após exploração madeireira e até mesmo após enchentes ou outros distúrbios florestais que resultem na mortalidade das árvores. Em virtude da umidade e do sombreamento proporcionado pelas florestas, a maioria dos incêndios avança rente ao chão, queimando lentamente as folhas os ramos e os galhos finos caídos (UHL e KAUFFMAN, 1990).

### **2.3.4 Queimas em Áreas Desmatadas: Manejo de Pastagens**

A queima é a forma mais barata de favorecer o crescimento das pastagens, além de deter a invasão de plantas lenhosas não comestíveis pelo gado, que surgem a partir da brotação de raízes ou da germinação de sementes. O fogo mata as partes dessas plantas que ficam acima do solo. Por outro lado, as gramíneas prosperam após a passagem do fogo, pois suas folhas geralmente crescem a partir de órgãos semi enterrados que estão no solo e protegidos do fogo. O crescimento rápido das gramíneas pode também ser induzido pela liberação de cinzas no solo e pela remoção de folhas e caules secos e mortos. Por essa razão, a curto prazo, a queimada estimula o crescimento das gramíneas.

### **2.3.5 Queimadas para Reforma de Pastagem**

A queimada é frequentemente usada como o primeiro passo na reforma de pastagens abandonadas. Comumente, a seqüência de passos para a reforma de pastagens é variável, mas frequentemente inclui: a) a queimada para proporcionar a introdução de cinzas no solo; b) o uso de trator de esteiras para remover os restos de árvores mortas que persistem desde o primeiro corte e derrubada da floresta e plantas invasoras; c) aragem para eliminar plantas invasoras e diminuir a compactação do solo e d) a fertilização e o plantio de sementes de capim selecionadas (MATTOS e UHL, 1994).

Os agricultores com menos capital disponível geralmente reformam suas pastagens apenas queimando antes de semear. O “baixo custo” de combater as plantas invasoras da pastagem com fogo tem conseqüências. O uso do fogo reduz o tempo de pastoreio e os nutrientes do solo, além de colocar em risco de incêndio as cercas e os ecossistemas adjacentes.

Após uma queimada, as gramíneas precisam crescer por três ou quatro meses durante a estação chuvosa, antes de poderem sustentar o gado. Este período de “descanso” pode ser particularmente importante para a *Brachiaria brizantha* (braquiarião), a espécie de gramínea que atualmente forma a maioria dos pastos da Amazônia. As pastagens não queimadas podem ser pastoreadas durante todo o ano.

A longo prazo, o uso do fogo pode reduzir bastante a produtividade das pastagens pela redução do nível de nutrientes no solo. Quando essas áreas são queimadas, grandes quantidades de nitrogênio, fósforo e outros nutrientes são volatilizadas e liberadas para a atmosfera (BUSCHBACHER et al., 1988). A queimada de pastagens e florestas secundárias infestadas por plantas invasoras também proporciona um importante benefício não agrônômico para os proprietários de terra, pois reforça o direito de posse.

Um critério importante na definição da posse de terra na Amazônia brasileira é a demonstração do uso produtivo da propriedade. Uma fazenda coberta por floresta secundária e sem gado é mais provável de ser invadida ou confiscada para fins de reforma agrária, do que uma fazenda com pastagens formadas e rebanhos. Nesse sentido, a estrutura legislativa favorece o uso do fogo como uma forma barata de defender os direitos sobre a propriedade. As queimadas nas pastagens muitas vezes, acontecem em grandes extensões abertas, onde a ação dos ventos pode impedir o controle efetivo do fogo. A intensidade e a extensão do fogo nas pastagens são altamente variáveis e dependem do estado da vegetação. As pastagens abandonadas que sofreram pouca roçagem e têm material combustível abundante podem gerar chamas com mais de 10m de altura e brasas flamejantes, que são lançadas a grandes distâncias (UHL e BUSHBACHER, 1991). Tais pastagens têm geralmente poucas árvores mortas em pé, e os incêndios podem ser contidos usando aceiros. A queimada nessas pastagens também pode ser contida pela técnica do contrafogo, que

consiste em atear fogo a favor do vento no lado oposto da frente do fogo predominante.

### **2.3.6 Incêndios Acidentais em Áreas Desmatadas**

Todo ano, o fogo traz perdas econômicas a muitos proprietários de terras. O fogo acidental consome pastagens, campos agrícolas, sistemas agroflorestais, pomares, plantações de dendê, de cítricos, de pimenta-do-reino, caju e cupuaçu, além de espécies madeireiras e outras culturas perenes. Os incêndios em pastagens são provavelmente os que atingem as maiores áreas todos os anos, pois as pastagens são o tipo de cobertura dominante em áreas desmatadas.

A importância do fogo acidental em outros sistemas de produção agrícola e florestal vai além de sua abrangência. Essa ameaça anual, representada pelo risco de incêndio, pode significar que o retorno de investimentos em formas de uso da terra que são suscetíveis ao fogo não aconteça. Nesse sentido, o risco de incêndio é um desestímulo poderoso para os produtores rurais que desejam intensificar seus sistemas de produção, investindo em produções agrícolas e florestais mais rentáveis, por serem estas mais sensíveis ao fogo.

## **2.4 O USO DO FOGO NAS ÁREAS DE FRONTEIRA AGRÍCOLA**

O problema dos incêndios florestais começa com a grande utilidade do fogo para a conversão da floresta em agricultura e no controle de plantas invasoras. Desta maneira pode-se notar uma relação muito estreita entre o uso do fogo e a expansão das fronteiras agrícolas.

A queimada é utilizada como o método mais barato para fertilizar o solo de novas áreas agrícolas. O fogo converte as árvores abatidas no desmatamento em cinzas ricas em nutrientes que são incorporados ao solo, além de limpar o terreno do emaranhado de troncos e galhos derrubados. Sem o fogo, os proprietários de terra teriam de investir em máquinas pesadas para remover as árvores derrubadas, deixando de aproveitar o aumento, a curto prazo, da fertilidade do solo que a incorporação das cinzas promove. Sem o uso do fogo, os proprietários ainda teriam de investir mais no controle de plantas invasoras em suas pastagens, roçando ou

cortando as ervas com facões. O fogo, portanto, é o método mais barato para expandir as fronteiras agrícolas e para manter as pastagens. O fogo torna-se um grande problema, especialmente quando as queimadas, realizadas com o objetivo de converter a floresta em lavouras ou de controlar a proliferação de plantas invasoras, escapam do controle, queimando o que não era desejado. Essas queimadas acidentais ou incêndios, ocorrem com frequência nas fronteiras de ocupação da Amazônia causando extensos prejuízos ecológicos e econômicos.

Vários fatores contribuem para a maior ocorrência desses incêndios. Primeiro, as queimadas intencionais são usualmente promovidas no final da estação seca, quando as lavouras são mais fáceis de queimar, visto que neste período os proprietários de terras obtêm boas queimadas, com alto grau de combustão da biomassa e grande produção de cinzas. No entanto é justamente nessa época que outros tipos de vegetação estão mais vulneráveis ao fogo. O segundo fator que eleva a probabilidade de os incêndios causarem prejuízos ecológicos e econômicos resulta dos diferentes tipos de uso da terra, os quais aumentam significativamente a inflamabilidade da paisagem. O fogo, que invade grandes fazendas de gado, pode queimar centenas de hectares de pastagens contíguas, sem cruzar rios e estradas. Um único incêndio acidental na pastagem pode, portanto, proporcionar fontes de ignição ao longo de dezenas de quilômetros na borda da floresta (UHL e BUSCHBACHER, 1991). Mesmo nas fazendas menores, a abertura da floresta geralmente tem início na área da propriedade que se encontra ao longo das estradas de acesso, de tal modo que, somada às aberturas nas propriedades vizinhas, tende a formar grandes áreas contíguas de pastagens e capoeiras altamente inflamáveis.

Neste cenário, uma queimada para poupar o agricultor do trabalho de preparar a terra para as lavouras de subsistência torna-se um sério problema para os vizinhos, quando cercas e pastos são destruídos por labaredas descontroladas. Felizmente, a floresta alta e densa que entremeia as áreas abertas para agricultura age como um “aceiro” ao longo da paisagem, impedindo que a maioria dos incêndios agrícolas descontrolados se espalhem por grandes áreas. Mesmo no auge da estação seca, essas florestas, altamente resistentes à seca, bloqueiam o fogo, uma vez que o seu interior sombreado mantém a umidade das folhas e dos galhos mortos depositados no chão (UHL e KAUFFMAN, 1990). Mas essa função benéfica das florestas é prejudicada

quando operações de exploração de madeira abrem clareiras no dossel, permitido que a luz solar penetre através da copa e chegue ao chão, levando à secagem das folhas e dos galhos e gerando dessa forma, condições propícias à propagação do fogo. Mesmo as florestas não exploradas tornam-se inflamáveis em anos que as secas são particularmente severas. O esgotamento da água no solo induz a queda de folhas e aberturas no dossel, aumentando o material combustível no chão e a penetração do sol (NEPSTAD, 1999).

Um terceiro fator, que aumenta sensivelmente a probabilidade de as queimadas intencionais escaparem ao controle e invadirem propriedades ou ecossistemas vizinhos, está relacionado com as deficiências do mercado e das políticas dirigidas para região. Em grandes extensões da Amazônia hoje, muitas vezes não vale a pena investir na prevenção de incêndios. Para conter os possíveis incêndios resultantes das queimadas, pode-se, por exemplo, fazer um aceiro ao redor das áreas a serem queimadas, ou ao redor das pastagens, das lavouras ou das florestas que precisam ser protegidas do fogo. Esses aceiros são estabelecidos pela remoção completa da vegetação em faixas com o emprego de facões ou tratores de esteiras.

O considerável investimento em mão-de-obra e recurso na prevenção dos incêndios somente faz sentido economicamente se os benefícios gerados pela proteção conferida às lavouras, aos pastos, às cercas ou à madeira forem maiores que os custos, ou se o usuário da terra tiver a certeza de que irá enfrentar multas pesadas por danificar propriedades vizinhas ou causar impactos ambientais mais significativos. Os benefícios econômicos de prevenção de incêndios podem ser muito poucos, principalmente nos estágios iniciais de desenvolvimento das fronteiras de ocupação, quando a terra (e a floresta) é abundante e a produtividade é baixa. Se a madeira já foi extraída da floresta, ou se uma pastagem está excessivamente degradada e improdutiva, ou ainda se a produção é baseada principalmente nas culturas de subsistência, pela prática da agricultura, então os prejuízos diretos associados aos incêndios podem ser bastante baixos do ponto de vista econômico.

Nesse contexto, os prejuízos para a sociedade resultantes da queima da floresta não são levados em conta. Na perspectiva do produtor agrícola, o investimento na prevenção de incêndios faz mais sentido quando acompanha outros investimentos na terra, tais como: cercas, plantação de árvores, manejo florestal e

reforma de pastagens são ameaçados pela ação do fogo. A prevenção e o controle dos incêndios fazem mais sentido também quando existe uma probabilidade real do responsável sofrer muitas pesadas.

O problema dos incêndios é particularmente difícil de ser resolvido, uma vez que é resultado de uma complexa interação de fatores biofísicos e socioeconômicos que ocorrem nas fronteiras de ocupação. O uso do fogo está profundamente arraigado na cultura da Amazônia (VIEIRA et al., 1996).

É particularmente difícil manter o fogo sob controle nas regiões onde ocorrem secas sazonais e que coincidem com as áreas de colonização onde virtualmente todos os tipos de uso da terra aumentam a inflamabilidade dos ecossistemas.

#### **2.4.1 A Inflamabilidade da Floresta**

Em qualquer latitude e em qualquer ecossistema, os três ingredientes de um incêndio são: combustível, oxigênio e uma fonte de ignição. Os ecossistemas mais inflamáveis têm abundância de material combustível fino e seco concentrado próximo à superfície do solo e de fácil ignição. No topo da lista dos ecossistemas altamente inflamáveis estão os campos naturais e as savanas, os quais estão sujeitos a secas sazonais severas, e ainda pelo fato das gramíneas fornecerem combustível fino abundante próximo ao solo, bastante oxigenado pelo vento, que seca rapidamente. Os ecossistemas florestais geralmente são menos propensos a incêndios que os campos naturais e as savanas, muito embora eles contenham mais material combustível. Isso acontece porque o combustível na floresta está mais distante da superfície do solo que nas savanas. Grande parte da biomassa está nos troncos das árvores, que requerem um tempo maior de contato direto com o fogo para queimar, em comparação com folhas secas. Além disso, a maior parte da luz solar é absorvida ou refletida pelo dossel, conferindo as florestas um microclima sempre úmido e sombreado (UHL e KAUFFMAN, 1990). Caminhar por uma floresta ombrófila ao final do mês de setembro é como entrar em um paradoxo ecológico. Poucos centímetros de chuva caíram nos últimos três meses, e a folhagem continua viçosa e densa. Por causa da sombra produzida pelas copas sempre verdes, o ar dentro da floresta é abafado, a camada de folhas e ramos mortos no solo, que pode chegar até a altura do tornozelo, produz um som suave e não um ruído de folhas secas como se

poderia imaginar. Mesmo no auge da seca anual, a floresta esta absorvendo dióxido de carbono do ar pelo processo de fotossíntese e lançando para a atmosfera de 3 a 4 mm de água por dia (NEPSTAD, 1999).

O paradoxo se revela quando se tenta interpretar a extraordinária tolerância da floresta à seca dentro da visão convencional de que as raízes das florestas tropicais são superficiais e extensas (NEPSTAD, 1999). Se isso fosse verdade para a maioria das florestas da Amazônia, a água estocada no metro superior do solo já teria se esgotado há várias semanas, as folhas teriam caído, formando uma camada grossa sobre o solo, e secariam rapidamente pela ação da luz solar atravessando as copas nuas das árvores. Assim, ouviria-se o som característico de folhas secas pisoteadas. Para se entender a extraordinária tolerância da floresta à seca e, por conseqüência, ao fogo, é preciso abandonar a concepção de que as raízes das florestas tropicais são superficiais. NEPSTAD (1999), verificou que as raízes das florestas de Paragominas por exemplo, estendem-se a uma profundidade de até 18 m. O solo profundo argiloso sobre o qual a floresta cresce funciona como uma grande esponja, que serve de reserva de água durante a estação seca e é absorvida pelo sistema profundo de raízes. Após a estiagem, essa esponja é reabastecida durante a estação das chuvas. Na maioria das estações secas, essa capacidade “tampão” da esponja em armazenar água é suficiente para suprir as necessidades hídricas da floresta no período seco e evitar a queda das folhas que a tornaria vulnerável ao fogo. UHL e KAUFFMAN (1990) mediram a inflamabilidade das florestas de Paragominas durante um ano normal, sem interferência do fenômeno El Niño. Esses autores documentaram o ciclo diário do teor de umidade do material combustível fino por um período de dezesseis dias sem chuva. Essa umidade acompanhou o ritmo diário da umidade relativa do ar que variava, quando o interior da floresta aquecia e esfriava. Durante o período das medições, o material combustível jamais secou o suficiente para ficar em ponto de ignição.

Por outro lado, durante períodos de seca severa, a floresta pode bombear e exaurir toda água disponível no solo até profundidades de 5 m, provocando estresse hídrico nas árvores, a ponto de induzir o murchamento das folhas, que caem em seguida, aumentando a suscetibilidade ao fogo. No evento El Niño de 1992 NEPSTAD (1999), realizou um estudo na floresta de Paragominas, que demonstrou

um esgotamento de água do solo disponível para as plantas até a profundidade de 8 m. Algumas das espécies de árvores estudadas apresentaram um súbito aumento no estresse hídrico. Verificou-se um desequilíbrio no balanço hídrico dessas espécies, e a absorção de água pelas raízes foi inferior à quantidade perdida pela transpiração das folhas. A área foliar baixou em 85% do valor máximo obtido no período chuvoso. No final do período seco, essa floresta estava no limite da inflamabilidade. A dependência da floresta de Paragominas à água armazenada no solo tem um efeito secundário muito importante: uma vez que a água disponível é esgotada durante um período de seca intensa, podem ser necessários vários anos para repor o estoque, ou seja, a seca pode persistir por muitos anos sem ser percebida pela observação da floresta acima.

Após a seca de 1992, o solo sob a floresta de Paragominas ficou com um déficit de umidade que se estendeu até meados de 1994, quando ocorreram finalmente, chuvas suficientes para repor a água no solo até 8 m de profundidade. Até este reabastecimento ocorrer, a floresta ficou vulnerável a incêndios durante mais de um ano, pois o solo não continha umidade suficiente para proteger a floresta seca. Conforme relato de NEPSTAD, novamente em outubro de 1997, a floresta de Paragominas foi levada além do limite da inflamabilidade, quando uma seca recorde exauriu a água armazenada no solo. A seca foi tão severa que, pela primeira vez em treze anos de observações de campo, esta floresta tornou-se inflamável. Durante um período de sete meses, iniciado em 6 de maio, um total de 88 mm de chuva caiu sobre a floresta. Durante este mesmo período, aproximadamente 800 mm de água foram removidos do solo e lançados na atmosfera pelas folhas por meio do processo de transpiração. Além do desequilíbrio hídrico observado, durante um período de oitenta dias, começando em 12 de agosto, não choveu uma única vez em Paragominas. Mesmo antes do auge da estação seca, a floresta já estava inflamável. Por meio de fogos experimentais realizados no interior da floresta, foi possível verificar que o fogo podia se espalhar rapidamente. Para cada experimento, o fogo precisou ser debelado rapidamente para evitar que se alastrasse. Nessa seca de 1997, verificou-se que a área foliar da floresta, que tinha chegado a cerca de 85% do seu valor máximo durante o evento do El Niño de 1992, atingiu o valor de 75%. O déficit entre a absorção de água pelas raízes e a perda pelas folhas gerou altíssimas tensões

no interior dos tecidos condutores nos troncos de árvores e cipós, tendo como consequência a diminuição rápida do dossel verde e frondoso.

Em muitas regiões da Amazônia, as chuvas de 1998 foram insuficientes para repor a umidade extraída do solo durante a estação seca de 1997. Por este motivo, a capacidade do solo profundo em fornecer água, protegendo as florestas contra os efeitos da seca, ficou reduzida. Em abril de 1998, a ocorrência de chuvas em três localidades geograficamente distantes (> 1.000 km) foi de 500 a 1.200 mm abaixo da média destas áreas. O incêndio que ocorreu no estado de Roraima no norte da Amazônia em fevereiro e março de 1998 e que chamou a atenção do mundo pode ser considerado um alerta para um problema maior relacionado aos incêndios florestais ocorridos na Amazônia de um modo geral.

Várias evidências sugerem que secas severas provocaram incêndios na Amazônia nos milênios passados, e que estas foram resultantes de eventos de El Niño intensos. O carvão encontrado no solo da floresta tropical em San Carlos do Rio Negro, no sul da Venezuela, é datado de aproximadamente 250, 400, 650, 1.500, 3.000 e 6.000 anos atrás, e é pouco provável que este carvão tenha sido produzido por atividade humana (SANFORD et al., 1985). No atual regime natural de chuvas da região, caracterizado por uma estação seca menos intensa, as florestas primárias não são vulneráveis ao fogo (UHL et al., 1988). MEGGERS (1994) verificou que as idades do carvão de San Carlos correspondem a descontinuidades no padrão da cerâmica produzida pelas populações indígenas da Amazônia e a inundações ao longo da costa peruana (onde as oscilações do El Niño provocam chuvas mais intensas). Esta autora defende a hipótese de que eventos de “Mega Niño” ocorreram a aproximadamente 400, 700, 1.000 e 1.500 anos, e que esses eventos provocaram períodos de estiagem na Amazônia, acentuados o bastante para causar grandes incêndios, esgotamento da água e dispersão de populações indígenas.

#### **2.4.2 Efeitos da Exploração de Madeira sobre a Inflamabilidade da Floresta**

A indústria madeireira tem crescido rapidamente em resposta à melhoria dos métodos de extração e ao acesso mais fácil aos mercados nacional e internacional de madeira serrada, laminados e compensados. A diminuição das florestas do sul do Brasil e esgotamento dos estoques de madeira nas florestas tropicais do mundo tem

feito da Amazônia a última e a maior fonte disponível de madeira tropical. Embora os métodos usados para extrair a madeira das florestas sejam seletivos, isto é, somente um reduzido de número de árvores é aproveitado em cada local, a exploração aumenta de modo significativo a suscetibilidade dessas florestas ao fogo.

