

O USO DE SATÉLITES NOAA NA DETECÇÃO DE QUEIMADAS NO BRASIL

Alberto W. Setzer, Marcos C. Pereira e Alfredo C. Pereira

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/DSM
C. Postal 515 - 12201 - S.J. Campos-SP
EMail "inpeas@brfiapesp.bitnet"

"Fire is a fact of life in
Brazil and will remain so"
(Cox et al., 1990).

RESUMO

O sensoriamento remoto orbital para detecção de queimadas no Brasil é uma técnica adequada, considerando a extensão territorial do País e a relativa falta de condições de controle e fiscalização do uso do fogo. Através de imagens termais (faixa de 3,7 μ m) diárias dos satélites meteorológicos da série NOAA, tem sido possível, desde 1987, a detecção de queimadas em tempo quase-real de 01/junho a 30/novembro, época da estiagem no Brasil central e sul da Amazônia. São monitoradas diariamente mais de uma centena de áreas de preservação federal (p/IBAMA), várias áreas estaduais em SP (p/Operação Mata Fogo/DPRN), a área integral de todos os estados (Operação Prevfogo/IBAMA), e quadrículas de 1 grau de latitude por 0,5 de longitude que cobrem todo País (p/Embrapa, NMA), além dos países vizinhos. Coordenadas geográficas dos incêndios são transmitidas pelo INPE aos usuários via telex, fac-símile ou redes de dados, cerca de 30 minutos após a recepção das imagens. O uso dos satélites tem permitido ações de combate a incêndios florestais e simples queimadas com rapidez e eficiência não conseguidas por outros métodos. Neste trabalho são resumidos resultados e limitações a partir da experiência dos últimos anos. Mais de 10.000 focos por dia chegam a ser detectados no País no auge do período de queimadas, no final de agosto e início de setembro; o total anual tem sido superior a 300.000 focos de queimadas. Frentes de fogo menores que 100 metros, ou protegidas sob espessa vegetação, e incêndios iniciados depois ou terminados antes da passagem do satélite, não são detectados. Cerca de 98% das queimadas detectadas têm sido comprovadas por equipes de campo. Nas áreas de São Paulo, mais de 90% dos incêndios são detectados apenas via satélite. Em área teste nos cerrados, 26% das queimadas ocorridas não foram detectadas pelo satélite. Até quatro passagens de satélites diárias podem ser utilizadas. Variações na detecção são causadas pela redução da sensibilidade dos sensores a bordo dos satélites, por sua substituição cada dois anos, por variações orbitais, e por reflexão solar em algumas superfícies, em casos muito particulares. O Brasil foi e é pioneiro no uso de satélites na detecção operacional de queimadas. Esta técnica revelou a dimensão desconhecida e exagerada do uso do fogo no País, além de seus efeitos nocivos ao meio ambiente; e permitiu seu controle de maneira mais eficaz, que resultou na redução nos desmatamentos indevidos na Amazônia.

1. INTRODUÇÃO

O uso do fogo no Brasil, relacionado à agricultura e pastagens, é muito comum. Estima-se, a partir de comparações com países em situações climática e econômica similares, e com base em dados esparsos de poucas observações de campo, que, em média, cerca de um terço de toda área ocupada do País seja queimada anualmente por ação antrópica. Novos desmatamentos, na Floresta Amazônica ou em cerrados densos, sempre feitos com o uso do fogo, contribuem para a expansão das queimadas. Mesmo o remanescente da Mata Atlântica, ao longo da costa dos estados do Sudeste e Sul, continua sendo removido através do fogo.

A determinação do número e extensão das queimadas, assim como sua localização geográfica e distribuição temporal, são necessárias para vários estudos científicos, técnicos e administrativos, em geral com âmbito interdisciplinar. Emissões de queimadas tem causado concentrações de poluentes muitas vezes superiores ao recomendado por padrões ambientais nacionais e estrangeiros sobre áreas de milhões de km² (Artaxo e Setzer, 1992), o que traz sérios problemas de saúde a populações rurais e urbanas. Associado tanto à remoção de vegetação decorrente de seu uso, quanto a subseqüentes processos de erosão pluvial e eólica, o uso indiscriminado do fogo vem resultando no empobrecimento de solos bons em vastas regiões; quando usado na "limpeza de pasto" em encostas de declive acentuado, este fenômeno é mais grave ainda,

tendo como resultado comum a perda de subsolo em superfícies extensas. As emissões de queimadas também contribuem significativamente para a poluição atmosférica global (Crutzen e Andrea, 1990), e seus efeitos no clima do planeta têm sido aventados através das emissões de dióxido de carbono, CO₂ (Crutzen et al., 1979; Dickinson and Cicerone, 1986), ocupando o Brasil posição de destaque como fonte destes poluentes (WRI, 1992). Queimadas naturais, causadas por raios, ocorrem, mas em número desprezível, comparado com as de origem antrópica. Tais queimadas são em geral de área muito limitada, uma vez que com raios normalmente ocorrem chuvas, as quais por sua vez tendem a extinguir o fogo causado pelos raios; além disto, na estação seca, quando ocorre a grande maioria das queimadas, raras vezes têm-se chuvas e raios. Queimadas no mesmo local, com intervalo de vários anos e em tipos particulares de ecossistemas, como em alguns cerrados e em solos férteis e planos, parecem não prejudicar a própria vegetação e o solo, podendo mesmo ser necessárias. A prática indiscriminada de queimadas resulta de seu baixo custo e de benefícios, quando considerada a curto prazo. A médio e longo prazo, por outro lado, é uma questão que deve ser ainda analisada por seus efeitos potencialmente nocivos ao meio ambiente (por exemplo, Santos e Novo, 1977).

Avaliações do efeito do fogo na vegetação do País praticamente inexistiam até poucos anos. Alguns dados foram coletados para incêndios florestais limitados apenas a áreas de plantação de matéria prima (Eucaliptus e Pinus, por ex.) de grandes indústrias de papel e celulose, conforme informações prestadas em questionários de pesquisa (Soares 1984, 1989 e 1992). Estes dados indicaram 227 incêndios em 1983, 211 em 1984, 262 em 1985, 479 em 1986, e 585 em 1987. Para algumas unidades de preservação, como parques e reservas, estão sendo feitos acompanhamentos baseados em observações visuais (Rosa, 1992).

Ao nível nacional, o monitoramento das queimadas deve considerar a extensão de 8,5 milhões de km², a ser verificada diariamente, e a localização remota da maioria das regiões onde elas ocorrem. Do ponto de vista prático, é impossível o monitoramento de queimadas com métodos convencionais de verificação de campo, ou mesmo com o uso de aeronaves. No texto a seguir é apresentada uma técnica não convencional para monitoramento de queimadas, baseada no uso de sensoriamento remoto a partir de satélites. Seu desenvolvimento pioneiro no Brasil, resultados, limitações e necessidades futuras são discutidas. A técnica apresentada refere-se à detecção de "queimadas" em geral. Elas incluem tanto incêndios denominados florestais, que ocorrem indesejavelmente em bosques de vegetação homogênea plantados para necessidades industriais e comerciais, como queimas para desmatamento, colheita de cana, limpeza e renovação de pastos, eliminação de resíduos agrícolas, etc.

