

UM SISTEMA BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL DEDICADO À QUESTÃO DAS QUEIMADAS?

RAIMUNDO ALMEIDA-FILHO
INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12227-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
rai@ltid.inpe.br

Abstract. Due to produce several atmospheric gases as carbon monoxide (CO), an air pollutant that generates ozone, a greenhouse gas, biomass burning (*queimadas*) is probably our main environmental concern. The *queimadas* occur in the domain of the savanna (*Cerrado*) in the Central Brazil, and in the domain of the Amazonian rain forest. In the *Cerrado* they are independent of previous deforestation or slashing, but in the Amazônia they occur only in previously deforested areas. Some weeks after the forest has been cut the dried biomass is burned. This practice is repeated in subsequent years to clean the terrain and/or to prevent vegetation regrowth. This article discusses the necessity of a Brazilian operational remote program dedicated to the detecting, mapping and monitoring *queimadas* at an Amazonian scale. Such a program would not require a sophisticated remote sensing payload to provide data on a operational basis.

This document is available on the Web at www.ltid.inpe.br/sbsr2003 (clicking on *Submission*).

Keywords: Biomass burning, remote sensing.

1. Introdução

Neste ano de 2003 entra em vigor o Protocolo de Kyoto. Os países signatários desse acordo comprometem-se a cortar, até o ano de 2012, suas emissões de gases-estufa em 5,2% relativos aos níveis de 1990. Com a responsabilidade de detentor da maior floresta tropical do mundo, o Brasil é signatário desse acordo internacional. A nosso país cabe papel fundamental na questão ambiental em escala planetária. A legislação brasileira tem procurado se adequar às necessidades impostas por esse desafio. Como passo importante para assumir essas responsabilidades foi lançado em meados de 2002 pelo Governo Federal o plano 'Agenda 21 do Brasil', um conjunto de propostas de desenvolvimento sustentável para o país, onde estão contempladas seis áreas temáticas. Uma delas diz respeito à gestão dos recursos naturais.

A questão das emissões de monóxido de carbono (CO) para a atmosfera relacionada às queimadas sazonais no Brasil é talvez o nosso maior problema ambiental. Tão maior por tratar-se de uma prática incorporada à nossa cultura de usar o fogo como processo de "limpeza" de áreas a cultivar.

Como se sabe, devido à combustão incompleta, as queimadas produzem vários gases atmosféricos, como o monóxido de carbono, poluente que gera ozônio, um gás associado ao efeito estufa, maléfico à vida. Além da emissão de gases-estufa, as queimadas degradam o solo, provocam a morte de pássaros, répteis e outros pequenos animais, além de causar sérios problemas respiratórios na população, especialmente crianças. Em situações extremas com tem ocorrido na Amazônia, chega a prejudicar inclusive o tráfego aéreo, com o fechamento de aeroportos, pela baixa visibilidade provocada pela fumaça.

A dramaticidade do problema das emissões foi mostrada recentemente em escala global através de dados do sistema sensor MOPITT (*Measurements Of Pollution In The Troposphere*), abordo da plataforma orbital Terra. Administradores e cientistas em todo o mundo têm agora meios de identificar e quantificar as principais fontes de poluição atmosférica, sem a necessidade de adentrar fronteiras nacionais.

Como exemplo, a **Figura 1** mostra concentrações desses gases atmosféricos em dois momentos diferentes nos hemisférios norte e sul. No primeiro semestre do ano, os níveis de monóxido de carbono são mais altos no hemisfério norte, como resultado combinado da atividade industrial, utilização de automóveis e aquecimento de residências durante o inverno. No segundo semestre, uma imensa pluma de gás é notada sobre a África e sobre a Amazônia, resultantes da queima de biomassa de florestas e savanas.

