



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-4503-TDL/326

**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**

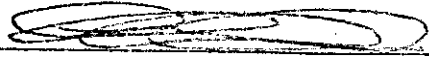
Marcos da Costa Pereira

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto,
aprovada em 16/12/1987

INPE
São José dos Campos
1987

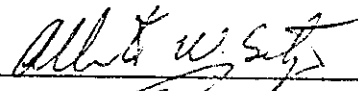
Aprovada pela Banca Examinadora
em cumprimento a requisito exigido
para a obtenção do Título de Mestre
em Sensoriamento Remoto

Dr. Vitor Celso de Carvalho



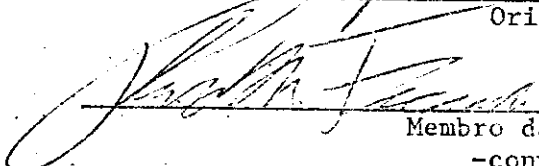
Presidente

Dr. Alberto W. Setzer



Orientador

Dr. Philip M. Fearnside



Membro da Banca
-convidado-

Dr. Carlos Marx Ribeiro Carneiro



Membro da Banca
-convidado-

candidato: Marcos da Costa Pereira

São José dos Campos, 16 de dezembro de 1987



ENTÃO ASSIM QUANDO OS CORVOS ESTIVEREM VOANDO DENTRO DOS APARTAMENTOS
ASSIM QUANDO OS ESPAÇOS FOREM CONCRETO
QUANDO A TERRA ESTIVER DESERTA
OS RIOS PODRES

MAR NEGRO

MORTE

MUTAÇÕES NUCLEARES

ENTÃO QUEM SABE: SE HOVEREM AINDA CRIANÇAS;

HOVEREM AINDA HUMANOS;

AINDA NATUREZA;

VIDA.

NÃO QUERO OLHAR PARA ELES E PENSAR:

"FUI COVARDE"



A Marlene, Aziz e Barbara

Papai, Mamãe, Marcia e Alfredo



AGRADECIMENTOS

A Alberto W. Setzer pela orientação, apoio e amizade; a todos no Departamento de Meteorologia que muito me ajudaram, em especial ao Nelson Arai e à Maria Mazarelo Cordeiro; ao pessoal do Departamento de Sensoriamento Remoto; aos membros da Banca Examinadora pelas muitas contribuições para o enriquecimento deste trabalho; ao Dr. Pedro Leite da Siva Dias, pela cessão dos programas de cálculos de trajetórias; a todos na Biblioteca, que sempre deram apoio total às pesquisas bibliográficas que realizei; às instituições que financiaram meus estudos - CNPq, INPE e FAPESP; meu agradecimento especial aos demais pós-graduandos, que muito contribuíram para a minha formação acadêmica com os conhecimentos específicos de cada uma de suas áreas e convívio amigo nesses anos. E, finalmente, gostaria de deixar meu agradecimento ao saudoso Armando Pacheco dos Santos, inicialmente da Banca Examinadora, e que me prestou grande auxílio através de seus conhecimentos científicos.



ABSTRACT

The purpose of this study is to analyse, using orbital remote sensing as a main tool, some of the environmental effects caused by combustion of large amounts of biomass in the Amazon forest. During the GTE/ABLE-2A, an experiment to measure trace gases and aerosols in the Amazon troposphere from July 19 to August 08, 1985, 25 images of the NOAA-8 and 9 satellites were recorded, in which many smoke plumes and fires of large dimensions were detected. After locating the areas most affected by the fires, LANDSAT/TM images of the same place were processed and the spectral characteristics of the fires and burned sites were studied with both satellites. With radiosounding data a trajectory analysis of the emissions was performed in order to study the long-range transport of pollutants. Based on aircraft sampling data from GTE/ABLE-2A an estimate was performed of its amounts of gases and aerosols produced by their regional and global effects.

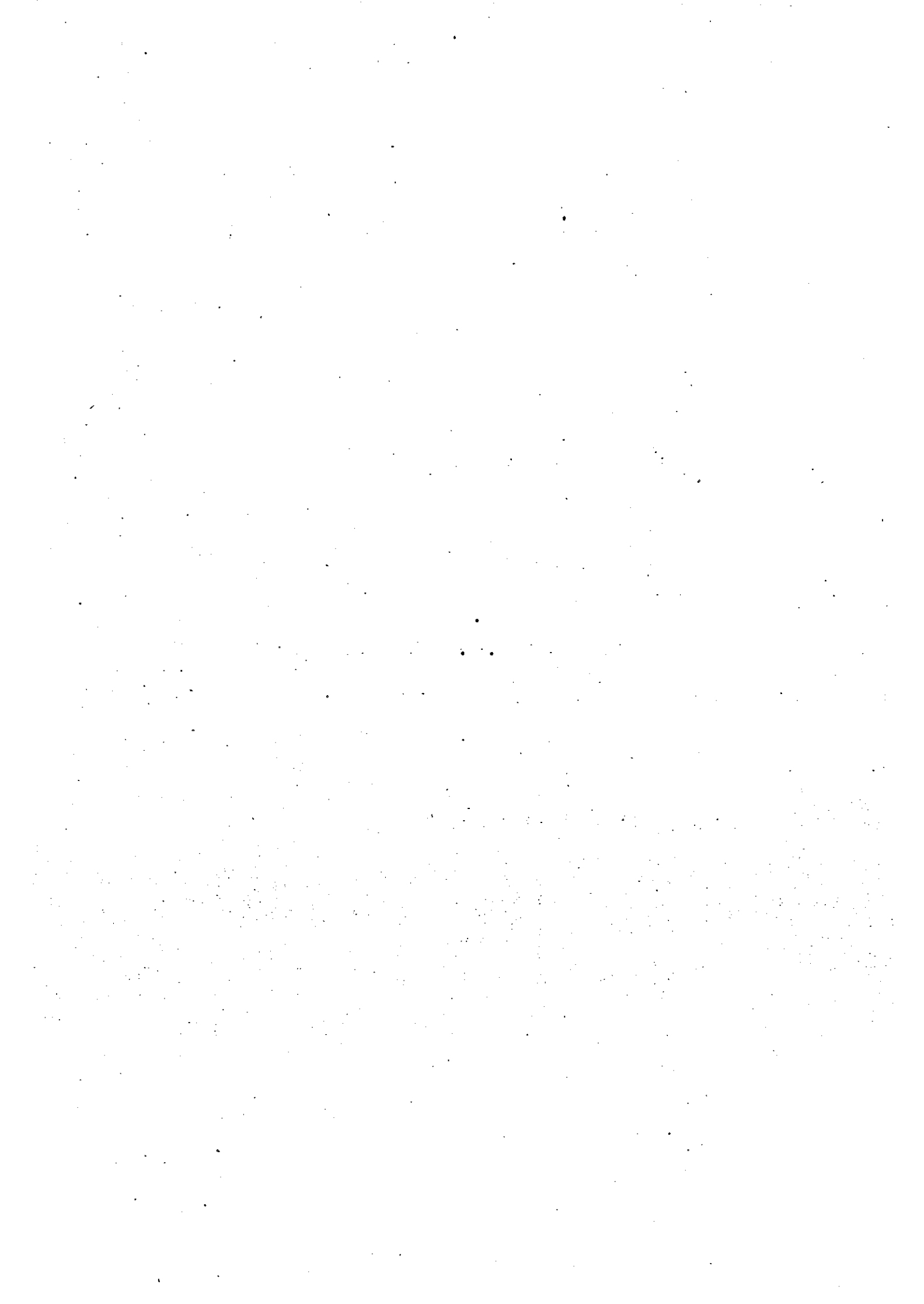


SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE TABELAS	xix
LISTA DE SIGLAS	xxi
LISTA DE UNIDADES	xxiii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO E OBJETIVOS</u>	1
1.1 - Objetivos	2
1.2 - Apresentação do trabalho	5
<u>CAPÍTULO 2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS E BIBLIOGRÁFICAS</u>	7
2.1 - A Ocorrência de queimados na Estação Seca	8
2.2 - Problemas Ambientais: Alterações na Flora, Fauna, Solo e Hidroológico	9
2.3 - Produção de Gases Traço e Possíveis Efeitos Climáticos.....	21
2.3.1 - Alterações no Ciclo do Carbono	25
2.3.2 - Alterações na Concentração de Ozônio	31
2.3.3 - Outros Gases	34
2.3.4 - Razões de Emissão de Gases Traço em Queimadas	35
2.4 - Sensoriamento Remoto de Queimadas	37
2.4.1 - Detecção de Incêndios por Meio de Aeronaves	37
2.4.2 - Detecção de Plumas de Fumaça por Meio de Satélites Meteoro- lógicos	39
2.4.3 - Detecção de Incêndios e Plumas de Fumaça Através dos Saté- lites Meteorológicos da Série NOAA	40
2.4.4 - Detecção de Queimadas Através dos Satélites da Série LAND- SAT	42
2.4.5 - Outros Estudos sobre Alterações na Cobertura Vegetal.....	45
2.4.6 - Comportamento Radiométrico de Queimadas	46
2.4.7 - Domínio Temporal de Queimadas	47
2.4.8 - Comportamento Espectral de Queimadas	48
2.4.9 - Domínio Espacial de Queimadas	52
2.5 - Processamento de Imagens Digitais	56
2.6 - Distribuição Espacial de Queimadas	57

<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAL E MÉTODOS</u>	61
3.1 - Área de estudo	61
3.2 - Características dos satélites utilizados	62
3.2.1 - Os satélites da série NOAA	62
3.2.2 - O sistema LANDSAT	65
3.3 - Produtos utilizados	66
3.3.1 - Dados AVHRR/NOAA	66
3.3.2 - Dados TM/LANDSAT	69
3.4 - Tratamento automático e análise de imagens digitais	70
3.4.1 - Tratamento das imagens AVHRR/NOAA	71
3.4.2 - Análise das imagens AVHRR	71
3.4.3 - Estudos de radiometria e caracterização espectral de queimadas em imagens AVHRR	73
3.4.4 - Efeitos de atenuação atmosférica nas imagens AVHRR	74
3.4.5 - Tratamento das imagens TM/LANDSAT	75
3.4.6 - Caracterização espectral de queimadas nas imagens TM	77
3.4.7 - Análise das imagens TM	77
3.5 - Análise de trajetórias	80
3.8 - Dados de aeronve obtidos nas missões do GTE/ABLE-2A e razões de emissão	81
<u>CAPÍTULO 4 - LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS QUEIMADAS E PLUMAS DE FUMAÇA</u>	83
4.1 - Resultados nas imagens AVHRR/NOAA.....	83
4.1.1 - Contagem e localização de pixels associados a queimadas nas imagens AVHRR	84
4.1.2 - Análise da distribuição espacial de queimadas	112
4.1.3 - Estimativa da área queimada	115
4.1.4 - Estudo de comportamento espectral de queimadas, vegetação e fumaça nas imagens AVHRR	119
4.2 - Resultados nas imagens TM/LANDSAT	136
4.2.1 - Comparação qualitativa entre as imagens AVHRR e TM	136
4.2.2 - Identificação de queimadas em imagens TM/LANDSAT	139
4.2.3 - Área total queimada nas imagens analisadas	141
4.2.4 - Estudos de comportamento espectral de alvos relacionados com mudanças na cobertura vegetal em imagens TM	143
4.2.5 - Efeitos da fumaça sobre os níveis de cinza	179
<u>CAPÍTULO 5 - TRANSPORTE DE POLUENTES</u>	185
5.1 - Observações visuais de camadas de névoa atmosférica por meio de aeronave	186
5.2 - Observações por satélite e trajetórias das massas de ar	187

<u>CAPÍTULO 6 - RAZÕES DE EMISSÃO DE GASES PRODUZIDOS EM QUEIMADAS</u> ..	201
6.1 - Dióxido de carbono e monóxido de carbono	201
6.2 - Óxido Nítrico e NOx	204
6.3 - Ozônio	207
6.4 - Aerossóis	209
6.5 - Estimativa de fluxos das emissões globais e regionais de gases traço a partir de queimadas	211
<u>CAPÍTULO 7 - CONCLUSÕES</u>	217
<u>CAPÍTULO 8 - RECOMENDAÇÕES</u>	221
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	223
APÊNDICE A - O PROBLEMA DAS QUEIMADAS, NOTICIADO PELA IMPRENSA	
BIBLIOGRAFIA CONSULTADA	



LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Impacto do ser humano sobre a vegetação	8
2.2 - Áreas críticas de maior concentração de desmatamentos na Amazônia Legal	13
2.3 - Materiais de importância para a poluição troposférica	22
2.4 - Maiores fontes de carbono e razões de troca anual entre si	27
2.5 - Dados de concentração de ozônio tomados no Hemisfério Sul	32
2.6 - Curvas de emitância radiante espectral para o terreno e queimadas, e curva de irradiância solar no topo da atmosfera, comparadas com as bandas dos sistemas sensores LANDSAT, GOES e NOAA	50
3.1 - Área de estudos	61
3.2 - Esquema de transferência da imagem TM/landsat para o vídeo do I-100	76
4.1 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 21/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual ...	87
4.2 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando parte da imagem do AVHRR/NOAA do dia 26 de julho	88
4.3 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 27/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através da análise visual	89
4.4 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 29/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual	91
4.5 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 30/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através da análise visual	93
4.6 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 31/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através da análise visual	94
4.7 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 03/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual	96
4.8 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 05/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual	97
4.9 - Fotografia do vídeo do I-100 com 1024x1024 pixels da imagem AVHRR de 06/07/85, mostrando a situação geral deste dia ...	98
4.10 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 06/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual ...	99
4.11 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 07/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual ...	101
4.12 - Fotografia do vídeo do I-100 com a composição colorida feita nas bandas 1, 2 e 3 da imagem de 07/08/85	102
4.13 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando a banda 3 da imagem de 07/08/85	102
4.14 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 08/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual ...	104
4.15 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 09/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual ...	105

