

## RELAÇÃO ENTRE “FOCOS DE CALOR” E CONDIÇÕES METEOROLÓGICAS NO BRASIL

Flavio Barbosa Justino, Solange Silva de Souza e Alberto Setzer  
CPTEC/INPE

Rod. Pres. Dutra, Km 40 - 12630 000 Cachoeira Paulista, SP  
Contato EMail: asetzer@cptec.inpe.br

### RESUMO

Este trabalho compara o número de focos de calor detectados pelo sensor AVHRR (“Advanced very High Resolution Radiometer”) do satélite NOAA-12, ou seja, das “queimadas”, em relação a condições meteorológicas no País, nos anos de 1997 a 1999. Maior incidência de queimadas foi verificada em 1999, e menor, em 1997. Em 1997, a precipitação observada de junho a dezembro na região central do Brasil, quando ocorrem a maioria das queimadas, foi acima da média, enquanto que em 1998 as anomalias de chuva foram negativas. Em 1999, os valores de precipitação, temperatura máxima do ar e umidade relativa foram próximos da média climatológica; esta situação foi interpretada como indicação que a ocorrência de focos depende adicionalmente de aspectos antrópicos associados a padrões locais de uso do solo, de conversão da vegetação e de tecnologias agrícolas.

### ABSTRACT

This work compares the number of hot (fire) pixels detected by AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) on-board the NOAA-12 satellite in relation to meteorological conditions in Brazil for the years 1997-1999. The highest occurrence of vegetation fires was in 1999 and the smallest in 1997. In 1997 the precipitation observed from June to December in the central part of the country, when most of the fires take place, was above the average, while in 1998 the rain anomalies were negative. In 1999, the values of precipitation, maximum air temperature and relative humidity were close to the climatological average; this situation was interpreted as indicating that vegetation fires also depend on anthropic factors associated to local patterns of soil use, vegetation conversion and agricultural technology.

### 1. INTRODUÇÃO.

O fogo é usado para fins diversos na agropecuária, como por exemplo: renovação de pastagens, preparo de plantios, preparo do corte manual de cana-de-açúcar, e em desmatamentos. Como esta prática é amplamente utilizada no Brasil, seu estudo e prevenção assume importância especial, principalmente na Amazônia, já que as queimadas constituem um instrumento considerado indispensável pelos produtores rurais e, portanto, de difícil substituição a longo prazo. Na região Amazônica, passou a ser denominada como “Arco de Desflorestamento” a região que compreende os estados do Acre, Rondônia, a parte sul do Amazonas, o centro e o norte do Mato Grosso, sul e leste do Pará, centro e norte de Tocantins e oeste do Maranhão; nesta região muitos municípios têm risco potencial para a ocorrência de incêndios, pois são polos de colonização com novos desmatamentos, intensa atividade de extração de madeira, pecuária e agricultura de subsistência. Em função desta condição foi criado no IBAMA (1998) o PROARCO para melhorar o monitoramento de queimadas.

A queima da biomassa nos ecossistemas tropicais associada à expansão da fronteira agrícola, à conversão de florestas e savanas em pastagens e à renovação de pastagens e de cultivos agrícolas, é um dos principais fatores que causam impactos sobre o clima e a biodiversidade (Dias e Miranda, 1996). Recentes publicações mostram a importância das queimadas em escalas local, regional e global (Kirchhoff, 1997; Levine, 1996; Levine, 1991). As queimadas provocam empobrecimento dos solos, destruição de vegetação, problemas de erosão, poluição atmosférica, redução na biodiversidade e alterações químicas da atmosfera. Cerca de 20% das emissões globais antropogênicas de CO<sub>2</sub> são causadas por queima da vegetação. Estas queimas são também significativas para outros gases e aerossóis relacionados ao efeito estufa (Crutzen e Andrea, 1990).