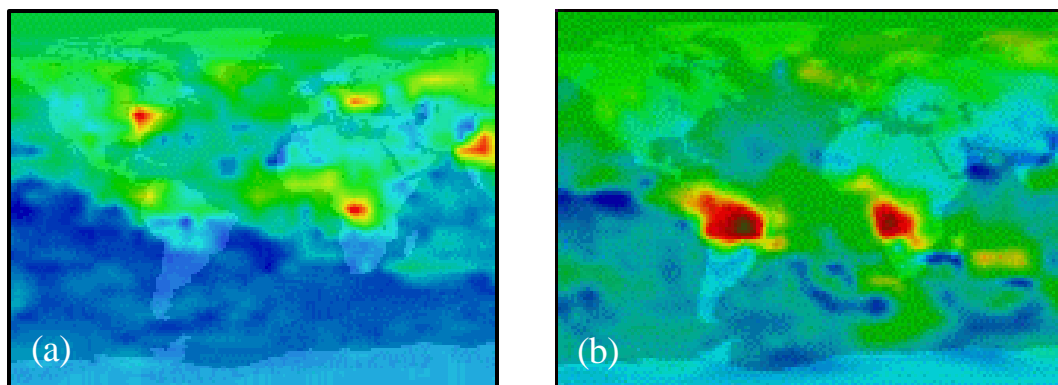


Figura 1. Imagens MOPITT do hemisfério norte (23/03/2000) indicando concentrações de monóxido de carbono associadas à queima de combustíveis fósseis em indústrias e automóveis (a); na imagem de 04/09/2002 a ocorre uma imensa pluma de gás associada à queima de biomassa no hemisfério sul. Concentrações: azul (~50 ppb), vermelho (~220 ppb) e marrom escuro (~390 ppb). Fonte: NASA/GSFC, 2002.

Pelas características continentais do nosso país, o sensoriamento remoto é o único meio viável de fiscalização ambiental capaz de fornecer dados em bases operacionais para os órgãos competentes enfrentarem essa questão. Diante desse pressuposto, cabe uma questão crucial: está o programa brasileiro de sensoriamento remoto adequado para enfrentar esses desafios? Esta é a questão-chave que o presente artigo se propõe a levantar.

2. As Queimadas no Brasil

O Projeto Estimativa do Desflorestamento da Amazônia (PRODES), desenvolvido pelo INPE, desde 1988 vem fazendo o monitoramento anual do desmatamento da floresta amazônica. Dados do PRODES mostram que mais de 590.000 km² de florestas já foram desmatados (área maior que a soma dos territórios da França e da Bélgica). A taxa média anual de desflorestamento gira em torno de 17.000 km², com desvio padrão de cerca 5.000 km² (**Figura 2**), que em parte reflete a variação na taxa de crescimento econômico do país: maior crescimento econômico, maior desmatamento e vice-versa.

Além das áreas de desmatamentos pioneiros, toda essa vasta região já desmatada (exceção das áreas que se tornaram capoeiras), vem sendo recorrentemente queimada todos os anos. Às áreas de desmatamentos na Amazônia devem ser acrescentados os 1.500.000 km² de cerrados do Brasil Central, que também sofrem o processo das queimadas na estação seca, com ou sem desmatamentos. A análise de imagens Landsat-TM das bandas refletidas e da banda termal em uma área de 11.000 km² na fronteira dos estados de Mato Grosso e Pará, mostra números interessantes. O incremento no desmatamento (áreas de queimadas pioneiras) de 1993 para 1994 foi de 24 km². No entanto, no início da estação de chuvas de 1994, todas as áreas já desmatadas na região em anos anteriores (4.660 km².) tinha sido queimadas. Esses dados mostram que as queimadas em áreas de desmatamentos pioneiros, embora

extremamente graves pela maior quantidade de emissão de gases-estufa, contribuem apenas em parte para essas emissões.