4.16 - Fotografia do vídeo do I-100 com 512x512 pixels da imagem do dia 09/08/85 mostrando uma área de ~60.000km ² coberta por fumaça	106
4.17 - Gráfico ilustrando o aumento de número de pixels considerados queimadas no período de estudo	108
4.18 - Histograma do número de queimadas encontradas na região norte do Mato Grosso e sul do Pará	112
4.19 - Histogramas numéricos da frequência de ocorrência dos níveis de cinza de 1 a 30 nas bandas 1, 2 e 3 dos módulos 1 a 6 da imagem AVHRR de 07/08/85	117
4.20 - Histograma em forma de barras da frequência de ocorrência de níveis de cinza para queimadas ao sul do Pará no dia 09/08/85	118
4.21 - Janelas dos níveis de cinza para as bandas um (a), dois (b) e três (c) mostrando uma área de queimadas nas imagens AVHRR de 07/08/85	119
4.22 - Espaço de atributos bi-dimensionais dos temas vegetação e queimada nas bandas um (0,58-0,68 µm), dois (0,725-1,1 µm) e três (3,55-3,93 µm).....	125
4.23 - Plumões de fumaça encontradas no período entre 20 e 31 de julho (a) e seu aumento de concentração comparado com o período de 03 a 09 de agosto (b)	127
4.24 - Curva do comportamento espectral de queimadas, vegetação e fumaça nas bandas um (B1), dois (B2) e três (B3) das imagens AVHRR/NOAA	131
4.25 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando 512 x 512 pixels amostrados de um total de 2560x2340 pixels da imagem TM de 26/07/85	133
4.26 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando 64x64 pixels da ima em AVHRR de 26/07/85	134
4.27 - Gráfico para a análise da confusão média (a), desempenho médio (b) e abstenção média (c) para seis limiares com classificação MAXVER	146
4.28 - Espaço de atributos para as bandas 3, 4 e 5, dos temas queimada, floresta, pasto/solo nu e pasto/vegetação plotado com o uso do algoritmo de construção do hiperelipsóide em dois canais (SGX111).....	147
4.29 - Histograma de frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas três, quatro e cinco dos temas queimada e floresta, classificados por MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 1)	149
4.30 - Histogramas de frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 5 dos temas queimada e floresta classificados por MAXVER no primeiro módulo estudado.....	150
4.31 - Comportamento espectral dos temas queimada, floresta, pasto/solo nu e pasto/vegetação para as bandas do	

TM/LANDSAT na imagem de 11/08/85	152
4.32 - Valores dos níveis de cinza na banda um de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	154
4.33 - Valores dos níveis de cinza na banda dois de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	154
4.34 - Valores dos níveis de cinza na banda três de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	155
4.35 - Valores dos níveis de cinza na banda quatro de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	155
4.36 - Valores dos níveis de cinza na banda cinco de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	156
4.37 - Valores dos níveis de cinza na banda sete de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85, par (Módulo 2)	156
4.38 - Valores dos níveis de cinza na banda seis de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	157
4.39 - Gráfico para análise do desempenho médio, confusão média e abstenção média para três limiares com classificação MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	162
4.40 - Histograma da frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas três (a), quatro (b) e cinco (c) dos temas queimada e floresta classificados por MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	163
4.41 - Histograma da frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas três, quatro e cinco na imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	165
4.42 - Histograma da frequência de ocorrência de níveis de cinza na banda três, quatro e cinco dos temas queimada e floresta na imagem de 26/07/85 (Módulo 2)	172
4.43 - Espaço de atributos para as bandas três, quatro e cinco dos temas queimada, floresta e pasto/solo nu para a imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	173
4.44 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando a composição colorida das bandas 1, 2 e 7 da imagem de 11/08/85, com as plumas de fumaça, e incêndios ativos	174
4.45 - Valores dos níveis de cinza na banda um de uma linha de 512x512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça	175
4.46 - Valores dos níveis de cinza na banda dois de uma linha de 512x512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça	176
4.47 - Valores dos níveis de cinza na banda três de uma linha de 512x512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça	176
4.48 - Valores dos níveis de cinza na banda quatro de uma linha de 512x512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça	177

4.49 - Valores dos níveis de cinza na banda cinco de uma linha de 512x512 píxeis da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça	177
4.50 - Valores dos níveis de cinza na banda sete de uma linha de 512x512 píxeis da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça	178
5.1 - Trajetória dos poluentes nos dias 29 e 30 de julho	188
5.2 - Trajetória dos poluentes nos dias 30 e 31 de julho	189
5.3 - Trajetória dos poluentes nos dias 31 de julho e 01 de agosto	190
5.4 - Trajetória dos poluentes nos dias 01 e 02 de agosto	191
5.5 - Trajetória dos poluentes nos dias 02 e 03 de agosto	192
5.6 - Trajetória dos poluentes nos dias 03 e 04 de agosto	193
5.7 - Trajetória dos poluentes nos dias 04 e 05 de agosto	194
5.8 - Trajetória dos poluentes nos dias 05 e 06 de agosto	195
5.9 - Trajetória dos poluentes nos dias 06 e 07 de agosto	196
5.10 - Trajetória dos poluentes nos dias 07 e 08 de agosto	197
5.11 - Local de amostragem do vôo 16 coincidentes com as trajetórias de massas de ar poluídas no dia 08/08/85	198
5.12 - Histograma da concentração de fuligem de carbono, tomados na reserva Ducke	200
6.1 - Perfis verticais de concentração de CO ₂ sobre a Bacia Amazônica entre Manaus e Belém (vôo 16 - 08/08/85)	202
6.2 - Gráfico de COxCO ₂ medidos nas camadas de névoa encontradas no vôo 16 (08/08/85)	204
6.3 - Gráfico de NOxCO dos dados obtidos no vôo 16	207

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - Alterações de cobertura vegetal natural da Região Amazônica	12
2.2 - Perdas de solo, água e nutrientes em três tratamentos.....	16
2.3 - Perdas de solo, água e nutrientes em 7 tratamentos com resíduos de trigo	17
2.4 - Razão de transformação de florestas para pastos em trinta fazendas localizadas em Paragominas (PA)	18
2.5 - Resumo dos dados de fitomassa e área queimada anualmente ..	29
2.6 - Razões de emissão média de gases traço por volume relativo de CO em florestas dos EUA	36
2.7 - Razões de emissão de queimadas no Brasil	36
2.8 - Classes de tamanhos dos incêndios florestais	53
2.9 - Distribuição dos incêndios ocorridos no Brasil em 1983 e respectiva área queimada, por classe de tamanho	54
3.1 - Horários de cruzamento no Equador dos satélites NOAA-8/9 .	63
3.2 - Largura das bandas (μm) e IFOV(mrad) dos satélites NOAA-8/9	64
3.3 - Bandas do TM/LANDSAT	65
3.4 - Missões GTE/ABLE-2A e imagens NOAA gravadas	68
3.5 - Imagens LANDSAT e total de fitas utilizadas	70
3.6 - Combinação de cores básica com as três bandas na análise digital	72
3.7 - Composições coloridas utilizadas na identificação de áreas queimadas em imagens TM/LANDSAT	77
4.1 - Contagem do número de pixels classificados como queimadas para cada módulo das imagens AVHRR utilizadas	107
4.2 - Número de queimadas e área total das plumas de fumaça	110
4.3 - Classes de tamanho das queimadas proposto para este estudo	113
4.4 - Distribuição das queimadas ocorridas ao sul do Pará e norte do Mato Grosso no dia 09/08/1985, por classe de tamanho ...	114
4.5 - Parâmetros estatísticos resultantes da classificação de queimadas nas imagens AVHRR/NOAA	124
4.6 - Parâmetros estatísticos resultantes da classificação de vegetação nas imagens AVHRR/NOAA	125
4.7 - Parâmetros estatísticos resultantes da classificação de fumaça nas imagens AVHRR/NOAA	132
4.8 - Média e intervalo de previsão nas bandas um, dois e três dos temas queimada, vegetação e fumaça classificados por single-cell em imagens AVHRR	133
4.9 - Área dos temas classificados com vários tipos de classifica dores e amostragem nas imagens TM de 11/08/85, bandas três, quatro e cinco	144
4.10 - Média e variância dos temas classificados nas bandas três, quatro e cinco no módulo um da imagem TM de 11/08/85	145
4.11 - Matriz de covariância dos temas classificados nas bandas três, quatro e cinco no módulo um da imagem TM de 11/08/85	146

4.12 - Matriz de classificação para seis limiares diferentes na classificação da imagem de 11/08/85 (Módulo 1)	147
4.13 - Significado da matriz de classificação do MAXVER	148
4.14 - Desempenho médio, abstenção média e confusão média para seis limiares da classificação MAXVER	149
4.15 - Média e variância dos temas queimada, pasto/vegetação, pasto/solo nu e floresta classificados nas sete bandas do TM na imagem de 11/08/85	155
4.16 - Área dos temas classificados com MAXVER nas bandas 3, 4 e 5 na imagem TM de 11/08/85 (Módulo 2)	163
4.17 - Médias e variâncias dos temas classificados nas bandas 3, 4 e 5 por MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	163
4.18 - Matriz de covariância dos temas classificados na imagem de 11/08/85 (Módulo 2) nas bandas 3, 4 e 5 por MAXVER	164
4.19 - Matriz de classificação obtida através do algoritmo MAXVER aplicado nas bandas 3, 4 e 5 da imagem de 11/08/85 (Módulo 2)	165
4.20 - Desempenho médio, confusão média e abstenção média para três limiares da classificação MAXVER na imagem de 11/08/85 (MÓDULO 2)	165
4.21 - Médias dos níveis de cinza obtidos com reamostragem na imagem de 26/07/85 comparadas com as de 11/08/85	170
4.22 - Diferenças entre as médias dos temas queimada, floresta e pasto/solo nu para os dias 26/07/85 e 11/08/85 considerando a variação provocada pelo efeito de iluminação solar	172
4.23 - Matriz de covariância dos temas classificados na imagem de 26/07/85 com reamostragem comparada com a da imagem de 11/08/85	173
4.24 - Matriz de classificação obtida com reamostragem na imagem de 26/07/85 comparada com a da imagem de 11/08/85	174
4.25 - Desempenho, abstenção e confusão médias obtidas na classificação da imagem de 26/07/85 comparada com as de 11/08/85	175
5.1 - Dados de concentração de partículas finas tomados na reserva Ducke, durante o período do GTE/ABLE-2A	199
6.1 - Razões de NO e NOx por CO e CO em plumas de queimadas recentes e camadas de névoa na média troposfera (B) sobre a Bacia Amazônica	205
6.2 - Correlação entre ozônio e monóxido de carbono em plumas amostradas no vôo 16 entre Manaus e Belém no dia 08/08/85 ..	209
6.3 - Concentrações de componentes de aerossóis em plumas de fumaça	210
6.4 - Razões de emissão de queimadas estimadas a partir da composição das camadas de névoa na média-troposfera sobre a Amazônia	212
6.5 - Estimativa de emissões de queimada a nível regional e global	213

LISTA DE SIGLAS

ABLE	- Amazon Boundary Layer Experiment - Experimento da camada limite planetária na Amazônia
AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer - Radiômetro de altíssima resolução avançado
OCT	- Computer Compatible Tape - Fita magnética compatível com computador
DCS	- Data Collection System - Sistema de coleta de dados
FOV	- Field Of View - Campo de visão
GOES	- Geostationary Operational Environmental Satellite - Satélite ambiental operacional geoestacionário
GTE	- Global Tropospheric Experiment - Experimento global troposférico
HRPT	- High Resolution Picture Transmission - Transmissão de imagens de alta resolução
IBGE	- Instituto Brasileiro de Geografia Estatística
IFOV	- Instantaneous Field Of View - Campo de visão instantâneo
INCRA	- Instituto de Colonização e Reforma Agrária
INPE	- Instituto de Pesquisas Espaciais
LANDSAT	- Land Satellite - Satélite de recursos da Terra
LST	- Local Solar Time - Hora solar local
MSS	- Multispectral Scanner System - Sistema de varredura multiespectral
NASA	- National Aeronautic and Space Agency - Agência Nacional de Aeronáutica e Espaço
NOAA	- National Oceanographic and Atmospheric Agency - Agência Nacional Oceanográfica e Atmosférica
PIXEL	- Picture Element - Elemento de resolução
RBV	- Return Beam Vidicon - Feixe de retorno Vidicon
TIP	- TIROS Information Processor - Processador de informações TIROS
TM	- Thematic Mapper - Mapeador temático



LISTA DE UNIDADES

°	- grau	
°C	- grau Celsius	
K	- Kelvin	
%	- por cento	
ppt	- partes por trilhão	
ppb	- partes por bilhão	
ppbv	- partes por bilhão volumétrica	
rad	- radiante	
mrad	- miliradiano	
min	- minuto	
h	- hora	
ha	- hectare	= 10 ⁴ m ²
km ²	- quilômetro quadrado	= 10 ⁶ m ²
ha/ano	- hectares por ano	
µm	- micrômetro	= 10 ⁻⁶ m
mm	- milímetro	= 10 ⁻³ m
m	- metro	
km	- quilômetro	= 10 ³ m
g	- grama	
Kg	- quilograma	= 10 ³ g
Gton	- Gigatonelada	= 10 ⁹ t
Tg	- Teragrama	= 10 ¹² g
Pg	- Petagrama	= 10 ¹⁵ g
g ms/ano	- grãmas de matéria seca por ano	



CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

Neste trabalho considera-se queimada como um fenômeno que apresenta áreas com fitomassa em combustão e/ou com subprodutos desta combustão.