A forma mais comum de extração de madeira é iniciada pela marcação das árvores adultas das espécies comerciais desejadas por um a equipe de mateiros. Em seguida, uma outra equipe de serradores corta somente as árvores marcadas. Os tratores de esteiras entram na floresta, arrastam as árvores derrubadas para um pátio de estocagem previamente construído no interior da floresta. Este pátio é grande o suficiente para que os caminhões sejam carregados com toras, e é conectado a rodovias estaduais ou federais por uma rede de estradas de terra. A palavra de ordem nessas operações de exploração é “velocidade”. As serrarias precisam garantir madeira suficiente para que continuem funcionando mesmo na estação chuvosa, quando os solos argilosos tornam-se escorregadios, impedindo que os caminhões cheguem até os pátios no interior da floresta. Uma vez que, geralmente, a área onde se dá a exploração não pertence ao proprietário da serraria ou a perspectiva de uma segunda ou terceira extração no mesmo local é remota, há pouca preocupação em se evitar desperdícios durante a operação de extração.

Há, por exemplo, pouco cuidado com o dano causado às árvores vizinhas quando uma árvore é extraída. Pelo fato das árvores na floresta estarem amarradas umas a outras por cipós, várias são arrancadas quando uma é derrubada. Além disso, outras são esmagadas ou danificadas com a queda das árvores extraídas pelos serradores. Estima-se que mais de vinte árvores sofrem sérios danos para cada árvore comercial que é extraída (UHL e VIEIRA, 1991). O desperdício é resultado também da falta de planejamento antes da extração. As árvores selecionadas para corte são raramente mapeadas, os tratores partem numa “busca cega” pelas árvores derrubadas, abrindo o dossel da floresta muito mais do que o necessário. Os métodos rápidos e descuidados empregados para extrair madeira na Amazônia podem aumentar significativamente a inflamabilidade das florestas após a exploração. As formas mais extremas de exploração seletiva reduzem de 95% para 50% a cobertura do dossel e removem, matam ou danificam mais de 40% das árvores adultas. A quantidade de combustível lenhoso pode aumentar de 51 toneladas por hectare em floresta madura

para 180 toneladas por hectare após a exploração, conforme registro obtido pelas observações feitas em uma floresta experimental, localizada na Fazenda Vitória em Paragominas (UHL e KAUFFMAN, 1990).

Por causa da redução drástica na cobertura do dossel, o déficit de pressão de vapor do ar ao meio dia (uma medida da capacidade de evaporação do ar) foi quatro vezes mais alto em clareiras geradas pela exploração de madeira, se comparado aquele medido no interior sombreado de uma floresta primária adjacente. A temperatura máxima do ar foi de 10°C mais alta na floresta explorada. A camada de folhas depositada no chão secou muito mais rapidamente na floresta explorada do que na floresta primária. O teor de umidade ficou abaixo do limiar de inflamabilidade, aproximadamente 15%, após cinco a seis dias sem registro de chuva, enquanto na floresta primária manteve-se acima do limiar de inflamabilidade, mesmo após quatorze dias sem chover (UHL e KAUFFMAN, 1990). Os efeitos da exploração seletiva na inflamabilidade da floresta podem ser reduzidos pelo uso de técnicas mais prudentes de extração de madeira, que danificam um número menor de árvores. O simples mapeamento das árvores a serem extraídas e corte de cipós podem reduzir os estragos na floresta. Pode-se ainda planejar a direção da queda da árvore e remover os troncos das árvores derrubadas com um trator florestal equipado com guincho. Todas essas técnicas de extração de “baixo impacto” podem reduzir o tamanho médio das clareiras produzidas pela queda das árvores em aproximadamente 50% e manter o dossel mais fechado se comparado às práticas de exploração convencional. A redução do tamanho das clareiras diminui a inflamabilidade da floresta após a extração, pois a taxa de secagem do combustível depende da quantidade de luz solar direta que atinge o chão. Clareiras grandes recebem muito mais luz solar que as pequenas. Infelizmente, essas técnicas de extração de baixo impacto raramente são empregadas. Os custos de uma exploração utilizando estas técnicas giram em torno de US\$ 72 por hectare a mais que as técnicas de extração tradicional (BARRETO et al., 1998). Além do custo adicional, existem poucas empresas que extraem madeiras com a intenção de retornar à mesma floresta para uma nova extração décadas mais tarde. Tal como a exploração de madeira, os incêndios florestais superficiais aumentam a inflamabilidade da floresta, por permitir a entrada de mais luz solar no seu interior e por aumentar a quantidade

de combustível lenhoso. A maioria dos incêndios que penetram nas florestas, sejam exploradas para madeira, com estresse hídrico, ou ambos, move-se lentamente pelo chão, queimando apenas a camada de combustível fino. As chamas produzidas não ultrapassam 0,4 m de altura. Esporadicamente, as chamas podem atingir o dossel, quando a combustível é suficiente para tanto. Áreas pequenas de florestas muitas vezes escapam do fogo por ausência de combustível ou por alta umidade mesmo.

À primeira vista, incêndios superficiais parecem ser inofensivos, com pouco impacto na estrutura da floresta. No entanto, estes matam muitas árvores e cipós que são atingidos diretamente pelas chamas. A mortalidade é alta, especialmente entre aquelas espécies que apresentam casca fina ou que são, de outras maneiras, sensíveis ao fogo. Dias após um incêndio superficial, as árvores começam a soltar suas folhas, cobrindo o chão da floresta. Essa nova camada de combustível recebe agora mais luz solar e torna-se mais seca. A queda de folhas ocorre porque a ação direta do fogo mata o tronco de muitas árvores.

Contudo, muitas árvores que não foram mortas pelo incêndio também perdem folhas. Isto pode acontecer devido à influência direta do calor na copa e da exposição à fumaça. Logo após um incêndio superficial, algumas florestas contêm combustível seco suficiente para queimarem novamente, e os troncos de árvores caídos permanecem em combustão lenta por vários dias, constituindo uma fonte de ignição permanente (NEPSTAD, 1999).

Nos anos subsequentes ao incêndio superficial, a floresta permanece altamente inflamável. As árvores e os cipós mortos pelo fogo perdem seus galhos ou caem no chão, fazendo novas aberturas no dossel e acumulando mais material combustível no piso da floresta. COCHRANE e SCHULZE (1999), documentaram um expressivo aumento sucessivo na inflamabilidade de florestas exploradas da região central do estado do Pará a cada vez que incendiavam. Ao contrário de uma floresta nunca incendiada, que requer semanas sem chuva para tornar-se inflamável, aproximadamente metade da área de uma floresta que já sofreu incêndio rasteiro fica inflamável apenas com nove a dezesseis dias de estiagem. Com a reincidência do fogo, virtualmente toda área da floresta pode incendiar-se após nove dias sem chuva. Portanto, um dos mais importantes efeitos do incêndio florestal de larga escala é o aumento da suscetibilidade dessas florestas a subsequentes incêndios.

### 2.4.3 O Uso do Fogo no Cerrado

Cobrando mais de 20% do território nacional, o cerrado é um complexo mosaico vegetacional de savana úmida, com formas que variam de campo limpo (formação de campo distrófica) até cerradão (formação de floresta escleromórfica e distrófica), determinado primariamente por gradiente de fertilidade do solo (COUTINHO, 1990), sendo um dos ambientes mais ameaçados devido à ampliação da fronteira agrícola no Brasil Central e a incidência de fogo que, ocorre com intervalo de 1 a 3 anos.

O fogo é um fator de ocorrência natural na região dos cerrados, porém a atividade agropastoril tradicional tem utilizado freqüentemente as queimadas para abertura de novas áreas para o plantio e para estimulação de rebrotas consumidas pelo gado. Além disso fatores como clima, vegetação, tipo do solo e a própria atividade humana interferem no impacto do fogo sobre o solo e o microclima em longo prazo.

A caracterização dos cerrados apenas como uma grande extensão de solos adequados à expansão agrícola seria uma visão estreita e pobre, diante de todo o potencial que a natureza ali oferece. É preciso atentar para a necessidade de conservação dos outros recursos que ele oferece e que, uma vez extintos, o serão para sempre.

A questão das queimadas é um aspecto da ecologia dos cerrados que tem sido abordado, por pesquisadores do INPE e Universidades brasileiras. A maioria das queimadas como já dissemos é provocada direta ou indiretamente pelo homem. Há queimadas intencionais, com objetivos de controlar o adensamento de arbustos, eliminar plantas tóxicas ou combater carrapatos. E há também queimadas de caráter criminoso, quase sempre motivadas pela ambição da ocupação de terras (COUTINHO, 1990).

Um primeiro efeito do fogo é que ele consome material lenhoso e gera calor, o que pode levar a morte da planta. Mesmo que não cause a morte, provoca o enfraquecimento que deixa a planta susceptível a ataque de pragas e doenças. Os danos dependem da intensidade do fogo (PEREIRA Jr., 1997).

Algumas espécies do cerrado dependem da queima para promover a deiscência de frutos e a dispersão de suas sementes, o que particularmente ocorre em espécies herbáceas e subarbustivas, que apresentam uma imensa capacidade regenerativa após a queima (AZEVEDO, 1995).

A mortalidade das plantas no cerrado devido às queimadas é um fenômeno raro, muitas espécies suportam temperaturas de até 800°C, mas os danos no estrato arbóreo arbustivo, vão desde murchamento e a desfolha das copas até a morte total de ramos e troncos novos, o que posteriormente determina o seu direcionamento e crescimento, já as mudas de outras espécies não tem muita chance, são queimadas junto com o capim.

Para um bioma complexo como o cerrado, não é a mesma coisa queimar a vegetação anualmente, a cada três ou cinco anos. Além disso, de acordo com a época do ano, serão destruídas estruturas que variam conforme o estágio de desenvolvimento dos indivíduos. Queimar uma planta quando ela está em floração tem efeito diferente de queimá-la quando já produziu seus frutos e dispersou suas sementes, assegurando a reprodução da espécie. Desta maneira, queimadas frequentes, como acontecem em Mato Grosso, reduzem substancialmente a manutenção e renovação do estrato arbóreo arbustivo (COUTINHO, 1990).

O aumento no valor nutritivo da forrageira após uma queimada tem sido objeto de atenção, visto que este é um dos principais motivos pelo qual o fogo é utilizado pelos pecuaristas no cerrado e em algumas pastagens implantadas (PEREIRA Jr., 1997). O fogo elimina o acúmulo de biomassa de baixo valor nutritivo, ao mesmo tempo que provoca a brotação de gramíneas e a germinação de sementes das mesmas. Entretanto, este aumento é transitório, dura somente até meados da estação chuvosa seguinte. Queimas excessivamente frequentes levam à degradação das pastagens, com substituição de forrageiras desejáveis por outras indesejáveis, e até mesmo com aparecimento de manchas de solo nu, o que tende acelerar enormemente os processos erosivos.(FILGUEIRAS, 1992).

## **2.5 OS IMPACTOS ECOLÓGICOS DO FOGO**

Os efeitos ecológicos dos incêndios nas florestas tropicais e cerrado brasileiro, atingem uma escala global, pois influenciam a composição química da

atmosfera e a reflectância das superfícies queimadas. Entre eles, estão as mudanças na biomassa e no estoque de nutrientes, as alterações do ciclo hidrológico e a redução no número de espécies de grupos animais e de plantas nativas. Os incêndios podem também afetar os padrões climáticos, tanto numa escala regional, pela sua influência na precipitação, como global, pela sua influência na composição química da atmosfera e no balanço de energia. E o mais importante, o fogo aumenta a inflamabilidade das paisagens amazônicas, iniciando um ciclo de retroalimentação positiva, pelo qual as florestas tropicais são gradualmente substituídas por uma vegetação propensa ao fogo. A importância ecológica do fogo é um produto da extensão atingida pelos diferentes tipos de incêndios e do impacto por área queimada. Nessa avaliação integrada, nota-se que as queimadas para desmatamento e os incêndios florestais superficiais têm uma importância ecológica muito maior, comparado aos fogos em terra desmatada.

### **2.5.1 As Queimadas para Desmatamento**

As queimadas para desmatamento, que envolve o corte e a queima das florestas amazônicas, é a forma mais dramática de alteração da floresta pelo homem. O fogo aniquila todas as partes aéreas das plantas, elimina ou espanta para longe animais silvestres e libera para a atmosfera os nutrientes e o carbono contidos na biomassa da floresta. Ao matar a parte aérea da vegetação, as queimadas para o desmatamento interrompem o fluxo de água para atmosfera via transpiração. Devido aos seus efeitos ecológicos extremos, o incêndio de desmatamento é freqüentemente visto como o pior tipo de incêndio do ponto de vista ecológico. Por exemplo, as estimativas de carbono liberado para a atmosfera pela atividade humana na Amazônia são baseadas exclusivamente na área do desmatamento anual. Esses estudos estimam que o efeito líquido da liberação de carbono para a atmosfera a cada ano, que é o resultado do balanço entre o desmatamento e a absorção de carbono pela recuperação da floresta em terra desmatada, é de aproximadamente 0,3 bilhões de toneladas, o que representa 4% do fluxo anual global de carbono para a atmosfera proveniente das atividades humanas (FEARNSIDE, 1997). As cinzas depositadas na superfície do solo após as queimadas de desmatamento são rapidamente “escondidas” por uma nova vegetação, à medida que os sistemas agrícolas vão sendo

estabelecidos, ou quando acontece a recuperação espontânea da floresta. Por isso, o impacto ecológico do fogo para o desmatamento a longo prazo depende do tipo de vegetação que substitui a floresta, uma vez que ela é cortada e queimada.

O tipo mais comum de vegetação em terra desmatada são as gramíneas africanas que formam as pastagens (em particular, espécies do gênero *Brachiaria*, *Panicum* e *Andropogon*) nas fazendas de gado. O segundo tipo mais comum de vegetação em terra desmatada é a floresta secundária. A conversão da floresta tropical em pastagem é uma das mais radicais alterações de uma biota nativa que se tem registro na história da humanidade. Quando um hectare de floresta tropical é desmatado, queimado e convertido em pastagem, populações de centenas de espécies de plantas nativas e milhares de espécies de animais são substituídas. A vegetação torna-se dominada por gramíneas, as quais sustentam uma espécie de gado importado e facilitam o aumento e a invasão de espécies animais típicas de áreas alteradas. Por exemplo, uma fauna de formigas passa a ser dominada por espécies que são consumidores vorazes de sementes (*Pheidole* spp e *Solenopsis* spp) e de plantas (*Atta* spp.), e por espécies generalistas de pássaros e mamíferos (MOUTINHO, 1995).

A redução da biomassa vegetal é extrema durante a conversão de floresta em pasto. A floresta nativa, com 300 toneladas de biomassa por hectare, é substituída por um campo de gramíneas com apenas 10 toneladas. Um campo de pasto ainda reflete 50% mais radiação solar para o espaço e libera 10% - 20% menos água para a atmosfera por meio da evapotranspiração, se comparado a uma floresta primária (SALATI e NOBRE 1991; UHL et al., 1988). Pelo fato destes campos liberarem menos vapor de água para a atmosfera do que a floresta, acabam promovendo um maior escoamento superficial da água, o qual contribui para as enchentes dos rios e para a erosão do solo.

Os modelos climáticos prevêem que, por causa dessas mudanças no balanço de energia e água, a conversão de grandes áreas de florestas em pastagens pode levar à redução de chuvas e um aumento da temperatura na região (NOBRE et al., 1991). As florestas secundárias são comuns na Amazônia porque muitas pastagens e áreas agrícolas estão abandonadas. De fato, o abandono de campos e o subsequente recolonização de florestas secundárias são parte do sistema agrícola de corte e queima mantido por pequenos agricultores por toda a Amazônia. O abandono da

terra inicia um processo de recuperação da floresta que gradualmente restabelece algumas das características funcionais e estruturais da floresta original. A taxa desse restabelecimento depende do tipo de uso da terra praticado antes do seu abandono. Esse restabelecimento acontece rapidamente quando o uso da terra foi a agricultura de corte e queima e mais lentamente após o abandono de pastagem. Quando pastagens são usadas de forma intensa para pecuária e submetidas, repetidas vezes, à queima e ao preparo da terra com o uso de trator de esteiras ou herbicidas, o ressurgimento da floresta pode ser impedido por vários anos após o abandono.

A falta de sementes de árvores no solo ou a predação destas por formigas e roedores, além da competição da vegetação florestal com plantas invasoras e da ação da seca, acabam por dificultar ainda mais o desenvolvimento da floresta secundária (UHL et al.,1988). Após o desmatamento e o abandono de uma área de pasto ou agrícola, a floresta secundária em regeneração promove uma melhor proteção ao solo, por reduzir o impacto das gotas de chuva e restituir gradativamente processos que proporcionam uma melhoria das condições de infiltração. Porém, o restabelecimento da biomassa e composição florística, são processos lentos. SALDARRIAGA et al. (1988), estimaram que florestas secundárias em campos agrícolas de corte e queima necessitam crescer por quase dois séculos para atingir a quantidade de biomassa contida em uma floresta primária. As florestas secundárias na região da Zona Bragantina da Amazônia Oriental continham menos da metade das espécies de árvores da floresta primária, mesmo após quarenta anos de restabelecimento (VIEIRA et al.,1996), enquanto uma floresta secundária de quinze anos em Paragominas abrigava menos de um terço da espécies de árvores da floresta primária, menos da metade das espécies de formigas, e somente um quinto das espécies de pássaros (MOUTINHO, 1998). Talvez o efeito ecológico mais importante do desmatamento seja o aumento da probabilidade de o fogo tornar-se uma característica permanente da paisagem.

Assim, pode-se dizer que o desmatamento leva a tipos de vegetação que pegam fogo facilmente, os quais podem conduzir os incêndios acidentais para amplas áreas de interfaces com a floresta. Basta um dia sem chuva para que as pastagens se tornem inflamáveis, e de uma a duas semanas para que isto aconteça com as florestas exploradas.

Já as florestas primárias somente atingem o estado de inflamabilidade após meses sem chuva. As florestas secundárias necessitam de décadas de crescimento para que recuperem a mesma resistência ao fogo de uma floresta primária, pois árvores altas são necessárias para restabelecer o sombreamento completo e, assim, o microclima úmido do sub-bosque.

### **2.5.2 Os Incêndios Florestais Superficiais**

Os incêndios que inflamam os resíduos orgânicos depositados sobre o chão da floresta são, freqüentemente, pequenos, de movimentação lenta e, portanto, aparentemente inofensivos. Quando esses incêndios se arrastam pelo chão de 10 a 30 metros por hora, um pequeno número de insetos, lagartos e outros animais que vivem no chão da floresta fogem, enquanto a maioria é menos afortunada. Colunas de fumaça são levadas para o dossel da floresta, proporcionando a única evidência para os viajantes dos aviões de que a floresta está sofrendo danos.

O principal dano a floresta não é resultante da destruição da matéria orgânica depositada sobre o chão, nem da morte de organismos do solo, embora ambos os efeitos possam influenciar, a longo prazo, propriedades importantes do sistema florestal. Em vez disso, o dano mais importante causado pelo incêndio florestal rasteiro é o aquecimento dos caules das árvores e dos cipós, além de seus limites de tolerância. Estes limites são determinados, em parte, pela capacidade de proteção contra o fogo da casca das árvores, que evita um superaquecimento dos tecidos condutores de açúcares e água. Se o fogo mata tais tecidos, seguramente ocorrerá a morte das árvores (ou cipó) dentro de alguns meses ou possivelmente anos.

O incêndio superficial transforma as florestas, provocando a morte de grande número de árvores, cipós, mudas e plantas herbáceas. Quando as árvores maiores morrem devido à ação do fogo, estas se decompõem e caem ao chão, fazendo novas aberturas no dossel e adicionando mais combustível ao chão da floresta. O efeito do fogo mais importante é, por essa razão, o aumento da probabilidade de ocorrência de novos incêndios nos anos subseqüentes, quando árvores mortas tombam, rompendo a sombra profunda e úmida do interior da floresta e aumentando a carga de combustível. A quantidade de árvores mortas causada pelo incêndio superficial varia em função da quantidade e da umidade do combustível depositado no chão da

floresta e do microclima no seu interior (temperatura do ar, umidade e velocidade do vento), no momento em que o incêndio ocorre. Os incêndios iniciados em florestas que têm combustível com alto teor de umidade, devido a chuvas recentes, queimarão de forma lenta e irregular, deixando grandes porções de florestas não queimadas. Os incêndios superficiais em florestas com combustível seco e abundante são maiores e mais rápidos e afetam uma área maior da floresta, matando um número elevado de árvores. Nesse contexto, as florestas mais inflamáveis são aquelas que já pegaram fogo, pois, as clareiras abertas pela morte das árvores durante o incêndio anterior, permitem que uma grande quantidade de radiação solar chegue ao chão e seque a camada de material combustível. Por exemplo, os incêndios em florestas próximas à região de fronteira de Tailândia no leste do Estado do Pará, as quais foram exploradas de forma moderada (cerca de  $30 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1}$ ), mas que não tinham sido queimadas, mataram aproximadamente 40% das árvores adultas (árvores com diâmetro a altura do peito,  $\text{DAP} > 0,10 \text{ m}$ ), representando 10% da biomassa viva acima do solo.