No Brasil existem registros de incêndios florestais como os ocorridos no centro-norte de Roraima em 1998 e nos Parques Nacionais da Chapada Diamantina, Chapada dos Guimarães, Ilha Grande, Serra dos Órgãos e do Araguaia (IBAMA, 1998). Os incêndios podem ter origem natural, acidental ou criminosa. Os incêndios são iniciados em função de condições meteorológicas propícias, tais como a falta de chuva, altas temperaturas, e baixa umidade do ar. Em escala global, o fenômeno El Niño também interfere, uma vez que em algumas regiões, como o centro-norte do Brasil, o sudoeste asiático e a parte oeste dos Estados Unidos e Canadá (Molion, 1993; Philander,

1990), provoca alterações climáticas que aumentam o potencial de risco de queimadas e incêndios acidentais na cobertura vegetal. A maior incidência de focos de calor (FCs), ou “focos de queimadas”, ocorre no Brasil de junho a outubro, com os menores valores de precipitação na parte central do País. Nestas condições, parte da vegetação em seu ciclo fenológico tende a perder as folhas, reduzindo assim a evapotranspiração. Com a queda das folhas abre-se no dossel espaço para a penetração da radiação solar que seca ainda mais gravetos, galhos e folhas, aumentando a flamabilidade da floresta.

Visando analisar o comportamento sazonal dos FC e sua associação com variáveis meteorológicas como umidade relativa (UR), temperatura máxima (TM) e precipitação (PPT), neste trabalho usou-se a análise harmônica com ênfase na semelhança do comportamento de fase, acompanhando períodos de estiagem, máximos de TM e mínimos de UR.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS.

O uso de satélites na detecção operacional de queimadas tem sido empregado nas últimas duas décadas. O uso de dados AVHRR/NOAA-7 na detecção e mapeamento de incêndios ocorridos na Indonésia em 1982-1983 foi relatado por Malingreau et al. (1985). O tratamento e análise das imagens AVHRR no INPE para detecção e monitoramento de queimadas é baseado em técnica que vêm sendo aprimorada desde 1985 (Pereira, 1988; Pereira e Setzer, 1993; Setzer e Pereira, 1991). FC são identificados a partir de *pixels* (“picture elements”) que apresentam altas temperaturas, os quais possuem os mais baixos valores de nível de cinza nas imagens da região infravermelho termal banda 3 (3.7 $\mu$ m) do AVHRR. Esta banda mede emissão de energia radiante da superfície terrestre, onde os *pixels* saturados correspondem à temperatura nominal de pelo menos 47°C, normalmente associada a alvos em combustão. Na verdade, devido a efeitos atmosféricos, características do sensor, e a emissividade é necessária uma temperatura muito mais elevada para atingir o nível limite do sensor. Adicionalmente, testes de campo indicam a necessidade de se ter uma frente de fogo com no mínimo 50m de extensão e meio metro de largura para que se possa ser detectada como queimada (Setzer e Malingreau, 1996). Durante o dia algumas áreas apresentam alta refletância na banda 3, as quais aparecem nas imagens como áreas escuras, embora com temperaturas muito inferiores às de focos de fogo. Na metodologia do CPTEC/INPE são utilizados algoritmos com limiares de dados da banda 3 para a detecção, e das bandas 1 e 2 para verificações. Extensa validação efetiva de campo tem confirmado os dados.

Utilizou-se a análise harmônica para estudar os modos dominantes e a variabilidade espaço-temporal da precipitação, da umidade relativa e da temperatura máxima, que supostamente têm maior contribuição para as queimadas. Estas variáveis já haviam sido relacionadas à ocorrência de queimadas no Brasil tanto na elaboração do modelo de risco de fogo do CPTEC/INPE introduzido em 1998, como em Schroeder et al. (2001), Negreiros (1999), e Pereira Jr. (2002). O cálculo de harmônicos representa flutuações ou variações de séries temporais como uma base de funções do tipo senos e co-senos (Wilks, 1995). Neste estudo é analisado o comportamento de fase para determinar o período de estiagem e, por meio da variância explicada, avaliar a importância do ciclo anual. Para o cálculo do primeiro e segundo harmônicos foram usados dados climatológicos do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) originados nas estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia, INMET.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES.

### 3.1. Distribuição espacial e temporal dos Focos de Calor de 1997 a 1999.

A distribuição espacial média anual da incidência dos FC de junho a novembro pode ser vista na Figura 1, onde se nota maior concentração na parte Central do Brasil, mais precisamente no Arco de Desflorestamento. A evolução temporal dos FC nos anos de 1997, 1998 e 1999 pode ser observada na Figura 2 e na Tabela 1. A comparação do número de FC destes anos mostra maior incidência de queimadas em 1999. Analisando o comportamento da precipitação correspondente na região central do Brasil, foram observadas anomalias negativas em 1998 e precipitação em torno da média em 1999 – ver Figura 3.