Conforme Soares (1984), "a ocorrência de incêndios florestais no Brasil é uma realidade que tem causado sérios danos aos povoamentos florestais existentes no País". Ainda, segundo este autor, "existe a necessidade de se estabelecer uma política nacional de combate aos incêndios florestais" e, "para se chegar a esse estágio é preciso conhecer o perfil dos incêndios no País, isto é, saber onde, quando, e porquê ocorrem os incêndios".

Além disso, a introdução de material particulado e gases na troposfera sobre extensas regiões por queimadas tem motivado pesquisas sobre qual sua influência no clima do planeta. Por exemplo, concentrações mais elevadas do que os níveis naturais de CO₂ na atmosfera poderiam causar o chamado "efeito estufa" e, supostamente, alterar a estabilidade do clima da Terra, aumentando sua temperatura média.

O sensoriamento remoto, através do uso de imagens orbitais, pode fornecer dados de cobertura do solo de grandes áreas em intervalos de tempo regulares, com maior rapidez na coleta e análise de dados, e um custo menor, se comparado com métodos convencionais de levantamento de campo.

Os satélites meteorológicos, segundo Slater (1980), são importantes para o estudo de recursos da Terra por várias razões. Entre elas destacam-se:

- a cobertura fornecida é sinótica, e por exemplo, uma imagem geossíncrona têm extensão continental;
- o imageamento é multiespectral, normalmente incluindo comprimentos de ondas nas regiões visível e infravermelha (próxima e termal) do espectro eletromagnético;
- a resolução temporal é adequada: para os dois satélites NOAA operacionais, são obtidas pelo menos quatro imagens por dia de qualquer parte do globo, e para o GOES, uma a cada trinta minutos, o que facilita o estudo de fenômenos de curta duração, tais como incêndios.

Em geral, os dados de satélites meteorológicos possuem baixa resolução espacial (cerca de 1,1 km x 1,1 km), quando comparados com o sistema TM/LANDSAT (30m x 30m). A combinação destes dois sistemas de sensoriamento remoto é complementar, podendo-se utilizar as imagens do satélite LANDSAT para a delimitação e mapeamento das áreas queimadas, e as imagens dos satélites NOAA e GOES para a sua detecção e outros estudos diversos.

1.1 - OBJETIVOS.

O papel que as florestas tropicais exercem na composição química da atmosfera e no clima terrestres ainda não é conhecido, e por representar cerca de 30% destas florestas, certamente a Amazônia brasileira tem uma participação importante em vários ciclos da troposfera.

Em 1984, a NASA propôs ao INPE participar em um experimento denominado "Amazon Boundary Layer Experiment" (ABLE-2A), a ser realizado sobre a Amazônia brasileira na estação seca de 1985. O ABLE seria um experimento em conjunto com NASA, dentro do "Global Tropospheric Experiment" (GTE), para avaliar a influência de florestas tropicais nas concentrações de constituintes gasosos troposféricos, tais como monóxido e dióxido de carbono, ozônio, metano e óxidos nitrosos, através de medidas de campo e aeronave (Harriss et alii, 1986; Browell, 1986; Sachse et alii, 1986; Khalil and Rasmussen, 1986; Torres, 1986; Gregory, 1986; Talbot et alii, 1986; Andreae et alii, 1986; Kirchoff, 1986, e outros). A data prevista para a execução dos trabalhos foi julho de 1985, pois nesta época do ano é comum um anticiclone persistente sobre o Brasil Central, implicando em uma atmosfera estável.

Com o objetivo de fornecer subsídios sobre possíveis mecanismos dinâmicos que causam o transporte e a variabilidade espacial e temporal das concentrações de gases e aerossóis medidas, foram estabelecidos vários experimentos visando a coleta de dados meteorológicos da região (Dias et alii, 1986).

Um fenômeno anual que ocasiona alterações no meio ambiente, até mesmo em nível mundial, e que tem sido alvo de poucos estudos, em grande parte pela dificuldade na coleta de dados em uma área tão extensa e de difícil acesso, é o das queimadas nos domínios da floresta Amazônica. Desta forma, com a realização de um experimento das proporções do GTE/ABLE-2A, surgiu a proposta deste trabalho: uma análise da ordem de grandeza de efeitos ambientais causados pelas queimadas, utilizando-se para tanto dados de satélites e dados das missões do GTE/ABLE-2A, realizado no período de 18 de julho a 9 de agosto de 1985 na Amazônia.

Os objetivos metodológicos específicos foram:

- desenvolvimento da detecção de queimadas e plumas de fumaça através de imagens AVHRR/NOAA (Pereira e Setzer, 1986a, b, c, d; Setzer and Pereira, 1986), obtendo a localização e quantidade dessas para o mapeamento das áreas mais afetadas;
- desenvolvimento do mapeamento de queimadas em imagens TM/LANDSAT escolhidas a partir das áreas que apresentaram a maior concentração de queimadas nas imagens AVHRR/NOAA, para uma complementação entre os dois sistemas;
- traçado de trajetórias de partículas finas em suspensão e gases produzidos nas queimadas, para a análise do transporte de poluentes para as regiões distantes de sua origem, com base em radiossondagens da região; utilização de dados de concentrações de gases traço e partículas tomados nas missões do GTE/ABLE para a confirmação ou não do transporte de poluentes à longa distância;
- estimativa de razões de emissão, com base nas áreas queimadas, e das emissões de gases traço e aerossóis;
- estimativa de efeitos de atenuação atmosférica a partir da alteração dos níveis de cinza das imagens de satélite em áreas contaminadas com fumaça, comparados com aqueles das áreas não contaminadas;
- determinação de características espectrais temporais, espaciais e radiométricas das queimadas encontradas, nas imagens AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT.

1.2 - APRESENTAÇÃO DO TRABALHO.

Um levantamento bibliográfico dos possíveis problemas ambientais que possam surgir a médio e longo prazo causados por grandes queimadas é feito no capítulo 2. Neste mesmo capítulo há um breve histórico sobre detecção e mapeamento de queimadas por meio de sensoria-mento remoto e uma descrição sucinta de algumas técnicas de processa-mento digital de imagens orbitais.

No capítulo 3 há uma descrição do material utilizado no trabalho, forma de aquisição de dados e métodos de tratamento dos da-dos.

No capítulo 4 estão os resultados alcançados em termos de localização e quantificação, e características espectrais de queimadas em imagens AVHRR/NOAA e TM/LANDSAT. Também, é mostrado qualitativamen-te alguns efeitos causados na transmitância atmosférica com a alteração dos dados de imagens orbitais.

No capítulo 5 estão os resultados obtidos na estimativa do transporte de poluentes à grandes distâncias por meio de análise de "trajetórias" de massas de ar.

No capítulo 6 é mostrada uma estimativa da quantidade de emissão de gases e material particulado a partir de queimadas ocorridas no período de estudo.

No capítulo 7 estão as conclusões gerais dos estudos rea-lizados nesta dissertação, e no capítulo 8 são feitas recomendações pa-ra futuros trabalhos complementares.



CAPÍTULO 2

CONSIDERAÇÕES GERAIS E BIBLIOGRÁFICAS

O fenômeno das queimadas ocorre sistematicamente por quase todo o território brasileiro na estação seca, entre junho e setembro. São muito comuns observações visuais relatando que nesta época do ano o "Brasil parece estar pegando fogo por inteiro". Nas regiões do Brasil Central e Amazônia, por exemplo, aviadores são gravemente prejudicados em seu trabalho, pois as queimadas atingem grandes áreas, e a visibilidade é seriamente afetada pela fumaça lançada sobre extensas regiões.

Além do problema da visibilidade, o nível de poluentes lançados na atmosfera é tão grande que pode causar danos à saúde humana, e possíveis alterações climáticas. Estes incêndios também provocam perdas tanto em termos de flora como de fauna, "acarretando milhões de cruzeiros em prejuízos" financeiros e danos ecológicos incalculáveis (Amorim, 1985).

O impacto ambiental do ser humano sobre a vegetação pode modificar solos, clima, processos geomórficos, e mudar a qualidade e distribuição das águas naturais (Goudie, 1982), como esquematizado na Figura 2.1.

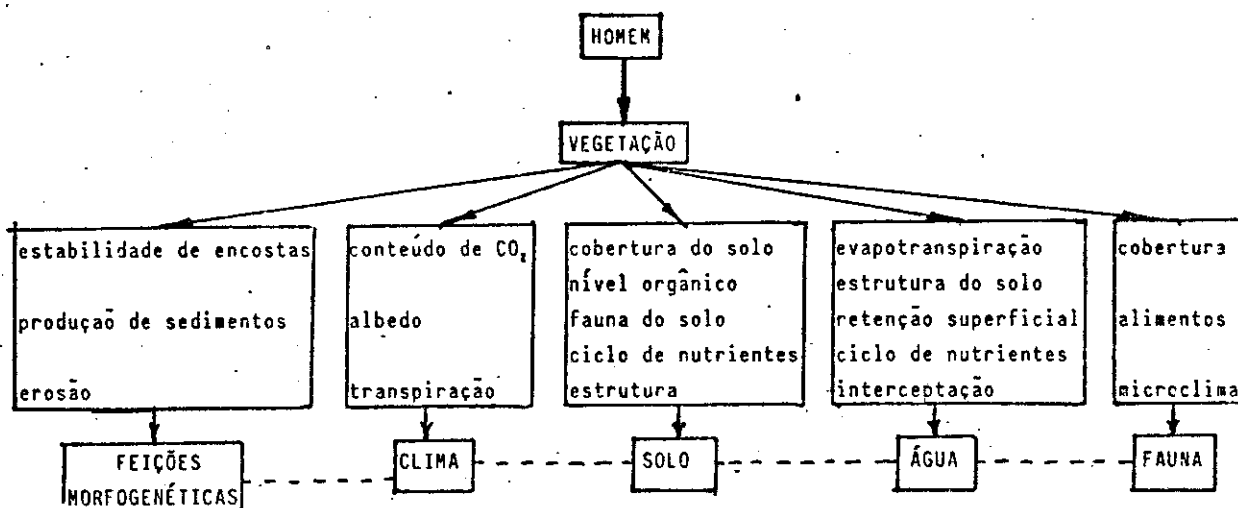


Fig. 2.1 - Impacto do ser humano sobre a vegetação

FONTE: Goudie (1982), p.25.

2.1 - A OCORRÊNCIA DE QUEIMADAS NA ESTAÇÃO SECA.

Segundo Soares (1984), foram registrados no Brasil, em 1983, 227 incêndios florestais, atingindo uma área de 22.269 ha; o estado do Pará, com 22%, e o do Amapá, com 17%, foram os que apresentaram o maior número de incêndios; a maior incidência foi observada entre os meses de agosto e novembro - 77% das ocorrências; queima de áreas florestais (34%) e queimas para limpeza (32%) foram as principais causas. O autor chama atenção para o fato de que estes dados não representam o problema real dos incêndios florestais no país, devido a várias inconsistências encontradas durante a sua coleta, considerando-se que este foi um primeiro levantamento a respeito do fenômeno a nível nacional, e que somente um trabalho contínuo de coleta e processamento de dados poderá mostrar, a médio prazo, o verdadeiro perfil dos incêndios florestais no país. Garcia (1986) e Freitas (1986) citam que findo o período anual de queimadas na Amazônia em 1985, calculou-se que a região sofreu perda de 27.000 km² com desmatamento, incêndios e retirada de madeira e carvão. Nota-se aqui uma diferença entre os totais de Soares (1984) e

os de Garcia (1986) e Freitas (1986) da magnitude de duas ordens de grandeza, mostrando que realmente temos de fazer um monitoramento mais exaustivo do fenômeno das queimadas de forma a termos uma idéia mais real de suas dimensões.

A título de exemplo, um levantamento dos casos de incêndios na região sul do País noticiados pela imprensa é mostrado no Apêndice A.

2.2 - PROBLEMAS AMBIENTAIS: ALTERAÇÕES NA FLORA, FAUNA, SOLO E CICLO HIDROLÓGICO.

A lei 4.771, de 15/09/1965, em seu artigo 27, proíbe o uso de fogo nas florestas e demais formas de vegetação. Esta medida, além de preservar o solo agrícola da degradação, oferece garantia à sobrevivência da fauna silvestre, instalada nos nichos ecológicos de propriedades e/ou regiões (Brasil, 1983).

Coutinho (1980), faz uma análise do papel ecológico das queimadas sobre a temperatura do ar e do solo, umidade, quantidade de matéria orgânica e nutrientes do solo. O autor cita que um dos efeitos imediatos durante a queimada é uma grande elevação na temperatura do ar e um aumento menor na do solo; a umidade deste solo pode aumentar ou diminuir, ou mesmo não sofrer alterações, dependendo do tipo de solo e cobertura vegetal; solos ricos em matéria orgânica mostram acentuada redução desta componente quando expostos a queimadas, e em solos mais pobres em matéria orgânica não são notadas diferenças significativas. A curto prazo, o incêndio provoca a eutrofização do solo, se não em todos os nutrientes minerais, pelo menos em alguns deles (Coutinho e Lamberti, 1971).

A necessidade de se aumentar o número de áreas de plantio para ampliar a produção agrícola, assim como a "manutenção" das pastagens naturais no período crítico de seca (caso dos campos cerrados no Brasil Central), levam agricultores a investir sobre áreas verdes ainda existentes. Desta forma, através da remoção da cobertura vegetal e manejo inadequado do fogo e do solo sem preocupação com a degradação do meio ambiente, podemos ter a médio e longo prazo deterioração da qualidade do solo com a perda da fertilidade, aparecimento de erosões, e problemas de natureza hidrológica.

