

Relação entre ocorrência de queimadas no Cerrado e condições meteorológicas na estação seca de 1998.

Alfredo Pereira ^a, José Eduardo dos Santos ^b

^a Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE)

Caixa Postal 515, São José dos Campos, SP, Brazil - 12201-970

Email: alfredo@dsr.inpe.br

^b Departamento de Hidrobiologia, Universidade Federal de São Carlos (UFSCar)

Rodovia Washington Luis, km 235, São Carlos, SP, Brazil - 13565-905

Resumo

As queimadas antrópicas têm maior incidência no período de estiagem do Cerrado quando as condições meteorológicas são propícias à combustão vegetal. Este estudo avalia a relação entre as queimadas ocorridas na estação seca de 1998 do Cerrado, ano de ocorrência do evento El Nino, e os parâmetros meteorológicos relacionados à umidade e combustão vegetal. Os focos de queimadas detectados pelo AVHRR/NOAA-12 foram a verdade de campo. As áreas com queimadas apresentaram as seguintes condições: precipitação < 2 mm; precipitação acumulada de 5 dias < 25 mm; umidade relativa do ar < 60%; temperatura do ar > 28°C; mais de um dia sem chuva antecedendo a queimada. Os resultados mostraram que, no período analisado: i) os locais com e sem queimadas apresentaram condições meteorológicas mínimas propícias à combustão da vegetação; ii) a maior parte do Cerrado estava susceptível à ocorrência de fogo. Os parâmetros meteorológicos analisados apresentaram diferenças estatísticas significantes entre os locais com e sem queimadas, com menor precipitação e umidade relativa do ar e maior temperatura do ar nas áreas queimadas, o que pode indicar a necessidade de maior eficiência da combustão vegetal quando utilizada no manejo agropecuário.

Palavras chaves: Cerrado, savana, queimada, meteorologia, análise espacial, sensoriamento remoto.

The relationship between fire occurrence in Brazilian savanna and meteorological conditions in 1998's dry season.

Abstract

Anthropogenic fire has high incidence in the dry season of the Cerrado —Brazilian Savannas—, when the meteorological conditions are propitious for vegetation combustion. In this paper we evaluate the relationship between fire occurrence in 1998's dry season of the Cerrado and meteorological conditions related to humid and combustion of vegetation. Fires spots detected by AVHRR/NOAA-12 were the truth data. The areas with fires presented the following conditions: precipitation < 2 mm; 5 days accumulated precipitation < 25 mm; relative humidity < 60%; air temperature > 28°C; more than one day without rain before fire. Both areas with and without fires yielded to meteorological conditions for vegetal combustion and the most of Cerrado area presented susceptibility to fire. The meteorological parameters presented statistics differences between the areas with and without fire: the burning areas were higher air temperature and lower precipitation and humidity relative. The possible explanation is need of higher efficiency in vegetal combustion for better agricultural management.

Keywords: Cerrado; savanna; fire; meteorology; spatial analysis; remote sensing.

1 - Introdução

O Cerrado é a maior região produtora de grãos do Brasil (ALHO & MARTINS, 1995) e sua área foi antropizada em cerca de 65% do Cerrado devido à expansão agropecuária (MANTOVANI & PEREIRA, 1998). Mas, apesar da utilização de modernas técnicas na agropecuária, ainda hoje é mantida a antiga prática de uso do fogo para renovação e limpeza de pastagens, bem como para abertura de novas áreas agrícolas, devido ao seu baixo custo COUTINHO (1990). Foi estimado que cerca de 20 a 30% do Cerrado são queimados anualmente devido ao uso em práticas agropecuárias (COUTINHO, 1990; FRANÇA, 2000). Essa elevada incidência de queimadas tem sido relacionada com efeitos prejudiciais ao ambiente, tais como: redução da biodiversidade; empobrecimento do solo pela perda de nutrientes; erosão do solo pela sua maior exposição à chuva (ALHO & MARTINS, 1995; MUELLER-DUMBOIS & GOLDAMMER, 1990); poluição no âmbito local, como a causada pelo ozônio (O₃) resultante de emissão de monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio NO_x e hidrocarbonetos; mudanças climáticas regionais; mudança climática em escala global devido ao efeito estufa decorrente da emissão de dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) (CRUTZEN & ANDREAE, 1990; MUELLER-DUMBOIS & GOLDAMMER, 1990); etc.

Queimadas em vegetação só ocorrem sob três condições simultâneas: a) condições meteorológicas propícias; b) disponibilidade de combustível vegetal; c) existência de fonte de ignição. As condições meteorológicas da estação chuvosa no Cerrado propiciam o crescimento e acúmulo de material vegetal, enquanto as do período de estiagem secam a maior parte desse material, formado principalmente por gramíneas, tornando-o combustível (OLIVEIRA, 1998; RAMOS NETO, 2000). É estimado que cerca de 70 a 75% da área queimada no Cerrado ocorrem no período seco (FRANÇA, 2000).