2. HISTÓRICO

O desenvolvimento no País da técnica que permite hoje em dia o monitoramento operacional diário de queimadas por satélites com sensores de baixa resolução (1km), decorreu de um trabalho realizado na Amazônia, com apoio da NASA, em julho/1985 (Andrea et al., 1988). Naquela ocasião, imagens do satélite NOAA-9 indicaram a possibilidade de detecção não apenas da fumaça, mas também de focos das queimadas ao se utilizar a informação do canal termal de número três, na faixa de 3,55 μ m a 3,93 μ m (Pereira e Setzer, 1986), que é particularmente sensível a temperaturas de combustão de vegetação (Robinson, 1991). Esta constatação coincidiu com a descrição de Matson et al. (1984) e motivou o prosseguimento do trabalho. A nível acadêmico, as imagens de 1985 foram analisadas em detalhe por Pereira (1988), que obteve experiência e conhecimentos básicos necessários para futuros trabalhos. Além da técnica desenvolvida, consideraram-se também as condições favoráveis de uso das imagens AVHRR em um monitoramento diário de queimadas: cada imagem dos satélites NOAA cobre uma área de dimensão continental, e cada satélite NOAA recobre uma mesma região duas vezes ao dia, com doze horas de intervalo entre passagens. Como existem sempre pelo menos dois destes satélites operacionais, e em muitos casos até quatro (no presente os NOAA-9 a 12), as condições para monitoramento com frequência diária são adequadas.

Ao nível de aplicações, os mesmos resultados foram apresentados em 1986 ao Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), que, em 1989, passou a integrar o Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA). Como resultado, foi elaborado pelo IBDF e INPE o Projeto SEQE, que em 1987 utilizou imagens de 79 dias do satélite NOAA-9 para detecção de queimadas. A gravação de imagens do período da tarde foi feita no INPE de Cachoeira Paulista, SP, e o processamento no INPE em São José dos Campos, SP, sempre que possível na mesma noite. As imagens não tinham correção geométrica; portanto, apresentavam grandes distorções geográficas; a localização dos focos era feita visualmente, comparando mapas com as principais referências detectadas nas imagens. Na manhã do dia subsequente, as coordenadas das principais queimadas eram transmitidas por telex ao IBDF. Resultados deste trabalho são encontrados em Setzer e Pereira (1991a), e detalhes de sua execução, em Setzer et al. (1988).

Enquanto ocorriam os desenvolvimentos para o IBDF e IBAMA, a Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, através da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental- CETESB, interessou-se, de maneira independente, em utilizar imagens AVHRR em seu programa de combate a queimadas, Operação "Mata-Fogo" (Aventurato, 1992; Schwenk Jr., 1992). Através de recursos do DPRN, foi possível iniciar em 1989 o processamento automático de áreas de interesse, embora o envio das

informações levasse muitas horas, e as áreas delimitadas no estado tivessem a forma de simples retângulos. Com o apoio contínuo do DPRN a técnica utilizada foi melhorada; em 1990 e 1991 foram monitoradas apenas áreas específicas em regiões de interesse, o que reduziu o tempo de processamento e envio de informações para menos de uma hora. Os resultados desta iniciativa, resumidos no item 4 abaixo, têm sido os mais importantes ao nível de interação com usuários para o aperfeiçoamento da metodologia e técnica de uso das imagens AVHRR na detecção de queimadas.

3. METODOLOGIA

A utilização operacional de imagens termais (banda 3) do sensor AVHRR dos satélites da série NOAA na detecção de queimadas ocorre unicamente no Brasil desde 1987. Embora a possibilidade de emprego desta técnica tenha sido divulgada há anos (Dozier, 1981, Matson et al., 1984 e Setzer et al., 1988), quatro fatores contribuíram para sua não utilização em outros países: 1) o sensor AVHRR foi projetado para detectar temperaturas de nuvens, oceanos e solo no máximo até uns 47°C e com resolução de 1,2km², e não de queimadas, acima de 400°C; 2) confiabilidade supostamente duvidosa das informações da banda 3, de acordo com manual de uso de produtos dos satélites NOAA, segundo o qual "...deve-se considerar que dados do canal 3 em cada satélite TIROS-NOAA têm tido muito ruído devido a um problema do satélite, e podem ser inúteis, especialmente em períodos de luz diurna" (Kidwell, 1991); 3) relativa irrelevância de queimadas nos países que processam operacionalmente imagens AVHRR; 4) desconhecimento da magnitude das emissões atmosféricas das queimadas em alterações climáticas e contaminação ambiental, que apenas nos últimos anos obteve aceitação científica, conforme se verifica nas dezenas de trabalhos em Levine (1991) e em Crutzen e Goldammer (1992). Como consequência, menos de uma dezena de estudos de casos de detecção de queimadas com AVHRR foram publicados, e mesmo assim para episódios isolados (mencionados em outras partes). Não obstante, apesar destas limitações e de outras mencionadas abaixo, os resultados obtidos no País têm-se mostrado surpreendentemente válidos e úteis na localização de queimadas.

O sistema de detecção de queimadas em uma imagem AVHRR em uso operacional no INPE (Setzer e Pereira, 1991b) envolve cinco etapas principais: 1) recepção da imagem; 2) seleção das queimadas na imagem; 3) obtenção das coordenadas geográficas das queimadas, à medida que a imagem é analisada; 4) elaboração de produtos segundo necessidade de usuários; 5) envio de produtos aos usuários. Para maiores detalhes dos programas computacionais de processamento das imagens, ver Fernandes e Setzer (1992).

Inicialmente, recebe-se a imagem AVHRR no modo HRPT ("High Resolution Picture Transmission") por uma antena que acompanha a passagem dos

satélites NOAA, acoplada a uma estação de recepção e a um microcomputador do tipo PC-386. Conjuntos como este, com programas específicos de recepção, são relativamente comuns no mercado internacional, situando-se hoje na faixa de US\$100.000. No INPE, apenas a passagem da tarde de um dos satélites tem sido recebida operacionalmente, no período de 01/junho a 30/novembro, o de maior estiagem no Brasil central e sul da Amazônia; portanto, é também o de maior incidência de queimadas. A recepção de mais de uma imagem AVHRR por dia já está sendo considerada pelo INPE para atender tanto a necessidade de melhor cobertura temporal, quanto a da detecção de queimadas iniciadas no final da tarde e início da noite. Sob o ponto de vista de uso da banda 3, a detecção à noite é bem mais simples pois é maior o contraste de temperatura entre queimadas e demais superfícies terrestres, além de não existir o problema de reflexão solar que, em raras situações, impede o uso de setores da imagem. Estas situações ocorrem no final de setembro, quando o sol encontra-se no Hemisfério Sul, o que favorece ângulos de reflexão com o AVHRR, principalmente no sul da Região Nordeste. Este efeito tem sido reduzido apenas com a gravação apenas de órbitas mais a leste, além de diminuir cada ano para o mesmo satélite com o retardo das passagens (ver próximo parágrafo). A extensão do monitoramento para o restante do ano todo também está sendo considerada, apesar de neste período adicional o número de queimadas ser cerca de três ordens de magnitude menor. Neste caso, a presença quase constante de nuvens, pois trata-se de meses chuvosos, impede a detecção, e a maioria dos casos não seria observada pelo AVHRR.

A segunda etapa do sistema, a detecção de queimadas nas imagens AVHRR, baseia-se em técnica simples. Selecionam-se apenas os elementos de resolução unitária ("pixels") da banda termal número três (3,55 μm-3,93 μm) da imagem AVHRR que estejam em um determinado intervalo de intensidade, seguindo a metodologia de Pereira (1988), que também é apresentada em Pereira e Setzer (1992). A cada "pixel" selecionado é associado um foco de calor intenso, ou seja, uma queimada. O intervalo inclui alguns níveis de temperatura correspondentes a valores máximos da banda três e varia para cada satélite da série NOAA; varia também com o tempo para cada sensor AVHRR no mesmo satélite. No NOAA-9, o primeiro a ser utilizado para queimadas no País, o intervalo de intensidades variou de 9 (na escala de 256 usada) em 1985 a 10 em 1989. Para o NOAA-11, o intervalo foi 11 em 1989 (Pereira Jr., 1992) e 12 em 1991. Estas variações devem-se a dois fatores: pequenas diferenças de manufatura do sensor AVHRR dos vários satélites NOAA; decaimento da resposta do AVHRR com o passar do tempo devido ao "cansaço" de seus detectores. Um terceiro fator que, possivelmente, também afeta o nível de sensibilidade em imagens no período da tarde é a mudança do horário de imageamento. Este horário ocorre mais tarde cada ano devido a efeitos de

perturbações orbitais; para os satélites NOAA de numeração ímpar (9 e 11), o atraso é de uns 12 minutos no ano do lançamento e de uns 36 minutos quatro anos após (Price, 1991). Com esta mudança no horário, a temperatura da vegetação e do solo diminui, aumentando em geral a diferença com relação à temperatura de queimadas.