A análise do ciclo hidrológico, quando da ocorrência de desmatamento e queima posterior da folhagem e material de húmus superficial, mostra que podem ocorrer vários efeitos: a diminuição do nível do lençol freático superior após o aumento de vazão por curto tempo e rápida redução no volume da capacidade das fontes ou seu esgotamento total; erosão laminar dos solos com a redução da capacidade produtiva destes; erosão fluvial com grande transporte de material sedimentar provocando o assoreamento de cursos d'água, represas e outros; erosão eólica favorecida pelo desmatamento, e aumento da incidência de inundações (Maack, 1964; Baiardi, 1983; Brasil, 1983; Salati and Vose, 1984; Gardner et alii, 1985; Timmons, 1985; Bowonder, 1982).

Em regiões tropicais, a instabilidade do sistema solo-clima-vegetação, provocada pelo uso do solo, é naturalmente mais acentuada que em outras regiões de climas mais amenos (Brasil, 1983).

Pesquisas realizadas na Amazônia visando conhecer o comportamento geral do seu ecossistema evidenciaram uma forte dependência entre vegetação, umidade do ar e do solo, e nutrição vegetal. Embora a principal fonte de vapor d'água para a Bacia Amazônica seja o Oceano Atlântico, existe uma recirculação de vapor na região por meio da

evapotranspiração das plantas, sendo que aproximadamente 50% das precipitações se devem a este mecanismo (Molion, 1975). O processo de decomposição da fitomassa é maior no período chuvoso devido à elevação da umidade do ar e do solo, e responde pela nutrição básica dos vegetais. Portanto, estas pesquisas demonstram a interdependência entre os componentes do sistema vegetação-solo-atmosfera, o seu equilíbrio instável diante das mudanças que vêm ocorrendo e a sua fragilidade (Baiardi, 1983).

Lettau et alii (1979) concluíram através de um modelo numérico, que um desmatamento em pequena escala na Amazônia pode causar um clima levemente mais quente e úmido com o solo mais seco, enquanto que após um desmatamento mais amplo o clima, de uma maneira geral, pode se tornar mais frio e seco do que atualmente.

Na região da Amazônia Legal a rápida expansão populacional incentivada pelos órgãos federais (SUDAM, INCRA, etc) e dominada por empresas agropecuárias e indústrias madeireiras, provoca a derrubada da floresta, com eventual extração de madeira para fins diversos, com uma grande pressão sobre o meio ambiente (Parada et alii, 1981; Fearnside, 1983).

As fronteiras da colonização naturalmente progridem de fora para dentro na Amazônia, uma tendência revelada por pesquisas na região. Tardin et alii (1980), efetuando levantamento da área desmatada na Amazônia Legal através de imagens orbitais MSS/LANDSAT do período de 1975-1978, em trabalho realizado para o Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal (IBDF), chegaram aos resultados da Tabela 2.1. Estes, mostram alterações de cobertura vegetal ocorridas após o início da colonização da Amazônia, e indicam as áreas críticas de concentração de desmatamentos mostradas na Figura 2.2. Essas áreas estão

concentradas em regiões relativamente pequenas, começando próximas aos centros urbanos, e interiorizando-se através de vias de acesso fluviais e terrestres (Tardin et alii, 1980).

TABELA 2.1

ALTERAÇÕES DE COBERTURA VEGETAL NATURAL DA REGIÃO AMAZÔNICA

UNIDADE FEDERATIVA	ÁREA DAS UNIDADES FEDERATIVAS (km ²)	ÁREAS DESMATADAS (km ²)			ÁREA TOTAL DESMATADA	%
		até 1975*	1976-1978*	1978-1980**		
Amapá	139.068	152,50	18,00	...	170,50	0,12
Pará	1.227.530	8.654,00	13.791,25	11.468,58	33.913,83	2,76
Roraima	230.104	55,00	88,75	...	143,75	0,06
Maranhão	257.451	2.940,75	4.393,25	3.337,06	10.671,06	4,14
Goiás	285.793	3.507,25	6.781,25	1.170,02	11.458,52	4,01
Acre	152.589	1.165,50	1.299,00	2.162,34	4.626,84	3,03
Rondônia	243.044	1.216,50	2.968,00	3.394,77	7.579,27	3,12
Mato Grosso	776.921	10.124,25	18.230,75	24.944,29	53.299,29	6,86
Amazonas	1.558.987	779,50	1.006,25	...	1.785,75	0,11
AMAZÔNIA LEGAL	4.871.487	28.595,25	48576,50	46.477,06	123.648,81	2,54

FONTE: adaptado de Tardin et alii (1980), p.12-*, e Fearnside (1984), p.44-**.

OBS.: os totais entre parênteses são valores subestimados devido à falta de dados entre 1978 e 1980.

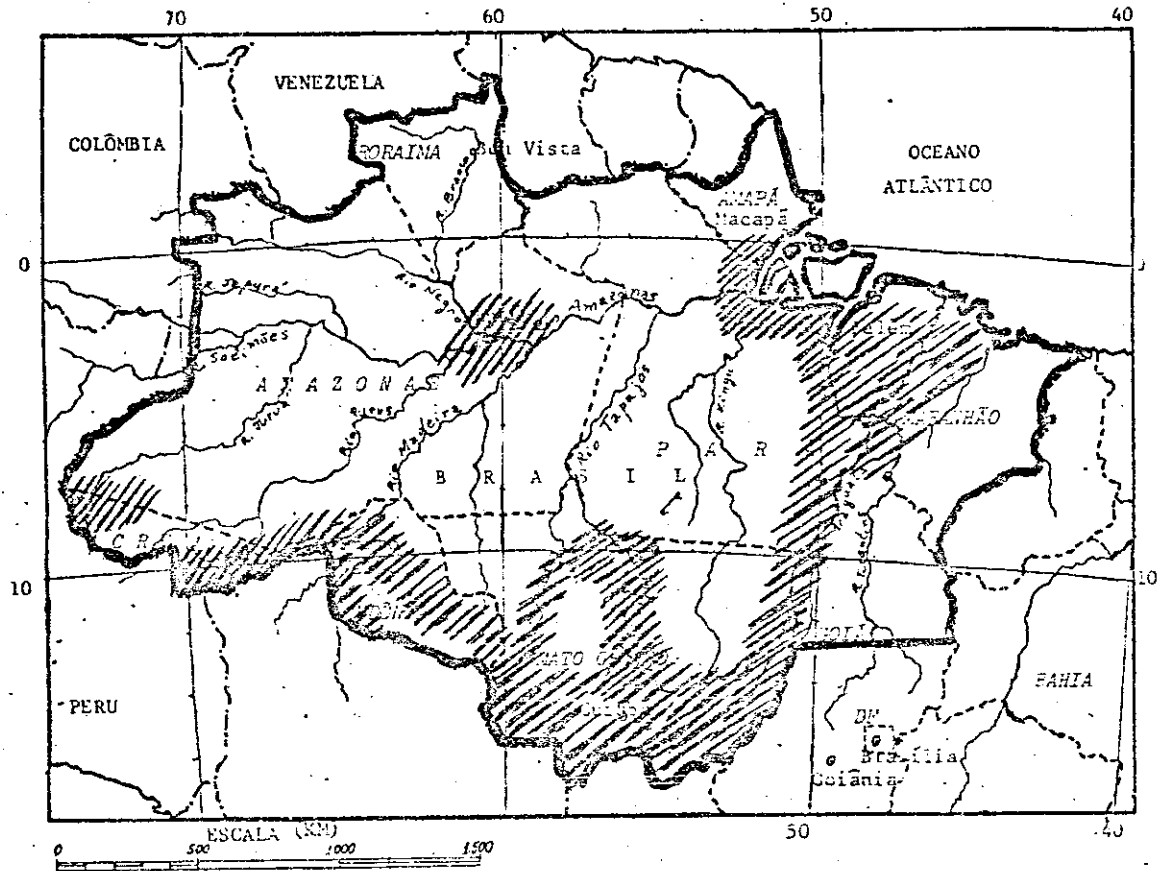


Fig. 2.2 - Áreas críticas de maior concentração de desmatamento na Amazônia Legal.

FONTE: adaptado de Tardin et alii (1980).

Em artigo de 23/01/86, o jornal O Estado de São Paulo, citando fontes do IBDF, destaca que o desmatamento no sul do Pará, entre 1979 e 1983, praticamente dobrou, com aproximadamente 185.000 ha/año de área desmatada (Amplia-se a devastação, 1986).

Ferreira (1986), mencionando Carneiro (1986), cita que a área destruída anualmente na Amazônia equivale a 23% do desmatamento processado em todas as áreas do mundo, e ainda, que a Amazônia possui quatro áreas críticas com relação ao desmatamento: uma entre Belém e Santarém (PA), outra no eixo Belém-Brasília, ao norte de Goiás, uma terceira ao norte do Mato Grosso, e a última, em Rondônia.

Segundo Martinello (1987), o geólogo Orlando Valverde revelou que a continuar os atuais ritmos de desmatamento, a floresta Amazônica poderá ficar sem suas matas daqui a 80 anos, fato devido principalmente ao aprimoramento das técnicas de desmatamento. Segundo o autor, há 15 anos não existia a moto-serra, e 6 homens levavam de 6 a 8 dias para desmatar 1 ha; com o advento da moto-serra, 1 homem passou a desmatar 1 ha/dia; atualmente o uso de tratores arrastando correntes permite derrubar 40-50 ha/dia, e mais devastador ainda é o uso de desfolhantes do tipo do "agente laranja", que permitem preparar o desmate de até 200 ha/dia de trabalho com pulverização aérea.

Os estudos de Uhl and Jordan (1984) sobre o processo de recuperação da floresta tropical após seu corte e queima mostraram que as múltiplas espécies estabelecidas sobre Oxisols no Alto Rio Negro, sul da Venezuela, têm o potencial de recobrir a área por causa de múltiplos mecanismos de regeneração na vegetação, mas se o desmatamento for feito com trator de esteira, a regeneração pode não acontecer por causa da eliminação do estoque de nutrientes locais assim como dos mecanismos de regeneração.

Por causa do plantio desordenado e não planejado de culturas sem mercado, que em muitos casos não se adaptam à região devido às pragas e poucas áreas de solos férteis, entre outras razões (Alvin, 1978; Fearnside, 1983), fazendas de gado expandem-se pela área

provocando o desmatamento acelerado de várias áreas e consequentes distúrbios ecológicos em áreas ainda maiores (Fearnside, 1983). Acredita-se que as pastagens implantadas na Amazônia têm péssimas perspectivas de manter uma boa produção bovina devido ao declínio do teor de fósforo e à compactação dos solos, além do crescimento secundário de vegetais não comestíveis (Fearnside, 1984, 1986). Segundo este autor, para o pequeno colono, o plantio de capim é tanto causa como resultado do desmatamento rápido. O colono que derruba a floresta para o plantio de culturas anuais só pode esperar uma ou duas safras antes da queda de produção tornar o plantio menos atraente que a opção de derrubar uma nova área. Isto também ocorre porque as formas de manejo sustentado da floresta têm se revelado economicamente pouco atrativas para a empresa capitalista, que tem optado por derrubar e queimar a floresta, mesmo que o uso destas terras não se prolongue por mais de dez anos (Baiardi, 1983).

A análise sobre a distribuição dos solos pobres de Rondônia feita por Fearnside (1987) mostra que a melhor terra para a agricultura já foi tomada, tornando novos planos de colonização inviáveis, com poucas chances de êxito.

O solo de grande parte da Amazônia é pouco profundo (2-20cm), e é formado basicamente por restos vegetais em decomposição (Joly, 1970). Os tipos de solos predominantes são Orthic Acrisols, Ferralic Arenosols, Orthic Ferrasols e Xantic Ferrasols (FAO, 1971). Segundo esta referência, estes solos são inicialmente usados no cultivo de árvores frutíferas e posteriormente convertidos em pastagens, que sob o efeito de queimadas e o eventual manejo ineficiente, perdem sua fertilidade natural em poucos anos. Joly (1970) também afirma que no momento em que se retirar a cobertura vegetal, e remover-se o húmus, a região transformar-se-á num semideserto. E conforme Timmons (1985), um

solo com uma profundidade limitada raramente se auto-recuperará uma vez que seu limite de profundidade tenha sido reduzido a zero.

As Tabelas 2.2 e 2.3 demonstram as diferenças marcantes de perda de solo e nutrientes em relação a matéria orgânica, quando submetidos a diversos tratamentos, num período de dois anos ou para uma chuva crítica correspondente de 130 mm.

TABELA 2.2

PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM TRÊS TRATAMENTOS

Tratamento	Solo		Água		Nutrientes - Kg/ha					
	t/ha	%	mm	%	Ca	Mg	K	P	M.O.	pH
Queima + 1 GN	6,45	100	14,8	100	5,12	1,19	1,51	0,055	179	5,9
3,4 t/ha de palha + 1 GN	3,34	52	13,0	86	3,04	0,84	1,04	0,023	130	6,3
5,3 t/ha de palha + 1 GN	1,53	24	7,0	47	1,66	0,42	0,32	0,006	44	6,2

FONTE: Brasil (1983), p.41.

GN=grade niveladora

TABELA 2.3

PERDAS DE SOLO, ÁGUA E NUTRIENTES EM 7 TRATAMENTOS COM RESÍDUO DE TRIGO

Tratamento	Solo		Água		Nutrientes - Kg/ha					
	t/ha	%	mm	%	Ca	Mg	K	P	M.O.	pH
Q + Ar + 4 GN	18,03	660	15,6	300	19,59	4,12	3,62	0,120	657	5,9
P + Ar + 4 GN	12,83	470	17,9	344	16,55	4,06	3,31	0,062	410	6,4
P + GP + 4 GN	8,00	293	14,1	271	7,66	1,92	1,92	0,054	296	6,1
Q + Ar + 2 GN	6,92	253	10,0	192	8,26	1,73	1,22	0,044	232	6,0
P + GP + 2 GN	3,63	133	6,6	127	3,49	1,02	0,87	0,018	144	6,0
P + Ar + 2 GN	2,73	100	9,2	100	3,36	0,82	0,64	0,016	84	6,2
P + NP	0,14	5	1,8	35	0,16	0,04	0,04	0,001	5	6,1

FONTE: Brasil (1983), p.41

Q=queima; GP=grade pesada; NP=nenhum preparo; Ar=aração; GN= grade niveladora; P=palhada.