A umidade da vegetação tem relação direta com sua combustibilidade (RONDE *et al.* 1990, CHUVIECO & MARTIN, 1994). Quando a umidade do combustível é inferior a 30% pode ocorrer a queima, sendo que inferior a 7% é a condição ideal para o início e espalhamento de uma queimada; e por volta de 35% a queima do combustível é ineficiente ou pode nem ocorrer

(NOBLE *et al.*, 1980; RONDE *et al.*, 1990). Considerando que medidas diretas da umidade do combustível vegetal são complexas e requerem custosas amostragens espaciais, e que ela varia principalmente em função da precipitação, umidade relativa do ar, temperatura do ar e vento, então, dados meteorológicos são utilizados para estimá-la (CHUVIECO & MARTIN, 1994). De modo geral, ocorrência de precipitação e alta umidade relativa do ar diminuem a possibilidade de queimadas e vice-versa. Umidade do ar inferior a 30-40% é condição ótima para o início e espalhamento de um incêndio de difícil controle (TURNER *et al.*, 1961; RONDE *et al.*, 1990). Por outro lado, umidade do ar superior a 60% pode impedir que a combustão vegetal seja sustentada (RONDE *et al.*, 1990). Uma chuva de 10 a 20 mm molha o solo e o combustível, impedindo sua queima no mesmo dia (SOARES, 1985; RONDE *et al.*, 1990). A temperatura do ar não é um fator limitante para a queima, mas valores acima de 25°C propiciam boas condições para a combustão (RONDE *et al.*, 1990), sendo que, quanto maior a temperatura mais provável uma fonte de ignição resultar em queimada (DEEMING *et al.*, 1974).

Quanto à fonte de ignição para iniciar o fogo no Cerrado, a ação humana é a principal origem (COUTINHO, 1990), apesar de que podem ser causadas por raios, conforme mostrou RAMOS NETO (2000) para o Parque Nacional de Emas, GO.

1.1 - Objetivo

Informações sobre as condições meteorológicas de ocorrência de queimadas em vegetação no Cerrado são escassas. Este trabalho tem como objetivo principal avaliar a relação entre as condições meteorológicas e a ocorrência de queimadas na vegetação do Cerrado. Dois objetivos específicos foram estabelecidos para essa avaliação: 1) determinar as condições meteorológicas nas quais ocorrem as queimadas na vegetação do Cerrado; 2) verificar as diferenças meteorológicas entre as áreas com e sem a ocorrência de queimadas em vegetação.

2 - Materiais e Método

2.1 - Área de estudo

A área de estudo é a mesma utilizada por PEREIRA JR. (1992) e FRANÇA (2000), segundo interpretação do Mapa de Vegetação do Brasil produzido pelo INSTITUTO BRASILEIRO DE

GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA ([IBGE], 1993), conforme Figura 1. Ela abrange a porção contínua da Região Fitoecológica do Cerrado, definida como ‘Savana’ no Mapa de Vegetação, junto com as áreas de ‘Tensão Ecológica’, que indicam o contato entre Cerrado e outros tipos de vegetação. Enclaves de ‘Floresta’ ou Caatinga, definida como ‘Savana Estépica’, também estão incluídos. A área de estudo ocupa 2 200 000 km², cobrindo cerca de um quarto do território brasileiro, entre os paralelos 02°30’ S e 26°00’ S e os meridianos 41°45’ O e 62°00’ O.

Figura 1

A cobertura vegetal predominante é o Cerrado *lato sensu*, caracterizada por seus diferentes tipos fitofisionômicos, que apresentam um gradiente de densidade de árvores, dispersas sobre um estrato herbáceo-arbustivo, geralmente formado por gramíneas (COUTINHO, 1990, 2000). O relevo é plano a suavemente ondulado, com amplos planaltos e altitudes variando de 30 a mais de 1600 m, com cerca de 95% da área entre 300 e 900 m (DIAS, 1996).

O clima predominante no Cerrado é tropical-quente-subúmido (Aw), caracterizado por forte sazonalidade das chuvas e estabilidade da temperatura média diária (DIAS, 1996). Devido à sua grande extensão, o Cerrado apresenta uma variabilidade climática regional. A precipitação anual média mostra tendência de aumento na direção Leste-Oeste, variando de 600 a 2000 mm, sendo que em 75% da área do Cerrado a precipitação oscila entre 1000 e 1600 mm (ASSAD & EVANGELISTA, 1994). O período de estiagem, quando ocorre de 5 a 10% da precipitação, mostra variação na direção Sudoeste-Nordeste, ocorrendo de maio a setembro nas regiões Sudoeste e Central do Cerrado e junho a novembro na Nordeste (CASTRO *et al.*, 1994). As temperaturas mais elevadas ocorrem durante a primavera-verão, com médias mensais de 26 a 30°C no Norte, 24 a 26°C nas áreas baixas do Centro e Sul, e 20 a 24°C nas regiões elevadas dos estados de Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso, Bahia e Minas Gerais. As médias mensais das temperaturas máximas variam de 30 a 36°C de Sul para Norte, podendo atingir valores diários ao redor de 40°C. No inverno, na maior parte do Cerrado, as médias mensais são superiores a 20°C, sendo que, nos estados de Tocantins, Maranhão e Piauí são acima de 24°C e

somente nas terras altas apresentam valores entre 15 e 20°C. As médias mensais das temperaturas mínimas variam de 12 a 16°C, de Sul para Norte do Cerrado, nas superfícies baixas, exceto nos estados de Maranhão e Piauí, e de 6 a 12°C nas áreas altas, podendo atingir valores diários ao redor de 0°C em alguns locais (NIMER & BRANDÃO, 1989).

2.2 - Materiais

Foram usados dados diários das coordenadas geográficas dos focos de queimadas detectados em imagens do canal 3 (3,7 µm, infravermelho termal) do sensor 'Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo do satélite National Oceanographic and Atmosphere Agency' - 12 (NOAA-12), passagem vespertina (21h30 GMT), do período de maio a outubro/98. Os dados foram gerados pela Divisão de Satélites Ambientais (DSA) do INPE, baseado no método descrito por PEREIRA (1987) e PEREIRA & SETZER (1993).