Os incêndios florestais superficiais matam quantidades substanciais de biomassa florestal, a qual é decomposta, aumentando, dessa maneira, o fluxo de carbono para a atmosfera. Esta fonte de carbono não está incluída nas estimativas atuais de emissão de carbono associadas às atividades humanas na Amazônia. Se assim o fosse, aumentaria bastante tais estimativas. Por exemplo, assumindo que num ano típico aproximadamente  $10.000 \text{ km}^2$  de floresta sofrem um incêndio superficial, resultando na morte de 25% da biomassa acima do solo, e ainda assumindo que o teor médio de carbono dessas florestas são de 200 toneladas por hectare, os incêndios superficiais seriam responsáveis pela liberação anual de aproximadamente 50 milhões de toneladas de carbono para a atmosfera. Isto representa um aumento de 20% sobre as estimativas atuais nas emissões de carbono da Amazônia brasileira (FEARNSIDE, 1997). Além de seus efeitos na inflamabilidade e no volume de carbono da floresta, o incêndio superficial muda drasticamente a estrutura da floresta. O fogo mata, virtualmente, todas as mudas, os brotos, os cipós e as árvores jovens que encontra pela frente, pois estas pequenas plantas não são protegidas por uma casca grossa, como a maioria das árvores adultas. Reduzindo a cobertura foliar, o fogo também favorece o estabelecimento de árvores

pioneiras que demandam água, luz e nutrientes, tais como espécies do gênero *Cecropia*, *Vismia* e *Solanum*. Os cipós parecem ser particularmente suscetíveis à mortalidade pelo fogo.

Os efeitos do incêndio superficial sobre a fauna, são potencialmente grandes, mas raramente estudados. As populações de tartarugas da floresta e outros animais que se movimentam lentamente, incluindo muitos da fauna que vivem na serrapilheira, são, com certeza, severamente reduzidas pelo fogo. A morte de árvores frutíferas provocada pelo fogo pode levar à falta de alimentos para os mamíferos frugívoros da floresta, da mesma maneira como secas severas levam à falta de alimento e à redução de suas populações. As espécies de mamíferos da floresta que dependem de frutos para a sua alimentação e que podem sofrer redução populacional como um resultado do incêndio florestal incluem anta, grandes macacos, porcos selvagens, veados e cutias.

O incêndio superficial também pode alterar o ciclo hidrológico das florestas de duas formas diferentes. Primeiro a mortalidade de árvores conduz a uma redução na área foliar, o que diminui a quantidade de água que deixa a floresta pela transpiração. A floresta amazônica transpira tanta água que desempenha um papel importante no sistema do clima regional. A molécula de água que evapora a partir da folha do topo do dossel de uma floresta em um determinado local pode precipitar a quilômetros de distância. Essa ligação estreita entre a evaporação da água das folhas da floresta (transpiração) e de outras superfícies e os padrões de chuva foi demonstrada por vários modelos climáticos desenvolvidos para esta região (NOBRE et al., 1991). A redução da área foliar, que é resultado dos incêndios florestais superficiais, também reduz a quantidade de chuva que normalmente fica retida no dossel, pelo fato de haver menos superfície para reter água. Por essa razão, incêndios florestais aumentam a quantidade de água que chega ao solo por meio da chuva. A combinação desses dois efeitos, a diminuição da evapotranspiração e o aumento da precipitação direta de chuva no solo causa um aumento do escoamento superficial e conseqüentemente um aumento do fluxo da água que chega aos rios e córregos, com um impacto desconhecido sobre a comunidade de peixes e outros animais aquáticos.

Esses efeitos sobre o ciclo hidrológico são anulados, todavia, quando a área

foliar é restabelecida na floresta pelo crescimento de novas árvores e cipós, ou pela ramificação daquelas que sobreviveram ao incêndio.

### **2.5.3 As Queimadas e os Incêndios em Áreas Desmatadas**

Os incêndios em pastagens são freqüentemente intensos, com chamas atingindo 5 m de altura, e podem mover-se rapidamente pela paisagem, quando conduzidas pelo vento. Quando esses incêndios se espalham pelas pastagens, eles convertem a maioria da biomassa vegetal acima do solo em gases e principalmente em material particulado em suspensão. Geralmente, toda a biomassa viva acima do solo é morta, e o carbono constituinte é liberado para a atmosfera como dióxido de carbono; grandes quantidades de nutrientes importantes para as plantas são também volatilizadas. Alguns dos nutrientes contidos na vegetação são depositados no solo em forma de cinzas, as quais podem estimular o crescimento das plantas durante a estação chuvosa subsequente, o que é uma das razões para os proprietários de terra atearem fogo, de forma deliberada, em suas pastagens, objetivando estimular a produção de pasto. Porém, certa quantidade de cinzas é levada pelo vento ou pela água das chuvas e, por isso, é perdida do ecossistema da pastagem. Um dos mais importantes efeitos do fogo em pastagens é a perda de nutrientes para a atmosfera e para os rios; por isso, a perda poderia significar a redução da produtividade se a carência de nutrientes limitar o crescimento da espécie cultivada.

A fumaça produzida pelos incêndios nas pastagens causa poluição no ar. Durante a estação de queimadas de 1997, a qualidade do ar em muitas regiões da Amazônia rural foi pior que a cidade de São Paulo. Grande parte desta poluição foi produzida pela fumaça proveniente dos incêndios em terra desmatada. Além disso, a perda de nutrientes para os rios pode provocar a eutrofização e a criação indesejável de algas. A queimada em pastagens também influencia a composição das plantas, favorecendo as gramíneas sobre as plantas lenhosas. O meristema das gramíneas, responsável pelo crescimento de novas folhas, está abaixo da superfície do solo, protegido do fogo, enquanto aqueles dos caules das plantas lenhosas estão sob a casca do tronco e, por isso, são mortos mais facilmente pelo fogo. Após a queimada, algumas dessas plantas lenhosas rebrotam das raízes ou da base do caule. Por essa razão, um dos mais importantes impactos do fogo na pastagem é retardar o processo

de sucessão vegetal, em função das altas temperaturas produzidas principalmente na base dos troncos, provocarem invariavelmente danos em tecidos vegetais importantes como o cambio. Quando a pastagem é abandonada, esses invasores lenhosos da pastagem desempenham uma função importante, facilitando o estabelecimento de árvores, pois atraem agentes dispersores de sementes e proporcionam condições microclimáticas e edáficas que são mais propícias ao crescimento vegetal. Ao contrario dos incêndios florestais, a queimada diminui a inflamabilidade da pastagem ao consumir todo o combustível fino. As folhas das gramíneas acumulam-se de um ano para outro até alcançarem um equilíbrio, no qual a taxa de produção de novas é igual à taxa da decomposição de matéria orgânica morta. O efeito do fogo na inflamabilidade é muito menos pronunciado em pastagens onde o gado reduz a quantidade de gramíneas.

Apesar da grande área de pastagem que é queimada por ano, se comparada àquela desmatada ou atingida pelo incêndio florestal superficial, esse tipo de queimada contribui muito pouco para as emissões de carbono associadas aos usos da terra. Os estoques de carbono das pastagens (cerca de 3 a 7 toneladas por hectare) são baixos, comparados aos estoques de carbono das florestas (cerca de 200 toneladas por hectare), e são rapidamente repostos após o incêndio (FEARNSIDE,1997). Ou seja, o carbono liberado para a atmosfera pela queima da pastagem é compensado pela regeneração rápida da vegetação de gramíneas que ocorre dentro de um ou dois anos, a qual remove uma quantidade similar de carbono da atmosfera.

Incêndios que queimam florestas secundárias matam a maioria dos tecidos acima do solo, liberando fumaça e gases para a atmosfera e retardando o processo de restabelecimento da floresta. Dado que as árvores das florestas secundárias são pequenas em altura e geralmente requerem muitos anos para desenvolver uma casca suficientemente grossa que as proteja contra o dano causado pelo fogo, a mortalidade dos caules é alta. Todavia, muitas espécies das florestas secundárias são capazes de rebrotar após a queimada; aproximadamente dois terços das espécies de árvores de uma floresta secundária próxima a Paragominas rebrotam após um incêndio (UHL e KAUFFMAN, 1990).

Os incêndios em florestas secundárias liberam mais carbono para a atmosfera que os incêndios em pastagens. Quando as florestas voltam a crescer em áreas abandonadas, são capazes de acumular na biomassa acima do solo de 1 a 5 toneladas de carbono por ano. Por esta razão, os incêndios em florestas secundárias jovens (cinco anos de idade) chegam a liberar aproximadamente de 5 a 25 toneladas de carbono para a atmosfera (NEPSTAD, 1999), pois praticamente eliminam todos os tecidos vegetais acima do solo. Os incêndios em florestas secundárias também impedem a recuperação dos processos hidrológicos, tal como a evapotranspiração.

#### **2.5.4 O Fogo e o Processo de “Savanização” das Florestas da Região Amazônica**

O maior impacto ecológico do incêndio na Amazônia poderia ser a substituição de vastas áreas de floresta perenifólia de dossel fechado por uma vegetação com característica de savana e propensa ao fogo, pelos efeitos sinérgicos de secas crescentes e de atividades de uso da terra. Neste cenário as florestas que se tornam susceptíveis ao fogo por causa dos efeitos da seca sazonal severa ou das atividades de exploração, ou de ambas, são queimadas por incêndios agrícolas que escapam de seus limites planejados e, uma vez que isto tenha acontecido, tornam-se muito mais vulneráveis a novas queimadas. As florestas que sofrem incêndios periódicos ficam, ao longo do tempo, esvaziadas de árvores e o dossel de folhas ralo permite que a luz solar alcance o chão da floresta, o que provoca a invasão de gramíneas, aumentando bastante a quantidade de combustível fino próximo ao chão da floresta e impedindo o estabelecimento e o crescimento de mudas de árvores. Assim, a floresta perenifólia densa totalmente sombreada por dentro torna-se uma floresta empobrecida, povoada por algumas espécies de árvores resistentes ao fogo e com o chão coberto por gramíneas, plantas invasoras e arbustos herbáceos e lenhosos.

O processo de “savanização” poderia ser reforçado, ou acelerado, se a substituição da floresta densa por vegetação empobrecida propensa ao fogo diminuísse a evapotranspiração e a absorção de energia suficientemente para provocar a redução regional de chuvas, como é previsto pelos modelos climáticos atuais (NOBRE et al.,1991). A “savanização” em larga escala na Amazônia é o mais

inquietante efeito ecológico advindo dos padrões atuais de uso do fogo na região, pois representa uma substituição gradativa de floresta rica em espécies por uma vegetação empobrecida, a qual é debilitada em espécies de plantas e animais nativos, de reduzida biomassa e menos capaz, que a floresta nativa, de manter os padrões de precipitação regional por meio da evapotranspiração (NEPSTAD, 1999).

## **2.6 RISCO E PERIGO DE INCÊNDIOS FLORESTAIS**

Segundo SOARES (1985), perigo de incêndio é um termo geral que expressa o resultado da ação de fatores constantes e variáveis, os quais afetam as chances de um incêndio começar, propagar-se, produzir danos, assim como sua dificuldade de controle. Usando uma definição mais simples, se poderia dizer que perigo de incêndio é o potencial de danos pelo fogo. Os fatores variáveis relacionados ao perigo de incêndio referem-se basicamente as condições meteorológicas e os fatores constantes estão relacionados ao tipo de vegetação, material combustível, topografia, entre outros.

De uma maneira geral, o risco de incêndio relaciona-se diretamente com os agentes disparadores, responsáveis principais pelas causas de incêndios florestais no Brasil, pois são eles que propiciam o início do processo de combustão do material vegetal, por fornecerem fontes de ignição, decorrentes de várias atividades humanas para os mais diversos fins.

No entanto, tão ou mais importante do que apresentar as visões terminológicas e conceituais é explorar os vários fatores determinantes do risco e do perigo de incêndios florestais.

### **2.6.1 Agentes Determinantes do Risco**

Os agentes determinantes do risco de incêndios podem ser naturais ou antrópicos. A única causa natural de incêndios florestais são os raios, que representam uma porcentagem muito pequena da ocorrência de incêndios, pois no Brasil as descargas elétricas são sempre acompanhadas de precipitações. De acordo com a classificação desenvolvida pelo Serviço Florestal dos Estados Unidos e adotada pela FAO, as causas de natureza antrópica são as seguintes:

- a) Incendiários – incêndios provocados intencionalmente.
- b) Queimas para limpeza – incêndios originários do uso do fogo em limpeza de terrenos, seja para fins florestais, agrícolas ou pecuários.
- c) Fumantes – incêndios provocados por fósforos e cigarros.
- d) Recreação – incêndios causados por pessoas que utilizam a floresta como local de recreação, tais como pescadores e caçadores.
- e) Estradas de ferro – incêndios causados, direta ou indiretamente, pelas atividades nas ferrovias.
- f) Operações florestais – incêndios originados por trabalhadores florestais em atividade na floresta, exceto os causados por fumantes.

## **2.6.2 Agentes Determinantes do Perigo**

Segundo CHENEY (1968), citado por BATISTA (2002), existem dois tipos de fatores determinantes do grau de perigo de incêndio: os fatores constantes, tais como o tipo de material combustível, tipo de floresta e topografia e os fatores variáveis, relacionados a condições meteorológicas entre os quais a umidade relativa, vento, temperatura do ar e precipitação.

A ocorrência e a propagação dos incêndios florestais estão fortemente associados às condições climáticas ou fatores climáticos. A intensidade de um incêndio e a velocidade com que ele avança estão diretamente ligados aos fatores variáveis. Assim, se reveste de grande importância o conhecimento e estudo dessas variáveis meteorológicas para um eficaz planejamento de prevenção e combate aos incêndios florestais.

### **2.6.2.1 Fatores Constantes**

#### **2.6.2.1.1 Material Combustível**

O material combustível, por ser um dos componentes do triângulo do fogo, é básico e indispensável para ocorrência e propagação dos incêndios florestais. Não poderá haver fogo se não houver combustível para queimar. No entanto, em uma floresta, existe sempre grande quantidade de combustível.

Combustível é qualquer material orgânico, vivo ou morto, no solo, sobre o solo ou acima do solo, capaz de entrar em ignição e queimar. Tanto o material vegetal morto como o vivo podem ser considerados combustíveis florestais, sendo que o material morto geralmente é o principal responsável pela propagação dos incêndios. Em uma floresta existem infinitas combinações de quantidade, tipo, tamanho, forma, posição e arranjo de materiais combustíveis.

De acordo com a localização, os combustíveis florestais podem ser classificados em aéreos e superficiais. Cada uma dessas classes pode ainda ser avaliada segundo a quantidade, tipo e arranjo (CANDIDO e COUTO, 1980).

Combustíveis superficiais são todos aqueles localizados sobre, imediatamente acima ou no piso da floresta. Tanto podem ser materiais vivos como mortos, tais como folhas, galhos e troncos caídos, gramíneas, ervas, arbustos, húmus e turfas.

Os combustíveis aéreos compreendem as copas e galhos das árvores, troncos, musgos e arbustos altos (acima de 1,80 m). Eles podem ser vivos ou mortos e estão fisicamente separados do solo, formando o dossel da floresta.

A quantidade de material combustível influencia se o fogo vai se propagar ou não e determina a intensidade de calor liberada pelo fogo durante o incêndio. De acordo com algumas pesquisas, deve existir no mínimo  $1,2 \text{ t ha}^{-1}$  de material combustível fino, seco, disperso em uma área para que um fogo superficial possa se propagar. A intensidade do fogo é diretamente proporcional à quantidade de combustível que queima e é fator fundamental na propagação do incêndio. Grande quantidade ou volume de combustível aumenta a dificuldade de controle do incêndio, não apenas pelo aumento de produção de calor e comprimento das chamas, como também pela dificuldade operacional de quebrar a continuidade do material pela abertura de aceiros.

Segundo BATISTA (2002), quanto ao tipo, os materiais combustíveis podem ser divididos em perigosos, semiperigosos e verdes. A categoria de materiais perigosos inclui pequenos galhos, de diâmetro igual ou superior a 10 mm, folhas, líquens, musgos e gramíneas, todos em estado seco. Esses materiais, por apresentarem menor temperatura de ignição, facilitam o início do fogo e aceleram a propagação, queimando rapidamente, com muito calor e chamas intensas.

Os combustíveis semiperigosos compreendem galhos acima de 10 mm de diâmetro, troncos caídos, húmus e turfa. São, portanto, materiais lenhosos ou em decomposição e compactados, que por suas características queimam lentamente.

Embora de ignição mais lenta e mais difícil, esses materiais desenvolvem intenso calor e podem manter uma combustão latente, com risco de reiniciar incêndios dados como controlados.

Os combustíveis verdes são constituídos pela vegetação viva existente na floresta. Devido ao alto teor de umidade, os combustíveis verdes, exceto as coníferas resinosas, são às vezes considerados não inflamáveis. O calor liberado pela combustão dos outros combustíveis pode, entretanto, secar esses materiais tornando-os facilmente inflamáveis.

Assim, a quantidade de combustível em uma floresta pode variar de centenas de quilos a dezenas de toneladas por hectare, dependendo do tipo, espaçamento e idade da vegetação. A estimativa da quantidade de combustível, geralmente expressa em termos de peso ao forno por unidade de área, é fator importante em planos de prevenção e controle de incêndios, especialmente em programas de queima controlada.

#### **2.6.2.1.2 Tipo de Floresta**

A vegetação florestal exerce acentuada influência no microclima local. Uma floresta densa e fechada intercepta a radiação solar, reduzindo a temperatura do ar e, conseqüentemente, do material combustível no interior da mesma. Ela também funciona como uma barreira, evitando a livre passagem de correntes de ar e reduzindo sensivelmente a velocidade do vento em seu interior. Isto diminui a evaporação, dificultando a secagem do material combustível. Além disso, a transpiração do material florestal proporciona um aumento da umidade relativa do ar na área da floresta. Todos esses fatos reunidos podem reduzir o risco de ignição e propagação de incêndios em uma floresta com essas características.

Por outro lado, uma floresta aberta ou rala, permite penetração mais livre dos raios solares e do vento, produzindo aumento na temperatura do combustível e na taxa de evaporação. Isto contribui para um maior potencial de ocorrência do fogo.

As espécies florestais também exercem certa influência na propagação dos incêndios. Um povoamento puro de coníferas, por exemplo, pelas características de inflamabilidade inerentes à espécie, apresenta um risco potencial de propagação do fogo maior que um povoamento de folhosas. Em um povoamento de *Araucária angustifolia* o fogo se propaga com muito mais rapidez e intensidade inclusive podendo desenvolver incêndios de copa, do que um povoamento de *Eucalyptus sp*, desde que os outros fatores sejam constantes (BATISTA, 2002).

Outro aspecto relacionado ao tipo de floresta diz respeito à natureza da mesma, isto é, se é natural ou implantada. De uma maneira geral povoamentos puros, implantados, são mais sujeitos aos incêndios florestais e oferecem condições mais favoráveis a sua propagação, do que as florestas naturais intocadas.

#### **2.6.2.1.3 Topografia**

O termo topografia se refere à descrição de toda a superfície terrestre, com suas formas e acidentes naturais. A topografia exerce grande influência sobre o clima e, em menor escala, influi também sobre a vegetação e conseqüentemente sobre o material combustível das diversas regiões terrestres. Como o comportamento do fogo é fortemente influenciado pelo clima e pelo material combustível, a importância da topografia sobre a propagação dos incêndios torna-se evidente.

Os efeitos da topografia sobre a propagação dos incêndios podem ser melhor entendidos pela análise da influência de cada um de seus três fatores básicos: elevação, exposição e inclinação.

Altas elevações na superfície da terra apresentam ar mais rarefeito e temperaturas mais baixas, de acordo com as leis naturais, como, por exemplo, o gradiente adiabático. Tanto a elevação acima do nível do mar como as elevações relativas de regiões vizinhas apresentam efeitos sobre o comportamento do fogo.

Topo de montanhas e fundos de vales apresentam diferentes condições de queima durante um mesmo período de 24 horas. Devido às correntes de vento e às condições de temperatura e umidade predominantes nos dois locais, os fundos de vale apresentam maior potencial de propagação de fogo durante o dia, com a situação se invertendo durante a noite.

A exposição, ou direção do lado da montanha em relação aos pontos cardeais, apresenta também um efeito direto na possibilidade de ocorrência e propagação de um incêndio.