A detectabilidade de queimadas na banda 3 é ilustrada nas Figuras 1 e 2, referentes a uma área de estudos no sul do Pará, imageada através do NOAA-9 em 1985, e extraídas de Pereira e Setzer (1992). No gráfico biespectral da Figura 1, estão assinalados níveis médios de grupos de "pixel" de queimadas ativas e de vegetação nas bandas AVHRR 1 e 3. Nota-se que na banda 1 a diferença entre níveis de queimada e de vegetação é de aproximadamente duas vezes, e que nos níveis da banda 3 a diferença é de uma ordem de magnitude. Para a banda 2, não apresentada na Figura 1, a diferença é a menor, quase desprezível. Para a banda 3 especificamente, a Figura 2 apresenta um histograma de distribuição dos níveis de todos "pixel" da imagem AVHRR. Nela, nota-se um grupo distinto de "pixel" com ocorrência relativamente alta no intervalo de 1 a 8, a de temperaturas mais altas na escala com limite 256. Este grupo de pixels, conforme constatado na própria imagem AVHRR pela presença de grande quantidade de fumaça que deles se originava eram todos de queimadas. Ainda nesta Figura, observa-se que as queimadas não saturam o "pixel", as quais ocorrem em sua maioria no nível 8. Este nível de maior ocorrência, conforme explicado acima, tem variado; em 1991, teve o valor 12 para o AVHRR do NOAA-11.

As razões pelas quais a maioria dos "pixel" de queimadas não apresenta na banda 3 o valor 0, de saturação, ainda não são claras. Considerando que o nível de saturação do detector é próximo a 47°C (Kidwell, 1991), e que cálculos teóricos mostram que uma queimada de 30 m x 30 m emite energia suficiente para saturar todo um "pixel" que cobre nominalmente 1,1 km x 1,1 km (Robinson, 1991), seria de esperar que a maioria das queimadas saturasse os "pixel". Estes cálculos baseiam-se na equação de exitância de Stefan-Boltzman, que relaciona a energia emitida à quarta potência da temperatura do corpo observado. Por outro lado, os autores constataram que uma queimada com frente de fogo de mais de 1km de extensão em floresta derrubada na Amazônia ficou fora do limite de detecção (Setzer e Pereira Jr., 1992). Três possíveis causas destas discrepâncias estão sendo consideradas e investigadas: 1) a atenuação da radiação térmica das queimadas, causada pela fumaça e gases emitidos pela própria queimada; 2) atenuação semelhante à do item anterior, mas causada pela própria atmosfera em função de ângulos de visada do AVHRR bem afastados do nadir; 3) discrepância entre a constante de emissividade com valor 1, usada tanto na calibração dos sensores do AVHRR como em cálculos teóricos, e a emissividade real de uma queimada ativa, que parece ser muito mais baixa (Brass et al., 1991).

Outras duas limitações da técnica devem ser consideradas neste ponto, as quais estão relacionadas ao tamanho do elemento de resolução do AVHRR. Na primeira, o "pixel" tem 1,1kmx1,1km na posição nadir, e na borda da imagem chega a 6,9km x 2,4km, quando o ângulo de observação do AVHRR atinge 55,4°. Para minimizar este "efeito de borda", são sempre desprezadas as últimas 70 colunas de cada lado da imagem, o que limita a distorção geométrica e atenuação atmosférica, e mantém o tamanho máximo dos "pixel" em cerca de 4,8 kmx2,2 km. Na segunda, como o AVHRR quantifica o total da radiação térmica emitida no "pixel", várias queimadas pequenas podem ter o mesmo efeito de uma queimada maior. Da mesma forma, uma queimada com tamanho pequeno e temperatura relativamente alta será detectada do mesmo modo que uma maior e de temperatura menor. Combinando estas limitações com as do parágrafo anterior, o problema de caracterização individual de queimadas torna-se insolúvel quando apenas a banda 3 é usada. Técnicas que combinam a banda 3 com a 4 (10,8 μ m) e 5 (11,8 μ m) na determinação de tamanho e temperatura de queimadas foram apresentadas por Dozier (1981), Matson and Dozier (1981), Matson and Holben (1987), Lee and Tag (1990) e Brustet et al. (1991). Estes trabalhos, entretanto, apresentam pouca ou nenhuma verificação de campo, e a técnicas necessitam de valores precisos da temperatura das superfícies ao redor das queimadas, um fator extremamente limitante nas condições nacionais; além disto, são recomendadas para imagens noturnas, pouco aplicáveis ao Brasil, onde a maioria das queimadas são iniciadas no princípio da tarde. No método ora apresentado considera-se que cada "pixel" da banda 3, no intervalo termal selecionado, corresponda a uma única queimada. Admite-se que para as centenas de milhares de queimadas detectadas anualmente, os casos de mais de uma queimada em um "pixel" sejam proporcionalmente compensados por queimadas maiores que um "pixel". A solução destes problemas, na opinião dos autores, só será possível com novos sensores de resolução espacial e radiométrica projetados também para detecção de queimadas, como no caso do MODIS, com lançamento previsto no final da década, dentro do programa EOS. Neste sentido, os autores vêm atuando em testes de campo e especificação de radiômetros, em colaboração com o Serviço Florestal e a Agência Espacial dos EUA, através de convênio com o IBAMA (Sommers, 1992).

A terceira etapa do sistema é a determinação das coordenadas geográficas de cada "pixel" de queimada, logo após sua seleção dentro da faixa útil da imagem. Para tanto, utilizam-se equações de "navegação", que, a partir da posição de um "pixel" na imagem AVHRR, dada por sua linha e coluna, e de parâmetros que caracterizam a órbita do satélite NOAA a que a imagem se refere, fornecem a latitude e longitude terrestres correspondentes. As equações utilizadas são as discutidas por Medeiros et al. (1986) e adaptadas por Figueiredo (1990) em seu trabalho de cálculo de