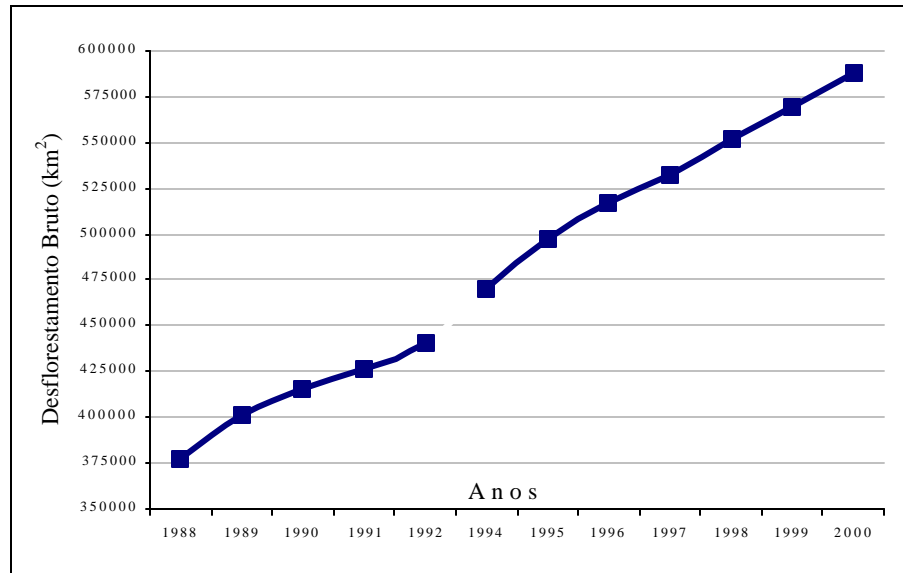


Figura 2. Extensão do desflorestamento bruto (km²) de 1988 a 2000 (fonte: INPE, 2002)

Para se ter uma idéia da dimensão do problema das queimadas no Brasil e suas implicações na emissão de gases-estufa para a atmosfera, dados do Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos-CPTEC do INPE indicaram em agosto de 2002 a ocorrência de 49.782 focos de incêndios em diferentes pontos do território nacional. Dados oficiais do Ministério de Ciência e Tecnologia estimam em 140 milhões de toneladas anuais as emissões de carbono oriundas de queimadas pioneiras no Brasil, embora previsões independentes mais pessimistas estimam que esse valor pode chegar a 300 milhões de toneladas.

3. O Programa Brasileiro de Satélites de Sensoriamento Remoto

O programa brasileiro de sensoriamento remoto, atual ou planejado para a próxima década, comporta apenas sistemas voltados para usos múltiplos e, como tal, não atendem as necessidades de um programa operacional dedicado à questão das queimadas no país. Esse programa é hoje fundamentado no CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite*). Iniciativas de outros dois programas brasileiros focados na Amazônia encontram-se em fase de estudo: os SSR-1 e o MAPSAR.

3.1. Satélites CBERS

O programa CBERS é uma cooperação tecnológica entre a China e o Brasil, contemplando até agora uma família de quatro satélites. O CBERS-1 foi lançado em 1999, onze anos após o acordo de cooperação ter sido assinado. Devido a uma série de problemas técnicos, os dados gerados por esse satélite praticamente não foram usados. O CBERS-2 está previsto para ser lançado em meados de 2003, com a mesma configuração do anterior, enquanto o CBERS-3 não deve ser lançado antes de 2008.

Os satélites CBERS-1 e -2 carregam três conjuntos de sistemas sensores, dois sob responsabilidade da China (CCD e IR-MSS) e um sob responsabilidade brasileira (WFI). O

CCD consta de 5 bandas espectrais entre o visível e o infravermelho próximo, com resolução espacial de 20 metros cobrindo uma faixa de 113 km no terreno e revisita de 26 dias. Esse sistema carrega ainda uma câmara pancromática não conjugada ao sistema multiespectral, mas cobrindo a mesma área no terreno. O sistema IR-MSS consta de duas bandas no infravermelho médio (SWIR), com resolução de 80 m, cobrindo área de 120 km. Uma banda termal (resolução de 160 m) também faz parte do sistema IR-MSS. Modos de aquisição diferentes, resoluções espaciais diferentes e calibrações diferentes, impõem sérias limitações ao uso combinado desses sistemas.

A câmara de abertura larga (WFI), sob responsabilidade brasileira, é o diferencial que fornece ao programa CBERS algum cunho inovador, com aplicabilidade em estudos de monitoramento de nossos recursos ambientais. Nos dos primeiros satélites ela é composta por 2 bandas espectrais no visível (0.63-0.69 μm) e no infravermelho próximo (0.77-0.89 μm); resolução espacial de 260 m, faixa de recobrimento de 860 km, e revisita de 5 dias. Para os CBERS-3e -4 há proposição de mais duas bandas (0.52-0.59 μm) e (1.55-1.75 μm), aumento da resolução espacial para 75 m e revisita de 3 dias.