Em junho de 1997 foram observados 814 focos, comparados com 2.914 em 1998 e 2.562 em 1999. Em 1997 houve anomalias positivas de precipitação, o que favoreceu redução no total de focos. Além disto, houve problemas na antena de recepção dos dados na estação do INPE em Cuiabá, que durante alguns dias esteve fora de operação, reduzindo portanto o número de FCs.

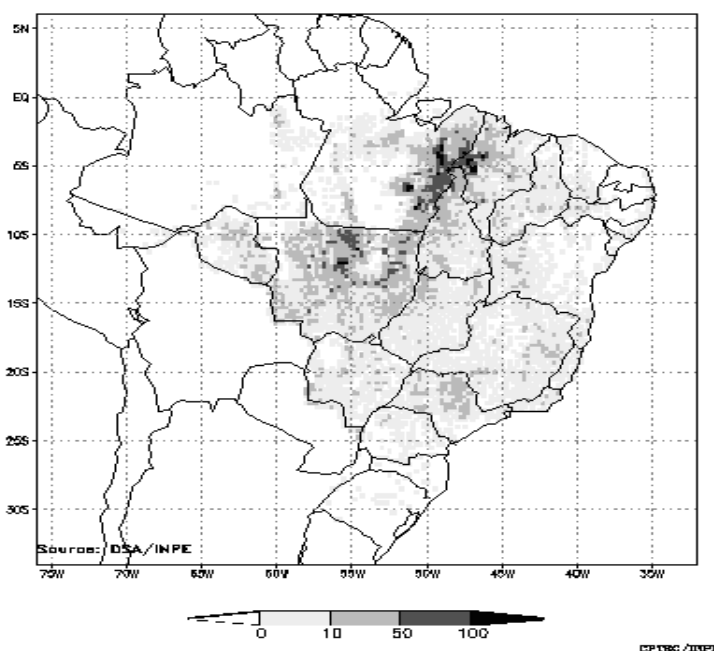
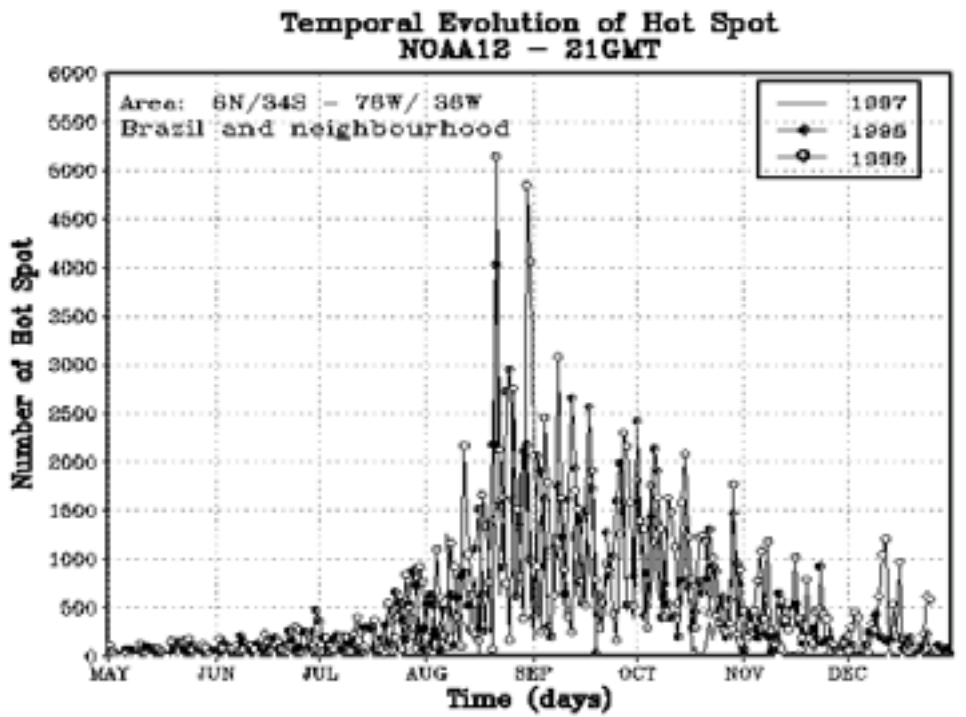


Figura 1. Distribuição espacial média dos FC de junho a novembro de 1997, 1998 e 1999.