Os dados meteorológicos diários foram extraídos do banco de dados do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC). Esse banco é composto por dados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e das Plataformas de Coleta de Dados (PCD) do INPE, cujas localizações são mostradas na Figura 1. Foram utilizados os seguintes parâmetros do período de maio a outubro/98: precipitação das últimas 24 horas, coletada às 12h00 GMT; umidade relativa e temperatura do ar, coletadas às 18h00 GMT.

2.3 - Método

2.3.1 - Processamento dos dados meteorológicos

Inicialmente, foi analisada a consistência dos dados meteorológicos, retirando-se os valores espúrios. Dessa forma, a umidade relativa do ar foi limitada ao intervalo de 0 a 100%, a temperatura do ar de -30 a +60°C e a precipitação diária de 0 a 500 mm.

Os dados selecionados foram incorporados a um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e interpolados pelo método da média ponderada pela distância, por quadrante, resultando em uma grade numérica regular diária para cada parâmetro meteorológico (SPRING-DPI/INPE, 2006), com resolução de 50 km, similar a de 40 km utilizado pelo "Risk Forecast" do "European Forest Fire Information System" – EFFIS (European Communities, 2006). Isso significa

que cada ponto da grade regular tem associado um valor para cada um dos parâmetros meteorológicos, representando assim, a condição em uma célula de 50 km x 50 km. Um exemplo de grade numérica regular é mostrada na Figura 2. Adicionalmente, foi calculado o número de dias consecutivos sem chuva, com base nos dados de precipitação, resultando em mais um parâmetro meteorológico para cada célula da grade. Nesse cálculo, as precipitações de até 5 mm foram consideradas sem efeito sobre a contagem de dias (TURNER *et al.*, 1961).

Figura 2

2.3.2 - Processamento dos focos de queimadas

Os dados de localização dos focos de queimadas foram incorporados ao SIG e, em seguida, selecionados aqueles oriundos das passagens do NOAA-12 com maior recobrimento do Cerrado. Esse procedimento resultou na seleção de dados de focos de queimadas de duas passagens orbitais por quinzena, no período de maio a outubro/98, portanto, 24 datas. Um exemplo de focos de uma data é apresentado na Figura 2. Para compatibilidade dos focos com as grades de dados meteorológicos, foram geradas grades regulares diárias com resolução de 50 km, com o número de focos de queimadas. Portanto, neste caso, cada ponto da grade regular corresponde ao número de focos ocorridos dentro da célula de 50 km x 50 km. Os focos de queimadas foram considerados como verdade de campo em relação à incidência de queimadas em vegetação do Cerrado, indicando os locais e datas em que as três condições para a ocorrência de combustão vegetal foram satisfeitas.

2.3.3 - Intersecção e análise dos dados

Para caracterizar as condições meteorológicas de ocorrência de queimadas no Cerrado, as células das grades meteorológicas foram classificadas em dois grupos: com ocorrência de focos de queimadas e sem ocorrência de focos de queimadas. Isso foi feito a partir da intersecção das grades regulares de focos de queimadas dos dias selecionados com as meteorológicas do mesmo dia, ou seja, para 24 datas. Posteriormente, foram realizados cálculos para: a) determinar as condições meteorológicas no conjunto de células com focos de queimadas; b) determinar as condições meteorológicas no conjunto de células sem focos de queimadas; c)

verificar a existência de diferença entre eles. Neste último cálculo, foi aplicado o teste não-paramétrico U de Mann-Whitney (SIEGEL, 1977), para verificar a existência de diferença estatisticamente significativa entre as medianas dos dois conjuntos.

3 - Resultados e Discussão

3.1 - Interpolações

Uma limitação geralmente associada com medidas meteorológicas é a esparsa distribuição geográfica dos pontos de coleta de dados, reduzindo a confiabilidade das interpolações (ASSAD & EVANGELISTA, 1994; CHUVIECO & MARTIN, 1994; USDA Forest Service, 2006). A rede de postos meteorológicos no Cerrado tem distribuição irregular, concentrada na região Centro-Sul, e baixa densidade, com cerca de 20 mil km²/posto, Segundo ASSAD & EVANGELISTA (1994). Neste trabalho, a densidade dos postos meteorológicos foi de cerca de 14 mil km²/posto, com dois terços deles localizados na região Centro-Sul. Essa densidade, apesar de maior do que aquela citada, ainda é baixa e com distribuição espacial irregular. Por isso, a resolução das interpolações foi limitada em 50 km, compatível com aquela utilizada pelo "Risk Forecast" do "European Forest Fire Information System" – EFFIS (European Communities, 2006), mas inferior à resolução de 10 km utilizada no "National Fire Danger Rating System" dos EUA (USDA Forest Service, 2006).

3.2 - Condições meteorológicas na ocorrência de queimadas

Analisando os cinco parâmetros meteorológicos no conjunto de células com focos de queimadas do período de maio a outubro/1998, tendo como referência o percentil 95, as queimadas ocorreram nas seguintes condições: a) precipitação diária menor que 2 mm; b) precipitação acumulada de 5 dias menor que 25 mm; c) umidade relativa do ar menor que 60%; d) temperatura do ar maior que 28°C; e) mais que um dia sem chuva. Esses valores são similares aos encontrados na literatura para as condições mínimas propícias à combustão vegetal que são: a) precipitação inferior a 5 mm em 24 horas é considerada sem efeito na umidade do combustível vegetal (adaptado de Turner *et al.*, 1961 e Soares, 1985); b) chuva de 20 mm impede a queima do combustível (Ronde *et al.*, 1990), valor que, na ausência de dados

de literatura, foi considerado como limite para precipitação acumulada de 5 dias; c) umidade relativa do ar abaixo de 60% possibilita a queima (Ronde *et al.*, 1990); d) temperatura do ar acima de 25°C é mais propícia à queima (Ronde *et al.*, 1990).