3.2. O Sistema SSR

Esse projeto, ainda em fase de estudos no INPE (Kono et al., 2002), considera a construção de um pequeno satélite colocado em órbita equatorial de baixa altitude, dedicado ao monitoramento da Amazônia, que produziria imagens várias vezes ao dia. Tais imagens seriam distribuídas diretamente aos usuários em tempo real via pequenas estações terrestres de baixo custo. O sistema sensor cobriria uma faixa no terreno de cerca de 2200 km, entre as latitudes de 5° graus norte e 15° graus sul. As imagens seriam obtidas em cinco bandas espectrais, centradas no azul, verde, vermelho e duas bandas no infravermelho próximo, com resoluções espaciais de 40 m. Uma banda prevista para a faixa termal, com 500 m de resolução, cobriria a região entre 5° N e 5° S. Essa configuração exclui as áreas mais críticas de queimadas no Pará, Mato Grosso e Rondônia, além de toda a região dos cerrados do Brasil Central.

As aplicações proposta para essas imagens são bastante genéricas e cobrem diferentes assuntos: avaliação quantitativa de áreas desflorestadas, detecção de queimadas e de cicatrizes de queimadas, caracterização e classificação da cobertura vegetal, regeneração da vegetação, fenologia da vegetação, agricultura, inundações, atividades de mineração. Outros assuntos também identificados como potenciais para utilização das imagens geradas por esse sistema seriam desertificação, oceanografia e geologia. Deve-se considerar que os produtos gerados por um sistema em órbita equatorial estarão sujeitos a variações de iluminação devido ao fuso horário ao longo da órbita e ao azimute solar nos diferentes horários diários de passagens. O baixo ângulo de visada para sul irá requerer custosos processamentos de correção geométrica e de interferência atmosférica. Tais características afastam qualquer possibilidade de uso dos produtos gerados por essa câmara em bases operacionais, tratando-se, portanto, de um sistema experimental.

3.3. O Sistema MAPSAR

O MAPSAR é fruto de uma iniciativa de cooperação entre o INPE e a Agência Aeroespacial da Alemanha (DLR-*Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V.*), para o desenvolvimento de um estudo preliminar de viabilidade de construção de pequeno satélite, tendo como carga útil um radar imageador de abertura sintética. Uma reunião de potenciais usuários identificou

diferentes necessidades da comunidade brasileira. Dada a amplitude de requerimentos dos diferentes grupos temáticos, parâmetros importantes como banda de frequência e resolução espacial ainda estão por ser definidos. Por se tratar de um pequeno satélite, visando múltiplos usos, longe estará de atender às necessidades ambientais brasileiras de larga escala, concentrando-se em observações locais.

4. Um sistema Brasileiro Dedicado à Questão das Queimadas

O sensoriamento remoto orbital é o único meio efetivo de viabilizar um programa operacional de monitoramento de queimadas em escala amazônica. Obviamente, sistemas com base em aeronaves, como o Projeto Sivam-Sipam não podem atender às demandas necessárias de uma atividade com tais dimensões, podendo se ater apenas a situações locais.

A detecção de focos de calor, ou seja, de pontos com temperaturas que podem significar incêndios, está a cargo do Projeto PROARCO (Programa de Prevenção e Controle de Queimadas e Incêndios Florestais na Amazônia Legal). Esse programa é desenvolvido com a utilização dos sistemas sensores dos satélites da série NOAA-AVHRR (National Oceanic and Atmospheric Administration-Advanced Very High Resolution Radiometer), e também do MODIS (Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer), a bordo das plataformas orbitais Terra e Aqua.

As características e dimensões do problema das queimadas requerem sistemas de sensoriamento remoto orbital com configurações específicas. Setzer et al. (1994) avaliaram características dos dois mais importantes e tradicionais sistemas de sensoriamento remoto orbital: os sistemas Landsat-*Thematic Mapper* (TM) e o NOAA-AVHRR, como bases operacionais à detecção, mapeamento e monitoramento de queimadas em escala amazônica. Dada à sua alta resolução espacial (30 m), o sistema TM permite estimar com precisão a extensão de áreas com cicatrizes de queimadas, mas a baixa repetitividade (16 dias), combinada com a freqüente cobertura de nuvens limitam a utilização da banda termal desse sistema. Além disso, o grande número de cenas necessárias para cobrir a região demandaria grande dispêndio para a confecção de mosaicos. Com base nessas observações pode-se considerar que para esse propósito o CBERS é ainda mais problemático. Para cobrir uma área equivalente a uma cena TM são necessárias quatro cenas CBERS; a repetitividade mais baixa (26 dias), reduz drasticamente as chances de obtenção de cenas livres de nuvens. Com o sistema TM obtém-se apenas uma cobertura anual completa da Amazônia sem nuvens. Com o CBERS, as estimativas mais otimistas indicam que o tempo necessário para isso seria de, no mínimo, cinco anos. Ainda segundo aqueles autores, a cobertura diária do sistema NOAA-AVHRR permite utilização em tempo quase real para a detecção de pontos de fogo, como vem sendo feito pelo INPE/CPTEC. Entretanto, sua baixa resolução espacial (1.1 km no nadir) limita estimar a extensão dos incêndios e de suas cicatrizes no terreno. Essas limitações são também válidas para o sistema MODIS (resolução de 1.0 km no nadir), das plataformas Terra e Aqua.