Ao sul do equador, os raios solares incidem mais diretamente sobre faces voltadas para o norte e conseqüentemente transmitem mais calor para essa exposição que para qualquer outra. A face oeste é a segunda a receber maior quantidade de energia seguida da leste e, finalmente, a que menos se aquece é a sul. Inclusive, em latitude maior que 23° 27', a face sul nunca recebe insolação direta, nem mesmo no verão, devido à inclinação da terra em relação ao sol. Portanto, o efeito da exposição aumenta de acordo com o aumento da latitude.

A diferença na quantidade de calor recebida pelas diversas exposições provoca uma série de reações que vão originar efeitos diversos no potencial de risco de cada uma delas. Como as exposições norte recebem mais energia, elas apresentam maior temperatura, menor umidade relativa, o material combustível seca mais rapidamente e como conseqüência, o risco de ocorrência e propagação de incêndios nessas exposições é maior que nas demais.

Provavelmente a regra mais básica e conhecida do comportamento do fogo é a que define a tendência do fogo de se propagar mais rapidamente nos aclives e mais lentamente nos declives. Um incêndio se propagando em um aclive acentuado, por exemplo, se assemelha a um incêndio se propagando no plano, sob efeito de forte vento. À medida que o grau de inclinação aumenta, a velocidade de propagação também aumenta.

Segundo SOARES (1985), experiências realizadas em queimas controladas de verão, no sudoeste dos Estados Unidos, registraram velocidades do fogo de 20 a 30 m h<sup>-1</sup> nos declives, comparados com 158 a 198 m h<sup>-1</sup> nos aclives. Medições realizadas em incêndios de *Eucalyptus sp* na Austrália mostraram que o fogo pode dobrar de velocidade em aclives de 10° e quadruplicar em aclives de 20°.

A rápida propagação do fogo montanha acima (aclive) se explica por vários motivos. Em um primeiro momento o fogo seca e aquece o material combustível localizado na parte superior do aclive com maior intensidade, não apenas pelo fato da inclinação aproximar a chama do material, mas também pela exposição de uma superfície maior às ondas de calor, transmitidas tanto por radiação como por

convecção. Posteriormente, a corrente de ar quente originada pelo fogo encaminha-se para a parte superior da montanha; como consequência ar fresco é aspirado pela parte inferior, renovando o suprimento de oxigênio na zona de combustão. Finalmente em função da maior quantidade de calor e secando-se mais rapidamente, o material combustível da parte superior entra em combustão mais violentamente, causando uma propagação mais intensa do fogo.

### **2.6.2.2 Fatores Variáveis**

A umidade relativa do ar é a razão, em porcentagem, entre a quantidade de vapor d'água para um volume de ar e a quantidade total que aquele volume pode manter para uma dada temperatura e pressão atmosférica (OMETO, 1981).

A umidade atmosférica é um elemento chave nos incêndios florestais, tendo efeito direto na inflamabilidade dos combustíveis florestais, havendo uma troca constante de umidade entre a atmosfera e os combustíveis florestais mortos. O material seco absorve água de uma atmosfera úmida e libera água quando o ar está seco. A quantidade de umidade que o material morto pode absorver do ar e reter depende, basicamente, da umidade relativa do ar. Durante períodos extremamente secos, a baixa umidade pode, inclusive, afetar o conteúdo de umidade do material vivo.

Segundo SOARES (1985), a hora do dia tem uma influência importante nos níveis de umidade relativa. Nas primeiras horas da manhã as temperaturas estão mais baixas e os níveis de umidade relativa mais altos. À medida que as horas passam, a temperatura começa a aumentar e a umidade relativa começa a diminuir. No meio da tarde as temperaturas estão em seu valor máximo e a umidade relativa atinge seu valor mínimo. É importante observar periodicamente os níveis de umidade relativa, pois eles estão fortemente associados e indicam o teor de umidade dos combustíveis.

O tempo que os combustíveis florestais levam para absorver ou perder umidade para o ar varia bastante dependendo do tipo e tamanho do material. Material fino como folhas, acículas e pequenos ramos podem alcançar um conteúdo de umidade de equilíbrio em poucos minutos. Galhos de grande dimensão e troncos podem levar um longo tempo, dependendo de sua dimensão. O tempo médio de

resposta do combustível em relação à umidade do ar varia principalmente com o tamanho do material.

O vento e a umidade relativa do ar são considerados os dois mais importantes parâmetros meteorológicos que afetam a propagação dos incêndios. Dos dois, o vento é o mais variável e o menos previsível. Os ventos próximos à superfície terrestre são fortemente influenciados pelo perfil da topografia e pelos processos locais de aquecimento e resfriamento. Isto contribui bastante para sua variabilidade e ressalta a importância de uma adequada avaliação do comportamento local dos ventos em operações de combate aos incêndios.

O vento influi na propagação dos incêndios de várias maneiras. Ele desloca o ar úmido do interior da floresta, aumentando a evaporação e favorecendo a secagem do material combustível. Ventos suaves certamente ajudam as fagulhas a provocarem a ignição do material combustível. Depois de iniciado o fogo, o vento ativa a combustão pelo fornecimento contínuo de oxigênio, estima-se que 1,0 kg de combustível necessite aproximadamente 12,5 m<sup>3</sup> de ar para queimar (CANDIDO e COUTO, 1980). O vento ajuda a propagação transportando o calor e fagulhas a áreas ainda não queimadas e inclinando as chamas até os materiais não queimados, à frente do fogo, ativando a fase de pré-aquecimento. A direção e a forma de propagação dos incêndios são também determinadas principalmente pelo vento.

Considerando-se fixas as condições de quantidade e umidade do combustível, umidade relativa do ar e topografia, a intensidade da propagação do fogo aumenta com a velocidade do vento. Além disso, o vento é fator fundamental num incêndio de copa, para transportar o calor e as chamas de árvore em árvore.

Apesar de ser um fator limitante tanto na ignição como na propagação de incêndios, o efeito da precipitação muitas vezes é subestimado, talvez pela grande evidência de sua influência sobre o fogo.

A ocorrência dos incêndios está sempre associada a períodos sem chuva. Existe uma forte correlação entre ocorrência de grandes incêndios e prolongadas secas. A quantidade de precipitação aquosa afeta preliminarmente a umidade do material combustível e também a temperatura do ar, podendo inclusive afetar o teor de umidade da vegetação verde. Assim, em períodos secos verifica-se um incremento da probabilidade de ignição e a facilidade de propagação do incêndio.

Dependendo da quantidade de água precipitada pode haver uma redução expressiva do potencial de ignição e propagação dos incêndios, até mesmo eliminando-se completamente este potencial. No entanto, condições críticas de inflamabilidade não são revertidas facilmente. Combustíveis florestais extremamente secos podem ser umedecidos superficialmente por uma chuva matinal e secarem rapidamente, tornando-se novamente inflamáveis durante a tarde.

Ao se avaliar o efeito da precipitação sobre o potencial de propagação de fogo em uma região, é importante considerar além da quantidade de chuva, a sua distribuição estacional. Duas regiões com a mesma precipitação total anual podem apresentar características completamente diferentes com relação ao perigo de incêndios.

A temperatura do ar influi direta e indiretamente na combustão e propagação dos incêndios. Diretamente porque a quantidade de calor necessária para elevar o combustível à temperatura de ignição depende da própria temperatura inicial do combustível e também da temperatura do ar em volta do mesmo. Indiretamente, por meio da sua influência sobre outros fatores que controlam a propagação do fogo, como, por exemplo, o vento, a umidade do combustível e a estabilidade atmosférica.

A temperatura de ignição do combustível florestal varia de 260 a 400°C dependendo do tipo de material e das condições atmosféricas do momento. Normalmente, os combustíveis lenhosos pegam fogo à aproximadamente 285°C, desde que exista oxigênio suficiente (BATISTA, 2002). O tempo necessário para o início da combustão, a essa temperatura (285°C), depende do conteúdo de umidade do combustível, ou seja, de quanto calor será necessário para vaporizar a água antes que a ignição possa se processar. Por outro lado, a temperatura máxima que o combustível florestal pode atingir por meio apenas da radiação solar é cerca de 75°C, muito baixa para provocar a ignição do material. No entanto, o aquecimento solar pode representar uma significativa ajuda no sentido de atingir a temperatura de ignição, pois quanto maior for a temperatura do combustível, menor será a diferença entre sua temperatura inicial e a temperatura de ignição. Após a ocorrência da ignição, o efeito da temperatura inicial do combustível sobre a combustão é bastante reduzido. Apesar disso, altas temperaturas do ar estão geralmente associadas a

grande risco de incêndio e a taxa de propagação do fogo aumenta consideravelmente com o aumento da temperatura do ar e do combustível.

## **2.7 ÍNDICES DE PERIGO DE INCÊNDIO**

Segundo SOARES (1985), índices de perigo de incêndio são números que refletem, antecipadamente, a probabilidade de ocorrer incêndio, assim como a facilidade do mesmo se propagar, com base nas condições atmosféricas do dia ou de uma seqüência de dias.

No passado, a tendência dos técnicos florestais era dedicar maior atenção às atividades de supressão do fogo, analisando e procurando aperfeiçoar os métodos de combate então disponíveis. A tendência moderna, no entanto, é dedicar mais atenção às fases de prevenção e pré-supressão, pois é muito mais vantajoso, sob todos os aspectos, evitar um incêndio ou mesmo atacá-lo imediatamente após seu início, do que combatê-lo após estabelecido e em franca propagação.

De acordo com a filosofia de dedicar maior atenção à prevenção, começaram a ser desenvolvidos os índices de perigo de incêndio, os quais têm sido continuamente aperfeiçoados. Segundo CANDIDO e COUTO (1980), até 1920 não se havia pensado seriamente, no Canadá, no uso sistemático de dados meteorológicos para desenvolver estimativas do grau de perigo de incêndio. Desde essa época, porém, tabelas de perigo de incêndio começaram a ser constituídas, para todas as partes do país, por meio de interações existentes entre clima, umidade do combustível e comportamento do fogo.

Segundo COUNTRYMAN (1966) citado por BATISTA (2002), nos EUA, desde o início do século, pesquisadores trabalhando no campo da proteção à floresta, haviam percebido as variações do comportamento do fogo com as diferenças de clima, combustível e topografia. Geralmente, eles faziam avaliações qualitativas dessas diferenças. Segundo CARAPIÁ (2006), em 1933, GISBORNE pela primeira vez estruturou um índice de perigo de incêndio, ao elaborar uma escala do grau de perigo de incêndio. A escala GISBORNE, baseada em diversos componentes do clima, era composta por sete classes de perigo. Seguindo o mesmo princípio, isto é, usar variáveis ou componentes do clima, numerosos sistemas de predição do grau de perigo de incêndio foram desenvolvidos, em diversos países do mundo. Os serviços

florestais do Canadá e dos EUA, por exemplo, desenvolveram em 1970 e 1972, respectivamente, índices nacionais, para padronizar os sistemas de avaliação do grau de perigo em cada país.

No Brasil, até 1963 não se tinha notícia de nenhuma tabela ou equação de previsão do perigo de incêndios. Segundo BATISTA (2002), ao final daquele ano, depois do trágico incêndio que atingiu cerca de 2 milhões de hectares no Paraná (aproximadamente 10% superfície do Estado) de florestas nativas, reflorestamentos e outras tipologias, onde mais de 5.000 casas foram destruídas e 110 pessoas foram mortas pelo fogo. Naquele mesmo ano, a Divisão de Estudos e Pesquisas Meteorológicas do Serviço de Meteorologia do Ministério da Agricultura, divulgou duas equações para estimativa do grau de perigo de incêndios, considerados os mais viáveis às condições climáticas e estruturais do país, os índices de Angstron e de Nesterov. Em 1972, SOARES (1972), utilizando dados da região central do Estado do Paraná, desenvolveu o primeiro índice de perigo de incêndio do país, a Fórmula de Monte Alegre.

A estrutura dos índices de perigo de incêndio é fundamentalmente baseada na variação de certos fatores meteorológicos. Pode-se distinguir dois tipos de fatores determinantes do grau de perigo de incêndio: os de caráter permanente (material combustível, tipo de floresta e topografia) e os variáveis (condições climáticas). Os fatores de caráter permanente não são apropriados para a determinação do grau de perigo de ocorrência de incêndios, pois, a curto prazo, não variam. Sempre há, por exemplo, possibilidade de se produzir um incêndio em uma floresta levando-se em consideração apenas os fatores de caráter permanente. Eles são úteis em índices mais complexos, que estimam a velocidade de propagação e o potencial de danos dos incêndios.

Os fatores variáveis por sua vez apresentam uma base sólida para a determinação apenas do grau de perigo de ocorrência. Vale ressaltar que um importante aspecto a ser considerado quando se seleciona um índice já existente ou se desenvolve um novo, é que as informações necessárias ao seu cálculo estejam disponíveis na região ou país onde o mesmo será utilizado. Esta é uma das principais restrições à introdução de índices mais complexos, como o Canadense (Canadian Forestry Service 1970) e o Nacional dos Estados Unidos no Brasil.

Os índices de perigo de incêndio podem ser divididos em dois grupos, índices de ocorrência e índice de propagação. Os primeiros estimam especialmente a probabilidade de ocorrência de um incêndio, isto é, se existem condições favoráveis ou não para o início da combustão. Os do segundo grupo, por meio da incorporação da velocidade do vento e alguns fatores de caráter permanente, além das condições de combustão oferecem também uma previsão do comportamento do fogo, isto é, das condições de propagação do mesmo. A maioria dos índices utilizados pertencem ao primeiro grupo, em função da facilidade de obtenção de dados meteorológicos em estações automáticas disponíveis no país.

Os índices baseados em elementos meteorológicos podem ser não-acumulativos, quando calculados com base nas condições meteorológicas do dia e acumulativos que empregam algum método de acumular as condições meteorológicas de dias passados.

O conhecimento dos índices de perigo de incêndio é fundamental dentro de um plano de prevenção e combate aos incêndios florestais, por permitir a previsão das condições de perigo, possibilitando dessa maneira a adoção de medidas preventivas em bases mais eficientes e econômicas. O planejamento do setor de prevenção deve ser ajustado às mudanças do grau de perigo, a cada dia, a fim de cumprir com os objetivos de controle de incêndios dentro de limites razoáveis de custos. A concentração de muitos recursos no controle dos incêndios torna-se excessivamente cara e, por outro lado, a limitação de recursos a níveis muito baixos pode ser muito perigosa. Dentre as diversas utilidades e aplicações dos índices de perigo de incêndio pode-se destacar:

a) Conhecimento do grau de perigo – ao estimar a probabilidade de ocorrência de incêndios, desde que exista uma fagulha para iniciar a combustão, os índices permitem, diariamente, um conhecimento do grau de perigo a que está sujeita a área florestal;

b) Planejamento do controle de incêndios – as medidas preventivas ou mesmo pré-supressão, devem ser intensificadas à medida que os valores dos índices aumentam. Por outro lado, quando o índice indica não haver perigo de incêndio ou quando ele é pequeno, as medidas de prevenção e prontidão para eventuais combates podem ser atenuadas, conseguindo-se assim uma grande economia no setor de

proteção, pois tanto o pessoal como alguns equipamentos usados neste setor podem ser designados para outros trabalhos;

c) Permissão para queimadas controladas - segundo o código Florestal, as queimadas controladas somente podem ser feitas mediante autorização do poder público. O índice de perigo de incêndio deve ser um dos fatores fundamentais a se levar em consideração para a concessão de permissão para queima. Quando o perigo é alto ou muito alto, não se deve permitir queimadas pois o risco do fogo escapar e se transformar em incêndios incontrolados é muito grande;

d) Estabelecimento de zonas de perigo - o acompanhamento dos valores dos índices de perigo de incêndio durante certo tempo, em grandes regiões, permite estabelecer as zonas potencialmente mais perigosas ou mais propícias à ocorrência de incêndios.

e) Previsão do comportamento do fogo - os índices que estimam também a propagação e o potencial de danos, fornecem uma boa idéia de comportamento do fogo, caso ocorra um incêndio. Mesmo os índices de ocorrência, embora mais limitados, podem também dar uma indicação do que se deve esperar em termos de comportamento do fogo, que será certamente distinto se o incêndio ocorrer em um dia de perigo médio ou muito alto, por exemplo;

f) Advertência pública do grau de perigo - a divulgação dos valores dos índices, por meio dos meios de comunicação disponíveis, é importante para que as pessoas que trabalham na floresta ou a usam como recreação, tenham conhecimento do grau de perigo de incêndio. Este conhecimento acompanhado de outros esclarecimentos, ajuda a formar na população uma maior conscientização para os problemas que os incêndios podem causar às florestas.

## **2.8 SISTEMA DE DETECÇÃO DE FOCOS DE CALOR**

### **2.8.1 Histórico**

A detecção de queimadas ativas por meio do sensoriamento remoto iniciou-se em 1962. Esse primeiro programa experimental de detecção de queimadas foi desenvolvido por entidades ligadas ao setor florestal dos EUA, e durou cerca de 10 anos. O projeto desenvolveu estudos sobre imageadores biespectrais (3,0 – 5,0  $\mu\text{m}$  e

8,0 – 14,0  $\mu\text{m}$ ) atuando no infravermelho termal, e instalados a bordo de aeronaves; foram feitos vários testes para verificar a capacidade do sistema em auxiliar na detecção de incêndios florestais, em que foi necessário estudar as características radiométrico-espectrais das queimadas e dos sensores (PEREIRA e SETZER, 1986).

A detecção e o mapeamento de queimadas por meio de tais sistemas mostraram-se viáveis economicamente e mais rápidos que sistemas de observação visual com aeronaves ou terrestres. MATSON E DOZIER (1981), foram os primeiros a demonstrarem a possibilidade do uso da banda 3 (3,55 a 3,93  $\mu\text{m}$ ) do sensor AVHRR a bordo dos satélites NOAA (órbita polar) para a detecção de alvos com altas temperaturas como as queimadas.

No Brasil, o desenvolvimento da técnica que permite o monitoramento operacional diário de queimadas por satélite com sensores de baixa resolução (1 km), decorreu de um trabalho realizado na Amazônia, com apoio da NASA, em julho de 1985. Naquela ocasião, imagens do satélite NOAA-09, originalmente construído para fornecer informações climáticas, indicaram a possibilidade de detecção não apenas da fumaça, mas também de focos das queimadas ao se utilizar a informação do canal termal da banda 3 (3,55  $\mu\text{m}$  a 3,93  $\mu\text{m}$ ) do sensor AVHRR que é particularmente sensível a temperaturas de combustão de vegetação (PEREIRA e SETZER, 1986).

Associado a essa descoberta, algumas características desses satélites foram determinantes para o desenvolvimento e aprimoramento do sistema para o monitoramento de queimadas, principalmente o que tange a sua alta resolução temporal e grande capacidade de varredura.

### **2.8.2 Sistema AVHRR/NOAA**

Os satélites americanos da série NOAA estão posicionados em órbita circular com altitude nominal de 833 km, 99° de inclinação (quase polar) e demoram apenas 102 minutos para completar a volta ao redor da Terra. A bordo desses satélites existe o sensor “Advanced Very High Resolution Radiometer”(AVHRR), que possui cinco bandas espectrais. São elas:

A banda 1 (0,58 a 0,68  $\mu\text{m}$ ), detecta radiação refletida na faixa do visível, definindo feições do solo, da cobertura vegetal, das nuvens e de plumas de fumaça.

A banda 2 (0,725 a 1,10  $\mu\text{m}$ ), detecta radiação refletida na faixa do infravermelho próximo; define feições de corpos d'água; possibilita a avaliação da vegetação, a observação de nuvens e de plumas densas de fumaça.

A banda 3 (3,55 a 3,93  $\mu\text{m}$ ), detecta radiação emitida na faixa do infravermelho termal; permite a extração de limites terra/água, a análise da temperatura de superfície e o mapeamento noturno de nuvens; é também sensível às fontes de calor extrema, o que permite a detecção de incêndios.

A banda 4 (10,30 a 11,30  $\mu\text{m}$ ) e a banda 5 (11,50 a 12,50  $\mu\text{m}$ ), detectam radiação emitida na faixa do infravermelho termal, permitindo a obtenção de temperaturas de superfície e avaliação de atributos meteorológicos (PEREIRA e SETZER, 1986).

As imagens AVHRR/NOAA são recebidas no Brasil pela estação de recepção e processamento do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) em Cachoeira Paulista-SP às 18:00 h e pela antena de Cuiabá-MT às 19:00 h. As razões para isso são duas: 1. Ter dados caso ocorra algum problema com a recepção ou com a própria imagem AVHRR do período da tarde; 2. Ter uma maior cobertura da detecção de queimadas em termos de horários. A banda 3 detecta as queimadas ativas no momento da passagem do satélite. Os arquivos de queimadas processados são disponibilizados, via internet, no período de 01 de maio a 30 de novembro, na época de estiagem no Brasil Central. Basicamente, são disponibilizados pelo INPE os seguintes produtos: 1. Localização de queimadas com as coordenadas geográficas em áreas limitadas, com finalidade de combatê-las; 2. Totalização do número de queimadas em áreas limitadas e em grandes regiões durante períodos específicos para acompanhamento estatístico; 3. Distribuição temporal da densidade de queimadas.