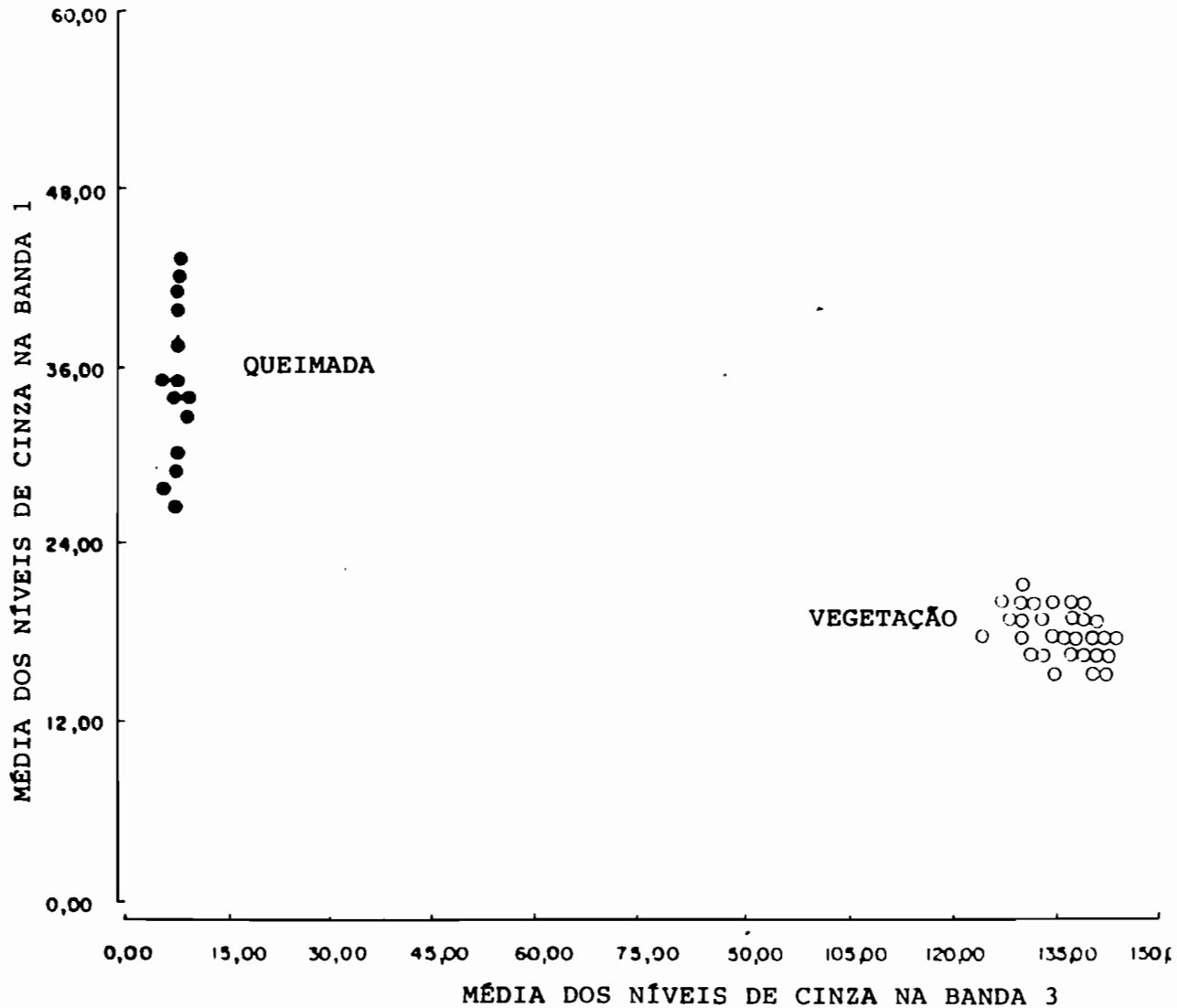


Figura 1. Valores médios de "pixel" de queimadas ativas e de vegetação nas bandas 1 (0,64 μ m) e 3 (3,7 μ m) do sensor AVHRR/NOAA-9. Nota-se que a maior diferença entre as duas classes ocorre na banda 3. (Setzer e Pereira, 1992a).

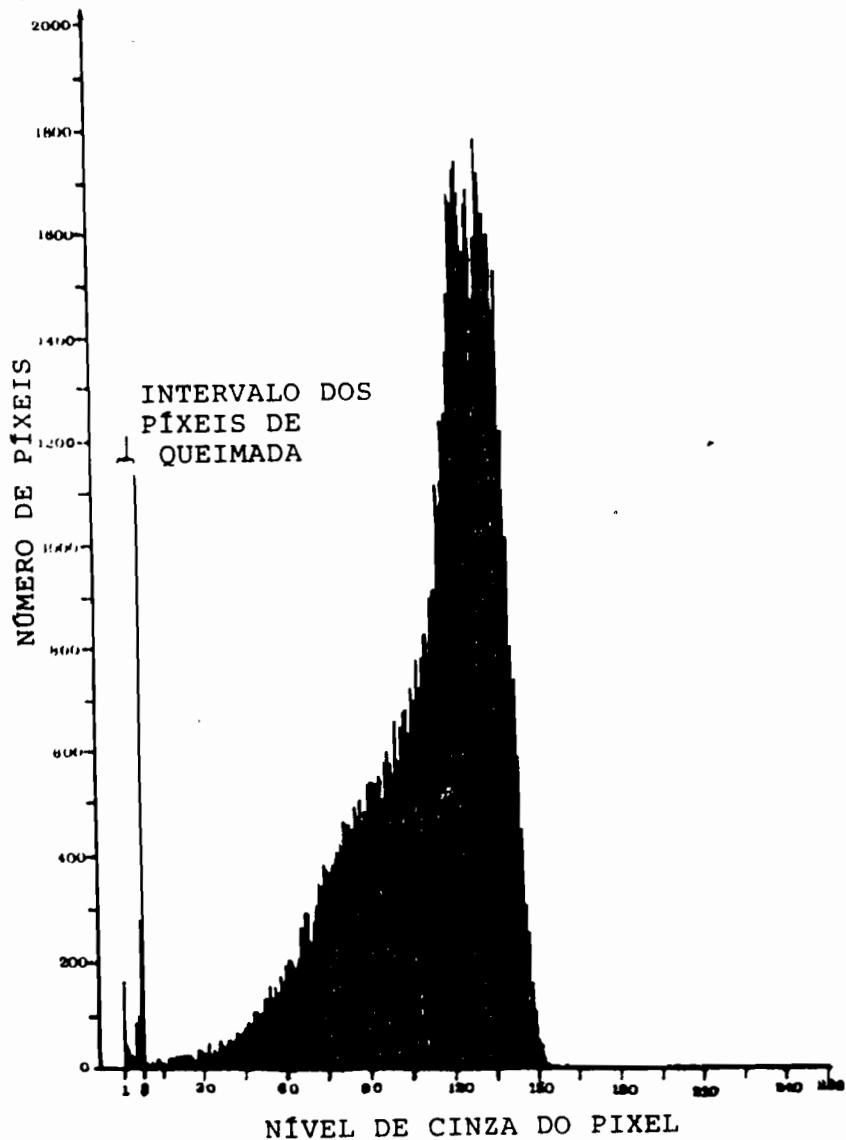


Figura 2. Histograma dos níveis dos "pixel" de uma imagem AVHRR/NOAA-9, banda 3 (3,7 μ m). Nota-se que queimadas correspondem a "pixels" com níveis que variam de 1 a 8, de maior temperatura na escala invertida, e que na maioria não apresentam o valor 1 de saturação. (Setzer e Pereira, 1992a).

imagens AVHRR de "índice de vegetação". Os parâmetros orbitais usados são fornecidos todos dias pela agência NOAA, responsável pelos satélites e seu controle orbital. Entretanto, devido a pequenas alterações orbitais entre dias consecutivos e à falta de parâmetros de controle de atitude do satélite ("yaw-pitch-roll"), é necessário um ajuste dos dados recebidos. Isto é feito utilizando pontos de controle na superfície, facilmente localizáveis nas imagens, cujas coordenadas são conhecidas. Nesta etapa a imagem da banda 2 é usada em passagens diurnas por apresentar melhor contraste. O ajuste é feito automaticamente no microcomputador por aproximações sucessivas, deslocando a imagem por translação e (a partir de 1992) alterando sua escala de maneira uniforme. A precisão atual deste processo, que vem sendo aperfeiçoado a partir de verificações de campo, é hoje a melhor possível de ser obtida: a própria resolução do sensor, ou seja, um "pixel". No final desta etapa, está disponível para cada imagem AVHRR um arquivo com todas queimadas detectadas, organizadas segundo latitude e longitude. As etapas 2, 3 e 4 (apresentadas a seguir) são feitas no mesmo microcomputador, do tipo PC-386.

4. PRODUTOS: UTILIDADES E LIMITAÇÕES - USUÁRIOS

A quarta e quinta etapas do sistema de detecção de queimadas consistem, respectivamente, na elaboração de produtos específicos e no seu envio a usuários. Três tipos de necessidades são atendidas no presente: 1) localização de queimadas em áreas limitadas, com a 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 em unidades de grade para acoplamento com modelos de emissão de poluentes, climatológicos e biogeoquímicos.