Mês / Ano	1997	1998	1999
Junho	814	2.914	2.562
Julho	3.629	7.198	5.841
Agosto	17.257	32.112	32.117
Setembro	20.580	33.613	31.913
Outubro	14.118	18.638	24.153
Novembro	4.053	5.823	9.753
<i>Total</i>	<i>60.451</i>	<i>100.298</i>	<i>106.339</i>

Tabela 1. FCs acumulados no Brasil de junho a novembro de 1997, 1998 e 1999.

Ao contrário do número de FCs, as distribuições temporal e espacial dos FCs não diferem tanto entre anos pelo fato do fogo ter a mesma origem antrópica. O número de FCs observados em julho de 1999 foi duas vezes superior ao observado em junho do mesmo ano – ver Tabela 1. Observada a média diária dos três anos para junho e julho, 1998 mostra a maior incidência de focos com 165/dia, contra 72/dia em 1997 e 137/dia em 1999. Em julho de 1998, grande parte do Brasil central não apresentou precipitação, e as temperaturas máximas estiveram até 3°C acima da média climatológica. Diferente do observado em junho, julho de 1999 apresentou grande concentração de FCs na parte leste do Pará, sul do Piauí e Maranhão e na região central do Ceará, entre as longitudes de 55W a 45W e latitudes de 7.5S a 12.5S. No mês de agosto, a faixa compreendida entre o norte de Mato Grosso e o sudeste do Pará concentrou o maior número de FCs. A precipitação sobre esta área esteve abaixo da média. A grande incidência de FCs observados neste mês foi resultado de secagem mais intensa da vegetação, proveniente da prolongada escassez de chuvas no Brasil central. No mês de setembro de 1999 o número de FCs registrados foi próximo a 32.000, valor pouco inferior ao observado em setembro de 1998, com cerca de 33.500. As anomalias de precipitação em setembro de 1999, em torno de -25mm, não foram tão acentuadas quanto as observadas em setembro de 1998, com -80mm. A temperatura máxima foi outra variável que apresentou comportamento mais regular em 1999, e praticamente todo o estado de Tocantins e o leste do Pará estiveram com valores em torno da média climatológica.



Source: DSA/INPE

CPTEC/INPE

Figura 2 – Evolução Temporal dos FCs de maio a dezembro.

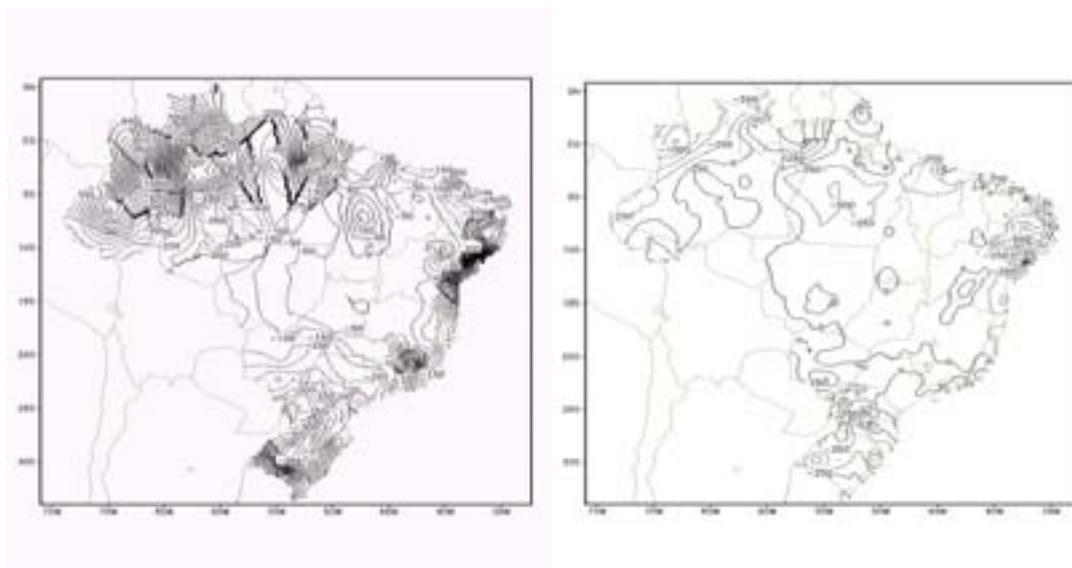


Fig 3 - Anomalia de precipitação acumulada de junho a novembro de 1998 (direita), e de junho a novembro de 1999(esquerda).