Os satélites NOAA-12 e NOAA-14 são os atuais satélites operacionais da série NOAA, lançados respectivamente em 1991 e 1994. Estes satélites apresentam condições extremamente favoráveis ao monitoramento diário de focos de calor, pela possibilidade de captação de queimadas e incêndios ativos. Isto se deve principalmente ao fato desses satélites atuarem em órbitas em quadratura, permitindo assim, a cobertura de uma mesma região a cada seis horas, duas vezes ao dia, com

doze horas de intervalo entre passagens. Outra característica importante das imagens do NOAA, no monitoramento diário de queimadas, se deve a sua grande capacidade de varredura. Cada imagem do NOAA cobre uma área de dimensão continental (2.700 km de largura por 5.500 km de comprimento). A limitação desse sistema reside na dificuldade para o dimensionamento de áreas queimadas, visto que, tanto o NOAA-12 quanto o NOAA-14, apresentam baixa resolução espacial. O elemento de resolução do terreno desses satélites é de 1,1 km x 1,1 km no nadir e temperaturas superiores a 47°C são suficientes para saturar o pixel. Satélites como LANDSAT, que apresentam melhor resolução espacial (30 m x 30 m), necessitam de 16 dias para dar uma volta na órbita da terra, sendo, portanto, adequados para o cálculo de áreas queimadas, porém inapropriados ao monitoramento de queimadas.

Os dados gerados pelos satélites NOAA, são a base do Programa do Governo Brasileiro para Monitoramento das Queimadas. Apesar das limitações que o sistema apresenta, o mesmo constitui-se em uma ferramenta bastante útil para o planejamento das ações governamentais de prevenção e controle de queimadas e incêndios na Amazônia. Esses dados permitem também a confecção de mapas de zonas de perigo e mapas de riscos de incêndios elaborados a partir do cruzamento de informações meteorológicas, de vegetação e uso e ocupação do solo.

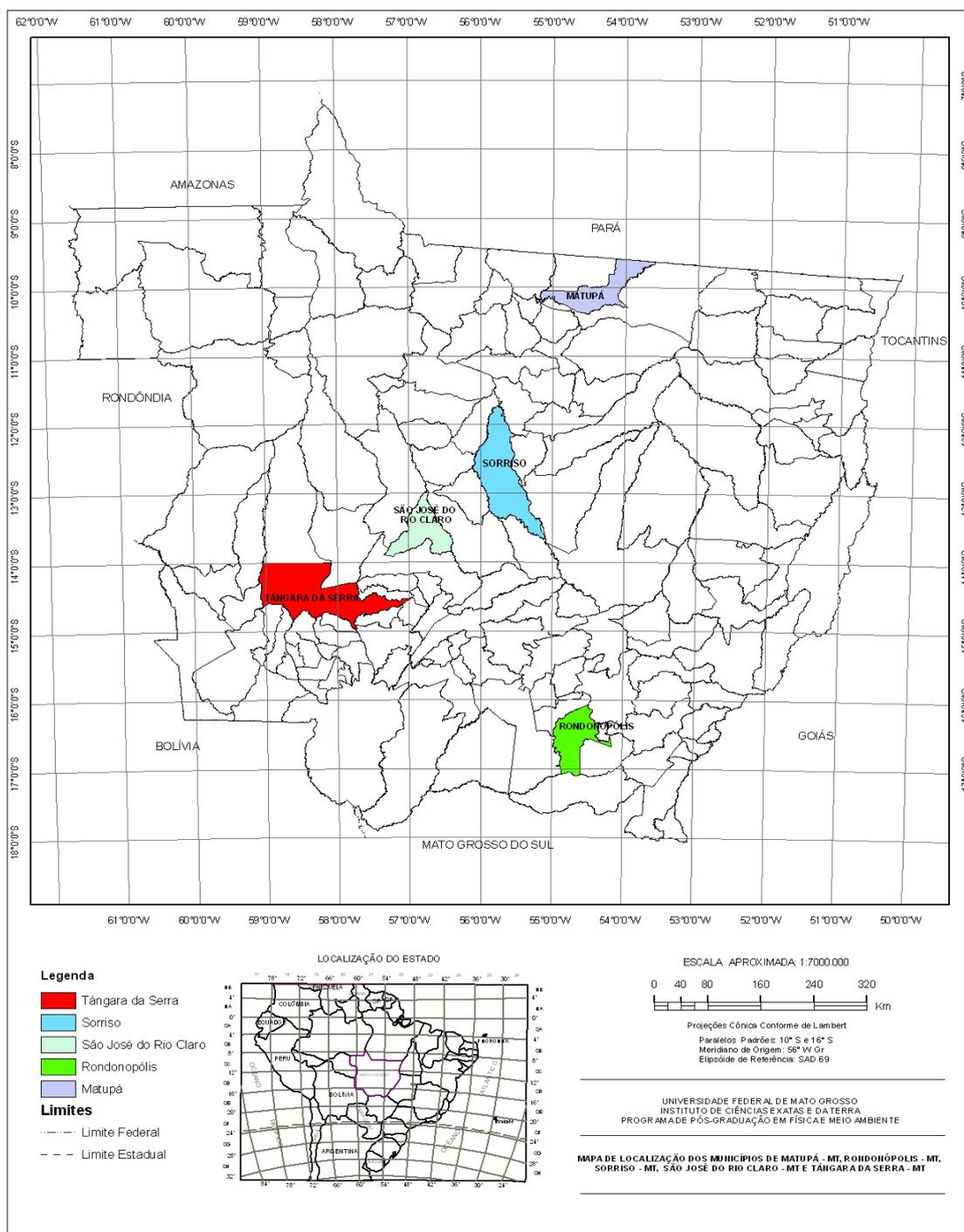
### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

A definição dos municípios a serem estudados se deu basicamente em função da qualidade e disponibilidade dos arquivos digitais de dados meteorológicos disponibilizados pelo INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), gerados pelas estações meteorológicas automáticas implantadas no final de 2002 e início de 2003. Assim, foram utilizadas séries anuais de dados de umidade relativa às 13:00 horas e precipitação, que não apresentaram problemas de descontinuidade nos registros diários, mesmo porque o índice de perigo de incêndio florestal estudado tem caráter cumulativo e interrupções nos registros inviabilizam o seu cálculo. Desta forma, após análise das séries anuais foram selecionados os municípios de Sorriso-MT, Tangará da Serra-MT, São José do Rio Claro-MT, Rondonópolis-MT e Matupá-MT, conforme mostra Figura 1.

Cabe ressaltar, porém, que os municípios selecionados estão dispostos de tal maneira que praticamente formam um transecto no território de Mato Grosso no sentido Norte/Sul, possibilitando que as três grandes macrounidades climáticas (clima regional) que ocorrem no Estado fossem contempladas neste trabalho. Por consequência, em função da estreita relação entre clima e vegetação, o trabalho conseguiu contemplar o gradiente fitofisionômico existente em Mato Grosso. Conforme classificação adotada por MURGEL (1997) no Zoneamento Sócio Econômico Ecológico de Mato Grosso, em quatro municípios, objeto de estudo deste trabalho, registra-se a ocorrência de fitofisionomias florestais e o somente no município de Rondonópolis aparece vegetação caracterizada como Savana

arborizada. Em Matupá-MT, verifica-se a ocorrência de Floresta ombrófila aberta, no município de São José do Rio Claro-MT, a formação predominante é a Floresta estacional semidecidual. Nos municípios de Tangará da Serra-MT e Sorriso-MT, a formação vegetal é caracterizada pelo contato da Floresta estacional semidecidual com savana arborizada.



**Figura 1** - Mapa de localização dos municípios estudados.

Para caracterização climática dos municípios, foi utilizado o Atlas Climatológico de Mato Grosso elaborado por TARIFA e SETTE (2006).

### **3.1.1 Município de Matupá-MT**

O clima desta região é definido como equatorial continental úmido com estação seca definida da depressão sul amazônica (subunidade: ib3a). Corresponde às faixas de altitude entre 300 a 400 m. As temperaturas médias anuais, variam entre 24,3° e 24,6°C e os totais pluviométricos médios oscilam entre 2.000 a 2300 mm. O balanço hídrico de Matupá apresenta um elevado volume de excedente hídrico, com um total anual de 1.197,8 mm. A distribuição mensal deste excedente é máxima durante os meses de dezembro (207,2 mm), janeiro (266,3 mm), fevereiro (299,3 mm) e março (197,7 mm). No entanto, em novembro e abril o excedente é ainda considerável, 129,3 e 90 mm respectivamente. A deficiência hídrica anual é de 244,2 mm, iniciando em maio e se prolongando até setembro.

### **3.1.2 Município de São José do Rio Claro-MT**

O clima desta região é definido como sub-equatorial continental úmido com estação seca definida do planalto do parecis (subunidade: ii a). Corresponde às faixas de altitude entre 300 a 400 m. As temperaturas médias anuais variam entre 24 a 24,5°C e os totais pluviométricos médios oscilam entre 1.800 a 2.000 mm O balanço hídrico do município de São José do Rio Claro-MT , representa bem a mudança do padrão de intensidade e distribuição da pluviosidade nesta unidade climática, quando comparado com o Clima Equatorial Continental Úmido Com Estação Seca Definida Da Depressão Sul Amazônica. Em São José do Rio Claro-MT, o total anual da falta de água no solo é de 252,4 mm, enquanto que o excedente anual é de 622,3 mm. A moderada seca sazonal ocorre de maio a setembro, sendo o período de excesso de novembro a abril; considera-se, no entanto, que os meses de novembro e abril, com excedentes de apenas 23,4 e 15,1 mm, estejam sempre sujeitos às variações do ritmo climático, o que pode antecipar ou prolongar a estação seca.

### **3.1.3 Município de Sorriso-MT**

O clima desta região é definido como sub-equatorial continental úmido com estação seca definida do planalto do parecis(subunidade: iib1). Corresponde às faixas de altitude entre 300 a 400 m. As temperaturas médias anuais, variam entre 24,2 e 24,7°C e os totais pluviométricos médios oscilam entre 1.800 a 2.000 mm.

### **3.1.4 Município de Tangará da Serra –MT**

O clima desta região é definido como tropical continental alternadamente úmido e seco das chapadas, planalto e depressões de mato grosso (subunidade: IIIC 4a). Corresponde às faixas de altitude entre 300 a 600 m. As temperaturas médias anuais variam entre 22,9 a 24,5°C e os totais pluviométricos médios oscilam entre 1.900 a 2.100 mm.

### **3.1.5 Município de Rondonópolis-MT**

O clima desta região é definido como tropical continental alternadamente úmido e seco das chapadas, planalto e depressões de Mato Grosso (subunidade: iiid 4), corresponde às faixas de altitude entre 180 a 300 m. As temperaturas médias anuais variam entre 24,5 a 25,3°C e os totais pluviométricos médios oscilam entre 1.400 a 1.600 mm.

## **3.2 CARACTERÍSTICAS E ESTRUTURA DA FÓRMULA DE MONTE ALEGRE**

A Formula de Monte Alegre (FMA), índice de perigo utilizado neste trabalho, foi desenvolvida por SOARES em 1972 por meio de dados meteorológicos e de ocorrência de incêndios na Fazenda Monte Alegre, de propriedade das Indústrias de Papel e Celulose Klabin do Paraná, município de Telêmaco Borba, PR, durante 7 anos, no período de 1965 à 1971. A grande vantagem da FMA é sua simplicidade. Como ela usa apenas duas variáveis, umidade relativa às 13:00 h (diretamente) e precipitação (indiretamente), torna-se fácil a sua utilização em função da disponibilidade destes dados meteorológicos em várias regiões do país. Isto vem de

encontro aos desejos de TURNER (1970), citado por CARAPIÁ (2006), que relata que o índice ótimo seria aquele que usasse apenas uma variável, necessitasse pouca manipulação, mas representasse fielmente o grau de perigo de incêndio local. LOURENÇO(1995) também tem seguido essa linha, por meio do desenvolvimento de um modelo simples de perigo de incêndio para Portugal, usando apenas duas variáveis, umidade relativa e temperatura do ar.

A FMA, de acordo com SOARES (1985) é especialmente indicada para regiões onde a umidade relativa, ao invés da temperatura do ar, é o fator principal de perigo de incêndio. Essa condição é observada principalmente onde a estação de incêndio ocorre no inverno e início da primavera, como na maioria do território brasileiro e norte da Flórida.

A Fórmula de Monte Alegre é um índice acumulativo que requer valores diários de umidade relativa do ar e quantidade de precipitação, além do número de dias sem chuva, para seu cálculo. Sua equação básica é a seguinte:

$$FMA = \sum_{n=1}^n \frac{100}{H}$$

Em que:

*FMA* é a Fórmula de Monte Alegre

*H* é a umidade relativa do ar medida às 13:00 h

*n* é o número de dias sem chuva

Cabe ressaltar, como se observa acima, que a Fórmula de Monte Alegre, a exemplo de demais índices, leva o símbolo de somatória, pois o grau de perigo de incêndio é determinado não só pelo perigo que apresenta em um único dia, mas sim pelo acúmulo do efeito de dias desfavoráveis. Isto porque quanto mais dias perigosos houver, mais seco se tornará o material florestal e mais favoráveis se tornarão as condições atmosféricas para o surgimento e propagação de grandes incêndios.

Outro aspecto a ser informado a respeito da fórmula diz respeito a utilização da umidade relativa de maneira inversa. Isto se deve ao fato da umidade relativa estabelecer uma relação inversamente proporcional à ocorrência de incêndios (correlação negativa). Portanto, quanto maior a umidade relativa do ar menor será o

grau de perigo de incêndio e por este motivo se toma o inverso da umidade na fórmula.

O índice está sujeito às restrições de precipitação, como mostra a Tabela 1.

**Tabela 1** – Restrições à somatória de FMA, de acordo com a precipitação do dia.

Chuva do dia (em mm)	Modificação no cálculo
$\leq 2,4$	Nenhuma
2,5 a 4,9	Abater 30% do valor da FMA acumulado $FMA_{\text{atual}} = FMA_{\text{acum.}} \cdot 0,7 + 100/H$
5,0 a 9,9	Abater 60% do valor da FMA acumulado $FMA_{\text{atual}} = FMA_{\text{acum.}} \cdot 0,4 + 100/H$
10,0 a 12,9	Abater 80% do valor da FMA acumulado $FMA_{\text{atual}} = FMA_{\text{acum.}} \cdot 0,2 + 100/H$
$> 12,9$	Interromper o cálculo (FMA=0) e recomençar a somatória no dia seguinte.

O grau de perigo de incêndio diário estimado pela FMA é indicado por meio de uma escala de cinco níveis, de acordo com a Tabela 2.

**Tabela 2** – Escala de perigo da Fórmula de Monte Alegre.

Valor de FMA	Grau de perigo
$\leq 1,0$	Nulo
1,1 a 3,0	Pequeno
3,1 a 8,0	Médio
8,1 a 20,0	Alto
$>20,0$	Muito Alto

### 3.3 GERAÇÃO DO GRAU DE PERIGO DE INCÊNDIO (FMA)

Para geração do índice de Monte Alegre, foram utilizados dados meteorológicos fornecidos pelo 9º DISTRITO DE METEOROLOGIA DE CUIABÁ-MT (9ºDISME/CUIABÁ-MT) do INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET), obtidos a partir de uma estação meteorológica de superfície convencional, localizada no município de Matupá-MT e de estações meteorológicas automáticas de superfície, localizadas nos municípios de Sorriso-MT,

São José do rio Claro-MT, Tangará da Serra-MT e Rondonópolis-MT. Cada uma das estações estão identificadas na Tabela 3, por sua posição geográfica (latitude, longitude) e altitude.

**Tabela 3** – Localização das estações meteorológicas do INMET

<b>Estação</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>	<b>Tipo</b>
1. Matupá-MT	10° 15' S	54° 55' W	280 m	convencional
2. Sorriso-MT	13° 32' S	55° 42' W	380 m	automática
3. São José do R. Claro-MT	13° 27' S	56° 39' W	350 m	automática
4. Tangará da Serra-MT	14° 39' S	57° 24' W	321,50 m	automática
5. Rondonópolis-MT	16° 27' S	54° 36' W	284 m	automática

Para o cálculo diário da Fórmula de Monte Alegre foram utilizados dados diários de umidade relativa às 17 UTC, que corresponde às 13 horas do tempo civil local e ainda a precipitação do dia, no período de 1 de janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2004 para o município de Matupá-MT. Nos municípios de Sorriso-MT e Tangará da Serra-MT, foram utilizados os dados do período de 1 janeiro de 2003 a 31 de dezembro de 2003 e nos municípios de São José do Rio Claro-MT e Rondonópolis-MT, foram utilizados os dados no período de 01 janeiro a 31 de dezembro de 2004.

As informações foram processadas no programa Excel, sendo que além da Fórmula de Monte Alegre, foram inseridas as restrições referente a precipitação diária ocorrida e inseridas as classes de perigo, conforme Tabelas 1 e 2, anteriormente descrita, possibilitando a classificação direta do grau de perigo diário, assim como, o número de dias por classe de perigo no mês e por ano analisado.

A avaliação da FMA na estimativa do grau de perigo de incêndio para as condições de Mato Grosso foi realizada por meio do cálculo da frequência relativa de focos de calor registrados dentro das cinco classes de perigo da FMA e pela aplicação do teste de correlação ordinal de Kendall. O teste de correlação foi calculado de duas formas distintas, em uma primeira análise foram utilizados os pares ordenados de focos de calor e as respectivas classes de perigo, considerando-se o período de maio a novembro. Em uma segunda análise foram suprimidos todos os dias do período de proibição de queimadas (15 de julho a 15 de setembro), visto que pelo fato do poder público não autorizar queimadas controladas ocorre uma redução das fontes de

ignição. Ainda, o receio da imposição de penalidades leva muitos proprietários adotarem medidas preventivas, como aceiros e vigilância, com objetivo de debelar focos de incêndios rapidamente. Desta maneira, buscou-se reduzir interferências provocadas por esta situação artificial, que certamente afeta o grau de associação existente entre os focos de calor e as classes de perigo da FMA. A análise estatística dos dados suprimindo-se os focos de calor do período proibitivo, permitiu também, avaliar o comportamento da população dos municípios estudados frente ao período de restrição de queimadas, visto que o registro de um incremento no valor de  $\tau$ , significa que houve redução dos focos de calor no período proibitivo e por consequência, uma redução no valor de  $\tau$  indica que houve desrespeito ao período de proibição.

O cálculo da frequência relativa de focos de calor registrados nas classes de perigo da FMA, foi empregada como subsídio à análise, visto que a ocorrência dos incêndios florestais é influenciada por fatores externos como a malha viária, a proximidade a áreas urbanas, o uso e a ocupação do solo, a tipologia florestal, entre outros, e esse aspecto determina em muitos casos que o universo dos graus de perigo de incêndio acusado pelo índice (nulo, pequeno, médio, alto e muito alto) seja restrito, afetando, com isso, uma análise de correlação mais consistente. Desta maneira, a frequência relativa dos focos de calor, obtida para cada uma das classes de perigo, traduz a eficiência da FMA, pois permite avaliar a capacidade do índice em prever eventos de fogo, quando o mesmo indica situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndios florestais e também, quando o índice estima situação de baixa ou até mesmo nula a possibilidade de ocorrência de incêndios.

A análise de correlação de Kendall foi efetuada no programa SPSS, versão 12.0, para estimar o grau de associação entre as classes de perigo indicada pela FMA e o número de focos de calor observados em cada uma destas classes. Cabe comentar, que para realização da análise estatística as classes de perigo da FMA, receberam uma classificação numérica, desta forma, as classes nulo, pequeno, médio, alto e muito alto, passaram a ser representadas pelos números 1, 2, 3, 4, e 5, respectivamente.

O coeficiente de Kendall é simbolizado pela letra grega  $\tau$  (tau), em que a fórmula é dada pela Equação 2:

$$\tau = \frac{S}{\frac{n(n-1)}{2}} \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:  $\tau$  = associação das classificações requeridas,  
 $S$  = resultado da relação das ordens encontradas nos possíveis pares de ordenação,  
 $n$  = número de etapas.