Como exemplo de monitoramento e áreas limitadas, têm-se os casos do IBAMA, ao nível nacional, e do Departamento de Proteção dos Recursos Naturais (DPRN), da Secretaria de Estado do Meio Ambiente de São Paulo, ao nível estadual. Para o IBAMA são monitoradas diariamente cerca de 100 unidades de conservação no País, como florestas, reservas ecológicas e parques nacionais; para o DPRN, monitoram-se 51 áreas específicas no Estado de São Paulo. As áreas limitadas, podem ter qualquer forma e tamanho, com pelo menos uns 2 km x 2 km. Este mínimo é recomendado devido a imprecisões na localização de queimadas resultantes do tamanho do "pixel" (no mínimo 1,2 km²) e da acuracidade das equações de navegação, também de um "pixel". Na Figura 3, estão delineadas as áreas limitadas monitoradas para o IBAMA. Os pontos no mapa são as queimadas detectadas cumulativamente no período de 16-20/agosto/91, onde se nota que poucas queimadas ocorreram nas áreas limitadas. A localização das queimadas nas áreas limitadas é o primeiro produto a

ser elaborado no processamento da imagem AVHRR, pois seu envio ao usuário normalmente atende necessidades operacionais de detecção e combate a queimadas. Este produto é um arquivo ASCII/DOS, como o mostrado na Figura 4. Conforme explicado na legenda, a primeira linha apresenta dados da imagem AVHRR utilizada; a segunda identifica a região monitorada. Segue-se a relação das queimadas detectadas organizada por latitude, além de um resumo do número de queimadas detectados em cada nível de sensibilidade da banda 3. É importante constar na linha que identifica a região uma sigla de 2 letras, TI, PI, ou NI, que indica se a área foi imageada de maneira total (TI), parcial (PI), ou não foi imageada (NI), em função da posição da órbita em relação à área de interesse. A frequência de imageamento de uma área depende principalmente de sua posição geográfica em relação à estação de recepção. No atual sistema, com a estação de recepção em Cachoeira Paulista, SP, próximo à divisa com RJ, para órbitas no sentido sul-norte no período da tarde, não é possível o monitoramento de áreas acima do equador; para o Acre e estados mais a leste no Nordeste, são conseguidas poucas imagens por semana. Para as Regiões Sul, Sudeste, Leste, e Centro-oeste, o monitoramento é praticamente diário, com uma (ou duas no máximo) exceções a cada 9 dias, devido à ciclicidade de órbitas NOAA. A limitação de frequência de imageamento poderia ser eliminada com a operação de mais uma estação de recepção AVHRR na Região Norte. Como, além da estação do INPE no Sudeste, já opera desde 1992 a estação da Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos-FUNCEME em Fortaleza, CE, com a adição desta outra estação sugerida, o País seria regularmente imageado em sua totalidade, o que permitiria, além da detecção de queimadas, outras aplicações de imagens AVHRR.

Arquivos com informações de áreas limitadas podem chegar aos usuários de várias maneiras. No caso do DPRN, eles são automaticamente enviados pelo INPE automaticamente via telex à sede operacional da Operação Mata-Fogo, na CETESB. No INPE, os arquivos ASCII são enviados por um microcomputador ligado à rede nacional de telex; alternativamente, o microcomputador pode operar através do serviço STM-400 da Rede Nacional de Pacotes (RENPA) da EMBRATEL, por sua vez também conectado à rede de telex. No ano de 1991, o intervalo entre o término da recepção da imagem AVHRR e o envio do telex com os arquivos das onze áreas limitadas chegou a ser de cerca de trinta minutos. Para o IBAMA, o envio de dados à coordenação do Programa Prevfogo (Figueiredo, 1992) em Brasília ocorre quando o próprio IBAMA acessa, através da RENPA, o computador do INPE, onde são armazenados diariamente os arquivos ASCII com as informações desejadas. Como alternativa destes dois métodos, existe sempre a possibilidade de impressão dos arquivos no INPE e envio das informações via fac-símile.



Figura 3. Píxeis de queimadas acumulados no período de 16 a 20/ago/91. As pequenas áreas delineadas são Unidades de Conservação do IBAMA, monitoradas diariamente com imagens AVHRR, em apoio ao Programa Prevfogo do IBAMA. A ausência de queimadas no Nordeste deve-se à preferência por gravação de órbitas mais a leste. Nota-se intensa atividade de fogo no Paraguai, observada apenas recentemente.

P1307913NOAA11 170930172025 530917A 985620 102.107 / 7231.069 4350
1048

RPA - IBAMA - PREVFOGO - PARA - TI

L028
3449280/3449289
L048
5148123
L068
1948330/1948337/5449171
L088
1150040/3150543
L098
0952013/1c51594/1052015/4050129

int.pontos

0	3
1	1
2	0
3	3
4	1
5	1
6	0
7	1
8	0
9	2

Tot. = 12

RPB - IBAMA - PREVFOGO - PARAIBA - NI
SEM QUEIMADAS

RPR - IBAMA - PREVFOGO - PARANA - TI

L22S
5251056/5351064
L23S
0250196/1353332/2152050/2152060/2452023/2650562/3649416/5051530/
5252520/5252520
L24S
0652302/3651154
L25S
1550090/1651564/1651583/2049041/2050340/2849092/2849099/3350188/
3949258/4850091/5049270

int.pontos

0	8
1	2
2	4
3	2
4	3
5	0
6	3
7	0
8	2
9	1

Tot. = 25

RPE - IBAMA - PREVFOGO - PERNAMBUCO - PI
SEM QUEIMADAS

Figura 4. Exemplos de arquivos com localização de queimadas utilizado operacionalmente no seu combate. Na 1a. linha constam parâmetros da imagem, no caso de 13/jul/91, 3a. passagem do satélite NOAA-11, com gravação iniciada às 17hs20'30"TMG e cruzamento com equador às 17hs20'25"TMG na longitude 53°09'17" em órbita ascendente de inclinação 98°56'20", período 102,107 min, a 7231,069km do centro da terra, com 4.350 linhas, e arquivada na fita 1048. A segunda linha especifica a região e se sua cobertura pelo satélite foi total (TI), parcial (PI), ou não ocorreu (NI). Seguem-se as queimadas detectadas, organizadas por latitudes: cada bloco separado por "/" é um "pixel" de queimada; p.ex., na latitude 02. 3449280 corresponde a uma queimada em 02°34'S e 49°28'W, com intensidade 0. Cada área é finalizada com um resumo de queimadas.

RPP - CETESB - MATAFOGO - PRES. PRUDENTE

DIA	I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	Total	M
01	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 TI
02	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1 TI
03	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 TI
04	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 TI
05	NAO HOUVE PROCESSAMENTO DE IMAGEM											
06	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1 TI
07	3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	5 TI
08	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 TI
09	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2 TI
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 TI
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 TI
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	1 TI
13	2	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	3 PI
14	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1 PI
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0 TI
16	5	1	1	0	0	1	0	0	1	1	10	10 TI
17	2	1	0	1	0	0	0	0	1	1	6	6 TI
18	0	0	0	0	0	1	1	0	0	1	3	3 TI
19	3	0	0	0	1	0	0	0	0	0	4	4 TI
20	5	1	0	1	1	0	2	1	0	1	12	12 TI
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2 TI	

