

**Qual a real extensão da área afetada pelo grande incêndio florestal ocorrido em Roraima no início de 1998? Um criterioso estudo, baseado em dados de satélites e em imagens obtidas em sobrevôos na região, revela que o fogo – comum nas áreas de savanas do estado, na estação seca – também danificou ou atingiu 11.730 km<sup>2</sup> de florestas antes quase imunes a incêndios desse tipo.**

**Yosio Edemir Shimabukuro**  
**Thelma Krug**  
**João Roberto dos Santos**  
**Evlyn de Moraes Novo**  
**José Luis Rodriguez Yi**  
*Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais*

# RORAIMA

## o incêndio visto

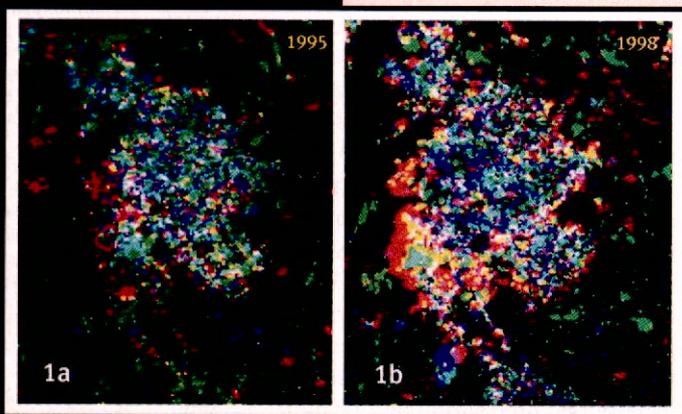
O incêndio florestal que, no início de 1998, pôs Roraima no noticiário

nacional e internacional foi consequência de uma longa estação seca e do baixíssimo índice de chuvas registrado no estado desde meados de 1997. Na origem desses fatores estava o fenômeno El Niño (o aquecimento das águas do oceano Pacífico, alterando o clima de parte do planeta, em especial o da América do Sul), que tem seu efeito máximo nessa região. Dados do Centro de Previsão de Tempo e Clima, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe), já indicavam essa situação dramática: desde 1973 não ocorriam condições de seca tão extremas quanto as do começo de 1998. Tal fato, associado à prática de queimadas em áreas agrícolas ou pastagens, desencadearam o maior incêndio florestal já ocorrido no país.

A queimada, costume tradicional na região, é usada na época seca para renovar pastagens e limpar terrenos para o plantio, como revelam os registros, por satélite, de focos de fogo ocorridos no estado entre 1º de janeiro e 31 de março de 1995, ano climaticamente normal, e no mesmo período de 1998, ano de seca excepcional (figura 1). Esses dados foram obtidos por satélites norte-americanos, integrantes do Defense Meteorological Satellite Program (DMSP).

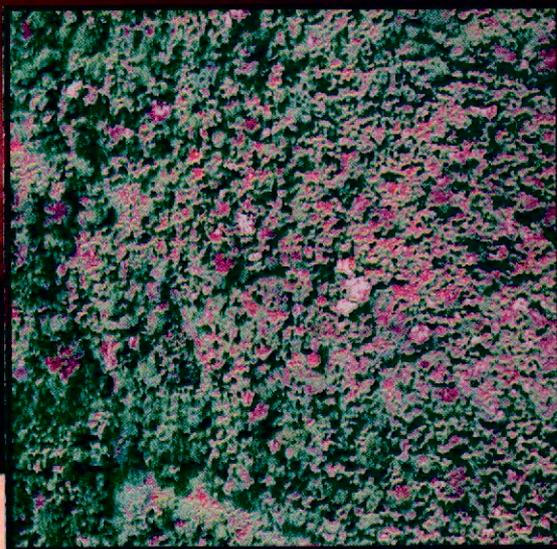
O DMSP recobre, a cada passagem, uma faixa de cerca de 3 mil km, permitindo uma cobertura total do planeta quatro vezes por dia: de manhã, ao meio-dia, ao entardecer e à noite. Sua elevada sensibilidade mesmo a intensidades muito baixas de luz permite usar as imagens captadas à noite para detectar luzes de cidades e vilas ou alguns eventos episódicos, como focos de fogo e incêndios florestais.

A comparação das imagens de 1995 e 1998 revela que, nos dois anos, os focos de queimadas começam na região nordeste de Roraima, caracterizada por vegetação de savana, de baixa densidade de biomassa. Em 1995, os focos concentram-se nessa região,



**Figura 1. Focos de calor em Roraima em 1995 e 1998, registrados pelo satélite DMSP em janeiro (azul), fevereiro (verde) e março (vermelho), mostram maior avanço para oeste e maior persistência do fogo (amarelo) em 1998**

# A do espaço



avançando pouco para o oeste, dominado por florestas, tornando-se esparsos (em geral em áreas agrícolas) no mês de março. Em 1998, a área total ocupada pelos focos é maior e o avanço do fogo para oeste é grande. A partir de março, o incêndio espalhou-se por trechos de floresta já alteradas pela ação humana e atingiu áreas sem sinais de alteração recente. A presença de focos de calor mais persistentes (de fevereiro a março) revela que o combustível era a floresta, de degradação mais lenta. O fogo só foi debelado no início de abril, com a chegada da estação chuvosa.