Os dados de focos de calor, utilizados neste trabalho, são oriundos do sistema de detecção de queimadas do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPETEC) disponibilizados à Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA-MT), sempre no período de maio a novembro, visto que o número de focos de calor fora deste período é desprezível, em função da alta pluviosidade registrada nos meses de dezembro a abril, tanto que no município de Matupá-MT, no mês de maio, não houve registros de focos de calor nos dois anos estudados. Isto se dá, em função do considerável excedente hídrico de 90 mm, verificado ainda no mês de abril, no município, conforme relata TARIFA e SETTE (2006).

A detecção dos focos de calor se dá a partir de uma imagem do NOAA-12, onde, três etapas se fazem necessárias: a) Pré-processamento que corresponde à leitura primária dos dados brutos recebidos dos satélites, registro, navegação e correção geométrica; b) Processamento que compreende a calibração, a detecção de nuvens, o controle de qualidade e a correção atmosférica. Posteriormente é realizado o cálculo dos parâmetros geofísicos (temperatura de brilho, radiância e fator de radiância); e c) Imagens transformadas em parâmetros físicos são então utilizadas como dados de entrada para a detecção de focos de calor, conforme detalhamento feito no capítulo anterior.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

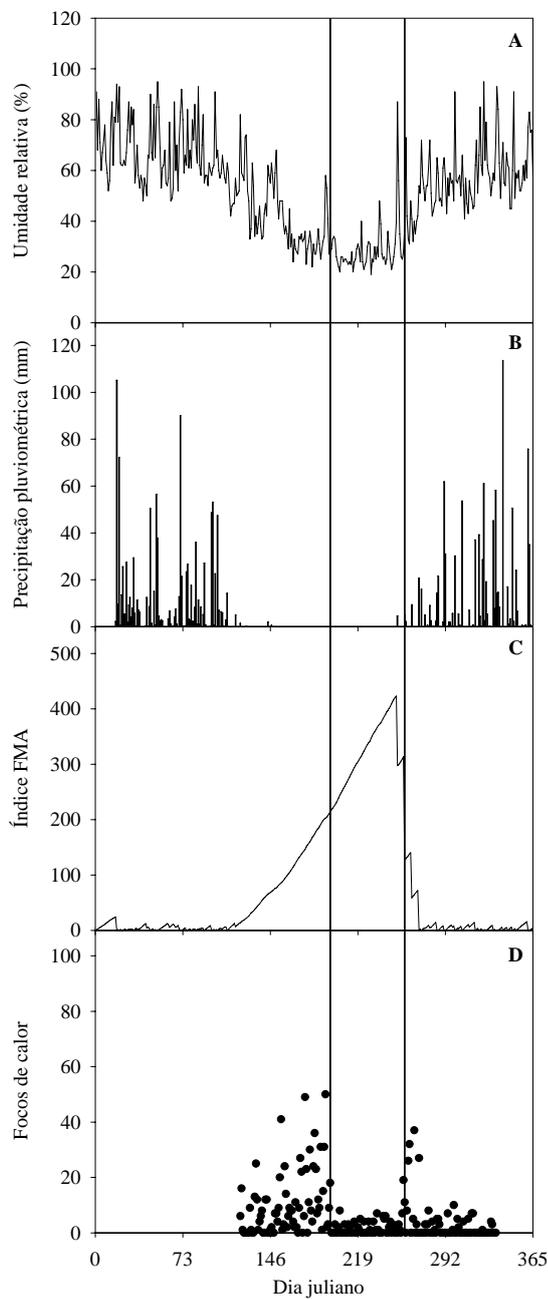
### 4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SORRISO-MT

Analisando os resultados obtidos, por meio do índice FMA, conforme mostra a Tabela 4, no município de Sorriso-MT referente ao período de 01 de janeiro à 31 de dezembro de 2003, pode-se observar que 53,42% dos dias foram classificados como críticos (alto e muito alto), ou seja, apresentaram valores de  $FMA > 8$ . Neste ano, 149 dias (40,82%) foram classificados como grau de perigo muito alto, 46 dias (12,60%) como alto. Verifica-se que a partir do mês de maio todos os dias passam a ser classificados como críticos (04 dias alto e 27 dias muito alto). Nos meses de junho, julho e agosto de 2003 todos os dias foram classificados no nível muito alto.

Os valores absolutos do índice FMA aumentam gradativamente a partir de maio, conforme mostra Figura 2, em função da escassez de precipitação neste período, atingindo valores máximos no dia 8 de setembro de 2003 ( $FMA = 423,08$ ).

**Tabela 4** – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Sorriso-MT.

<b>Grau de Perigo (FMA) - Sorriso 2003</b>						
Meses	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto	Focos
Janeiro	5	11	3	8	4	
Fevereiro	5	8	10	5	0	
Março	6	11	8	6	0	
Abril	6	6	11	7	0	
Maiο	0	0	0	4	27	143
Junho	0	0	0	0	30	357
Julho	0	0	0	0	31	291
Agosto	0	0	0	0	31	54
Setembro	2	2	0	0	26	190
Outubro	5	3	18	5	0	57
Novembro	8	7	9	6	0	31
Dezembro	8	7	11	5	0	0
Total	45	55	70	46	149	1123
%	12,33	15,07	19,18	12,60	40,82	



**Figura 2** – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2003 em Sorriso, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas.

O desempenho e a eficiência da Fórmula de Monte Alegre, frente à situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndios florestais, pode ser verificado na Tabela 5.

**Tabela 5** – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Sorriso, Mato Grosso, no período de 1º de maio a 30 de novembro de 2003.

Grau de Perigo (FMA)	Focos de calor registrados	
	Nº	%
Nulo	38	3,38
Pequeno	7	0,62
Médio	39	3,47
Alto	57	5,07
Muito Alto	982	87,44
<b>Total</b>	1123	100%

Dos 1123 focos de calor detectados, no período, 982 focos ocorreram em dias classificados com grau de perigo muito alto, 57 focos ocorreram quando o índice indicava grau de perigo alto, ou seja, 92,51% dos focos de calor ocorreram quando a FMA indicava a situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndios florestais ( Tabela 5), que atesta o bom desempenho do índice.

Porém, cabe analisar, o comportamento do índice em dias que o mesmo indica baixa ou até mesmo nula a possibilidade de ocorrência de incêndio. Assim, ocorreram 38 focos quando o índice indicava grau de perigo nulo, 39 focos ocorridos em dias classificados com grau de perigo médio e 7 focos ocorridos em dias classificados como pequeno. No dia 27 de setembro de 2003 foram registrados 27 focos de calor em um dia classificado com grau de perigo nulo. Esta situação se explica pelo fato da precipitação de 20,6 mm ter ocorrido após a passagem do satélite NOAA-12, visto que desde o final de maio todos os dias anteriores foram classificados com grau de perigo muito alto.

A partir de 15 de setembro de 2003, conforme mostra Figura 2, os valores de FMA sofrem forte redução (período que coincidentemente termina o período de proibição das queimadas controladas ou prescritas), até tornar-se nulo, em função das precipitações ocorridas nos dias posteriores, razão pela qual além dos 26 dias

classificados como muito alto, o mês de setembro apresenta 2 (dois) dias classificados com grau de perigo de incêndio florestal nulo e 2 (dois) classificados com risco pequeno. Desta forma, pode-se verificar que o período de proibição de queimadas para o Estado de Mato Grosso, que é de 15 de julho de 2003 a 15 de setembro de 2003, em Sorriso-MT, foi adequadamente alocado, pois todos os dias do período foram classificados como grau de perigo muito alto pela FMA.

Cabe destacar, conforme mostra Figura 2, que o mês de agosto apesar de todos os dias serem classificados com grau de perigo muito alto e apresentar valores de FMA extremo, o número de focos registrados é de apenas 54 . Este aparente paradoxo, se deve em função do mês de agosto estar inteiramente no período de proibição de queimadas. Situação idêntica ocorre no mês de julho, quando foram registrados ao todo 291 focos, dos quais apenas 38 ocorreram no período proibitivo. Os 253 focos restantes ocorreram antes do dia 15 de julho de 2003, ou seja, antes do período proibitivo. No mês de setembro a situação não difere do mês de julho e agosto, dos 190 focos ocorridos, apenas 52 ocorreram no período proibitivo. Assim, como demonstrado na Figura 2, pode-se constatar que o período de proibição de queimadas em Sorriso-MT foi respeitado, pois dos 1123 focos de calor registrados no ano de 2003, apenas 12,82% (144 focos) ocorreram no período proibitivo. Tal fato mostra a forte influência do homem na ocorrência de queimadas e incêndios florestais, pois mesmo em condições extremamente adversas observadas nos meses de julho, agosto e setembro, houve redução do número de focos de calor. Tal constatação vem ao encontro do observado por SOARES (1985), que atribue as causas humanas como responsáveis por 95% das ocorrências de incêndios florestais e apenas 5% atribuídas as causas naturais.

A análise estatística dos resultados, correspondente ao período de 01 de maio de 2003 a 30 de novembro de 2003, realizada por meio do teste de Kendall, revelou uma correlação positiva entre as variáveis estudadas (classificação da FMA e focos de calor observados), o valor de  $\tau$  encontrado de 0,263, é significativo ( $P = 0,000$ ). Porém, pôde-se observar que a correlação obtida não é alta, visto que, para que um incêndio florestal ocorra e se propague, obrigatoriamente faz se necessário uma fonte de ignição, pois segundo BATISTA (2002) a temperatura máxima que o material

combustível florestal pode atingir por meio da radiação solar é 75°C e a temperatura de ignição para a maioria dos combustíveis florestais está entre 260°C a 400°C.

Como comentado no capítulo anterior, com o objetivo de reduzir a interferência do período de proibição de queimadas na estimativa do coeficiente de correlação de Kendall, foram suprimidos todos os dias do período de proibição de queimadas.

Desta maneira, pode-se notar que o coeficiente de correlação aumenta de 0,263 para 0,402, situação de certa forma esperada, visto que, no período de proibição no município de Sorriso-MT, como comentado anteriormente, apenas 12,82 % dos focos de calor registrados no ano, concentraram-se neste período, melhorando, portanto, sensivelmente, a correlação entre focos de calor e as classes de perigo indicadas pela FMA, melhoria esta, traduzida no incremento de 52,85% no valor de  $\tau$ .

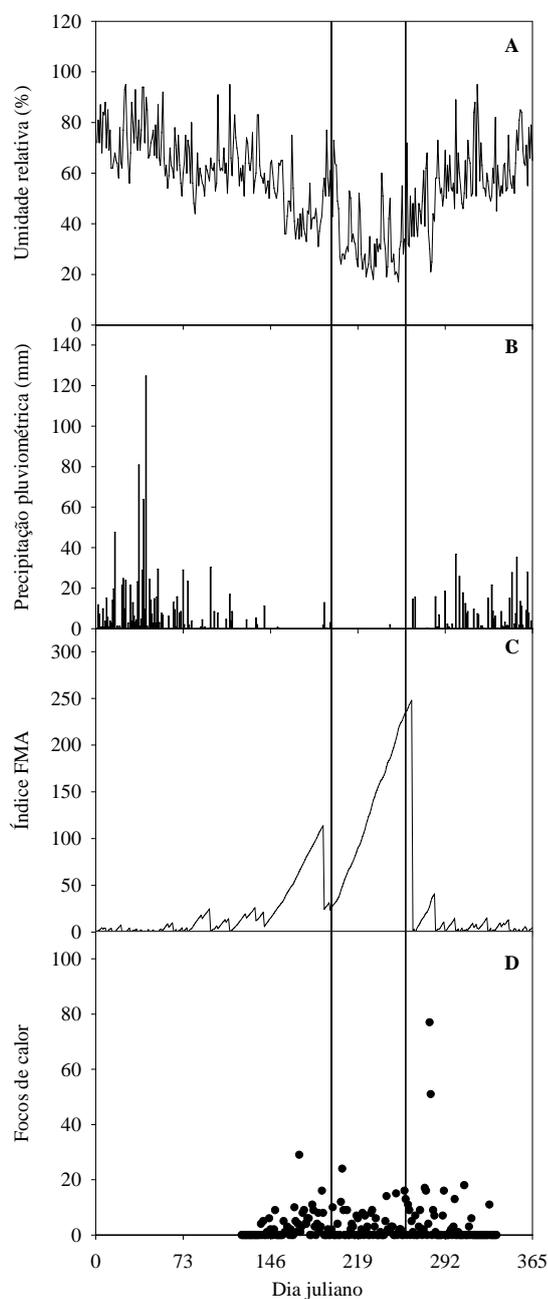
## **4.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE SÃO JOSÉ DO RIO CLARO-MT**

Considerando os valores da FMA acima de 8,0 como críticos (grau de perigo alto e muito alto), a região do município de São José do Rio Claro-MT, conforme mostra a Tabela 6, apresentou 198 dias críticos, no período de 01 de janeiro de 2004 à 31 de dezembro de 2004, ou seja, em 54,24% dos dias do ano, existe a possibilidade de ocorrência de incêndios, de acordo com o índice estudado. Neste ano, 132 dias (36,16%) foram classificados com grau de perigo muito alto e 66 dias (18,08%) como alto.

Pode-se observar que a partir de junho até os vinte primeiros dias de setembro, todos os dias passam a ser classificados com grau de perigo muito alto, em função da escassez de chuvas observada neste período, aumentando, por consequência, consideravelmente os valores absolutos da FMA, conforme demonstrado na Figura 3, atingindo valores máximos no dia 20 de setembro de 2004 (FMA= 247,98), situação esperada, visto que a fórmula é corrigida pela precipitação.

**Tabela 6** – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de São José do Rio Claro-MT.

<b>Grau de Perigo (FMA) - São José 2004</b>						
meses	nulo	pequeno	médio	alto	muito alto	focos
janeiro	8	11	12	0	0	
fevereiro	10	13	5	1	0	
março	4	8	8	11	0	
abril	2	4	10	11	3	
maio	0	0	2	20	9	29
junho	0	0	0	0	30	124
julho	0	0	0	0	31	117
agosto	0	0	0	0	31	90
setembro	2	2	2	4	20	107
outubro	4	5	7	7	8	225
novembro	3	8	13	6	0	38
dezembro	5	8	12	6	0	0
total	38	59	71	66	132	730
<b>%</b>	10,41	16,16	19,45	18,08	36,16	



**Figura 3** – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2004 em São José do Rio Claro, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas.

Baseada na análise da eficiência da FMA, a frequência relativa obtida pela comparação da distribuição dos focos de calor registrados em cada classe de perigo, demonstrou, conforme Tabela 7, que dos 730 focos registrados no município, 594 focos ocorreram em dias classificados com grau de perigo muito alto, 84 focos

ocorreram em dias classificados como alto, ou melhor, 678 focos ocorreram em dias classificados como críticos, ou seja, 92,87 % dos focos de calor ocorreram quando a FMA indicava a situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndios florestais.

**Tabela 7** – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de São José do Rio Claro- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2004.

Grau de Perigo (FMA)	Focos de calor registrados	
	Nº	%
Nulo	9	1,23
Pequeno	29	3,97
Médio	14	1,92
Alto	84	11,50
Muito Alto	594	81,37
<b>Total</b>	<b>730</b>	<b>100%</b>

Pode-se verificar também, que somente 1,23% dos focos ocorreram em dias que o índice indicava nula a possibilidade de ocorrência de incêndio. Porém foram registrados 29 focos em um dia classificado com grau de perigo pequeno e 14 focos ocorreram em um dia em que FMA indicava médio o risco de incêndio. Tal fato pode ser atribuído pela necessidade da intervenção humana nos eventos de ignição, pois, conforme relato de SETZER (2002), o acompanhamento diário da distribuição de focos de calor realizado pelo INPE e pelo IBAMA nos últimos anos, leva a conclusão que a principal causa das queimadas e incêndios florestais é a necessidade de remoção da vegetação para os mais diversos objetivos. Focos de calor foram detectados nos estados do Paraná e São Paulo um dia após a passagem de um sistema frontal que causou precipitação em torno de 15 mm. Finalizando, SETZER (2002) conclui que o número de focos de calor verificados em novos assentamentos no centro-sul do país, ilustram como a presença humana pode se mostrar mais importante que fatores meteorológicos, na ocorrência de queimadas e incêndios florestais.

Pode-se verificar que o período de proibição de queimadas é adequado para as condições do município, pois todos os dias que compõem este período são

classificados pela FMA como grau de perigo muito alto. Conforme Figura 3, o índice continua indicando alto perigo até tornar-se nulo em 21 de setembro de 2004 em função de precipitação de 14,6 mm ocorrida nesta data.

Os registros de focos de calor, no município de São José do Rio Claro-MT, no período de proibição das queimadas, representam 30,13% (220 focos) do total de focos detectados no período de maio a novembro de 2004.

Contudo, conforme mostra Figura 3, o período proibitivo pode ter influenciado na redução dos focos de calor em São José do Rio Claro-MT, neste ano, pois no mês de agosto, apesar de todos os dias terem sido classificados com grau de perigo muito alto e os valores absolutos de FMA atingirem níveis bastante expressivos (FMA= 181,10, em 31/08/2004), foram detectados 90 focos de calor, 135 focos a menos que o observado por exemplo no mês de outubro, que apresenta condições meteorológicas menos favoráveis a ocorrência de queimadas e incêndios. Nesse mês de outubro, a FMA indicou apenas 8 dias de grau de perigo muito alto e 7 dias classificado como alto e o valor máximo da FMA registrado foi de 41,00, em 08 de outubro de 2004. Vale ressaltar que dos 225 focos ocorridos em outubro de 2004, 222 focos ocorreram em dias que a FMA indicava grau de perigo alto e muito alto, onde em apenas dois dias classificados como muito alto, ocorreram 128 focos de calor, 77 detectados em 5/10/2004 e 51 detectados em 6/10/2004, mostrando novamente a grande sensibilidade da Fórmula de Monte Alegre, ao captar dois eventos extremos em um mês com pluviosidade alta.

A aplicação do teste de correlação ordinal de Kendall, considerando as variáveis, focos de calor registrados no período de 01 de maio de 2004 a 30 de novembro de 2004, no município de São José do Rio Claro e as respectivas classificações diárias da FMA, também, apresentaram uma correlação positiva. O valor de  $\tau$  encontrado foi de 0,272. A exemplo do município de Sorriso, pode-se observar que a correlação entre focos de calor e as classes de perigo da FMA melhorou quando foram suprimidos da análise os dias compreendidos no período de proibição de queimadas, o valor de  $\tau$  aumentou para 0,305, porém, em São José do Rio Claro-MT o incremento no valor de  $\tau$  foi de apenas 12,13 %, contra os 52,85% verificados em Sorriso-MT, tal fato se justifica em função da porcentagem maior de

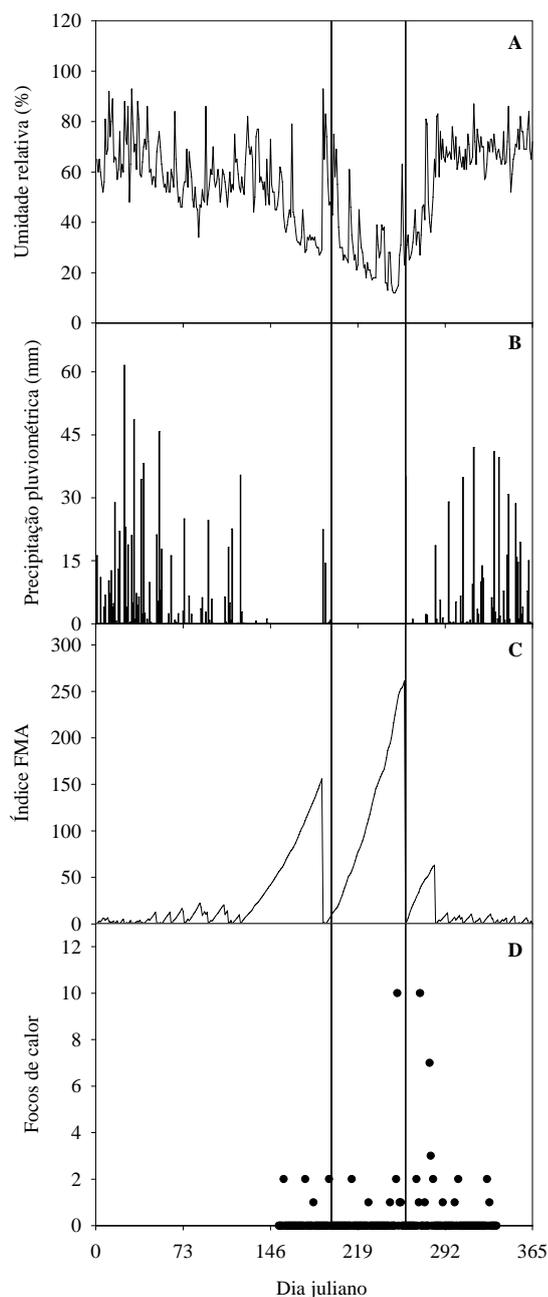
focos de calor registrados no período de proibição em São José do Rio Claro-MT (30,13 %), mais que o dobro do valor encontrado em Sorriso-MT (12,82%).