Como se pode deduzir das considerações acima, os sistemas sensores atualmente utilizados na detecção de áreas de queimadas, apenas parcialmente atendem as necessidades requeridas para essa atividade. Há, portanto, a necessidade de preenchimento dessa lacuna na atual constelação de sistemas de observação da terra a partir do espaço.

Um sistema de sensoriamento remoto orbital para atender as demandas necessárias de um programa nacional de detecção, mapeamento e monitoramento de queimadas em bases operacionais, requer um sistema relativamente simples, mas com características dedicadas. Tal sistema poderia ser configurado com as seguintes características gerais, que necessitariam

ser submetidas a uma equipe de especialistas para refiná-las: órbita equatorial, para assegurar consistência nas condições de obtenção da cena; cobertura de faixa no terreno da ordem de 1500 km de largura e revisita de, no mínimo, dois dias. A resolução espacial nominal poderia ser da ordem 250 m (nadir), em quatro bandas espectrais: uma centrada na porção verde da radiação (0.55 μ m), uma na porção vermelha (0.66 μ m), uma no infravermelho próximo (0.80 μ m) e uma no infravermelho distante/termal (3.75 μ m). Com resolução radiométrica em 12 bits, essa banda seria dedicada à detecção diurna e noturna de focos de incêndios. Composições coloridas com as bandas refletidas seriam usadas para o cálculo das áreas queimadas. Se uma maior precisão de medida dessas áreas se fizesse necessária, os dados da câmara WFI proposta para o CBERS-3 e 4 poderiam complementar essa informação.

5. Conclusões

As emissões de gases-estufa para a atmosfera, originados de queimadas sazonais na Amazônia e no Brasil Central são talvez nosso maior problema ambiental. Apesar do esforço que vem sendo dedicado a essa questão, não só pelo INPE/CPTEC, mas também por órgãos ambientais competentes, tanto na esfera federal quanto no âmbito dos estados, ela está a requerer informações mais precisas. Atualmente essas informações provêm de sistemas sensores internacionais que apenas parcialmente atendem às necessidades requeridas. Por outro lado, o programa brasileiro de sensoriamento remoto contempla apenas sistemas de uso múltiplo que não atendem esses requisitos. A dimensão do problema requer um sistema dedicado cuja concepção técnica é bastante simples.

Referências

- Almeida-Filho, R., Shimabukuro, Y.E. 2002. Monitoring biomass burning in the Brazilian Amazônia. *International Journal of Remote Sensing*, Aceito.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 2000-2001*, 23 p., 2002.
- INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. *Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1999-2000*, 18 p., 2001.
- Kono, J., Quintino, M., Carvalho, H., Rudorff, B., Santana, C. The Amazon Rain Forest Monitoring Satellite – SSR-1. *Photogrammetrie*, 1: 11-14, 2002.
- NASA/GSFC-NATIONAL AERONAUTIC AND SPACE ADMINISTRATION/GODDARD SPACE FLIGHT CENTER. 2002. *First Global Carbon Monoxide (Air Pollution) Measurements*. (<http://www.gsfc.nasa.gov/gsf/earth/terra/co.htm>).
- Kono, J., Quintino, M., Carvalho, H., Rudorff, B.F.T. & Santana, C. 2002. The Amazon rainforest monitoring satellite – SSR-1. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 1S: 11-14.
- Setzer, A.W., Pereira, M.C., Pereira Jr., A.C. Satellite studies of biomass burning in Amazônia – some practical aspects. *Remote Sensing Review*, 10: 91-103, 1994.