Dados de outro satélite norte-americano, da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), permitiram detectar novos focos de calor e acompanhar a propagação das linhas de fogo. Esse satélite carrega um sensor que registra a temperatura da superfície, mas sua baixa resolução espacial impede a determinação precisa da área afetada pelo fogo. Cada unidade mínima de imageamento (cerca de 1 km<sup>2</sup>) satura a uma temperatura relativamente baixa. Com isso, unidades parcialmente queimadas podem ser registradas como totalmente atingidas. No entanto, imagens desse satélite são muito úteis para localizar as frentes de fogo e acionar sistemas de alerta que desencadeiam ações de combate aos incêndios.

A polêmica a respeito dos reais danos causados pelo incêndio, principalmente em áreas florestais, levou o Inpe a propor ao Ministério da Ciência e Tecnologia um projeto para estimar esses danos. Para isso, além dos dados de satélites, seriam usadas imagens aéreas obtidas com uma câmera digital. A idéia inicial era sobrevoar e obter imagens videográficas de toda a área atingida pelo fogo, para avaliar os danos na floresta (dossel, sub-bosque etc.), usando a tecnologia GPS (*global positioning system*) para a localização exata das áreas imageadas. No entanto, as intensas chuvas na região, a partir de maio, quando começaram os vôos, reduziram a co-

leta das imagens a algumas áreas amostrais. Nessas imagens, graças à alta resolução espacial (área mínima de imageamento de cerca de 1,96 m<sup>2</sup>), pode-se identificar copas de árvores e distinguir as queimadas das que não foram atingidas (figura 2).

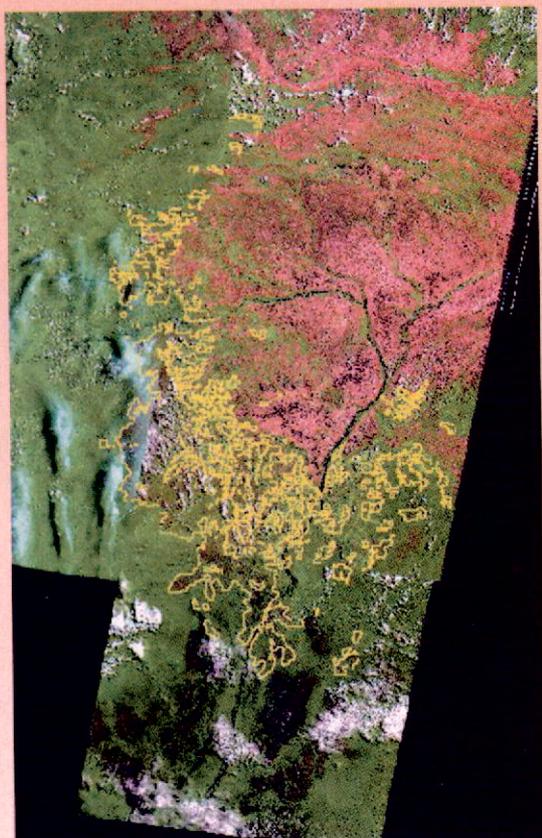
A impossibilidade de cobertura contínua (com imagens videográficas) levou o Inpe a, tomando por base os dados dos satélites DMSP, concentrar sua análise em imagens do sensor ótico (*Thematic Mapper*, ou TM) do satélite norte-americano Landsat-5, com resolução espacial de 30 por 30 m. No entanto, a cobertura de nuvens impediu o uso das imagens obtidas entre abril e julho: só puderam ser aproveitadas as de agosto, após o final da estação chuvosa. Essas imagens ainda mostravam claros sinais do incêndio, permitindo delinear a área afetada.

As cinco cenas Landsat em que se baseou a análise cobriram cerca de 51% da área do estado, abrangendo quase toda a cobertura florestal atingida pelo fogo. As cenas também foram geograficamente localizadas, possibilitando a integração com os dados de outros satélites, de videografia e de campo. A comparação dos resultados, para a mesma área de floresta (área-piloto), da análise de imagens tanto das câmeras digitais quanto do satélite Landsat (figura 3) mostrou que essas últimas permitiam

**Figura 2.** O mosaico de imagens feitas com câmeras digitais (em avião) permite ver as copas das árvores e distinguir as queimadas (em magenta ou roxo) das não atingidas (em verde)