### **4.3 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE RONDONÓPOLIS-MT**

A análise da classificação diária do índice FMA, conforme Tabela 8, no município de Rondonópolis, com exceção de Matupá-MT, demonstrou resultados próximos aos encontrados nos demais municípios estudados, onde, o número de dias classificados como críticos é idêntico ao valor encontrado no município de Sorriso-MT, 53,42%. Pôde-se verificar, também, que em Rondonópolis, no mês de junho todos os dias passam a ser classificados com grau de perigo muito alto, porém, diferentemente de todos os municípios observados, Rondonópolis não apresentou no mês de julho todos os dias classificados com grau de perigo muito alto. Foram registrados 18 dias com grau de perigo muito alto e 6 dias como alto, isso se deveu ao fato do índice tornar-se nulo em dois momentos, em função de chuvas ocorridas em 08 de julho de 2004 e 10 de julho de 2004, com volumes de 22,4 mm e 14,4 mm, respectivamente, como mostra a Figura 4. No mês de agosto todos os dias foram classificados com grau de perigo muito alto, os valores absolutos do índice FMA continuaram aumentando até atingir o valor máximo, observado no ano, conforme Figura 4, em 14 de setembro de 2004 (FMA= 261,38), quando o índice torna-se nulo em decorrência de precipitação de 35 mm registrada em 15 de setembro de 2004, razão pela qual o índice após reduzir a zero, aumenta novamente, sendo os últimos 4 dias de setembro classificados com grau de perigo muito alto, totalizando 18 dias classificados com grau de muito alto.

**Tabela 8** – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Rondonópolis.

<b>Grau de Perigo (FMA) - Rondonópolis 2004</b>						
Meses	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto	Focos
Janeiro	8	11	12	0	0	
Fevereiro	6	10	9	4	0	
Março	2	2	8	17	2	
Abril	4	3	8	14	1	
Maiο	0	1	3	8	19	0
Junho	0	0	0	0	30	5
Julho	2	2	3	6	18	2
Agosto	0	0	0	0	31	3
Setembro	1	0	2	3	24	28
Outubro	2	4	12	4	9	17
Novembro	4	7	15	4	0	3
Dezembro	9	8	13	1	0	
Total	38	48	85	61	134	58
%	10,41	13,15	23,29	16,71	36,71	



**Figura 4** – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2004 em Rondonópolis, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas.

A frequência relativa da distribuição dos focos de calor nas classes de perigo da FMA, que em última análise indica a capacidade de acerto da FMA encontrada para o município de Rondonópolis, considerando-se as classes de perigo alto e muito alto, foi de 86,20%, conforme mostra a Tabela 9. Dos 58 focos de calor registrados

no período, 50 focos ocorreram em dias classificados como críticos e 8 focos de calor foram detectados quando a FMA indicava grau de perigo médio. Vale ressaltar, porém, que não foi registrado a ocorrência de nenhum foco de calor quando a FMA indicava grau de perigo pequeno ou nulo.

**Tabela 9** – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Rondonópolis- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2004.

Grau de Perigo (FMA)	Focos de calor registrados	
	Nº	%
Nulo	0	0
Pequeno	0	0
Médio	8	13,80
Alto	1	1,72
Muito Alto	49	84,48
<b>Total</b>	58	100%

O coeficiente de correlação ordinal de Kendall encontrado para o município de Rondonópolis,  $\tau = 0,089$ , assim como, a frequência relativa da distribuição focos de calor nas classes de perigo, representa o menor valor obtido dentre os municípios estudados, onde a aplicação do teste, não encontrou grau de associação significativo entre as variáveis estudadas, ou seja, distribuição de focos de calor ocorridos nas cinco classes de perigo da FMA. Tal fato, pode ser explicado em função do número muito reduzido de focos de calor registrados em Rondonópolis no ano de 2004, frente a um número grande de dias classificados como críticos pela FMA (53,42%).

Contudo, o número de focos de calor registrados em Rondonópolis, merece uma análise mais detalhada, pois, como comentado anteriormente, o município de Sorriso apresentou o mesmo número de dias classificados como críticos e foram registrados pelo NOAA-12, 1065 focos de calor a mais do que os registrados em Rondonópolis. Ocorre que a ocupação do município de Rondonópolis, teve seu início na década de 70, tanto que a área desmatada até o ano de 2004, já era superior a 78% em relação a área total do município. Assim, não existem mais áreas disponíveis para serem incorporadas para agricultura ou pecuária, principal motivação para o uso do fogo. Desta forma, os reduzidos focos de calor registrados nos últimos anos pelo NOAA-12 (20 focos em 2000, 47 em 2001, 60 em 2002, 76 em 2003 e 58 em 2004)

muito provavelmente, restringiram-se a queimas de restos de culturas, queimas fitossanitárias e limpeza de pastagens.

Cabe ainda informar, que o coeficiente de correlação ordinal de Kendall, aumentou de 0,089 para 0,096, quando foram suprimidos da análise os dias que compõem o período de proibição de queimadas, porém, apesar do incremento verificado, o valor de  $\tau$  continua sendo não significativo estatisticamente, em função dos motivos expostos anteriormente e do número de focos de calor registrados no período de proibição, 31% dos focos detectados no ano, ocorreram neste período, não permitindo desta forma, um incremento maior como o observado no município de Sorriso-MT.

Pode-se verificar que o período de proibição de queimadas é adequado para as condições do município, pois exatamente a partir do dia 15/07/2004, conforme mostra Figura 4, os dias passam a ser classificados, pela FMA como alto grau de perigo e a partir do dia 21 de julho de 2004 todos os dias são classificados com grau de perigo muito alto, período em que foram registrados 18 focos de calor.

#### **4.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE TANGARÁ DA SERRA-MT**

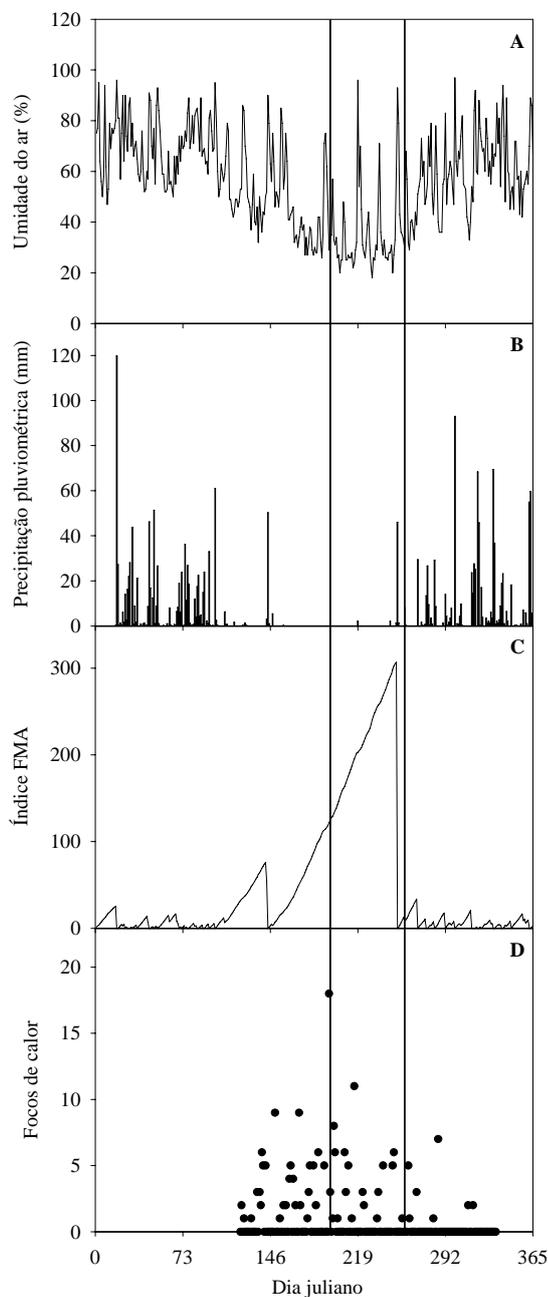
A análise da distribuição da classificação diária da FMA, no município de Tangará da Serra, conforme mostra a Tabela 10, para o ano de 2003, demonstra que a exemplo dos demais municípios, os maiores valores percentuais de dias previstos para cada grau de perigo referem-se à classe de perigo “muito alto” (36,71%) e o menor valor refere-se a classe de perigo “nulo” (12,33%). Pode-se observar que 54,79 % dos dias foram classificados como críticos, neste ano, onde 134 dias (36,71%) foram classificados com grau de perigo muito alto, 66 dias (18,08%) como alto.

Verifica-se que a partir do mês de maio a maioria dos dias são classificados como críticos, 1 dia apresentou grau de perigo alto e 23 dias classificados como muito alto, mês em que são registrados 37 focos de calor. A partir do mês de junho todos os dias são classificados como críticos, 24 classificados como muito alto e 6 dias classificados como alto. Pode-se verificar que todos os dias dos meses de julho e agosto e os 08 primeiros dias de setembro de 2003 em Tangará da Serra a FMA

indicou grau de perigo muito alto, coincidindo com o período proibitivo de queimadas. Assim, pode-se dizer que o período proibitivo foi bem alocado neste município. Os valores absolutos da FMA aumentam gradativamente a partir de maio, início do período seco, atingindo valores máximos em 08 de setembro de 2003 (FMA = 306,96), conforme pode-se observar na Figura 5.

**Tabela 10** – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Tangará da Serra.

<b>Grau de Perigo (FMA) - Tangará da Serra 2003</b>						
Meses	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto	Focos
Janeiro	7	7	5	7	5	
Fevereiro	5	9	8	6	0	
Março	8	10	5	8	0	
Abril	3	5	8	9	5	
Maio	1	2	4	1	23	37
Junho	0	0	0	6	24	40
Julho	0	0	0	0	31	69
Agosto	0	0	0	0	31	26
Setembro	2	2	5	7	14	21
Outubro	5	6	13	7	0	8
Novembro	9	5	9	6	1	4
Dezembro	5	6	11	9	0	0
Total	45	52	68	66	134	205
%	12,33	14,25	18,63	18,08	36,71	



**Figura 5** – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2003 em Tangará da Serra, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas.

Conforme mostra Tabela 11, a frequência relativa, obtida pela comparação dos focos de calor registrados e a respectiva indicação diária da probabilidade de ocorrência de incêndios florestais da FMA, demonstrou que dos 205 focos de calor detectados, no período, 174 focos ocorreram em dias classificados com grau de

perigo muito alto, 12 focos ocorreram quando o índice indicava grau de perigo alto, ou seja, a capacidade da FMA em prever eventos de fogo, neste município, atingiu 90,73%.

**Tabela 11** – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Tangará da Serra - MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2003.

Grau de Perigo (FMA)	Focos de calor registrados	
	Nº	%
Nulo	2	0,97
Pequeno	0	0
Médio	17	8,29
Alto	12	5,85
Muito Alto	174	84,88
<b>Total</b>	<b>205</b>	<b>100%</b>

Com relação ao comportamento do índice em dias que o mesmo indica baixa ou nula a possibilidade de ocorrência de incêndio, foram observados 17 focos quando o índice indicava grau de perigo médio e apenas 2 focos detectados em dias classificados como nulo, confirmando novamente a boa sensibilidade e eficiência do índice.

O período de proibição de queimadas, em Tangará da Serra-MT, conforme mostra Figura 5, foram registrados 71 focos de calor, que representa 34,63% do total de focos detectados no município. No mês de agosto, apesar de todos os dias terem sido classificados com grau de perigo muito alto e os valores absolutos de FMA atingirem níveis bastante expressivos (FMA=306,96) foram detectados 26 focos de calor, 11 focos a menos (29,72%) que o observado por exemplo no mês de maio, que apresenta condições meteorológicas menos propícias a ocorrência de queimadas e incêndios, neste mês a FMA indicou apenas 8 dias de grau de perigo muito alto e o valor máximo da FMA foi de 75,79, registrado em 22 de maio de 2003.

Nesse sentido, pode-se constatar que o período proibitivo influenciou para que houvesse redução dos focos de calor em Tangará da Serra-MT, mostrando novamente a possibilidade de redução de queimadas e incêndios florestais, por meio de ações que promovam a mobilização e sensibilização da sociedade.

O coeficiente de correlação ordinal de Kendall, obtido para o município de Tangará da Serra, no ano de 2003, considerando-se as variáveis focos de calor e a classificação diária da FMA, também foi significativo, o valor de  $\tau$  encontrado foi de 0,255, aumentando para 0,291 quando foram suprimidos da análise os dias do período de proibição de queimadas. Verifica-se novamente que a correlação observada, apesar de positiva, não é alta, porém existe associação entre as variáveis estudadas. Para que um incêndio tenha início e se propague, como comentado anteriormente, faz-se necessário, fontes de ignição, que são influenciadas ou potencializadas por fatores externos como padrão de ocupação e uso do solo, malha viária da região, proximidade com áreas urbanas, declividade, entre outros. De modo geral, em áreas localizadas próximas a regiões de expansão da fronteira agrícola o uso do fogo é intensificado para a abertura de novas áreas para pastagens ou lavouras, quando comparados com áreas em que os sistemas agrícolas já estão consolidados.

#### **4.5 ANÁLISE DOS RESULTADOS DE MATUPÁ-MT**

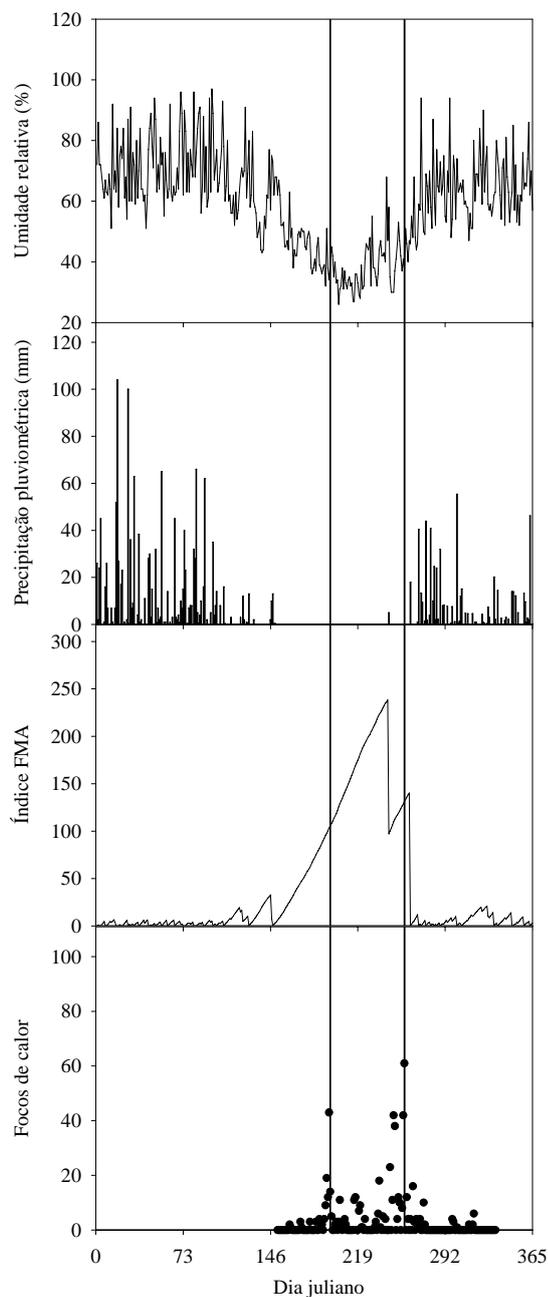
No município de Matupá-MT, no ano de 2003, a análise dos resultados gerados pela FMA, demonstrou, como pode-se observar na Tabela 12, que 45,2% dos dias foram classificados como críticos (alto e muito alto), valor inferior ao encontrado nos demais municípios estudados, com exceção do próprio município de Matupá no ano de 2004. Esta situação já era esperada, visto que, o município de Matupá situado no extremo norte de Mato Grosso esta inserido em uma região climática, onde os totais pluviométricos médios oscilam entre 2.000 a 2.300 mm e registra-se um total anual de excedente hídrico superior a 1.000 mm. Diferentemente dos demais municípios analisados, em Matupá, no mês de maio, existem apenas 8 dias classificados com grau de perigo muito alto. A partir do mês de junho, 22 dias são classificados como muito alto e 6 dias como alto, mês em que aparecem os 10 primeiros focos de calor.

Somente, no mês de julho e agosto é que todos os dias foram classificados com grau de perigo extremo, ou seja, perigo muito alto de ocorrência de incêndio florestal. No mês de setembro os 19 primeiros dias continuam classificados com grau

de perigo muito alto, onde a FMA atinge valores extremos em 01 de setembro de 2003 (FMA=238,34), conforme mostra Figura 6.

**Tabela 12** – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Matupá-MT.

<b>Grau de Perigo (FMA) - Matupá 2003</b>						
Meses	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto	Focos
Janeiro	12	9	10	0	0	
Fevereiro	7	11	10	0	0	
Março	9	15	7	0	0	
Abril	4	6	13	7	0	
Mai	2	2	10	9	8	0
Junho	0	0	2	6	22	10
Julho	0	0	0	0	31	146
Agosto	0	0	0	0	31	83
Setembro	3	3	3	2	19	301
Outubro	6	9	13	3	0	20
Novembro	2	3	5	19	1	10
Dezembro	5	6	13	7	0	
Total	50	64	86	53	112	570
<b>%</b>	13,7	17,53	23,56	14,52	30,68	



**Figura 6** – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2003 em Matupá, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas.

O desempenho da FMA, no município de Matupá, no ano de 2003, analisado por meio da frequência relativa da distribuição dos focos de calor nas classes de perigo, conforme mostra Tabela 13, indica que 91,87% dos focos de calor detectados pelo NOAA-12, ocorreram em dias classificados como críticos, verifica-se que dos

570 focos de calor detectados, no período, 510 focos ocorreram em dias classificados com grau de perigo muito alto e 14 focos ocorreram quando o índice indicava grau de perigo alto.

Com relação ao comportamento da FMA quando a mesma indicava grau de perigo nulo, pode-se observar que apenas, 0,35% dos focos foram detectados nesta classe.

**Tabela 13** – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Matupá- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2003.

Grau de Perigo (FMA)	Focos de calor registrados	
	Nº	%
Nulo	2	0,35
Pequeno	4	0,70
Médio	40	7,01
Alto	14	2,4
Muito Alto	510	89,47
<b>Total</b>	<b>570</b>	<b>100%</b>

Com relação ao período de proibição das queimadas, pode-se observar que o estabelecimento deste período, também é adequado para as condições de Matupá-MT, pois todos os dias foram classificados com grau de perigo muito alto pela FMA. Porém, o período de proibição foi desrespeitado, conforme demonstrado na Figura 6, foram registrados 383 focos de calor neste período, que representa 67,19% do total de focos detectados no município, quando, somente nos quinze primeiros dias setembro (período proibitivo) foram registrados 251 focos de calor.

A análise estatística realizada, a partir do teste de Kendall, no município de Matupá, em 2003, também encontrou uma correlação significativa entre as variáveis estudadas. O valor de  $\tau$  encontrado foi 0,265, valor próximo dos encontrados nos demais municípios estudados. Quando foram suprimidos da análise os dias do período de proibição de queimadas, o coeficiente de correlação de Kendall sofre forte redução, o valor de  $\tau$  passa de 0,265 para 0,134, tornando-se inclusive não significativo. Tal situação expressa o desrespeito observado no período de

queimadas, no ano de 2003, onde 67,19 % dos focos de calor ocorreram neste período.

Conforme mostra a Tabela 14, em Matupá-MT, o ano de 2004, apresentou 40,55% dos dias classificados como críticos pela FMA, ou seja, em 148 dias existe a possibilidade de um incêndio ocorrer e se propagar. Este número é inferior ao observado em Matupá no ano de 2003, com 45,2% dos dias classificados como críticos. Assim, pode-se observar que mesmo no período de perigo extremo para a ocorrência de incêndios neste município, observado nos meses de julho e agosto e início de setembro, existem diferenças de um ano para outro, caracterizando, desta maneira, um aspecto mais meteorológico do que climatológico a ocorrência de queimadas e incêndios, que remete, portanto, a necessidade de medições diárias das variáveis meteorológicas utilizadas pela FMA, sem interrupções, quer por estações meteorológicas convencionais ou automáticas.