Considerando as condições meteorológicas mínimas requeridas para a queima vegetal, segundo dados da literatura citados no parágrafo anterior, foi constatado que elas ocorreram na maioria das células do Cerrado, tanto para aquelas com focos de queimadas quanto naquelas sem focos, nos conjuntos mensais e de todo o período de estudo (maio a outubro/1998). Para o período de estudo, conforme a Tabela 1, 82% (16.704) das células do Cerrado apresentaram simultaneamente todas as condições meteorológicas mínimas, o que ocorreu com 86% (2.499) das células com focos de queimadas, e com 81% (14.205) das células sem focos de queimadas. Analisando os dados mensais, o menor valor percentual de células com as condições meteorológicas mínimas foi 64% em outubro para o conjunto de todas as células do Cerrado, enquanto que foi 75% em maio para as células com focos de queimadas e 61% em outubro para as células sem focos de queimadas (Tabela 1). Portanto, foi constatado que as condições meteorológicas mínimas requeridas para a ocorrência de queimadas em vegetação ocorreram na maioria das células dos conjuntos mensais.

Tabela 1

Os valores médios dos parâmetros meteorológicos corroboram esses resultados, pois estavam dentro das condições mínimas propícias às queimadas, tanto para o conjunto de células com focos de queimadas quanto para aquele sem focos, nos conjuntos mensais e de todo o período de estudo, conforme a Tabela 2. Os valores médios encontrados para o período de maio a outubro/1998 foram: a) precipitação diária de 0,3 mm para o conjunto de células com focos de queimadas e 0,6 mm para o conjunto sem focos; b) precipitação acumulada de 5 dias de 4,3 mm para o conjunto com focos de queimadas e 5,3 mm para o conjunto sem focos; c) umidade relativa do ar de 39,7% para o conjunto com focos de queimadas e 43,9% para o conjunto sem focos; d) temperatura do ar de 34,7°C para o conjunto com focos de queimadas e 31,7°C para o

conjunto sem focos; e) 14,9 dias sem chuva para o conjunto com focos de queimadas e 18,1 dias para o conjunto sem focos de queimadas (Tabela 2).

Tabela 2

Para a porcentagem acumulada de 95% das células, os valores dos parâmetros meteorológicos também foram similares aos das condições mínimas propícias à queima, tanto para o conjunto de células com focos de queimadas quanto para aquele sem focos. Os valores encontrados foram: a) entre zero e 5 mm de precipitação diária, tanto para o conjunto de células com focos de queimadas quanto para o sem focos de queimadas (Tabela 3); b) entre zero e 30 mm de precipitação acumulada de 5 dias, tanto para o conjunto de células com focos de queimadas quanto para o sem focos de queimadas (Tabela 4); c) entre 20 e 60% de umidade relativa do ar para o conjunto de células com focos de queimadas e entre 20 e 70% de umidade relativa do ar para o conjunto sem focos de queimadas (Tabela 5); d) temperatura do ar entre 28 e 40°C para o conjunto de células com focos de queimadas e entre 24 e 38°C para o conjunto sem focos de queimadas (Tabela 6); e) entre um e 100 dias sem chuva tanto para o conjunto de células com focos de queimadas quanto para o sem focos de queimadas (Tabela 7).

Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7

Esses resultados mostram que as condições meteorológicas mínimas propícias para ocorrência de queimadas, segundo os dados de literatura, estavam presentes na maior parte do Cerrado, no período de maio a outubro/1998. Portanto, a maioria do Cerrado estava susceptível a ocorrência de queimadas. Deve ser observado que estudos específicos deverão ser realizados para determinar as condições meteorológicas mínimas propícias à combustão da vegetação para o Cerrado. Essa informação poderá ser obtida com a utilização do método deste trabalho ao longo de um período anual, abrangendo a estação chuvosa e a seca. As condições meteorológicas mínimas para ocorrência de queimadas no Cerrado provavelmente seriam encontradas nos períodos de transição da estação chuvosa para a estação seca e vice-versa.

Os valores médios dos parâmetros meteorológicos do período de maio a outubro/1998, conforme a Tabela 2, mostram também evidências que ocorreram diferenças entre as condições

meteorológicas dos conjuntos de células com e sem focos de queimadas. Áreas com focos de queimadas apresentam menor precipitação e umidade relativa do ar e maior temperatura do ar que as áreas sem focos de queimadas, de modo similar a estudos realizados anteriormente (Turner et al., 1961; Deeming et al., 1974; Soares, 1985; Ronde et al., 1990). As diferenças foram confirmadas estatisticamente, conforme a Tabela 8, com os dados do período de maio a outubro/1998 mostrando diferença com nível de significância inferior a 0,01 para todos os parâmetros meteorológicos, exceto para o parâmetro dias sem chuva, que não mostrou diferença significativa.

Tabela 8

Os dados meteorológicos mensais dos meses de agosto a outubro mostraram diferenças significativas com nível de significância de 0,01 para todos os parâmetros meteorológicos, com exceção de precipitação acumulada de 5 dias em setembro e umidade relativa do ar em agosto, que não apresentaram diferença (Tabela 8). Nos meses de maio a julho isso não ocorreu, com apenas alguns parâmetros com diferença significativa abaixo do nível de significância de 0,05: temperatura e umidade relativa do ar em maio e julho, precipitação diária em maio e precipitação acumulada de 5 dias em junho (Tabela 8).