RMT - IBAMA - PREVFOGO - MATO GROSSO

DIA	I0	I1	I2	I3	I4	I5	I6	I7	I8	I9	Total	M
01	451	103	69	77	67	66	63	68	69	96	1129	TI
02	173	28	29	18	26	12	14	18	31	24	373	TI
03	89	19	14	10	14	9	14	5	7	24	205	PI
04	56	10	3	7	4	3	7	5	7	7	109	PI
05	NAO HOUVE PROCESSAMENTO DE IMAGEM											
06	150	30	27	16	18	17	17	14	12	21	322	PI
07	273	52	47	38	28	35	37	26	36	40	612	TI
08	383	77	55	47	38	44	38	40	52	89	863	TI
09	565	137	98	80	82	77	80	62	77	115	1373	TI
10	587	118	112	82	85	97	85	67	78	139	1450	TI
11	300	74	74	54	71	58	71	44	66	82	894	PI
12	145	28	34	22	25	25	26	19	17	28	369	PI
13	164	23	24	13	26	19	18	13	12	22	334	PI
14	120	30	17	17	25	25	12	20	14	22	302	PI
15	677	121	108	79	86	71	85	66	77	119	1489	PI
16	886	151	147	98	115	89	110	93	105	147	1941	TI
17	1213	221	171	146	166	125	153	108	152	203	2658	TI
18	1150	215	194	162	196	158	167	143	161	201	2747	TI
19	967	168	163	113	122	111	112	115	131	157	2159	TI
20	733	136	132	88	94	78	89	62	95	116	1623	PI
21	308	52	48	34	47	27	40	29	35	66	686	PI

Figura 5. Exemplos de arquivos de totalização de queimadas, referentes aos primeiros 21 dias de ago/91. A parte superior e da região de Presidente Prudente, relativa à Operação Mata-Fogo do Estado de São Paulo, a parte inferior e de todo Estado de Mato Grosso, do Programa Prevfogo do IBAMA. As siglas TI, PI e NI indicam se a cobertura do satélite NOAA-11 foi total, parcial, ou se não houve. As colunas I0 a I9 referem-se a intensidade dos "pixels" da banda 3, sendo I9 o nível de saturação, e I0 representa os 3 níveis não saturados onde se concentra a maior parte das queimadas.

A validade destas informações deve ser considerada no contexto geral de detecção de queimadas no País. Obviamente, elas não são válidas para casos como os de companhias reflorestadoras, cujos bosques contam com equipes de vigilância contínua em torres elevadas, equipadas com sistemas de observação e comunicação. A validade das informações de satélite são evidenciadas pela experiência da Operação Mata-Fogo em São Paulo, que conta com três fontes de informação na detecção de queimadas: observadores de campo, pilotos das aeronaves comerciais, e imagens AVHRR. Das 5290 queimadas registradas em 1989, 5217 (98,6%) foram detectadas pelo AVHRR, 57 (1,1%) por observadores, e 16 (0,3%) por pilotos (CETESB, 1989). Em 1990, de um total de 777 queimadas, 81,5% foram detectadas pelo AVHRR, 15,7%, por observadores e 2,8% por aeronaves (CETESB, 1990); cabe observar que a redução da porcentagem devida ao satélite resultou do não processamento de muitas imagens por problemas operacionais na estação de recepção. Em 1991, dados preliminares indicam que a porcentagem de detecção por satélite voltou a ser superior a 95%, com a melhoria das condições operacionais. Dados similares, mas referentes a áreas de outros usuários, não são apresentados neste parágrafo por não terem sido ainda levantados.

A acuracidade das informações de satélite deve também ser analisada, e para tanto referimo-nos novamente aos resultados da Operação Mata Fogo do DPRN. Cerca de 98% das queimadas detectadas pelo AVHRR foram efetivamente comprovadas por equipes de campo, tendo ocorrido nos mais diversos tipos de vegetação (CETESB, 1989, 1990). Para os 2% restantes, não foi possível estabelecer se houve falha na técnica utilizada, ou se por razões quaisquer as equipes de combate a incêndio não atingiram o local indicado pelo satélite. Em duas imagens no período de maio a novembro/91, ocorreu detecção de número exagerado de queimadas; as imagens pertinentes estão sendo analisadas para determinar as causas deste eventual engano. Informações semelhantes de outros usuários não estão disponíveis; complementarmente, os autores descrevem a sua experiência de verificação de centenas de queimadas em diversas regiões do País. Desde 1987, na época de maior ocorrência de queimadas, no final de agosto e início de setembro, tem sido utilizada a aeronave bimotor Bandeirante do INPE para comprovar a localização de queimadas. As coordenadas geográficas de queimadas detectadas no dia anterior ao voo em uma região são sobrevoadas a baixa altitude e verificadas, não tendo sido registrada até hoje nenhuma detecção falha.

Falhas na detecção de queimadas foram relacionadas a algumas situações verificadas pelos autores, as quais ocorrem isolada ou simultaneamente: frentes de fogo menores que 50m a 100m, início da queimada após a passagem do satélite, término da queimada antes da passagem do satélite, presença de nuvens sobre a área com fogo, e fogo apenas no

substrato de vegetação cujo dossel mais elevado não queima. O estudo recente de Pereira Jr.(1992), em região de cerrado no médio Rio Araguaia, onde as quatro primeiras destas falhas tendem a acontecer, permite avaliar o potencial máximo de erro da técnica. No intervalo de dezesseis dias entre a obtenção de duas imagens consecutivas de alta resolução Landsat/TM para a mesma região, consideradas verdade terrestre, foram analisadas 13 imagens NOAA-11/AVHRR correspondentes, e disponíveis. A região de cerrado analisada situa-se entre 12°05' a 14°00'S e 49°20'a 51°30'W, com cerca de 185kmx185km, e contém várias das unidades de vegetação de cerrado. O período de análise foi de 26/ago/89 a 11/set/89. Das 23 queimadas detectadas pelo AVHRR em uma imagem, 16 (70%) foram confirmadas, 4 (17%) não puderam ser verificadas pela ocorrência de nuvens na segunda imagem TM e por ausência das respectivas plumas de fumaça na imagem AVHRR; em 3 casos (13%) não foi possível a validação por tratar-se de vegetação muito rasteira, onde mesmo com a imagem TM a identificação de uma queimada é duvidosa. Tomando como referência as duas imagens TM, foram identificadas 42 queimadas no intervalo entre elas mesmas. Destes, 11 casos (26,2%) não foram detectados pelo AVHRR, sendo que 10 deles ocorreram em vegetação do tipo "parque cerrado" com baixa fitomassa. Ou seja, para um teste comparativo em cerrados com predominância de vegetação de baixa fitomassa, onde ocorrem queimadas rápidas e de pequenas labaredas, a técnica baseada no uso da banda 3 do sensor AVHRR subestimou o número de queimadas em cerca de 26%.

Quanto ao produto com totalização do número de queimadas em áreas limitadas a grandes regiões durante períodos específicos para acompanhamento estatístico, a Figura 5 exemplifica seu formato. medida que são produzidos arquivos com informações de cada imagem AVHRR para áreas de interesse, como o apresentado na Figura 4, o resumo que aparece no final deste arquivo, juntamente com a informação sobre a parcialidade ou não do imageamento, são simplesmente adicionados de maneira sequencial a um arquivo de totalizações para a área em questão. Estes arquivos de totalização são encerrados mensalmente. O recebimento destes arquivos pelos usuários tem ocorrido de duas maneiras: envio de disquetes com os arquivos das áreas do usuário, ou através do acesso ao computador do INPE pelo usuário via RENPAC para sua retirada. Como estes dados destinam-se mais a acompanhamentos estatísticos, não existe urgência no seu envio. O total de queimadas em estados com muita incidência, como Mato Grosso e Tocantins, chega a dezenas de milhares por ano; ao nível nacional, o total tem sido de centenas de milhares (Setzer e Pereira, 1991a,b). Ao nível diário, o total máximo de queimadas no País chega a cerca de 30.000 "pixel".