Com a atuação da estação chuvosa na maior parte do Brasil central, observou-se em outubro redução nos FCs no norte do Mato Grosso. Uma característica em 1999 que não foi observada nos anos anteriores, foi o aumento dos FCs em Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Paraná e em São Paulo, entre as longitudes 58W a 45W e as latitudes 14S a 25S - ver Figura 4. As anomalias negativas de precipitação em 1999 sobre estes Estados chegaram a -100mm enquanto a temperatura máxima apresentou valores de 2°C acima da climatologia. As regiões com maior incidência de FCs foram o oeste do Mato Grosso do Sul, e a parte centro-norte de São Paulo, onde o comportamento anômalo das variáveis meteorológicas teve importante contribuição. Outro fator que teve relação com o aumento no número de FCs nestes estados, foi o crescente assentamento de terras feitas pelo governo federal. Deve-se considerar que para o plantio é feita limpeza da vegetação, normalmente com queimadas. A Figura 5 mostra que em 1998 foram destinados para a atividade agropecuária mais de 210.000 hectares entre os Estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais e Paraná (INCRA, 2000), o que é interpretado como fator causador da maior concentração de FCs em 1999. Apesar da maior desapropriação ocorrer em 1998 acredita-se que seus efeitos só

foram observados em 1999, pois a distribuição dos lotes se deu com maior intensidade no segundo semestre de 1998.

A observação dos FCs em novembro de 1999 mostra distribuição espacial semelhante à encontrada no mesmo período de 1997 e 1998; entretanto, o número de detecções aumentou em cerca de 70% em relação a 1998 e em 140% em relação a 1997. As regiões com maior incidência de FCs neste mês foram o nordeste do Pará e o noroeste do Maranhão. A análise no comportamento das anomalias de temperatura máxima e precipitação em 1999 e 1998, mostra que 1999 apresentou menores valores de precipitação.

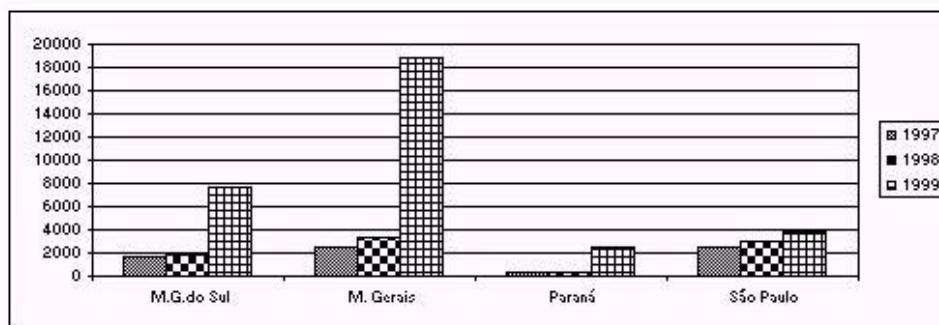


Figura 4 - FCs acumulados de junho a novembro para os anos de 1997, 1998 e 1999 (fonte: CPTEC/INPE).

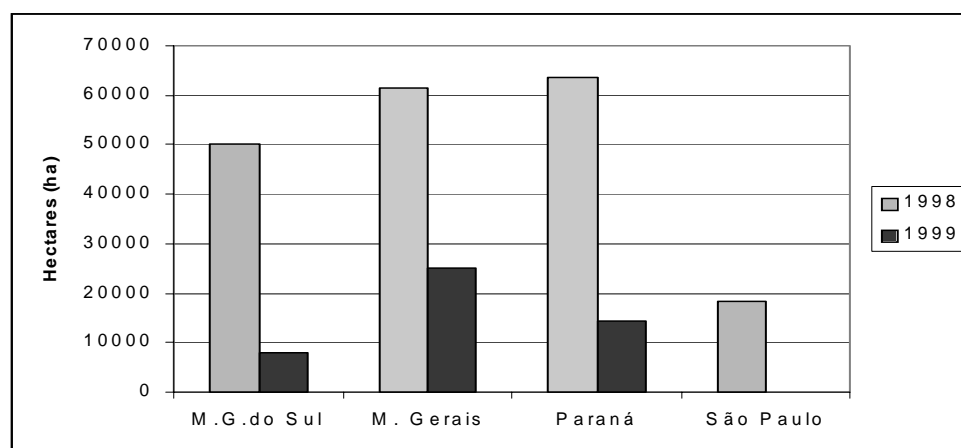


Figura 5 – Assentamentos de terras em hectares, em 1998 e 1999, nos estados de Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Paraná e São Paulo (fonte: INCRA, 2000).