Esses resultados indicariam que, apesar da ocorrência das condições meteorológicas mínimas para queima da vegetação na maior parte do Cerrado, em todo período de maio a outubro/1998, as queimadas no período de maio a julho teriam características diversas daquelas do período de agosto a outubro. Uma explicação plausível é que no primeiro período elas ocorreriam próximas das condições meteorológicas mínimas propícias à queima, possibilitando um melhor controle do fogo e conseqüentemente da área queimada. Já no segundo período, as queimadas ocorreriam em condições meteorológicas mais extremas do que as mínimas requeridas para queima da vegetação. Essa atitude decorria da necessidade de maior eficiência na combustão da vegetação e de melhor propagação do fogo, atingindo áreas maiores e eliminando quase toda vegetação seca, com melhor limpeza do terreno.

Necessidade de estender o estudo para outros anos para verificar variabilidade inter-anual.

4 - Conclusões

Os resultados mostram que no período estudado, de modo geral, tanto os locais com focos de queimadas quanto os sem focos apresentaram as condições meteorológicas mínimas propícias à combustão vegetal, citadas na literatura. Portanto, a maior parte do Cerrado estava susceptível a ocorrência de queimadas, considerando o fator meteorológico. Assim, os outros fatores necessários para queima da vegetação — ação antrópica e disponibilidade de combustível vegetal —, devem ser averiguados se tiveram um papel mais importante na susceptibilidade ao fogo e na ocorrência de queimadas. Esse conhecimento possibilita o planejamento de medidas preventivas, otimizando a alocação de recursos pela melhor relação custo/benefício, em comparação com as medidas supressivas.

Por outro lado, apesar da existência de condições meteorológicas mínimas para combustão da vegetação em quase todo Cerrado, a maioria dos focos de queimadas ocorreram preferencialmente em condições meteorológicas mais extremas, ou seja, menor precipitação e umidade relativa do ar e maior temperatura do ar, quando comparado com as condições dos locais sem incidência de focos. Essa diferença ocorreu, possivelmente, porque a ação humana de iniciar a queima ocorreu preferencialmente em condições meteorológicas mais extremas do que as mínimas requeridas. É Provável que essa atitude seja explicada pela necessidade de maior eficiência na queima do combustível vegetal e melhor propagação do fogo que, dessa forma, atingiria áreas extensas e eliminaria quase toda vegetação seca, com maior eficiência na limpeza da área a ser utilizada pelos agropecuaristas. Essa hipótese deverá ser verificada no futuro.

5 – Agradecimentos

Os autores agradecem ao suporte financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e do INPE e ao apoio do Laboratório de Análise e Planejamento Ambiental (LAPA) da UFSCar e da Divisão de Sensoriamento Remoto (DSR) do INPE.

6 – Referências Bibliográficas

- ALHO, C.J.R.; MARTINS, E.S. **De grão em grão, o Cerrado perde espaço - Cerrado: impactos do processo de ocupação**. Brasília: WWF, 1995.
- ASSAD, E.D.; EVANGELISTA, B.A. Análise freqüencial da precipitação pluviométrica. In: ASSAD, E.D. (Ed.). **Chuva no Cerrado: análise e espacialização**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1994, p. 25-42.
- CASTRO, L.H.R.; MOREIRA, A.M.; ASSAD, E.D. Definição e regionalização dos padrões pluviométricos dos Cerrados brasileiros. In: ASSAD, E.D. (Ed.). **Chuva no Cerrado: análise e espacialização**. Brasília: EMBRAPA-CPAC, 1994, p. 13-23
- CHUVIECO, E.; MARTIN, M.P. Global fire mapping and fire danger estimation using AVHRR images. **Photogramm. Eng. Rem. S.**, v.60, n.5, p. 563-570, 1994.
- COUTINHO, L.M. Fire in the ecology of the Brazilian cerrado. In: GOLDAMMER, J.G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990, p. 82-105.
- COUTINHO, L.M. **Cerrado**. São Paulo: Estação Gráfica Ltda, 2000. Disponível em: <<http://eco.ib.usp.br/cerrado>>. Acesso em 07 ago. 2006.
- CRUTZEN, P.J.; ANDREAE, M. O. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. **Science**, v.250, p. 1669-1678, 1990.
- DEEMING, J.E.; LANCASTER, J.W.; FOSBERG, M.A.; FURMAN, R.W.; SCHROEDER, M.J. **The national fire-danger rating system**. Fort Collins: RMRS/FS, 1974.
- DIAS, B.F.S.. Cerrados: uma caracterização. In: DIAS, B.F.S. (Ed.) **Alternativas de desenvolvimento dos cerrados: manejo e conservação dos recursos naturais renováveis..** Brasília: FUNATURA, 1996, p 11-25.
- FRANÇA, H. **Metodologia de identificação e quantificação de áreas queimadas no Cerrado com imagens AVHRR/NOAA**. 2000. 161 f. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Mapa de Vegetação do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993. Escala 1: 5.000.000.