Segundo o relatório de Santos et alii (1978, 1979), a qualidade das pastagens em Paragominas (PA) com o tempo de ocupação mostra que para menos de 5 anos de ocupação 70% dos pastos analisados são considerados regulares e excelentes, ao passo que com a ocupação acima de 5 anos, 80% são classificados como pobres ou muito pobres. Isto está relacionado com a perda da fertilidade do solo, que determina o decréscimo do vigor das pastagens.

Salati and Vose (1984) atentam para o fato de que quando ocorre desmatamento através de queimadas, uma grande quantidade de nutrientes são retidos nas cinzas, tal que nos primeiros anos as pastagens são boas; mas após sete anos de uso, com a lixiviação, a degradação destas é inevitável.

As queimadas provocam uma seleção entre as gramíneas, de forma que a vegetação dura e mais resistente ocupa gradativamente o lugar das espécies mais moles e seivosas, com uma perda da qualidade das pastagens (Maack, 1964). Segundo Joly (1970), o sapé (Imperata brasiliensis) e a barba-de-bode (Aristida palleus), são exemplos de vegetação não afetada pelo fogo, que pelo contrário, age como agente estimulador da floração destas espécies.

Uhl and Buschbacher (1985) observaram que o fogo atado para o controle de pragas em pastos degradados na Amazônia Oriental comumente espalha-se para a floresta adjacente, causando danos extensivos na mesma. A retirada da madeira mais a queima das pastagens implantadas nesta região interagem para produzir maiores prejuízos do que cada um dos processos agindo isoladamente. Os autores avaliaram a razão de desmatamento para a formação de pastagens, baseados em dados de trinta fazendas localizadas em Paragominas (PA), conforme a Tabela 2.4.

TABELA 2.4

RAZÃO DE TRANSFORMAÇÃO DE FLORESTA PARA PASTOS EM
TRINTA FAZENDAS LOCALIZADAS EM PARAGOMINAS (PA)

Ano de desmatamento	Área desmatada (ha)	% da área estudada das fazendas
antes de 1973	16.890	9,0
1973 a 1978	25.570	13,7
1979 a 1984	6.730	3,6
Total	49.190	26,3

FONTE: Adaptado de Uhl and Buschbacher (1985), p.266.

As análises de Uhl and Buschbacher (1985) mostram também que os incêndios afetam diretamente a flora e, através de efeitos sobre o microclima e disponibilidades de alimentos, a fauna é afetada indiretamente.

Kauffman et alii (1987) fizeram estudos de biomassa e propriedades químicas de florestas tropicais Amazônicas em áreas ao sul da Venezuela e concluíram que as atividades humanas no ecossistema das florestas tropicais, tais como desmatamento, conversão de florestas em pastagens e em agricultura de rotação, podem alterar a disponibilidade de material combustível, o microclima e condições para início de incêndios. Embora a probabilidade de ocorrência de incêndio em florestas tropicais intactas seja baixo, os resultados sugeriram que isto não é devido à baixa disponibilidade de material combustível ou características químicas, mas principalmente a efeitos microclimáticos tais como umidade relativa, padrões de precipitação e conteúdo de umidade no material combustível.

Uhl et alii (1987) utilizaram medidas combinadas do microclima da floresta, razões de secagem do material combustível, frequência de secas e comportamento de incêndios em sete comunidades florestais perto de San Carlos de Rio Negro, Venezuela, para estudar as condições propícias para incêndios em florestas tropicais. A região é uma das mais úmidas da Amazônia - precipitação média de 3500 mm/ano. Os autores concluíram que incêndios são possíveis somente se a umidade relativa é 65%, onde em comunidades florestais com cobertura de menor densidade, esta condição ocorre em média uma vez por mês, mas em comunidades com cobertura mais densa, tais níveis podem ocorrer em média menos de uma vez por ano.

Uhl et alii (1987) observaram que no norte do Pará, incêndios associados com o corte seletivo de madeira, levam a um alto volume de troncos mortos no chão, e este material combustível é uma "ponte" para que reocorram novos incêndios; o resultado pode ser uma destruição irreversível do ecossistema, pois Zedler et alii (1983) ao analisarem os incêndios ocorridos em 1979 e 1980 na Califórnia, EUA, mostraram que a ocorrência de dois incêndios consecutivos em um espaço de tempo não natural tem como resultado uma degradação a longo prazo da estrutura da comunidade florestal, da produtividade e da diversificação de espécies.

Fortes indícios de mudanças climáticas causadas por desmatamentos foram detectadas por Vianello (1975), ao analisar dados de temperatura da região de Juiz de Fora, MG, na Zona da Mata Mineira, região fartamente florestada até as duas primeiras décadas do século atual, e hoje quase totalmente desmatada. Segundo o autor, a análise dos dados sugere uma nítida tendência para a elevação das temperaturas, uma acentuação da deficiência hídrica, o aumento de casos de inundações e uma tendência de modificação do clima para o tipo climático seco, segundo a classificação de Thornthwaite proposta em 1948.

Desta forma, as consequências ecológicas para a fauna e flora, para o solo e para o ciclo hidrológico, decorrentes dos desmatamentos e queimadas na Amazônia, podem ser a médio e longo prazo, desastrosas. O problema é mais alarmante quando se considera que esse "desastre" ecológico pode afetar diretamente outras regiões do planeta. Por exemplo, o ciclo hidrológico da região do Pantanal Matogrossense está diretamente relacionado com o da Amazônia (Baiardi, 1983).

2.3 - PRODUÇÃO DE GASES TRAÇO E POSSÍVEIS EFEITOS CLIMÁTICOS.

A radiação solar é parcialmente absorvida pela atmosfera e superfície da Terra, fornecendo a energia necessária para muitos dos processos biológicos e meteorológicos.

Com o desmatamento, é removida a vegetação, um importante elemento do mecanismo de manutenção do equilíbrio climático e do ecológico, com o agravante de que a ocorrência de queimadas em grande escala após derrubadas provocam a emissão de gases traço em razões que excedem a capacidade da atmosfera em dispersá-los ou assimilá-los, provocando reações químicas em proporções suficientes para a alteração da constituição atmosférica, mesmo em âmbito global, com a perturbação do equilíbrio termal da atmosfera a longo prazo.

Materiais que ocorrem na atmosfera acima de níveis normais, sejam eles substâncias ou compostos, são considerados poluentes do ar (Edwards, 1978; Smith, 1981). Estes materiais são resultantes de processos naturais ou antrópicos, e os principais são citados na Figura 2.3.

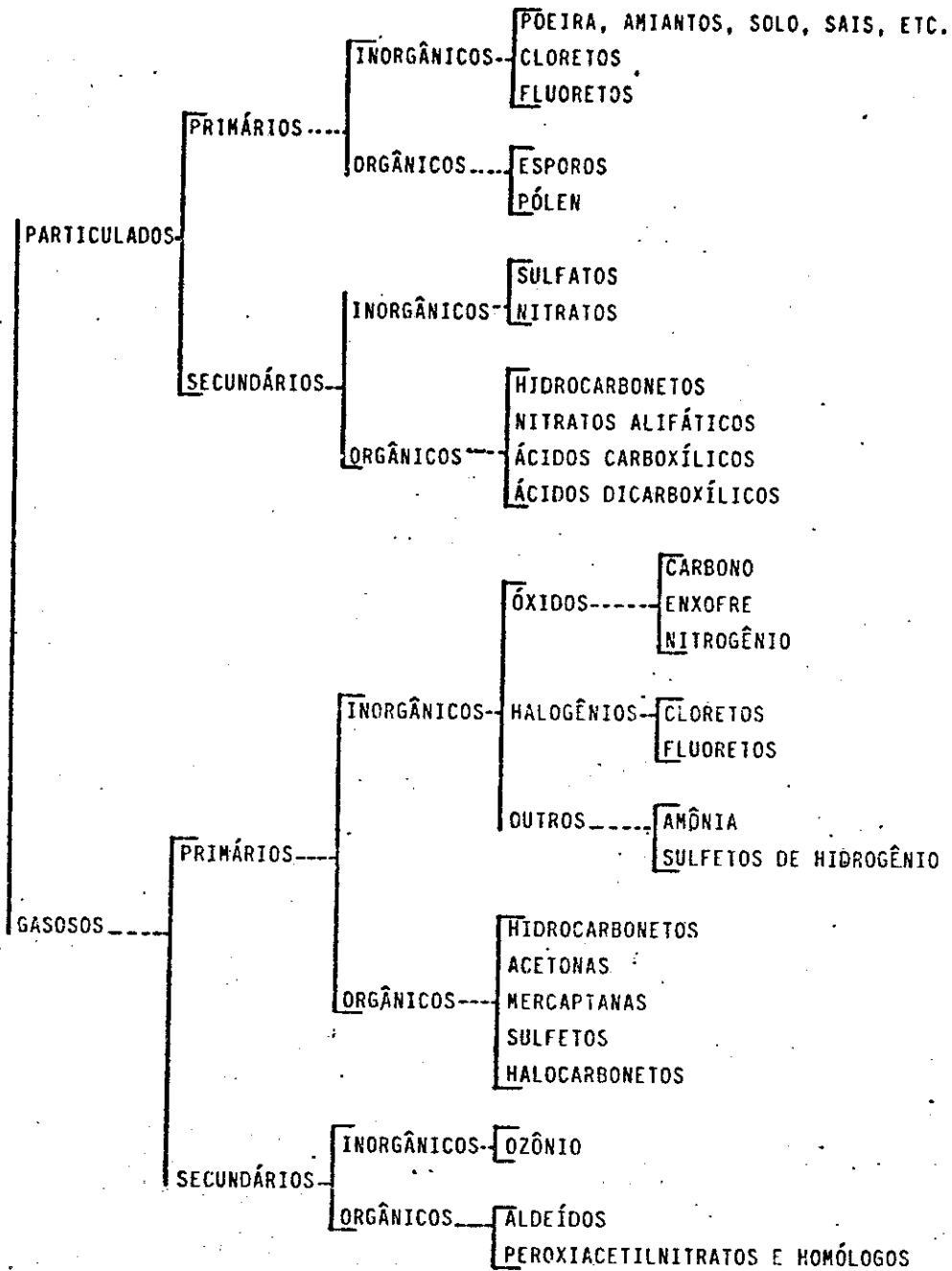


Fig. 2.3 - Materiais de importância para a poluição troposférica.
FONTE: Adaptado de Smith (1981), p.3. Os materiais lançados diretamente na troposfera são designados primários e os sintetizados posteriormente secundários.

Um efeito óbvio da fumaça de incêndios florestais a curto prazo, é a substancial deterioração da qualidade do ar e redução da visibilidade, causando perigo para a saúde e segurança das pessoas (Palmer, 1981; Chung, 1984; Stith et alii, 1981; Edwards, 1978).

Um exemplo da redução da visibilidade por causa de queimadas é encontrado no trabalho de Delany et alii (1985), que estimaram para o cerrado do Brasil Central, através de informações de pilotos e observadores, e também por meio de fotografias aéreas e de superfície, um intervalo de 7 ± 2 km de visibilidade durante queimadas.

A emissão de gases constituintes da atmosfera a partir de queimadas foi relatada por autores como Edwards (1978), Smith (1981), Logan (1983). Pesquisas feitas por Crutzen et alii (1979), Seiler and Crutzen (1980), Greenberg et alii (1984), Wong (1978), Delany et alii (1985), Crutzen et alii (1986), Stith et alii (1981) e outros, procuram demonstrar a existência de gases e material particulado em altos níveis na troposfera durante a ocorrência de queimadas, assim como analisar o impacto a médio e longo prazo causado por essas emissões.

Monóxido de carbono (CO), hidrogênio molecular (H_2), óxido nitroso (N_2O), óxido nítrico (NO), dióxido de nitrogênio (NO_2), clorofluorocarbonos, compostos hidrocarbônicos e mais uma centena de compostos orgânicos, e outros gases surgidos de reações secundárias são produzidos e lançados na atmosfera durante uma queimada, alterando as proporções naturais dos constituintes atmosféricos (Crutzen et alii, 1979, 1986).

Reações fotoquímicas nas quais participam monóxido de carbono, e/ou metano, e/ou óxidos de nitrogênio, ou compostos hidrocarbônicos podem modificar o balanço regional e sazonal de ozônio (O_3) e

hidroxilas (OH), alterando o potencial de óxido-redução da troposfera, e conseqüentemente uma variedade de outras reações atmosféricas acontecem e proporções diferentes das normais (Greenberg et alii, 1985; Fishman et alii, 1985a,b; Crutzen et alii, 1979; Fishman et alii, 1979b).

Por serem as queimadas uma fonte abundante de particulados com dimensões entre $0,1\mu\text{m}$ e $10,0\mu\text{m}$, com picos em $0,1\mu\text{m}$ e $0,5\mu\text{m}$ (Stith et alii, 1981), ocorrem alterações que podem afetar a estrutura termal da atmosfera e da biosfera (Manabe and Wetherald, 1967; Rasool and Schneider, 1971; Chung, 1984), assim como o perfil de absorção e espalhamento atmosférico, e a física das nuvens (Rasool and Schneider, 1971; Radke and Hobbs, 1976; Stith et alii, 1981),.

Os hidrocarbonetos reagem na troposfera através da oxidação fotoquímica do metano (CH_4) produzindo O_3 e CO; através da foto-dissociação de hidrocarbonetos não-metanos o mesmo acontece com a produção de nitratos peraxílicos, peróxidos, aldeídos e acetonas, que são compostos familiares do "smog" fotoquímico (Greenberg et alii, 1984).