### 3.2. Influência dos efeitos meteorológicos no número de focos.

A partir de dezembro de 1998 os valores da temperatura da superfície do mar (TSM) no Oceano Pacífico leste estiveram acima da média sob configuração La Niña moderada. A precipitação (PPT) esteve abaixo da média na maior parte do sudeste e centro-oeste durante os meses de junho a setembro (Climanálise 1998; INPE, 1998). É importante salientar que no inverno os valores de PPT no Brasil central apresentam baixos índices pluviométricos, em torno de 40mm mensais. As anomalias de temperatura máxima (figura não mostrada), apresentou valores positivos durante a maior parte do segundo semestre em toda a parte centro-leste do Brasil (Climanálise, 1998). Como consequência do comportamento anômalo destas variáveis, justifica-se a alta incidência de FCs em 1999. Nos próximos parágrafos é feita uma análise estatística das variáveis meteorológicas: precipitação, umidade relativa e temperatura máxima. O método usado foi a análise harmônica que expressa variáveis em função de sua periodicidade, amplitude e fase (período que ocorre o pico na amplitude). A amplitude para o campo de PPT acumulada nos trimestres JFM, FMA, MAM, AMJ, MJJ, JJA, JAS, ASO, SON, OND, NDJ, e DJF, pode ser vista na Figura 6. Observa-se que a amplitude do primeiro harmônico é máxima no noroeste do Mato Grosso (coordenadas 10S e 58W) e extremo norte do Maranhão, Pará e Amapá (Equador, 55W e 45W), com variações mensais de 500mm, mostrando trimestres chuvosos e outros extremamente secos. As demais regiões com alta incidência de FCs, como Mato Grosso do Sul, Paraná, São Paulo, Tocantins, Minas Gerais e o oeste da Bahia, apresentaram precipitações mais distribuídas ao longo do ano, como indica a Figura 7. O estado de Roraima, que também apresentou incidência de FCs, representado pelas coordenadas 3N e 62W na Figura 7, teve máximos de precipitação de junho a agosto e mínimos de dezembro a fevereiro. A análise para o campo de fase na Figura 8

mostrou que menores valores climatológicos no Brasil central são observados de junho a agosto, seis meses após o período mais chuvoso.

O regime de PPT no Brasil central, apesar de apresentar marcada amplitude, mostra na maior parte do ano baixos valores mensais de PPT. O segundo harmônico que representa o ciclo semi-anual de precipitação, mostra pequena representabilidade na maior parte do Brasil, exceto na região Sul. Sobre esta região a fase mostra maior estiagem em dezembro, coincidente com o maior número de FCs que se estendem até março. A análise no ciclo anual da umidade relativa segue a precipitação, com mínimos sobre o Brasil central entre julho e setembro, e em dezembro na região sul. O norte da Amazônia, principalmente os estados de Roraima e Amapá, apresentaram o maior número de FCs entre os meses de novembro e março, de acordo com os mínimos de precipitação e umidade relativa.

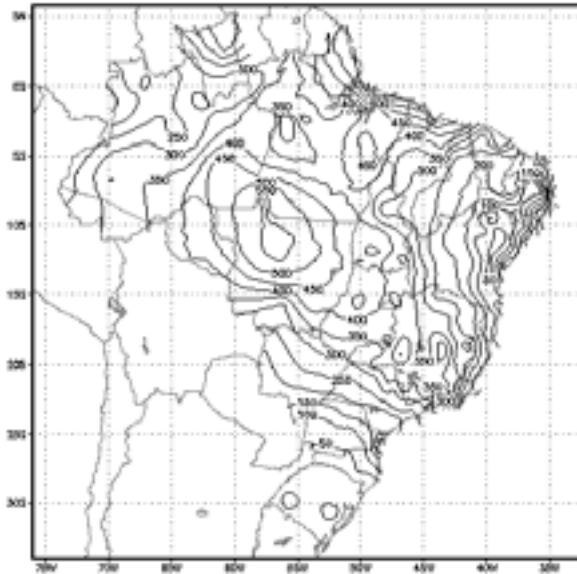


Figura 6. Comportamento do primeiro harmônico da precipitação – amplitude, em mm.