- MANTOVANI, J.E.; PEREIRA, A. 1998. Estimativa da integridade da cobertura vegetal do Cerrado através de dados Tm/Landsat. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9, 1998, Santos. **Anais**. São José dos Campos: INPE/SELPER, 1998, p. 1455-1466.
- MUELLER-DUMBOIS, D.; GOLDAMMER, J.G.. Fire in the tropical ecosystems and global environmental change: an introduction. In: GOLDAMMER, J.G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990, p. 1-10.
- NIMER, E.; BRANDÃO, A.M.P.M. **Balanço hídrico e clima da Região dos Cerrados**. Rio de Janeiro: IBGE, 1989.
- NOBLE, I.R.; BARY, G.A.V.; GILL, A.M. McArthur's fire-danger meters expressed as equations. **Aust. J. Ecol.**, v.5, p. 201-203, 1980.
- OLIVEIRA, P.E. Fenologia e biologia reprodutiva das espécies de Cerrado. In: SANO, S.M. e ALMEIDA, S.P. (Eds.). **Cerrado: Ambiente e Flora**. Planaltina: EMBRAPA/CPAC, 1998, p.169-192.
- PEREIRA JR., A. C. **Monitoramento de queimadas na região dos Cerrados com utilização de dados AVHRR/NOAA corrigidos com dados TM/Landsat**. 1992. 220 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992.
- PEREIRA, M.C. **Deteção, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e Landsat, e dados de aeronave**. 1987. 268 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1987.
- PEREIRA, M.C.; SETZER, A.W. Spectral characteristics of deforestation fires in NOAA/AVHRR images. **Int. J. Remote Sens.**, v.14, n.3, p. 583-597, 1993.
- RAMOS NETO, M.B. **O Parque Nacional de Emas (GO) e o fogo: implicações para a conservação biológica**. 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Ecologia). Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

RONDE, C.; GOLDAMMER, J.G.; WADE, D.D.; SOARES, R.V. Prescribe fire in industrial plantations. In: GOLDAMMER, J.G. (Ed.). **Fire in the tropical biota**. New York: Springer-Verlag, 1990, p. 216-272.

SIEGEL, S. **Estatística não-paramétrica (para ciências do comportamento)**. São Paulo: McGraw-Hill, 1977.

SOARES, R.V. **Incêndios florestais – controle e uso do fogo**. Curitiba: FUPEF, 1985.

European Communities. Risk Forecast. In: European Communities, **European Forest Fire Information System – EFFIS**. [Ispra]: Institute for Environment and Sustainability. Disponível em <http://effis.jrc.it/Risk_Forecast>. Acesso em 06 set. 2006.

SPRING – DPI/INPE. Modelagem Digital do Terreno. In: SPRING – DPI/INPE, **SPRING**. [São José dos Campos]: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/modelagem.html>>. Acesso em 06 set. 2006.

USDA Forest Service. Processing. In: USDA Forest Service, USFS -WFAS **Wildland Fire Assessment System**. [Missoula]: The Missoula Fire Sciences Lab e SEM. Disponível em: <<http://www.wfas.us/content/view/14/28/>>. Acesso em 06 set. 2006.

TURNER, J.A.; LILLYWHITE, J.W.; PIESLAK, Z. **Forecasting for forest fire services**. Geneva: World, Meteorological Organization, 1961. (Technical Note No. 42).

Tabela 1 – Células do Cerrado – total, com e sem focos de queimadas – que satisfazem simultaneamente as condições meteorológicas mínimas propícias às queimadas*, para o período de maio-outubro/1998.

Mês – Dias	Células do Cerrado			Células do Cerrado <u>com</u> focos de queimadas				Células do Cerrado <u>sem</u> focos de queimadas			
	Total	Propícias às queimadas		Total	Propícias às queimadas			Total	Propícias às queimadas		
	Número (a)	Número (b)	% (b/a)	Número (b)	Número (c)	% (c/a)	% (c/b)	Número (b)	Número (c)	% (c/a)	% (c/b)
Maio – 08, 13, 22, 26	3412	2628	77%	69	52	2%	75%	3343	2576	75%	77%
Jun. – 04, 09, 18, 22	3412	2954	87%	191	150	4%	79%	3221	2804	82%	87%
Jul. – 01, 06, 20, 29	3412	3201	94%	330	297	9%	90%	3082	2904	85%	94%
Ago. – 03, 12, 16, 21	3412	2714	80%	645	537	16%	83%	2767	2177	64%	79%
Set. – 03, 12, 17, 26	3412	3032	89%	1045	969	28%	93%	2367	2063	60%	87%
Out. – 01, 05, 19, 23	3412	2175	64%	634	494	14%	78%	2778	1681	49%	61%
Maio a Outubro	20.472	16704	82%	2914	2499	12%	86%	17558	14205	69%	81%

* Condições meteorológicas propícias às queimadas: precipitação diária < 5 mm; precipitação acumulada 5 dias < 20 mm; umidade relativa ar < 60%; temperatura ar > 25°C.

Tabela 2 – Valores médios mensais para os parâmetros meteorológicos, nas células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio-outubro/1998.

Mês	Dias sem chuva		Precipitação Diária (mm)		Precipitação Acumulada de 5 dias (mm)		Umidade Relativa Ar Diária 18Z (%)		Temperatura Ar Diária 18Z (°C)	
	Com focos	Sem focos	Com focos	Sem focos	Com focos	Sem focos	Com focos	Sem focos	Com focos	Sem focos
Maio	9,0	11,4	0,5	1,1	6,9	4,7	45,7	49,0	29,8	30,8
Junho	22,6	19,5	0,0	0,0	0,8	2,3	44,9	44,7	30,4	30,2
Julho	40,0	37,7	1,2	0,3	1,8	0,7	35,3	37,7	32,5	31,7
Agosto	16,2	19,8	0,1	0,4	0,8	5,6	45,6	45,3	35,4	32,7
Setembro	11,8	11,5	0,2	0,6	3,8	4,4	36,5	38,9	35,2	33,3
Outubro	8,7	6,6	0,3	1,5	10,9	15,1	38,5	46,7	35,0	32,2
Maio a Outubro	14,9	18,1	0,3	0,6	4,3	5,3	39,7	43,9	34,7	31,7

Obs.: foram analisadas 3.412 células por mês e 20.472 de maio a outubro.

Tabela 3 – Precipitação diária para as células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio a outubro/1998.