Um outro produto, com distribuição temporal de densidades de queimadas em unidades de grade para acoplamento com modelos de emissão de poluentes, modelos climatológicos, e modelos biogeoquímicos,

também é gerado pelo sistema para células de 0,5 graus de longitude por 1,0 grau de latitude. A Figura 42 desta edição do *Climanálise* ilustra uma aplicação deste produto e mostra o País dividido em unidades de grade, com 1,5 grau de longitude por 1,0 graus de latitude, para as quais é obtido semanalmente o número acumulado de queimadas detectadas pelo AVHRR. Mapas como este são encontrados no jornal "O Estado de S.Paulo", que a partir de 1991 passou a publicá-lo semanalmente no período de maio a novembro. O sistema gera três matrizes de pontos referentes às células da grade. Na primeira, consta o total de queimadas detectadas no período em cada célula; na segunda, o número de vezes que cada célula foi imageada; e na terceira, a razão das duas matrizes, com o número médio de queimadas detectadas. Estas informações também são enviadas aos usuários em disquetes, via correio eletrônico ("E-Mail"), ou podem ser "acessadas" via RENPAC diretamente no computador do INPE.

Todos produtos da etapa 4 são obtidos através de funções do Sistema de Informações Geográficas (SGI) do INPE (Engespaço/INPE, 1990), instalado no mesmo microcomputador PC-386 que processa as imagens.

Por último, é comentada a estimativa de área queimada a partir de imagens da banda termal 3 AVHRR. Três restrições impedem o uso destas imagens na estimativa de áreas de queimadas individuais. Em primeiro lugar, detectam-se apenas queimadas ativas, ou seja, a presença de fogo e temperaturas muito altas. Portanto, áreas de uma queimada já atingidas pelo fogo, nas quais a temperatura tenha abaixado significativamente por ocasião da passagem do satélite, não são detectadas. Em segundo lugar, como a imagem do satélite corresponde quase a uma fotografia instantânea, é impossível saber que áreas ainda não foram atingidas por uma queimada detectada num determinado instante. Finalmente, existem limitações de resolução espacial (1,1km) e radiométrica do próprio sensor AVHRR, que impedem o cálculo da área dos focos detectados.

Quanto às queimadas que se propagam descontroladamente, os focos detectados correspondem apenas a uma fração da área total queimada. O estudo de Pereira et al. (1990) para o Parque Nacional das EMAS, GO, acompanhou diariamente com imagens AVHRR a grande queimada de 29/julho a 03/agosto/1988, e comparou os resultados com imagens de alta resolução do satélite Landsat/TM. A área ocupada pelos focos correspondeu apenas a cerca de 10% da área efetivamente queimada, uma vez que o AVHRR apenas registrou as linhas de fogo ativas durante sua passagem. No intervalo de um dia entre as imagens, o fogo se propagou sem que fosse detectado.

No caso de centenas ou milhares de queimadas que ocorrem em grandes regiões e em intervalos de tempo de muitos dias, pode-se considerar o uso de valores médios e obter estimativas pelo menos da ordem de magnitude da área queimada. Nos trabalhos de Pereira Jr. et al. (1991) e Pereira Jr. (1992) para o

Cerrado, são apresentadas equações de simples regressão linear entre o número de focos detectados pela banda 3 AVHRR e a área queimada medida com precisão em imagens Landsat/TM de alta resolução. Os coeficientes de correlação obtidos foram próximos a 0,8 ($R^2 = 0,63$), o que indica que estatisticamente este tipo de estimativa pode ser utilizada. Outros biomas requerem equações diferentes, pois queimadas em cerrado podem se propagar livremente, enquanto na floresta tropical elas estão em geral confinadas à área que foi desmatada.

Outra possibilidade para estimativas de áreas queimadas com imagens AVHRR é o uso da banda 2, na faixa de radiação infravermelha próxima. Neste caso, não seriam utilizados os focos de queimadas, mas sim a cobertura de cinzas que se origina da queimada. A complexidade do processamento seria maior, pois envolveria a sobreposição e comparação diária das imagens AVHRR. Considerando fatores limitantes como cobertura de nuvens, além da própria sombra das nuvens no solo, prevê-se que este outro método também venha a apresentar muitas limitações.

5. CONCLUSÕES

Apresentam-se a seguir as conclusões referentes a benefícios, limitações e necessidades da técnica de detecção de queimadas em imagens da banda termal 3 do sensor AVHRR dos satélites NOAA.

BENEFÍCIOS.

- metodologia uniforme de detecção;
- acesso irrestrito e sem custos às imagens;
- disponibilidade de até quatro detecções diárias;
- cobertura de regiões de poucos a milhões de km²;
- localização precisa de queimadas para efeito de combate;
- rapidez na obtenção e disseminação de informações;
- princípio simples de detecção, com validade comprovada;
- elaboração simples de produtos;
- atendimento das necessidades específicas de usuários;
- envio simples, rápido e diversificado de produtos;
- custo baixo dos produtos para usuários.

LIMITAÇÕES.

- queimadas não ativas nos horários de passagem do satélite;
- frentes de fogo menores que 50-100 metros;
- presença de nuvens;
- fogo que não atinge dossel da vegetação;
- reflexão solar em alguns casos;

- estimativa grosseira da área queimada, e estatisticamente;

- avanço de queimadas entre imagens consecutivas do satélite.

NECESSIDADES ATUAIS.

- recepção e processamento de mais de uma imagem por dia;

- instalação de uma estação NOAA/AVHRR no norte do País;

- criação de centros estaduais, conforme o exemplo de SP;

- extensão do monitoramento para o ano todo;

- Plano nacional de combate a queimadas;

- experimentos de campo para criar novas metodologias.

NECESSIDADES FUTURAS.

- sensores adequados em satélites para queimadas;

- sensores de queimadas em satélites geoestacionários.

6. AGRADECIMENTOS

Muitos contribuíram para que o monitoramento de queimadas no Brasil através de imagens AVHRR se tornasse uma realidade operacional, apoiando os autores em barreiras técnicas e econômicas e ajudando-os a superar grandes pressões ao nível pessoal. Em particular, dividimos os resultados positivos obtidos com (em ordem alfabética, por sobrenome): Sérgio A.O. de Almeida, Helvio Aventurato, Luiz A. M. Awazu, Marília M. Cerqueira, Anibal E. Fernandes, C. Divino Figueiredo, Heloíso B. Figueiredo, Liana John, Yoram Kaufman, Jean-Paul Malingreau, Fernando C. Mesquita, Evaristo Miranda, Eugênio J. Neiva, Célio Paiva, Sérgio P. Pereira, M. Rogério Ramos, Jayme C. Santiago, Paulo M. Schwenck Jr., Aylê Selassiê, Ricardo Serpa, Marilene A. Silva, Marlise Simons e C. "Jim" Tucker. Agradecemos também à equipe de operadores do DOP/INPE, aos pilotos e co-pilotos da aeronave do INPE, às equipes das Operações Prevfogo do IBAMA e Mata-Fogo do Estado de São Paulo, e às equipes do NMA/EMBRAPA.

7. NOTA

O texto deste trabalho é baseado, e em grande parte extraído, do texto preparado para o I Seminário Nacional Sobre Incêndios Florestais e Queimadas, ocorrido em Brasília de 06 a 10 de abril de 1992, cuja publicação está sendo coordenada pelo IBAMA.

8. REFERÊNCIAS

Andrea, M.O.; Browell, E.V.; Garstang, M.; Gregory, G.L.; Harris, R.C.; Hill, C.F.; Jacob, D.J.; Pereira,

M.C.; Sachse, G.W.; Setzer, A.W.; Dias, P.L.S.; Talbot, R.W.; Torres, A.L. Wofsy, S.C. 1988. Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia, *Journal of Geophysical Research*, 93(D2):1509-1527.

Artaxo, P.E. e Setzer, A.W., 1992. Impactos das queimadas na atmosfera e ciclagem de nutrientes. I Semin. Nac. Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.

Aventurato, H. 1992. Plano de contingência para incêndios florestais no Estado de São Paulo - Operação Mata-Fogo. I Semin.Nac.Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.