**Figura 3.** Análise comparativa das imagens de videografia e do satélite Landsat para uma área-piloto, por diferentes classes de interesse

| CLASSES DE INTERESSE      | VIDEOGRAFIA             |            | SATÉLITE                |            |
|---------------------------|-------------------------|------------|-------------------------|------------|
|                           | Área (km <sup>2</sup> ) | Percentual | Área (km <sup>2</sup> ) | Percentual |
| Floresta queimada         | 1.135,79                | 87,01      | 1.031,46                | 79,02      |
| Não-floresta queimada     | 124,53                  | 9,54       | 148,98                  | 11,41      |
| Floresta não queimada     | 29,50                   | 2,26       | 80,79                   | 6,19       |
| Não-floresta não queimada | 4,18                    | 0,32       | 1,17                    | 0,09       |
| Água (rios e lagos)       | 11,36                   | 0,87       | 42,96                   | 3,29       |
| TOTAL                     | 1.305,36                | 100        | 1.305,36                | 100        |



**Figura 4.** Os limites das áreas de floresta atingidas pelo fogo (em amarelo), mapeado no estudo, podem ser bem identificados nesse mosaico de imagens do sensor TM do Landsat com as florestas (em verde) e as savanas (em marrom) de Roraima

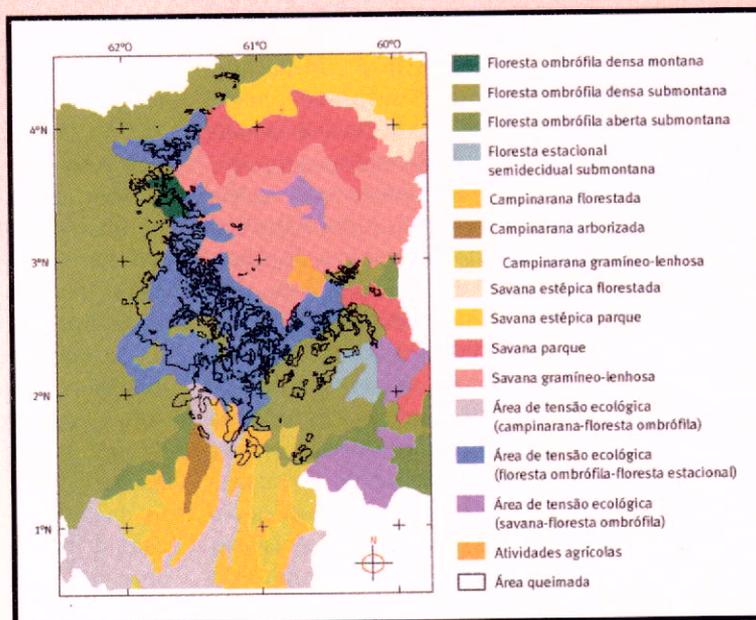
avaliar, com pequena margem de erro, a área de floresta realmente afetada pelo incêndio (figura 4).

Os resultados finais, baseados na interpretação visual de imagens, método que assegurou a análise de um conjunto mais amplo de dados, apontam que o incêndio de Roraima atingiu 11.730 km<sup>2</sup> de área coberta por floresta naquele estado. Foi avaliada ainda a área atingida em cada formação florestal (figura 5), mas não foi possível caracterizar a extensão total de savanas atingidas pelo fogo, já que as cicatrizes do incêndio nesse tipo de vegetação não eram mais visíveis nas imagens de agosto. Esse dado, porém, não estava sendo investigado, já que as queimadas em regiões de savana são típicas na estação seca.

Da área total atingida, 25% eram de floresta ombrófila densa submontana (fechada, com árvores de porte alto, situada na base de áreas montanhosas) e 64% ficavam na região de contato entre floresta ombrófila e floresta estacional (com árvo-

| CLASSE DE FLORESTA  | ÁREA QUEIMADA (km <sup>2</sup> ) |
|---|----------------------------------|
| Floresta ombrófila densa montana                            | 282,99                           |
| Floresta ombrófila densa submontana                         | 3.024,55                         |
| Floresta ombrófila aberta submontana                        | 3,61                             |
| Floresta estacional semidecidual submontana                 | 43,61                            |
| Campinarana florestada                                      | 498,17                           |
| Campinarana arborizada                                      | 26,06                            |
| Campinarana gramíneo-lenhosa                                | 35,69                            |
| Savana parque   | 41,31                            |
| Savana gramíneo-lenhosa                                     | 96,51                            |
| Área de tensão ecológica (savana-floresta ombrófila)        | 14,64                            |
| Área de tensão ecológica (floresta ombrófila-f. estacional) | 7.560,67                         |
| Área de tensão ecológica (campinarana-f. ombrófila)         | 301,95                           |
| <b>TOTAL</b>  | <b>11.929,76</b>                 |

**Figura 5.** Área queimada por classe de vegetação – o cálculo da área de floresta atingida exclui as savanas e as campinaranas arborizada e gramíneo-lenhosa



**Figura 6.** Área florestal afetada pelo fogo (em preto), mapeada a partir de imagens TM-Landsat, superposto ao mapa de vegetação de Roraima

res que perdem as folhas em certos períodos do ano), como pode ser verificado na superposição dos resultados do estudo ao mapa de vegetação de Roraima (figura 6). Esses resultados indicam que a seca excepcional provocada pelo El Niño fez da floresta estacional uma 'porta' de acesso a áreas tipicamente ombrófilas, facilitando a entrada do fogo em áreas de maior umidade, quase sempre imunes a incêndios.