O aumento de alguns gases, como o CO_2 , N_2O e CH_4 , podem provocar mudanças climáticas através do "efeito estufa" (Wang et alii, 1976; Crutzen et alii, 1979; Ramanathan et alii, 1985; Dickinson and Ciceroni, 1986). Outros poluentes, tais como CO, NO e hidrocarbonetos não-metanos, podem, reagindo entre si na atmosfera tropical quente, produzir "smog" fotoquímico (Delany et alii, 1985). Também, devido à abundância de radiação ultravioleta e vapor de água, as reações fotoquímicas ocorrem mais rapidamente nas latitudes das florestas tropicais (Crutzen et alii, 1985).

2.3.1 - ALTERAÇÕES NO CICLO DO CARBONO.

Embora o dióxido de carbono represente algo em torno de 0,03% do volume da atmosfera (Woodwell, 1978; Smith, 1981), tem havido preocupação com o aumento de sua concentração (de 290 ppb na era pré-industrial para 330 ppb nos dias atuais) devido a sua importância no controle climático em nível regional e global (Woodwell, 1978; Wong, 1978; Adams et alii, 1977; Manabe and Wetherald, 1975; Seiler and Crutzen, 1980; Goudriaan and Ketner, 1984; Brown and Lugo, 1984; Fearnside, 1985, entre outros), por ser um gás que absorve energia radiante nos comprimentos de onda infravermelhos.

Moller (1963) analisou vários trabalhos com estudos sobre a variação da temperatura terrestre a partir de variações na concentração de CO₂ na atmosfera, e concluiu que a influência destas variações sobre a radiação infravermelha de 12 a 18µm parecem ser evidentes.

Manabe and Wetherald (1967) utilizando o modelo matemático de Manabe and Strickler (1964) para estudos de equilíbrio térmico da atmosfera com correções convectivas, calcularam que se o conteúdo de CO₂ na atmosfera fosse dobrado, haveria um aumento da ordem de 2,3°C na temperatura da superfície terrestre, assim como uma alteração da estrutura térmica da atmosfera, caso fosse adotada uma distribuição de umidade relativa e um aumento de 1,3°C se fosse adotada uma distribuição de umidade absoluta.

Manabe and Wetherald (1975) utilizando um modelo matemático de circulação geral tridimensional analisaram os efeitos de uma concentração de CO₂ duas vezes maior que a normal sobre o clima terrestre e concluíram que, em geral, este aumento de CO₂ resulta em um aumento na temperatura da troposfera, maior do que o encontrado nos

cálculos de Manabe and Wetherald (1967). Também, encontraram que a temperatura estratosférica tende a decrescer com o aumento de CO_2 e, o ciclo hidrológico tende a ser mais ativo, de acordo com as razões de precipitação e evaporação calculadas.

Rasool and Schneider (1971), utilizando coeficientes de absorção diferentes dos autores anteriores, calcularam um aumento de 0,8 K na temperatura troposférica se houvesse uma duplicação na concentração de CO_2 . Bryson (1974), com dados da época que indicavam um acréscimo de 1 ppm anual na concentração de CO_2 , calculou que isso representaria grosseiramente um acréscimo anual de 0,1°C na temperatura terrestre.

Também Wang et alii (1976), ao analisarem a possibilidade de ocorrência do "efeito estufa", registraram a importância do CO_2 para o balanço radiativo terrestre. Dickinson and Ciceroni (1986), em recente artigo sobre o assunto, alertam para o fato de que embora os atuais modelos de circulação global não sejam precisos, e possivelmente ainda levem ainda algumas décadas para o chegarem a ser, deve haver uma grande atenção para as possíveis mudanças climáticas futuras.

Woodwell (1978) discute a hipótese de vários autores sobre a importância das florestas tropicais no balanço global do CO_2 e apresenta uma estimativa das maiores fontes de carbono na Terra, representadas na Figura 2.4. Segundo o autor, as emissões de CO_2 provenientes de florestas seriam da ordem de grandeza das de combustível fóssil, e estimadas em aproximadamente 4 a 8 Pg de CO_2 /ano (1 Pg = 10^{15} g), ou seja, entre 45% a 60% das emissões.

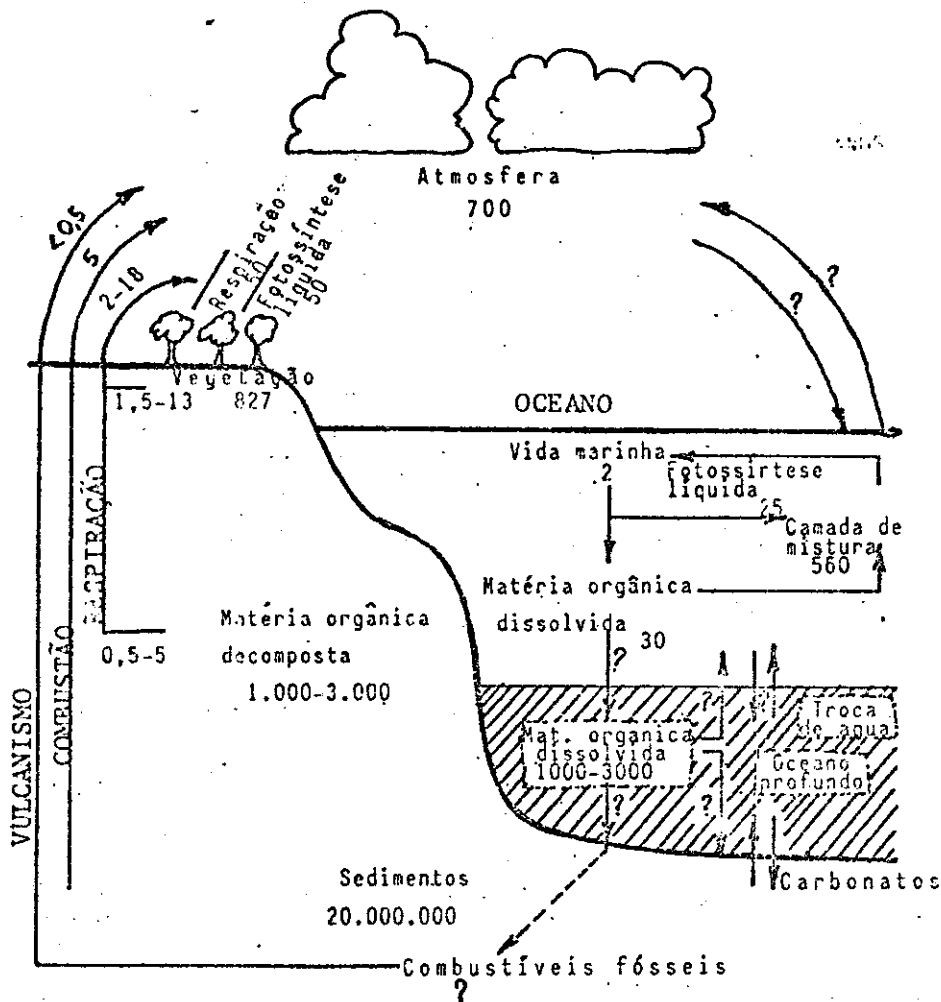


Fig. 2.4 - Maiores fontes de carbono e razões de troca anual entre si. Fonte: Smith, (1981), p.13; unidades em Tg de Carbono.

Adams et alii (1977), Woodwell et alii (1978) e Bolin (1977), indicaram que o desmatamento deve ser uma fonte substancial de CO_2 ; Woodwell et alii (1983) fizeram uma estimativa para o ano de 1981 em que a biota terrestre, especialmente florestas e solos, seria fonte de 1,8 a 4,7 Pg de C/ano; Fearnside (1985) argüi que o desmatamento em

larga escala praticado na Amazônia, teria uma contribuição significativa para o problema global do CO₂, apresentando uma lista substancial de prováveis impactos biológicos e humanos negativos.

A importância dos incêndios como fonte de CO₂ atmosférico, e uma generalização da contribuição total da queima de combustíveis não-fósseis, foram constatadas de uma maneira especulativa por Wong (1978). Ele estimou como limite superior um total anual bruto de carbono lançado na atmosfera, de 5,7 Pg e um total anual líquido que permanece na atmosfera de 1,5 Pg de C, gerados em queimadas realizadas mundialmente, constituindo cerca de 22% do total líquido de todas as fontes antrópicas. Fahnstock and Wong (1979) estimaram como limite inferior um total líquido de 0,6 Pg de C/ano, ou seja, cerca de 12% do total gerado a partir da queima de combustível fóssil.

Estimativas de Crutzen et alii (1979) e Seiler and Crutzen (1980) mostraram valores de 2 a 4 Pg de C/ano emitidos em forma de CO₂ a partir de queimadas, em âmbito global, e provenientes de diversas fontes. Este valor é da ordem de 50% das estimativas anuais para a emissão de CO₂ a partir da queima de combustíveis fósseis. Esta emissão provoca o aumento na concentração global de CO₂ devido ao fato de que muito mais carbono é lançado na atmosfera do que é depositado, ou decomposto pela biota e oceanos através, por exemplo, da fotossíntese. A Tabela 2.5 mostra um resumo destas estimativas para a fitomassa e para as áreas queimadas anualmente.

TABELA 2.5

RESUMO DOS DADOS DE FITOMASSA E ÁREA QUEIMADA ANUALMENTE

Atividade	Área desmatada e/ou queimada	Biomassa total desmatada	Biomassa exposta aos incêndios	Biomassa queimada anualmente	Biomassa morta abaixo do solo	Biomassa não queimada acima do solo
Queimadas devidas à agricultura de rotação	21-62 (41)	31-92 (62)	24-72 (48)	9-25 (17)	7-20 (14)	16-72 (44)
Desmate devido ao aumento de população e colonização	8,8-15,1 (12,0)	20-33 (26,5)	16-25 (20,5)	5,5-8,8 (7,2)	4,0-8,8 (6,0)	10,5-16,0 (13,3)
Queimadas em cerrado e caatinga	... (600)	... ...	12,2-23,8 (18)	4,8-19 (11,9)	8-16 (12)	2,4-4,8 (3,6)
Incêndios naturais em florestas temperadas	3,0-5,0 (4,1)	10,5-17,5 (14,0)	7,7-12,8 (10,3)	1,5-2,6 (2,1)	2,8-4,7 (3,8)	6,2-10,2 (8,2)
Incêndios planejados em florestas temperadas	2,0-3,0 (2,5)	1,2-1,8 (1,5)	0,3-0,5 (0,4)	0,1-0,2 (0,2)	0,6-0,9 (0,8)	0,2-0,3 (0,3)
Incêndios naturais em florestas boreais	1,0-1,5 (1,3)	2,5-3,8 (3,2)	1,8-2,7 (2,3)	0,4-0,6 (0,5)	0,7-1,1 (0,9)	1,4-2,1 (1,8)
Queima de madeira de uso geral	... ...	31-32 (31,5)	11-12 (11,5)	10-11 (10,5)	5,5 ...	1 ...
Queima de resíduos agrícolas	... ...	... ...	19-23 (21)	17-21 (19)	27-31 (29)	1,9-2,3 (2,1)
Total	630-690 (660)	130-250 (180)	92-172 (132)	48-88 (68)	56-87 (72)	40-109 (74)

FONTE: Seiler and Crutzen (1980), p.233, e Crutzen et alii (1979), p.254.

Legenda: unidades em 100Tg de matéria seca e 10ha; para converter a matéria seca em carbono multiplicam-se os valores por 0,45. Os dados entre parênteses são valores médios.

A quantidade total de fitomassa queimada anualmente em um bioma é dada aproximadamente, pela equação (Seiler and Crutzen, 1980):

$$M = A \times B \times \alpha \times \beta \quad (\text{gramas de matéria seca por ano}); (\text{g ms/ano}) \quad (2.1)$$

onde, A é a área total queimada anualmente (m^2/ano), B é a matéria orgânica média por área unitária de um bioma (g ms/ano), α é a fração de fitomassa média acima do solo, e β é o fator de combustão da fitomassa acima do solo.

Dados sobre área total, fitomassa, e fitomassa média acima do solo para o bioma "florestas tropicais", assim como o fator de eficiência de combustão utilizados por Seiler and Crutzen (1980) são os que seguem:

Área (A)	= $17 \times 10^6 \text{ km}^2$	Fitomassa média	= 40 Kg/m^2
Folhagem	= 8 %	Biomassa média (B)	= 41 Kg/m^2
Troncos	= 72 %	Biomassa morta	= 1 %
Raíz	= 19 %	Biomassa acima do solo (α)	= 81 %
Fator de combustão (β)	= 25 %		

Utilizando dados de diversas fontes, inclusive os estudos existentes de pesagem direta de fitomassa em floresta densa na Amazônia brasileira, Fearnside (1985a) sugere que se a Amazônia Legal queimasse inteira, cerca de 11,35 Pg de C seriam lançadas de imediato, elevando-se para o total de 62 Pg de C quando dar-se-iam a decomposição de matéria orgânica e outros processos mais lentos de produção de carbono. O autor adverte de que a conversão para CO_2 não é exata, mas que estes totais contribuiriam com $0,01-0,06^\circ\text{C}$ e $0,08-0,34^\circ\text{C}$ respectivamente, no aumento da temperatura global, sem considerar trocas de calor entre atmosfera e oceano, e cerca de 5°C se fosse considerada essa troca.

Uma reestimativa feita por Fearnside (1985b) para o total de carbono que seria lançado na atmosfera através de processos mais lentos, por causa da conversão total da floresta Amazônica em pastagens, é a de 49,7 Gton de C. seriam geradas - 19,6% a menos do que a estimativa anterior de Fearnside (1985a). Neste trabalho o autor utilizou um valor médio de fitomassa (B) igual à 22,61 kg/m².