Brass, J, Setzer, A.W. e Pereira, M.C., 1991. Testes realizados no centro AMES da NASA, EUA, em 1991. Manuscrito em elaboração.

Brustet J.M.; Vickos, J.B.; Fontan, J.; Manissadjian, K.; Podaire, A.; Lavenu, F. 1991. Remote sensing of biomass burning in West Africa with AVHRR. In: GLOBAL BIOMASS BURNING: ATMOSPHERIC, CLIMATIC, AND BIOSPHERIC IMPLICATIONS, ed. J.S. Levine, cap. 5, p.47-52.

CETESB. 1989. Operação Mata-Fogo: relatório de avaliação. São Paulo, SP, CETESB.

CETESB. 1990. Operação Mata-Fogo: relatório de avaliação. São Paulo, SP, CETESB, 62p.

Cox, R., Mutch, R., Sanson, J. and Weeden, P., 1990. U.S.D.A. Forest Service report on field visit to Brazil, Nov/90.

Crutzen, P.J. and Andrea, M.O. 1990. Biomass burning in the tropics: impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles, *Science*, 250:1669-1678.

Crutzen, P.J. and Goldammer, J., 1992. The Dahlem Conference on Fire in the Environment, Berlin, March 1992. In press.

Crutzen, P.J.; Heidt, L.E.; Krasnec, J.P.; Pollock, W.H.; Seiler, W. 1979. Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl and COS, *Nature*, 282(5736):253-256.

Dickinson, R.E.; Cicerone, R.J. 1986. Future global warming from atmospheric trace gases, *Nature*, 319(6049):109-115.

Dozier, J., 1981. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. *Remote Sensing Environ.*, 11, 221-229.

Engespaço/INPE, 1990. Sistema de Informações Geográficas (versão 2.3). Manual do usuário. S.J.Campos, INPE, 1990.

Fearnside, P.M., 1992. Greenhouse gas emissions from deforestation in the Brazilian Amazon. In *Tropical Forestry and Global Climate Change: Landuse Policy, Emissions and Sequestration*; Proc. Internat. Work., Ed. by W. Makundi and J. Sathaye.

Fernandes, A.E. e Setzer, A.W. 1992. Manual do sistema de detecção de queimadas. Em elaboração.

- Figueiredo, D.C. 1990. Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR, São José dos Campos, SP, INPE, 107p.(INPE-5068-TDL/407)
- Figueiredo, H.B. 1992. O Papel do IBAMA na implementação do sistema nacional de prevenção aos incêndios florestais. I Semin.Nac.Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.
- Kidwell, K.B., 1991. NOAA Polar orbiter data users guide (TIROS-N/NOAA-6 to 12). NOAA/NESDIS, Washington, DC.
- Lee, T.F.; Tag, P.M. 1990. Improved detection of hotspots using the AVHRR 3.7um channel, Bull. Amer. Meteor. Soc. 17(12):1722-1730.
- Levine, J.S., 1991. Global biomass burning - atmospheric, climatic, and biospheric implications, ed. by J.S.Levine, The MIT Press, Cambridge, 569 pgs.
- Matson, M.; Schneider, S.R.; Aldridge, B.; Satchwell, B. 1984. Fire detection using the NOAA-Series satellite, NOAA/NESS, Washington, D.C. 34p. (NOAA-TR-NESDIS-7).
- Matson, M.; Dozier, J. 1981. Identification of subresolution high temperature sources using a thermal IR sensor, Photogrammetric Eng.& Remote Sensing, 47(9):1311-1318.
- Matson, M.; Holben, B. 1987. Satellite detection of tropical burning in Brazil. Int. J. Remote Sensing, 8(3):509-516.
- Medeiros, V.; Tanaka, K.; Yamazaki, Y. 1986. Sistema de navegação dos dados AVHRR dos satélites da série NOAA. In: Simp. Lat.Americ. Sens.Remoto 1, S.J.Campos, INPE, pp.464-471.
- Pereira Jr., A.C. 1992. Monitoramento de queimadas na região dos cerrados com a utilização de dados multisensores-AVHRR/NOAA e TM/Landsat. Dissert. mestrado, INPE, S.J.Campos, SP, no prelo.
- Pereira Jr. A.C.; Setzer, A.W.; Santos, J.R. 1991. Fire estimates in savannas of central Brazil with thermal AVHRR/NOAA calibrated by TM/Landsat. In: INTERN.SYMP. ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 24., Rio de Janeiro, Brazil, no prelo.
- 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, São José dos Campos, SP, INPE/CNPq, 268p. (INPE-4503-TDL/326).
- Pereira, M.C.; Setzer, A.W. 1986. Detecção de queimadas e plumas de fumaça na Amazônia através de imagens de satélites NOAA. In: SIMP.LAT.-AMERIC. DE SENSORIAMENTO REMOTO, Gramado, RS., INPE/SELP/SBC, V.1, p.703-708.
- Pereira, M.C.; Setzer, A.W. 1992. Spectral Characteristics of deforestation fires in NOAA/AVHRR images, Int. J. Remote Sensing, no prelo.
- Pereira, M.C.; Amaral, S.; Zerbini, N.J.; Setzer, A.W. 1990. Estimativa da área total queimada no Parque Nacional das Emas com o uso de imagens da banda 3 do AVHRR: comparação com estimativas do TM-LANDSAT. In: SIMP. BRASIL. DE SENSORIAMENTO REMOTO, Manaus, AM, INPE/MCT, V.2, pp.302-310.
- Price, J.C., 1991. Timing of NOAA afternoon passes. Int.J. Remote Sensing, 12, 1, 193-198.
- Robinson, J.M. 1991. Fire from space: global fire evaluation using infrared remote sensing, Int. J. Rem. Sens., 12(1):3-24.
- Rosa, C.M.M., 1992. Ocorrência de incêndios em unidades de conservação. I Semin.Nac.Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.
- Santos, A.P. e Novo, E.M.L.M., 1977. Uso de dados do Landsat-1 na implantação, controle, e acompanhamento de projetos agropecuários no sudoeste da Amazônia Legal. INPE, S.J.Campos, SP, 217 pp. (INPE-1044-TpT/056).
- Schwenck Jr., P.M., 1992. Prevenção de incêndios florestais em São Paulo: operação Mata-Fogo. I Semin. Nac. Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.
- Setzer, A.W. e Pereira Jr, A.C. 1992. Detecção e localização de queimadas controladas, utilizando AVHRR/NOAA. Em elaboração.
- Setzer, A.W. and Pereira, M.C. 1991a. Amazon biomass burnings in 1987 and an estimate of their tropospheric emissions, *Ambio*, 20(1):19-22.
- Setzer, A.W. and Pereira, M.C. 1991b. Operational detection of fires in Brazil with NOAA/AVHRR. In: INTERN.SYMP. ON REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 24., Rio de Janeiro, Brazil, no prelo.
- Setzer, A.W.; Pereira, M.C.; Pereira Jr., A.C.; Almeida, S.A.O. 1988. Relatório de atividades do projeto IBDF-INPE "SEOE" -ano 1987. S. J. Campos, SP, INPE, 101p. (INPE-4534-RPE/565).
- Soares, R.V. 1984. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em 1983, *Brasil Florestal*, 58:31-42.
- Soares, R.V. 1989. Perfil dos incêndios florestais no Brasil de 1984 a 1987, *Brasil Florestal*, 67(1)41-58.
- Soares, R.V. 1992. Ocorrência de incêndios florestais em reflorestamentos. I Semin.Nac.Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.
- Sommers, W. 1992. History of the IBAMA/USDA Forest Service cooperation. I Semin.Nac.Incêndios Florestais e Queimadas. IBAMA, no prelo.
- WRI, 1992. World Resources-A Guide to the Global Environment-1992/93. WRI/UNEP/UNDP. New York, Oxford Univ. Press., p.208.