Precipitação Diária (mm)	Células do Cerrado <u>com</u> focos de queimadas			Células do Cerrado <u>sem</u> focos de queimadas		
	Número	%	% Acumulada	Número	%	% Acumulada
0-5	2853	98%	98%	16874	96%	96%
5-10	41	1%	99%	391	2%	98%
10-15	13	0%	100%	154	1%	99%
15-20	4	0%	100%	67	0%	100%
20-50	3	0%	100%	72	0%	100%

Tabela 4 – Precipitação acumulada de 5 dias para as células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio a outubro/1998.

Precipitação Acumulada de 5 dias (mm)	Células do Cerrado <u>com</u> focos de queimadas			Células do Cerrado <u>sem</u> focos de queimadas		
	Número	%	% Acumulada	Número	%	% Acumulada
0-10	2463	85%	85%	14565	83%	83%
10-20	244	8%	93%	1512	9%	92%
20-30	128	4%	97%	679	4%	95%
30-40	50	2%	99%	381	2%	98%
40-50	15	1%	100%	196	1%	99%
50-60	6	0%	100%	106	1%	99%
60-70	5	0%	100%	53	0%	100%
70-130	3	0%	100%	66	0%	100%

Tabela 5 – Umidade relativa do ar às 18h GMT para as células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio a outubro/1998.

Umidade Diária 18Z (%)	Células do Cerrado <u>com</u> focos de queimadas			Células do Cerrado <u>sem</u> focos de queimadas		
	Número	%	% Acumulada	Número	%	% Acumulada
10-20	9	0%	0%	6	0%	0%
20-30	682	24%	24%	1643	9%	9%
30-40	978	33%	57%	5683	32%	42%
40-50	769	27%	84%	5516	31%	73%
50-60	348	12%	96%	3235	18%	92%
60-70	102	3%	99%	964	5%	97%
70-80	22	1%	100%	359	2%	99%
80-90	4	0%	100%	128	1%	100%
90-100	0	0%	100%	24	0%	100%

Tabela 6 – Temperatura do ar às 18h GMT para as células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio a outubro/1998.

Temperatura Diária 18Z (°C)	Células do Cerrado <u>com</u> focos de queimadas			Células do Cerrado <u>sem</u> focos de queimadas		
	Número	%	% Acumulada	Número	%	% Acumulada
40-38	20	1%	1%	17	0%	0%
38-36	775	27%	27%	995	6%	6%
36-34	952	33%	60%	3721	21%	27%
34-32	564	19%	79%	4692	27%	54%
32-30	282	10%	89%	3479	20%	73%
30-28	168	6%	95%	2285	13%	87%
28-26	70	2%	97%	1203	7%	93%
26-24	48	2%	99%	656	4%	97%
24-22	29	1%	100%	309	2%	99%
22-20	5	0%	100%	136	1%	100%
20-12	1	0%	100%	65	0%	100%

Tabela 7 – Dias consecutivos sem chuva para as células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio a outubro/1998.

Dias sem Chuva	Células do Cerrado <u>com</u> focos de queimadas			Células do Cerrado <u>sem</u> focos de queimadas		
	Número	%	% Acumulada	Número	%	% Acumulada
130-100	5	0%	0%	36	0%	0%
100-90	10	0%	1%	66	1%	1%
90-80	28	1%	1%	186	1%	2%
80-70	35	1%	3%	256	1%	3%
70-60	40	1%	4%	375	2%	5%
60-50	71	2%	6%	631	4%	9%
50-40	61	2%	9%	656	4%	13%
40-30	123	4%	13%	1106	6%	19%
30-20	379	13%	26%	1844	11%	29%
20-10	804	28%	53%	3708	21%	50%
10-5	655	22%	76%	3868	22%	73%
5-1	486	17%	93%	3191	18%	91%
1	157	5%	98%	940	5%	96%
0	60	2%	100%	694	4%	100%

Tabela 8 – Resultado da aplicação do teste U de Mann-Whitney para os dados meteorológicos mensais do conjunto de células do Cerrado com e sem focos de queimadas, para o período de maio-outubro/1998.

Mês	Dias sem chuva		Precipitação Diária (mm)		Precipitação Acumulada de 5 dias (mm)		Umidade Rel. Ar Diária 18Z (%)		Temperatura Ar Diária 18Z (°C)	
	z	prob. z	z	prob. z	z	prob. z	z	prob. z	z	prob. z
Maio	-2,16	0,015*	-1,75	0,040*	-0,12	0,451	-2,05	0,020*	-2,35	0,010**
Junho	-1,87	0,031*	-0,56	0,289	-3,38	0,000***	-0,79	0,216	-1,08	0,140
Julho	-2,89	0,002**	-1,23	0,110	-0,02	0,492	-4,10	0,000***	-3,63	0,000***
Agosto	-6,07	0,000***	-4,69	0,000***	-11,82	0,000***	-0,29	0,386	-14,41	0,000***
Setembro	-2,72	0,003**	-3,77	0,000***	-1,42	0,077	-9,34	0,000***	-17,40	0,000***
Outubro	-3,20	0,001***	-10,57	0,000***	-4,43	0,000***	-14,15	0,000***	-15,45	0,000***
Maio a Outubro	-0,98	0,164	-4,69	0,000***	-11,82	0,004**	-0,29	0,000***	-14,41	0,000***

Obs.: * significa que existe diferença entre os dados com e sem focos de queimadas com nível de significância de 0,05; ** com 0,01; e *** com 0,001. Foram analisadas 3.412 células por mês e 20.472 de maio a outubro.