2.3.2 - ALTERAÇÕES NA CONCENTRAÇÃO DE OZÔNIO.

O ozônio é um gás opticamente ativo, que absorve e emite radiação infravermelha terrestre na região de 8 a 10µm do espectro eletromagnético, e absorve radiação solar nas regiões ultravioleta e visível, de maneira que uma mudança nas concentrações de O₃ perturbaria o clima (Fishmann et alii, 1979b). Os mesmos autores, utilizando-se de um modelo numérico, examinaram a influência do ozônio troposférico sobre o clima, e estimaram que se a concentração de O₃ fosse reduzida à metade dos níveis atuais, ocorreria um esfriamento de 0,5 K na superfície terrestre e que se ela fosse dobrada, ocorreria um aquecimento de 0,9 K.

A presença de óxido nítrico (NO) nas emissões de queimadas, provoca, através da oxidação de monóxido de carbono (CO) e metano (CH₄) e outros hidrocarbonetos, a formação de ozônio (Crutzen et alii, 1979). Stith et alii (1981), estudando as emissões de incêndios florestais nos EUA concluíram, da mesma forma, que haviam fortes indicações de que alguns deles eram fontes substanciais de O₃, pois as concentrações medidas nas plumas de fumaça foram muito maiores do que no ar ambiente. Os experimentos de Chung (1984) em florestas canadenses mostraram uma redução na concentração de O₃ na superfície e um aumento na tropopausa nos locais em que havia a presença de fumaça dos incêndios.

Os dados de concentração de O_3 tomados por Kirchhoff (1984), no Panamá (latitude $9^\circ N$) em 1977 e em Natal ($6^\circ S$) em 1979-1981, sugerem que estas concentrações são maiores no hemisfério sul do que no hemisfério norte, contradizendo a análise anterior de Fishmann et alii (1979a,b) baseada em sondagens feitas no Panamá e em La Paz ($16^\circ S$) e Ilha de Cantão ($2^\circ S$) na década de 1960. Medidas feitas de aeronave na década de 1970 por Routhier et alii (1980) e Seiler and Fishmann (1981), também mostraram baixas concentrações de O_3 no hemisfério sul.

As medidas de Kirchhoff (1984) mostram valores similares às feitas por Crutzen et alii (1985) e Delany et alii (1985) durante a ocorrência de queimadas em agosto e setembro de 1984. A figura 2.5 mostra uma comparação entre as cinco séries de dados tomados no hemisfério sul.

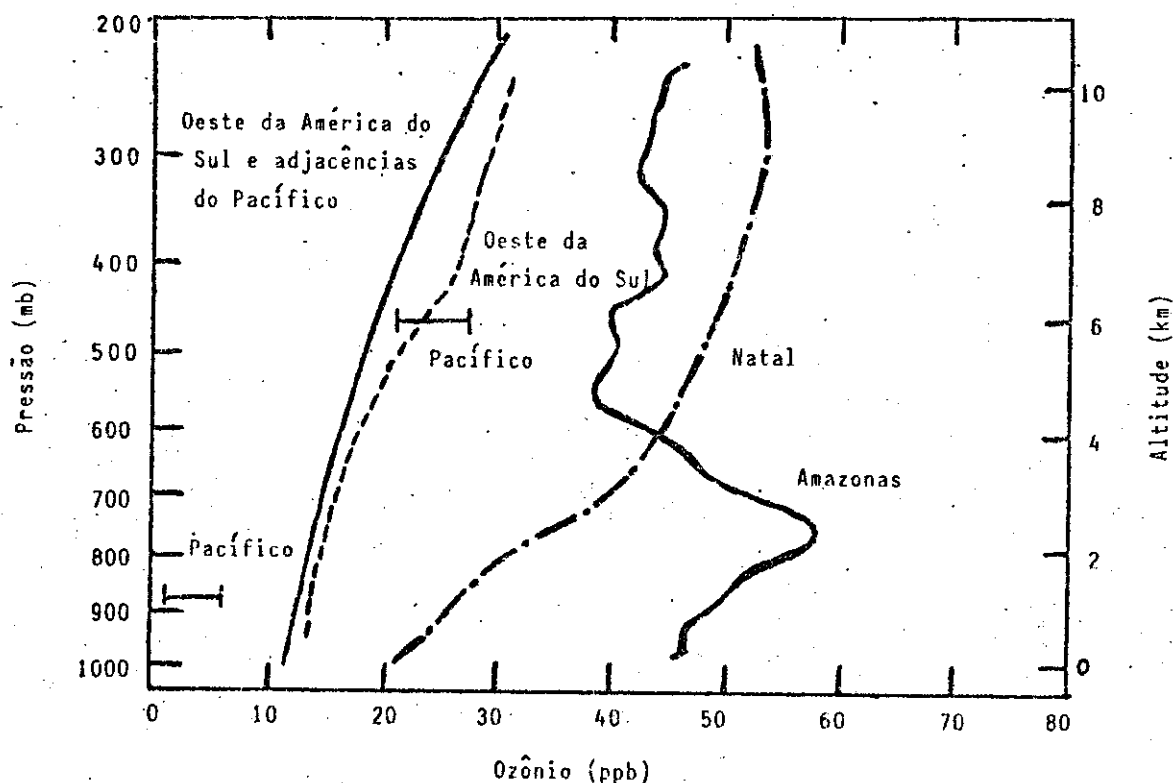


Fig. 2.5 - Dados de concentração de ozônio tomados no Hemisfério Sul.
FONTE: Fishmann et alii (1985a), p.9.

As medidas de Delany et alii (1985) e Crutzen et alii (1985) demonstraram que as queimadas ao norte do Brasil lançam uma grande quantidade de gases traço na atmosfera, resultando na geração de O_3 troposférico. O ozônio é portanto um produto secundário das queimadas, produzido através de reações fotoquímicas (Fishmann et alii, 1979a; Delany et alii 1985; Crutzen et alii, 1985).

Fishman et alii (1986) utilizaram dados do satélite GOES para estudar o impacto de queimadas em áreas tropicais sobre a fotoquímica da troposfera e demonstraram que os aumentos de concentração de O_3 observados sobre a Bacia Amazônica podem ser associados com a presença de queimadas, tal que medidas de campo confirmaram que os gases liberados em queimadas resultam na geração de O_3 fotoquimicamente.

Uma estimativa de $2,6 \times 10^{11}$ g de O_3 /semana lançadas na atmosfera foi feita por Delany et alii (1985), considerando-se um excesso de 20ppbv na concentração de O_3 mantido na camada limite do cerrado numa espessura de 3km, durante um tempo de residência de três semanas, por sobre uma área de 2×10^6 km² (área do cerrado). Considerando-se os três meses de seca por ano, época em que ocorrem as queimadas, isto representaria 3×10^{12} g de O_3 produzidas. Além disso, 4×10^{12} g de O_3 depositar-se-iam sobre a vegetação do cerrado.

A maior importância da produção fotoquímica de O_3 a partir de queimadas pode ser seu papel dentro das massas de ar poluído aonde serve para oxidar outros poluentes (Delany et alii, 1985).

2.3.3 - OUTROS GASES.

Os hidrocarbonetos da troposfera participam de vários ciclos químicos importantes através de reações em cadeia; um dos produtos finais dessas reações é o monóxido de carbono, tido como um provável agente determinante da concentração global de hidroxilas (Greenberg et alii, 1984, 1985; Greenberg and Zimmermann, 1984). A reação com hidroxilas é uma das únicas formas de decomposição de vários gases traço (Crutzen et alii, 1979). Os hidrocarbonetos são formados em processos de combustão (em automóveis e em incêndios florestais ou queimadas), que são as maiores fontes de metano (CH_4), alcanos, e hidrocarbonetos aromáticos (Greenberg and Zimmerman, 1984).

Os hidrocarbonetos não metanos também participam de vários ciclos químicos atmosféricos, e por causa da multitude de reações e rapidez em que estas se processam, produzem aldeídos e radicais orgânicos oxigenados, que por sua vez, por exemplo, produzem peroxiacetilnitratos (Greenberg et alii, 1984; Greenberg and Zimmerman, 1984).

O sulfeto carbonílico (OCS) contribui para a formação de partículas de aerosol estratosférico (Crutzen, 1976) que afetam o balanço radiativo terrestre, e conseqüentemente o clima (Turco et alii, 1980). Crutzen et alii (1979) estimaram que incêndios florestais e queimadas contribuem com a geração de 0,2 a 0,3 Tg de OCS por ano, lançados na atmosfera.

Óxido nítrico, dióxido de nitrogênio e metano tem um papel significativo na química e balanço radiativo da atmosfera (Keller et alii, 1983; Logan, 1983), e são gases produzidos durante queimadas.

2.3.4 - RAZÕES DE EMISSÃO DE GASES TRAÇO EM QUEIMADAS.

Razões de emissão média de gases traço foram usadas por Crutzen et alii (1979) para estimar a emissão anual total destes gases provenientes de queimadas. Este cálculo utilizou a estimativa de emissão bruta de 2 a 4 Pg de C/ano feita por Seiler and Crutzen (1980). Conforme Greenberg et alii (1984) estas razões de emissão são representadas por:

$$r_e = \frac{\Delta X}{\Delta CO_2} \quad [\% \text{ de } CO_2 \text{ por volume}] \quad (2.2)$$

onde ΔX e ΔCO_2 são a razão de mistura de gases acima dos níveis normais.

A Tabela 2.6 mostra as razões de emissão média compiladas por Crutzen et alii (1979) calculadas em incêndios florestais ocorridos nos EUA, e a Tabela 2.7, as razões de emissão usadas por Greenberg et alii (1984) calculadas a partir de queimadas ocorridas no cerrado do Brasil Central e na floresta Amazônica.

TABELA 2.6

RAZÕES DE EMISSÃO MÉDIA DE GASES TRAÇO POR VOLUME RELATIVO DE CO₂ EM FLORESTAS DOS EUA

	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)	H ₂ (%)	N ₂ O (%)	NO _x (%)	COS (x10 ⁻⁶)
\bar{X}	1,6	14	3,3	0,22	0,47	15,8
R	1,0-2,2	5,5-21,6	2,9-3,5	0,02-0,50	0,28-0,65	5,4-28,6

FONTE: Adaptado de Crutzen et alii (1979), p.255.

Legenda: \bar{X} é a média geométrica de n incêndios e

R é o intervalo de variação devido ao erro.

TABELA 2.7

RAZÕES DE EMISSÃO DE QUEIMADAS NO BRASIL

		Metano	Hidrocarbonetos Não-metanos	Monóxido de Carbono
Cerrado	\bar{X}	0,6	1,1	11,3
	R	0,2-2,4	0,3-3,4	4,8-26,8
Selva	\bar{X}	1,1	1,2	11,9
	R	0,5-2,3	0,7-2,0	4,7-30,2
Selva e Cerrado	\bar{X}	0,9	1,1	11,6
	R	0,3-2,6	0,4- 2,8	4,8-28,0

FONTE: Adaptado de Greenberg et alii (1984), p.1352.

Legenda: \bar{X} é a média geométrica de n incêndios e

R é o intervalo de variação devido ao erro.

2.4 - SENSORIAMENTO REMOTO DE QUEIMADAS.

Em razão das extensas áreas dos parques e reservas do Brasil, e da escassez de pessoal, a conservação e manejo de florestas naturais é uma tarefa trabalhosa e praticamente impossível, sendo que o sensoriamento remoto constitui uma meio prático e rápido que pode facilitar essa tarefa (Bentancurt e Santos, 1981).

Tanto Hirsch et alii (1971) quanto Lauer and Krumpal (1973) demonstraram o baixo custo e a rapidez da detecção e do mapeamento de queimadas através do sensoriamento remoto.

2.4.1 - DETECÇÃO DE INCÊNDIOS POR MEIO DE AERONAVES.

A detecção de incêndios por meio do sensoriamento remoto iniciou-se por volta de 1961 a 1962 no primeiro programa experimental de detecção de incêndios desenvolvido por entidades ligadas ao setor florestal dos E.U.A., e teve uma duração de 10-11 anos (Warren, 1980). O projeto desenvolveu estudos sobre imageadores bi-espectrais no infravermelho termal em aeronaves, fazendo vários testes para verificar a capacidade do sistema montado para auxiliar a detecção e supressão de incêndios florestais (Hirsch, 1962, 1964, 1968; Wilson, 1966, 1968; Bjornsen, 1968; Hirsch et alii, 1971; Warren, 1980). Para os testes, foram estudadas as características espectrais de queimadas e de sensores, necessárias para a detecção de incêndios, com especial ênfase em parâmetros tais como resposta espectral do alvo, sensibilidade do detector, e obscurecimento do alvo por parâmetros externos tais como fumaça e vegetação.

Kondratyev et alii (1972) investigaram a possibilidade de uso de radiômetros imageadores infravermelhos termais em aeronaves para a detecção de pequenos incêndios. O método utilizado mostrou ser capaz de localizar áreas de até $\sim 0,3 \text{ m}^2$, a altitudes de 2.500m. Os autores também calcularam os parâmetros técnicos que dariam o melhor desempenho para um sistema de reconhecimento e detecção aérea de incêndios, utilizando imageadores.

O uso de aeronaves equipadas com sensores bi-espectrais também foi testado para mapeamentos de incêndios por Pinson and Kourtz (1975). Mais recentemente Lacey and Friedrich (1984) e Green et alii (1984) fizeram estudos sobre a detecção de incêndios ocorridos em 1983 na Austrália com um equipamento biespectral a bordo de aeronave, para estabelecer a efetivação de técnicas de supressão e controle de incêndios. Os resultados iniciais comprovaram que o imageamento com aeronaves desempenha um importante auxílio no combate aos incêndios.