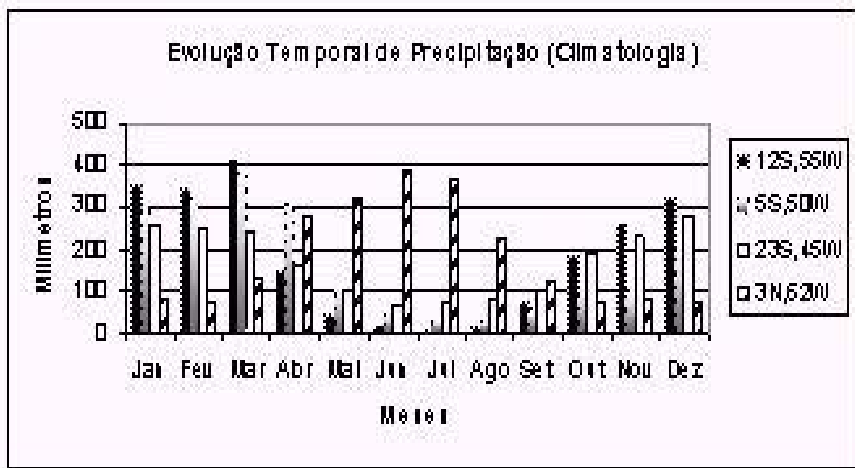


Figura 7. Evolução temporal da precipitação nos estados de MT (12S e 50W); PA (5S e 50W); RR (23S e 45W); RR (3N e 62W).

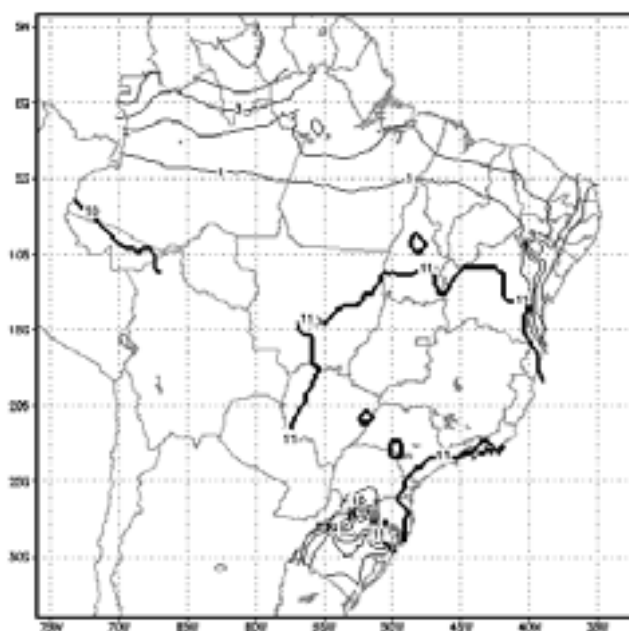


Figura 8 – Comportamento de fase do primeiro harmônico, em meses.

#### 4. CONCLUSÕES.

A evolução temporal dos Focos de Calor, FCs (“Queimadas”) na Figura 2 e a distribuição mensal da precipitação sobre o Brasil nas Figuras 7 e 8, indicam comportamento sazonal com aproximadamente seis meses de defasagem entre a incidência máxima de FCs e os máximos de precipitação e de umidade relativa, porém em fase com o campo de temperaturas máximas.

O acompanhamento diário da distribuição dos FCs realizado pelo INPE e 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. FCs foram detectados nos estados do Paraná e São Paulo um dia após a passagem de um sistema frontal que causou precipitação em torno de 15mm. Dados de novos assentamentos de terra e FCs no centro-sul do País ilustraram como a presença humana pode se mostrar mais importante que fatores meteorológicos na explicação da variação do número de focos detectados.

Também foi observada, como esperado, menor ocorrência de FCs durante as estações chuvosas. Por outro lado, valores de precipitação acumulada em algumas regiões, de até 200mm em 15 dias, surpreendentemente não impediram a ocorrência de focos. Mesmo com Pluviosidade total de 700 a 800mm em seis meses na região de Paragominas, no Pará, por exemplo, as pastagens podem ser queimadas em 24 horas após uma chuva; clareiras abertas nas florestas densas que tenham sido exploradas seletivamente, se tornam susceptíveis ao fogo após seis dias sem chuva; vegetação como a dos cerrados após dez de estiagem, apresentam alto índice de flamabilidade (IBAMA, 1998; INMET, 1992).