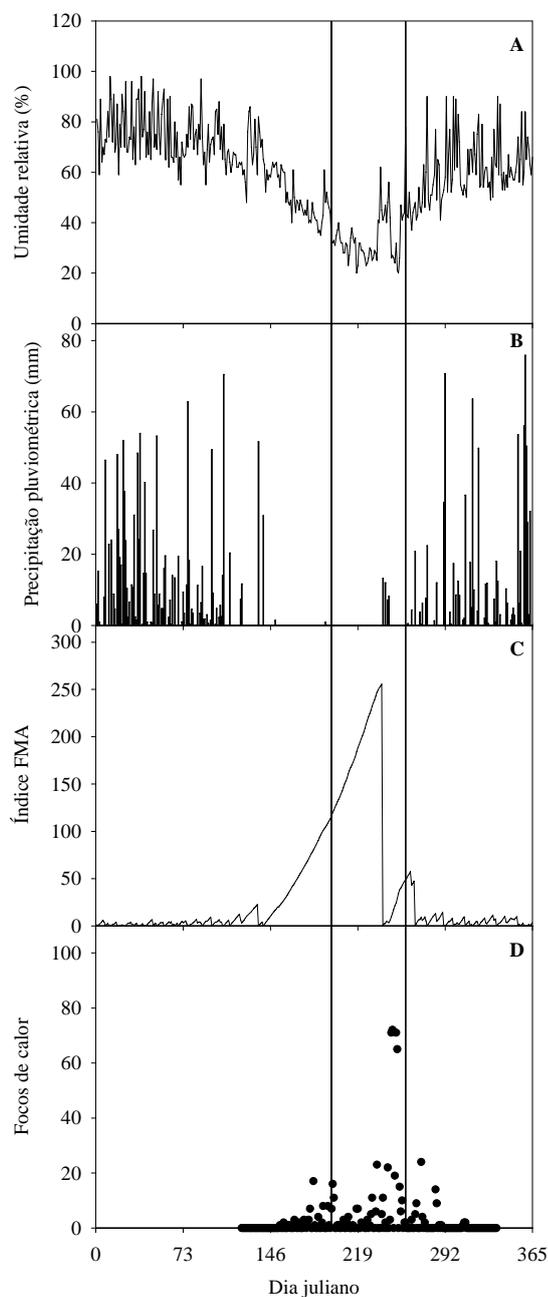
Em Matupá, no mês de maio de 2004, pode-se observar, comportamento semelhante do índice, registrado no ano de 2003, verifica-se novamente que existe uma baixa frequência de dias classificados com grau de perigo extremo e a ausência de focos de calor para o período.

A partir do mês de junho, 29 dias são classificados como muito alto e 1 dia como alto, mês em que ocorreram 45 focos de calor, 35 a mais do que o ano anterior.

**Tabela 14** – Resumo mensal dos resultados da Fórmula de Monte Alegre (FMA) e distribuição mensal dos focos de calor registrados no município de Matupá-MT.

<b>Grau de Perigo (FMA)- Matupá 2004</b>						
Meses	Nulo	Pequeno	Médio	Alto	Muito Alto	Focos
Janeiro	11	15	5	0	0	
Fevereiro	11	12	6	0	0	
Março	6	12	13	0	0	
Abril	4	4	18	4	0	
Maio	2	4	7	15	3	0
Junho	0	0	0	1	29	45
Julho	0	0	0	0	31	70
Agosto	1	2	2	0	26	108
Setembro	1	1	7	4	17	381
Outubro	4	6	12	9	0	27
Novembro	5	6	15	4	0	5
Dezembro	7	7	12	5	0	
Total	52	69	97	42	106	636
%	14,25	18,9	26,58	11,51	29,04	

No mês de julho todos os dias foram classificados com grau de perigo extremo, ou seja, perigo muito alto para ocorrência de incêndio florestal. No mês de agosto os 26 primeiros dias foram classificados como muito alto, atingindo no dia 26 de agosto de 2006 o valor de FMA máximo (FMA= 255,69). Conforme observa-se na Figura 7, em 27 de agosto de 2006 em função de uma precipitação de 13,2 mm, o valor da FMA torna-se nulo, razão pela qual, são contabilizados em agosto 2 dias classificados com grau de perigo pequeno e 2 dias classificados como médio.



**Figura 7** – Dinâmica anual da umidade relativa às 13:00 h (A), da precipitação pluviométrica diária (B), do índice FMA (C) e dos focos de calor (D), no ano de 2004 em Matupá, Mato Grosso. Nota: as duas linhas verticais nos gráficos desta figura representam o período de proibição de queimadas.

Conforme mostra Tabela 15, a frequência relativa dos focos de calor observados nas classes de perigo da FMA, encontrada em Matupá, para o ano de 2004 foi de 89,14%, valor inferior ao observado em 2003 (91,87%), quando se

verifica por consequência, uma maior incidência de focos detectados nas classes de perigo pequeno e nulo, na qual, foram observados 11(1,73%) e 18 (2,83%) focos de calor, respectivamente.

**Tabela 15** – Distribuição das ocorrências de focos de calor de acordo com a escala de perigo da FMA, no município de Matupá- MT, no período de 01 de maio a 30 novembro de 2004.

Grau de Perigo (FMA)	Focos de calor registrados	
	Nº	%
Nulo	18	2,83
Pequeno	11	1,73
Médio	40	6,29
Alto	186	29,24
Muito Alto	381	59,90
<b>Total</b>	<b>636</b>	<b>100%</b>

Desta maneira, pode-se constatar que dos 636 focos de calor detectados, no período, 381 focos ocorreram em dias classificados com grau de perigo muito alto, 186 focos ocorreram em dias classificados como alto, ou melhor, 567 (89,14%) dos focos ocorreram em dias classificados como críticos, onde a FMA indicava a situação de elevada probabilidade de ocorrência de incêndios florestais.

A avaliação estatística de desempenho da FMA, por meio do teste de correlação ordinal de Kendall, revelou que a exemplo da frequência relativa dos focos de calor nas classes de perigo calculada para o município, também o coeficiente de correlação  $\tau$  de 0,265, foi maior no ano de 2003, contra 0,253, obtido em 2004.

O período de proibição de queimadas, para o ano de 2004, em Matupá-MT, também é compatível com a indicação da FMA, pois a maioria dos dias do período foram classificados como grau de perigo muito alto. Porém, o período de proibição, conforme Figura 7, a exemplo do ano de 2003 em Matupá-MT, foi desrespeitado. Foram registrados 490 focos de calor neste período, que representa 77,04% do total de focos detectados no município, razão pela qual quando foram suprimidos da análise estatística os dias referentes ao período de proibição de queimadas, o

coeficiente de correlação de Kendall, também sofre redução, o valor de  $\tau$  passa de 0,253 para 0,230.

Pode-se observar, que dos 70 focos ocorridos no mês de julho, 46 ocorreram antes do dia 15 de julho de 2004, 24 focos foram registrados após esta data, dentro do período de proibição. Em agosto foram detectados 108 focos e setembro dos 381 focos detectados, 336 focos ocorreram antes do dia 15 de setembro de 2006.

Vale ressaltar que no ano de 2004, a exemplo de 2003, no município de Matupá o mês que registrou maior número de focos foi novamente setembro, conforme demonstrado nas Tabela 13 e 14.

Finalmente, pode-se verificar que apesar do ano de 2003 apresentar um número maior de dias críticos, no ano de 2004 o número de focos de calor foi maior. Tal fato reforça a tese da influência humana como causa principal na ocorrência de queimadas e incêndios florestais.

#### **4.6 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS**

- Comparar o desempenho da Fórmula de Monte Alegre, com índices complexos, que contemplem variáveis como: topografia, material combustível, umidade do solo e aspectos fenológicos da vegetação circundante.

- Incentivar os alunos e bolsistas do Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente (PGFMA) a realizarem inventário de material combustível, no local do experimento do LBA (Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia) em SINOP-MT, otimizando assim, a estrutura física instalada e recursos humanos disponíveis para a realização da coleta periódica de material vegetal, em áreas de Floresta Estacional Semidecidual.

- Realização de simulações “*in loco*”, por meio da implantação de pontos de ignição, em diferentes fitofisionomias, assim como, em áreas antropizadas, visando analisar o comportamento do fogo em situações que a FMA estimou, tanto baixa como alta a probabilidade de ocorrência de incêndios florestais.

- Desenvolvimento de modelos matemáticos que permitam a produção de mapas de perigo de incêndios, por meio de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e fundamentos da Geoestatística, gerados a partir de variáveis meteorológicas

e ainda fatores externos que afetam a ocorrência e propagação de incêndios florestais, como tipo de vegetação predominante, uso e ocupação do solo, densidade de estradas entre outros.

## 5 CONCLUSÃO

A análise estatística dos resultados, realizada por meio do teste de Kendall, revelou uma correlação positiva e significativa (com  $P = 0,000$ ), nos municípios de Sorriso-MT, São José do Rio Claro-MT, Tangará da Serra-MT e Matupá-MT. Dentre estes, a maior correlação observada, foi obtida no município de São José do Rio Claro-MT ( $\tau = 0,272$ ) e a menor no município de Matupá-MT, no ano de 2004 ( $\tau = 0,253$ ). No município de Rondonópolis foi observada a única correlação não significativa, dentre os municípios estudados.

Quando foram suprimidos da análise os dias do período de proibição de queimadas, observou-se, que o maior incremento no valor de  $\tau$  (52,85%), ocorreu no município de Sorriso-MT, o valor de  $\tau$  passa de 0,263 para 0,402, município que também registrou o menor percentual de focos de calor.

Porém, pode-se observar que a correlação obtida, apesar de significativa, não é alta. Esta situação se explica pelo fato de que mesmo quando o índice indica perigo extremo para a ocorrência de incêndio florestal, ele só ocorrerá se houver fontes de ignição, que estão estreitamente relacionadas as atividades de natureza antrópica, não estimadas, portanto, pela FMA que trabalha exclusivamente com variáveis meteorológicas.

Com relação ao desempenho e eficiência da FMA, verificou-se uma tendência dos focos de calor se concentrarem nas classes de perigo alto e muito alto, a frequência relativa dos focos observada, considerando-se o somatório destas duas classes, variou de 86,20% em Rondonópolis a 92,87%, verificada em São José do

Rio Claro. O valor médio da frequência relativa dos focos de calor observados nas classes de perigo em que a FMA indica grande possibilidade de ocorrência de incêndios florestais (nível alto e muito alto), nos municípios estudados é de 90,55%, mostrando a efetiva possibilidade da fórmula de Monte Alegre vir a ser adotada em Mato Grosso como instrumento para a gestão do uso do fogo, no que diz respeito a autorização de queimadas controladas ou prescritas, advertência pública, alerta e mobilização de brigadas de incêndio, avaliação da eficácia de políticas públicas e planejamento de ações de prevenção as queimadas e incêndios florestais, assim como, racionalização das ações de combate, por meio da otimização na distribuição de recursos humanos e financeiros.

## 6 BIBLIOGRAFIA

### 6.1 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

AMARAL, P.; VERÍSSIMO, A.; BARRETO, P.; VIDAL, E. **Floresta para sempre: um manual para a produção de madeira na Amazônia.** Belém/PA. IMAZON. 137 p.1998.

ARIMA, E.; UHL, C. **Pecuária na Amazônia oriental: desempenho atual e perspectivas futuras.** Belém/PA. IMAZON. Série Amazônia nº1. 44 p. 1996.

CEPTEC/INPE no estado de Mato Grosso. In: CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Produtos do CEPTEC/Observações meteorológicas/ Plataforma de coleta de dados.** 2003-2004. Disponível em: [www.ceptec.inpe.br](http://www.ceptec.inpe.br). Acesso em: 20/07/2006

COUTINHO, L. M. **As queimadas e seu papel ecológico.** Brasil Florestal (44). p 7-23, out.-nov.-dez/1980.

FERNANDES, A. E. **Sistema computacional de detecção de queimadas com imagens AVHRR/NOAA.** Dissertação de mestrado em computação aplicada. São José dos Campos/ SP. INPE. 1996.

HOLDSWORTH, A. R; UHL C. **O fogo na floresta explorada e o potencial para redução de incêndios florestais na Amazônia.** Belém/PA. IMAZON. Série Amazônia nº14. 36 p. 1998.

INMET no Distrito Federal. In: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados meteorológicos.** 2003. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/rede> de estações. Acesso em junho e julho de 2006.

INMET/9º DISME/CUIABÁ-MT. **Registros manuais de umidade relativa e precipitação da estação meteorológica de superfície convencional do município de Matupá-MT, referente ao período de 01/01/2003 a 31/12/2004.**

LATURNER, N.; MACIEL, E. **Relatório de monitoramento do sistema de detecção de queimadas, através dos satélites NOAA.** FEMA/MT. Cuiabá/MT. 1998.

SEMA/MT. **Mapa da dinâmica do desmatamento do estado de Mato Grosso.** Escala 1:1.500.000. Cuiabá/MT. 2004.

SEMA/MT. **Sistema de detecção de focos de calor – SIDFOC.** Relatório Anual. Cuiabá/MT. 18 p. 2003.

SEMA/MT. **Sistema de detecção de focos de calor – SIDFOC.** Relatório Anual. Cuiabá/MT. 18 p. 2004.

SETZER, A. W.; PEREIRA, M. C.; PEREIRA JR. **O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil.** INPE. São José dos Campos/SP. 1992.

SOARES, R. V. **Desempenho da fórmula de monte alegre: O índice brasileiro de perigo de incêndios florestais.** Revista Cerne. v.4. n°.1. p. 87-98. 1998.

SOUZA, C. J.; VERÍSSIMO, A.; UHL, C. **Zoneamento da atividade madeireira na Amazônia: Um estudo de caso para o estado do Pará.** Belém/PA. IMAZON. Série Amazônia n°18. 26 p. 1997.

VIDAL, E.; GERWING, J.; BARRETO, P.; AMARAL, P.; JOHNS, J. **Redução de desperdício na produção de madeira na Amazônia.** Belém/PA. IMAZON. Série Amazônia n°5. 18 p. 1997.

VIDAL, E.; JOHNS, J.; GERWING, J.; BARRETO, P.; UHL, C. **Manejo de cipós para a redução do impacto da exploração madeireira na Amazônia oriental.** Belém/PA. IMAZON. Série Amazônia n°13. 18 p. 1998.

## 6.2 BIBLIOGRAFIA CITADA

AZEVEDO, L. G. **Área ocupada pelo bioma cerrado, suas transições e inclusões.** IBAMA. Conhecimento científico para gestão ambiental – Amazônia, Cerrado e Pantanal.1995.

BARRETO, P.; AMARAL, P.; VIDAL, E.; UHL, C. **Custos e benefícios do manejo florestal para produção de madeira na Amazônia oriental.** Belém/PA. IMAZON. Série Amazônia n°10. 46 p. 1998.

BATISTA, A. C.; OLIVEIRA, D. S.; SOARES, R. V. **Zoneamento de risco de incêndios florestais para o estado do Paraná.** FUPEF, Série Técnica n°02. 2002.

BUSCHBACHER, R.; UHL, C.; SERRÃO, C.A. **Abandoned pastures in eastern Amazônia II. Nutrient stocks in the soil and vegetation.** Journal of Ecology 76. p. 82 -99. 1988.

CÂNDIDO, J.; COUTO, E. A. **Incêndios florestais.** Universidade Federal de Viçosa / Minas Gerais. 101 p. 1980.

CARAPIÁ, V.R. **Predição do índice de risco de incêndio e modelagem computacional do comportamento do avanço da frente do fogo no Parque Nacional da Floresta da Tijuca.** Tese de Doutorado. COPPE/UFRJ.197 p. 2006.

COCHRANE, M. A.; SHULZE, M. D. **Fire as a recurrent event in tropical forests of the eastern Amazon: effects on forest structure, biomass, and species composition.** Biotropica. 1999.

COUTINHO, L. M. **O cerrado e a ecologia do fogo.** CIÊNCIA HOJE, vol. 12, n° 68. p.22-30. 1990.

FEARNSIDE, P. M. **Greenhouse gases from deforestation in Brazilian Amazonia: net committed emissions.** Climatic Change (35). p. 321 – 360. 1997.

FILGUEIRAS, T. S. **Aproveitamento e manejo de pastagens nativas.** IBAMA.1992.

LOURENÇO, L. **Índice meteorológicos de riesgo de incendio forestal sencillos y expeditos: tendencias del riesgo para el día siguiente.** University of Chile, 1995.

MATTOS, M. M.; UHL, C. **Economic and ecological perspectives on ranching in the eastern Amazon.** World Development. 22. p 145 – 158. 1994.

MATSON, M.; DOZIER, J. **Identification of resolution high temperature sources using a thermal IR sensor.** Photogrammetric Engineering and Remote Sensing. v.47. 1981.

MEGGERS, B. J. **Archeological evidence for the impact of Mega – Niño events of Amazonia during the past two millennia.** Climate Change 28. p 21-38. 1994.

MOUTINHO, P. R. **Acabar com a saúva, mas nem tanto.** Ciência Hoje 18. p 10 - 11. 1995.

MOUTINHO, P. R. **Impactos da formação de pastagens sobre a fauna de formigas: conseqüências para a recuperação florestal na Amazônia oriental.** Em: Floresta Amazônica: Dinâmica, Regeneração e Manejo. p. 155 – 170. INPA, Manaus/AM.1998.

NEPSTAD, D. C. **A floresta em chamas: Origens, impactos e prevenção de fogo na Amazônia.** Brasília/DF. PPG7. 172 p. 1999.

NOBRE, C. A.; SELLERS P. J.; J. SHUKLA, J. **Amazonian deforestation and regional climate change.** Journal of Climate. p. 957 – 988. 1991.

OMETO, J. C. **Bioclimatologia vegetal.** 1 ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 440 p. 1981.

PEREIRA, JR., A. C. **Deteção de queimadas através do sensor AVHRR dos satélites NOAA.** INPE. São José dos Campos. 49 p. 1997.

PEREIRA, M. C.; SETZER, A. W. **Deteção de queimadas e plumas de fumaça na Amazônia através de imagens dos satélites NOAA.** In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. Gramado/RS. Anais. São José dos Campos. INPE. v. 1. p. 701-709. 1986.

MURGEL, M. C. O. **Diagnóstico sócio econômico ecológico do estado de Mato Grosso – Consolidação dos dados secundários.** PRODEAGRO/SEPLAN/MT. Cuiabá/MT. 1997.

SALATI, E.; NOBRE C. **Possible climatic impacts of tropical deforestation.** Climatic Change 19. p. 177-198. 1991.

SALDARRIAGA, J. G.; WEST, D. C.; UHL, C. **Long – term chronosequence of forest succession in the upper Rio Negro of Columbia and Venezuela.** Journal of Ecology 76. p. 938 – 958. 1988.

SANFORD, R. L., J. SALDARRIAGA, K. CLARK, C. UHL e R. HERRERA. **Amazon rain-forest fires.** Science 227. p. 53-55. 1985.

SETZER, A.; JUSTINO, B. F.; SOUZA, S. S. **Relação entre focos de calor e condições meteorológicas no Brasil.** XII Congresso Brasileiro de Meteorologia. Foz de Iguaçu-PR. p. 2086-2093. 2002.

SOARES, R. V. **Determinação de um índice de perigo de incêndio para a região centro paranaense, Brasil.** Turrialba/Costa Rica. CATIE/IICA. 72 p. (Tese de Mestrado). 1972.

SOARES, R. V. **Incêndios florestais: Controle e uso do fogo.** Curitiba/PR. Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná. 213 p. 1985.

TARIFA, J. R.; SETTE, D. M. **Atlas climatológico de Mato Grosso.** SEPLAN/MT. 2006.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R. **As Queimadas.** CIÊNCIA HOJE, vol. 07, nº 40. p 25-28. 1988.

UHL, C.; BUSCHBACHER, R. **Queimada.** CIÊNCIA HOJE, volume especial Amazônia. p. 84-88. 1991.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B. **Deforestation, fire susceptibility and potential tree responses to fire in the eastern Amazon.** Ecology. p. 437 – 449. 1990.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B.; CUMMINGS, D. L. **Fire in the Venezuelan Amazon :Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforest of Venezuela.** Oikos. p. 176 – 184. 1988.

UHL, C.; KAUFFMAN, J. B.; SILVA, E. D. **Os caminhos do fogo na Amazônia.** CIÊNCIA HOJE, vol.11, nº65. p. 24-32. Agosto/1990.

UHL, C.; VIEIRA, I. **Seleção Predatória.** CIÊNCIA HOJE, volume especial Amazônia. p.108-115. 1991.

VIEIRA, I. C.; SALOMÃO, R. P.; ROSA, N.; NEPSTAD, D. C.; ROMA, J. **Renascimento da floresta no rastro da agricultura.** Ciência Hoje 20. p. 38 – 45. 1996.