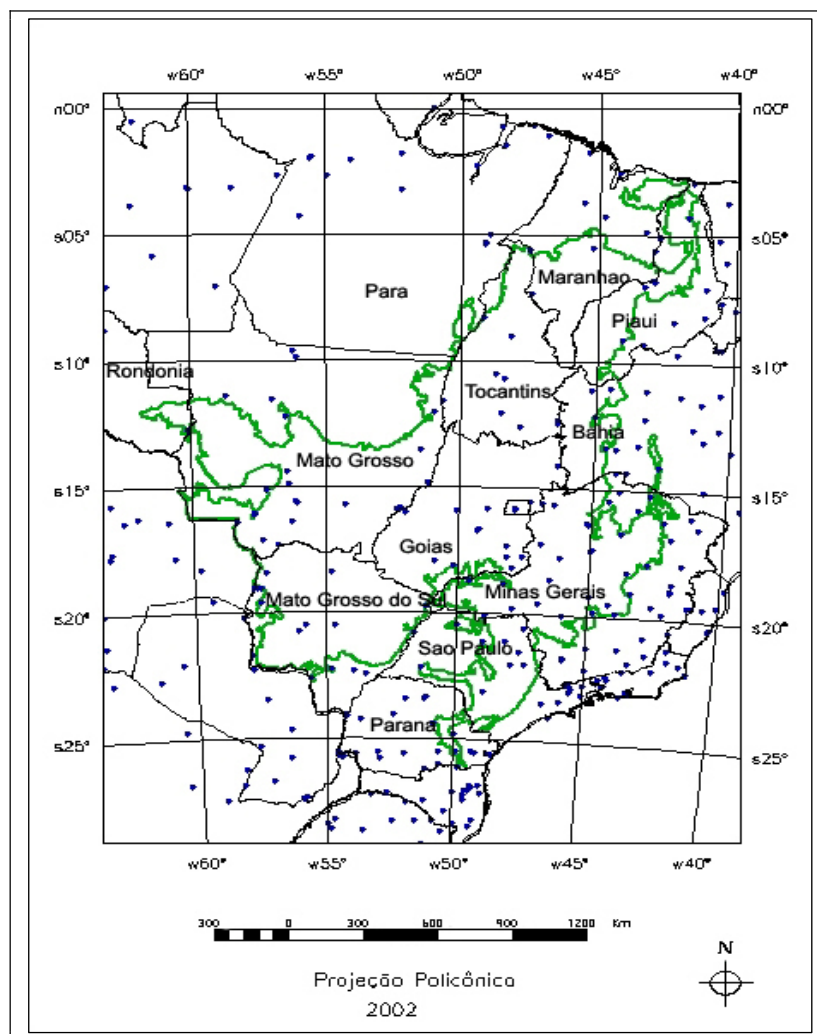
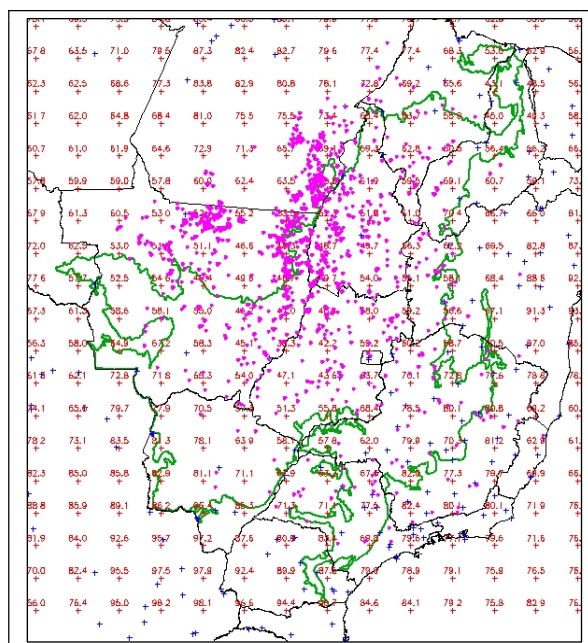
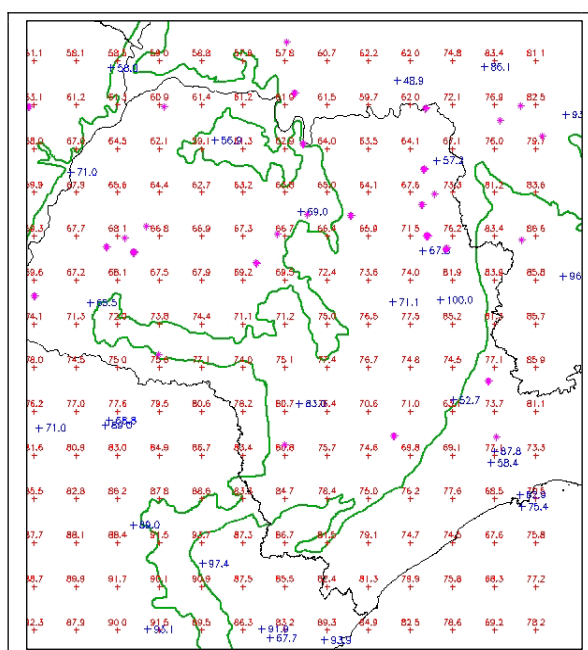


Figura 1 – Área de estudo delimitada em verde, conforme definida por PEREIRA JR. (1992) e FRANÇA (2000), com 2.200.000 km², abrangendo 12 estados, e as estações e PCDs meteorológicas em azul.



a)



b)

Figura 2 – Grade numérica regular de umidade relativa do ar do dia 21/agosto/1998 às 18h GMT, em vermelho, junto com estações e PCDs meteorológicas, em azul, e focos de queimadas do dia 21/agosto/1998, em magenta: a) sobre o Cerrado, delimitado em verde; b) recorte sobre o Cerrado do estado de São Paulo.