Confirmamos que a maior parte das queimadas e incêndios florestais é detectada nos períodos de estiagem, baixa umidade relativa e alta temperaturas. Porém, como sua ignição depende na maioria dos casos de intervenção humana, padrões locais de uso do solo, de transformação da vegetação e de tecnologias agrícolas devem necessariamente ser incorporados em modelos de potencial de ocorrência de queimadas e incêndios intencionais, inclusive em períodos chuvosos.

#### 5. AGRADECIMENTOS.

Agradecemos ao programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) pelo apoio financeiro ao PROARCO, bem como à Divisão de Satélites Ambientais do CPTEC/INPE em disponibilizar os dados NOAA, e ao CNPq e FAPESP por bolsas de apoio.

#### 6. REFERÊNCIAS.

- Climanálise, 1998. 13 (8), e 13(12).
- Crutzen, P.J.; Andraea, M.O., 1990. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles. *Science*, 250:1669-1678.
- IBAMA, 1998. Programa de prevenção e controle às queimadas e aos incêndios florestais no Arco do Desflorestamento - PROARCO.
- INCRA, 2000. [http://www.incra.gov.br/asp/sisote/des\\_sint.asp](http://www.incra.gov.br/asp/sisote/des_sint.asp)
- INPE, 1998. Incidência de Focos de Calor detectados pelo sensor AVHRR do satélite NOAA no período de junho a novembro de 1997. MCT/INPE. São José dos Campos, janeiro de 1998.
- Kirchhoff, V.W.J.H, 1997. Editor: SCAR-B Proceedings. Transtec Editorial. São José do Campos. 208pp.
- Levine, J.S., 1991. Editor: Global Biomass Burning. MIT Press, Cambridge. 569p.
- Levine, J.S., 1996. Editor: Biomass Burning and Global Change. Vols. I e II. MIT Press, Cambridge. 995p.
- Malingreau, J.P., Stephens, G., Fellows, L., 1995. Remote sensing of forest fires: Kalimantan and North Borneo in 1982-1983. *Ambio*, 14(6):314-321.
- Molion, L.C.B. Amazonian rainfall and its variability. In: Hydrology and water management in the humid tropics, Ed., pp 99-111, Cambridge University Press, Cambridge.
- Negreiros, G.H., 1999. Processes and conditions governing the flammability of the seasonally dry Amazon forests. PhD Proposal, College of Forest Resources, University of Washington, USA.
- Pereira Jr., A., 2002. Estudo de um modelo de risco de fogo para o Cerrado. Tese de doutorado, Univ.Fed. São Carlos, em conclusão.
- Pereira, M.C., 1988. Detecção, 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. Dissertação de Mestrado. INPE, 268 pp.
- Pereira, M.; Setzer, A., 1993. Spectral characteristics of deforestation fires in NOAA/AVHRR's images. *International Journal of Remote Sensing*, 14(3): 583-597.
- Pereira, M.; Setzer, A. Comparison of fires detection in Savannas using AVHRR's channel 3 and TM images. *International Journal of Remote Sensing*, 17(10): 1925-1937.
- Philander, S.G.H., 1990. El niño, La Niña, and Southern Oscillation. Academic Press, 923 pp.
- Schroeder, W., França, J.R.A. e Garcia, M.P., 2001. Identificação de padrões climatológicos que contribuem para a ocorrência de incêndios em Cerrado usando dados AVHRR/NOAA-14. XI Congr. Bras. Meteorologia, R.Janeiro, pp 3833-3842.
- Setzer, A.; Pereira, M.C., 1991. The operational detection of fires in Brazil with NOAA-AVHRR. 24<sup>th</sup> Int. Sym. Rem. Sens., RJ, Brazil. Erim/INPE; pp 76-77.
- Setzer, A., Pereira, M.C., Pereira Jr, A.C, 1992. O uso de satélites NOAA na detecção de queimadas no Brasil. *Climanálise*, 7(8):40-53.
- Setzer, A., Malingreau, J.P., 1994. AVHRR monitoring of vegetation fires in the tropics: towards the development of a global product. In Biomass Burning and Global Change.
- Wilks, D., 1995. Statistical methods in the atmospheric science. An introduction. Academic Press, 467 pp.