Um sistema de sensoriamento remoto em tempo real com sensores operando nas faixas de 8 a 14 μm e 3 a 5 μm (infravermelhas termais) é a base de um programa de detecção e mapeamento de incêndios na Austrália. O sistema detecta incêndios de até 0,4 m de diâmetro a altitudes de 3.600 m para auxiliar bombeiros no planejamento das operações de supressão dos incêndios (Digital fire mapping, 1986).

Clements et alii (1983) descrevem um método fotogramétrico para medição de altura das chamas e razão de propagação dos incêndios florestais em terrenos planos, e conseqüentemente calcular a intensidade do incêndio e razão de combustão, com o objetivo de auxiliar o manejo de incêndios planejados.

2.4.2 - DETECÇÃO DE PLUMAS DE FUMAÇA POR MEIO DE SATÉLITES METEOROLÓGICOS.

A detecção de plumas de fumaça cobrindo grandes áreas da América Central foi observada em fotografias do satélite ATS-3 (Application Technology Satellite 3) por Parmenter (1971). As plumas foram visíveis por um período de 25 dias em abril e maio de 1971, época em que ocorrem queimadas com fins agrícolas na região.

O uso de satélites meteorológicos para outros propósitos além da previsão de tempo é mostrado nas fotografias de grandes incêndios ocorridos na Rússia (U.R.S.S.) durante o verão transmitidas pelo U.S. ESSA-8 (ESSA photographs, 1973). No mesmo artigo é citado que partículas extremamente finas foram transportadas para alturas de ~5.500m e espalharam-se por sobre uma área desde os Urais até Berlim Oriental, e de Leningrado até o Mar Cáspio, afetando a transparência atmosférica por vários meses.

Ernst (1975) cita que os satélites meteorológicos da série GOES são capazes de detectar episódios de poluição do ar em grande escala, inclusive com indicação do movimento das massas de ar poluídas.

Grigoryev and Lipatov (1975) detectaram em imagens do satélite meteorológico americano ESSA-8 de agosto de 1972 plumas de fumaça originadas em incêndios na Europa Central com extensões de 75 a 400km e larguras de 15 a 25 km. Também, em outra imagem de agosto de 1972 do satélite meteorológico soviético Meteor-12 puderam distinguir plumas de 15 a 300 km e aproximadamente 40 pontos com as origens dos incêndios. A análise das imagens com incêndios mostrou que as nuvens de fumaça podem ser detectadas, com a avaliação de suas dimensões e

distribuição, estimativa da espessura da camada de fumaça, estudos de circulação das massas de ar em meso e macro-escala, e detecção da dinâmica da poluição por fumaça, assim como a localização das regiões de ocorrência de incêndios de grandes proporções.

Uma grande área coberta por fumaça produzida em incêndios florestais em Ontário e Quebec (Canada) foi observada sobre as fronteiras dos E.U.A. e Canada em imagens do GOES-1, sendo que a baixa visibilidade detectada em algumas das imagens representam sérios riscos para a aviação em baixas altitudes (Parmenter, 1977).

Um estudo feito por Croft (1978) em imagens noturnas dos satélites meteorológicos da Força Aérea dos E.U.A. a respeito de pontos brilhantes encontrados nestas imagens, mostram desde milhares de pontos ao sul do deserto do Saara na África e, na América Central, que podem estar associados a queimadas provocadas com fins agrícolas, até pontos associados com grandes incêndios na Austrália.

Uma abrangente revisão sobre detecção de plumas de fumaça, abordando várias técnicas de sensoriamento remoto pode ser encontrada em Setzer (1982).

2.4.3 - DETECÇÃO DE INCÊNDIOS E PLUMAS DE FUMAÇA ATRAVÉS DOS SATÉLITES METEOROLÓGICOS DA SÉRIE NOAA.

Ernst and Matson (1977) analisaram uma área sobre o estreito de Bering coberta por extensa camada de fumaça provocada por incêndios na Península de Seward (Canada) nos meses de verão em julho e agosto, quando a vegetação torna-se muito seca e incêndios são frequentemente causados por raios. A análise feita para imagens dos satélites de órbita polar NOAA-5 pelos autores concluiu que as imagens deste

satélite fornecem significantes informações meteorológicas quando analisados os padrões das plumas de fumaça provocadas pelos incêndios.

Svejkovsky (1985) detectou em imagens AVHRR/NOAA-6 entre os dias 25 e 28 de novembro de 1980 grandes plumas de fumaça nas bandas 1 (0,55-0,68 μm) e 2 (0,72-1,1 μm), que provavelmente eram provenientes de incêndios ocorridos ao sul da Califórnia, distantes cerca de 1.100 km do local das plumas detectadas.

Matson et alii (1984) demonstram que as imagens dos satélites de órbita polar da série NOAA têm grandes possibilidades de resolver o problema de detecção de incêndios de maneira rápida em áreas geográficas de grandes extensões, através da banda 3 (3,55-3,93 μm), sendo até possível determinar a área e temperatura do incêndio - desde que não se tenha o nível de cinza saturado. Os autores citam que as limitações encontradas dizem respeito a cobertura de nuvens e incapacidade de diferenciar os incêndios naturais dos planejados.

Chung and Le (1984) usaram fotografias preto e branco derivadas dos satélites NOAA-7 na identificação de vários casos de plumas de fumaça originárias de queimadas no oeste do Canada em 1981, e transportadas para o leste da América do Norte, percorrendo em geral ~3.000km, com duas plumas em particular, atingindo 5.000km. Os autores mencionam que os dados do satélite tem a capacidade de detectar incêndios quando da sua análise digital e também, que a área coberta pela fumaça dos incêndios em agosto de 1981 era maior do que $1,2 \times 10^6 \text{ km}^2$.

Um sistema de monitoramento de incêndios florestais usando os satélites da série NOAA na região de Slave Lake Forest, em Alberta, Canada, é descrito por Flannigan (1985) e Flannigan and Van Haar (1986). O sistema mostrou algumas limitações e a mais séria é o

obscurecimento dos incêndios pelas nuvens e pela fumaça, mas o monitoramento por áreas extensas tem sido desejado por causa dos baixos custos e também pela boa cobertura espacial e temporal.

Malingreau (1984a,b) e Malingreau et alii (1985) descrevem o uso de dados AVHRR/NOAA-7 na detecção e mapeamento de incêndios ocorridos em Kalimantan, Indonésia, e Borneo Norte, em 1982-83, relacionados com a intensa seca associada ao fenômeno do El Niño. Nestes trabalhos, os autores mencionam o uso do Índice Vegetativo da Diferença Normalizada (NDVI) para a análise das tendências dos efeitos da seca sobre a vegetação. O índice NDVI também pode ser usado para avaliar a extensão dos danos causados pelos incêndios.

2.4.4 - DETECÇÃO DE QUEIMADAS ATRAVÉS DOS SATÉLITES DA SÉRIE LANDSAT.

A utilização de imagens MSS do satélite de recursos naturais LANDSAT para o monitoramento e mapeamento de queimadas nas regiões tropicais do leste e sul da África, e análise da vegetação afetada foi feita por Wightman (1973).

Um estudo feito por Deschler (1974) mostra a rápida progressão das áreas de savana queimadas na África ao norte da linha do equador, partindo da Nigéria para o Leste. A área queimada foi muito maior do que a esperada, totalizando 20% de uma imagem de 17 de dezembro de 1972, 80% em uma imagem de 4 de janeiro de 1973 e 90% em 22 de janeiro de 1973.

Robinove (1975) cita que as imagens MSS podem ser usadas no mapeamento de queimadas que são facilmente reconhecíveis por causa da baixa reflectância que apresentam.

Um trabalho de monitoramento e mapeamento de áreas utilizadas para agricultura de rotação através de imagens multitemporais MSS foi executado por Bruneau and Le Toan (1978) em regiões da Tailândia, ao sul da Ásia.

Santos e Aoki (1978) demonstram a possibilidade de monitoramento de áreas de preservação com um trabalho de mapeamento de queimadas e análise da regeneração da vegetação no Parque Nacional de Brasília através do uso de imagens MSS.

Também no Brasil, Chen et alii (1979) fizeram um trabalho de mapeamento e regeneração da vegetação para uma área no estado de São Paulo, demonstrando a possibilidade de tratamento automático de imagens digitais do MSS neste tipo de estudo.

O uso de dados MSS/LANDSAT para a confecção de mapas de áreas de controle de incêndios na região de Quebec, Canada, faz com que seja possível a detecção e supressão dos incêndios de maneira mais rápida com menores custos (Canadian, 1980).

Hall et alii (1980) usaram dados MSS na determinação de áreas queimadas e regeneração da vegetação de Tundra no Alasca através da classificação automática, citando que o uso de imagens LANDSAT é vantajoso por causa da possibilidade de monitoramento após o incêndio com o aumento de dados adquiridos sem a necessidade de medidas de campo que são onerosas e tomadas em tempos discretos.

Tanaka et alii (1983) descrevem um método de preparação de mapas com escala 1:25.000 a partir de imagens MSS/LANDSAT para a análise da área queimada na ilha de Etajima, Japão, em incêndios ocorridos em junho de 1978.

Através de imagens MSS, Minich (1983) confeccionou um mosaico de incêndios ocorridos na Califórnia no período de 1972 a 1980, com definição do tipo de vegetação e sua combustibilidade, que juntamente com dados estatísticos da ocorrência de incêndios na região, visam o controle destes incêndios. Allan (1984) fez estudos em imagens MSS e AVHRR, e fotografias aéreas de regiões da Austrália, com estes mesmos objetivos.

Richards and Milne (1984) discutem o valor do mapeamento de incêndios e regeneração de vegetação através do uso de técnicas de classificação de imagens multitemporais MSS. A técnica de pré-processamento por componentes principais mostrou ser um processo útil para realçar regiões em mudança, e foi utilizada na análise de dois grandes incêndios ocorridos na região de Sydney, Austrália.

Um estudo envolvendo a utilização de imagens multitemporais TM/LANDSAT no monitoramento e avaliação de áreas queimadas, e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo que atingiu o Parque Nacional de Brasília em junho de 1985 foi feito por Ponzoni et alii (1986). Tanto a análise visual quanto a automática mostraram que as imagens TM são bastante eficientes na detecção e monitoramento da área queimada.

O uso de imagens TM no mapeamento de incêndios florestais também foi demonstrado em estudos feitos pelo Instituto de Cartografia da Catalunha, Espanha, aonde imagens TM foram usadas de maneira a mapear rapidamente as áreas queimadas de julho a setembro de 1986 na Catalunha, para o planejamento de projetos de reflorestamento (Detection of forest fires, 1987).

2.4.5 - OUTROS ESTUDOS SOBRE ALTERAÇÕES NA COBERTURA VEGETAL.

Durante a missão orbital 41-D do "Shuttle" Discovery os astronautas fotografaram queimadas em campos agrícolas na Bacia do Rio Paraná que criaram plumas de fumaça e nuvens geradas termalmente (Mission 41-D photographs, 1985).

A preocupação com as possíveis implicações globais provocadas pelo desmatamento na Amazônia tem estimulado o monitoramento de áreas aonde este têm ocorrido em maior escala, tal como em Rondônia. Trabalhos de Tucker et alii (1984) com dados AVHRR/NOAA, Nelson and Holben (1986) com dados MSS/LANDSAT, AVHRR/NOAA e VISSR/GOES, e Woodwell et alii (1986, 1987) com dados MSS e AVHRR (inclusive, com uma comparação entre ambos) procuram identificar mudanças no uso do solo em Rondônia. Santos (1985), com dados MSS/LANDSAT procura fazer o acompanhamento do desmatamento em Rondônia, provocado principalmente pelo aumento populacional no estado.

Stone and Woodwell (1987) analisaram áreas de floresta intacta e áreas desmatadas utilizando dados MSS/LANDSAT e dados do Shuttle Imaging Radar - A (SIR-A), banda L ($\lambda = 23,5$ cm), na região de Alta Floresta, MT. Os autores citam que as queimadas de pastagens podem diminuir a resposta do radar porque a fitomassa restante é consumida pelo incêndio.

Malingreau and Tucker (1987a,b) analisaram dados AVHRR/NOAA da parte sul da Amazônia coletados nas estações secas de 1982, 1984 e 1985, para mostrarem as várias vantagens que este sensor oferece na pesquisa das transformações em larga escala que estão ocorrendo nesta floresta tropical. Através do NDVI são detectada as rápidas mudanças que estão ocorrendo em várias áreas da Bacia Amazônica. Foram

observados milhares de incêndios nas imagens termais ilustrando o papel das queimadas nas transformações da floresta tropical.

Um monitoramento global tentando relacionar mudanças na cobertura vegetal com o ciclo do CO₂ atmosférico, foi efetuado por Tucker et alli. (1986) através do uso de índices vegetativos obtidos da transformação dos dados do AVHRR.

2.4.6 - COMPORTAMENTO RADIOMÉTRICO DE QUEIMADAS.

O desempenho de um sistema de sensoriamento remoto para detecção de incêndios deve adaptar-se ao carácter radiométrico da fonte de radiação (alvo) e da superfície de fundo, e das interações que ocorrem na trajetória da radiação entre o alvo e o sensor.

Para a detecção de incêndios é necessário que o sistema sensor seja capaz de determinar diferenças de temperatura provocadas pelas pequenas áreas de incêndios.

Há três fontes de radiação infravermelha termal envolvidas na detecção de incêndios:

- 1 - a emissão pelo próprio incêndio, ou seja, pelas substâncias em combustão;
- 2 - a emissão e reflexão da área em que ocorre o incêndio, incluindo-se os resíduos de combustão, e
- 3 - a emissão e reflexão de outras fontes quaisquer interferindo nesse processo, como por exemplo, solo exposto.

A temperatura das partes mais quentes do incêndio podem ser obtidas pelo ótimo ajuste da curva de corpo negro ao espectro do incêndio (Stearns et alii, 1986). Estas temperaturas são da ordem de 900K (Stearns et alii, 1986; Richards and Milne, 1984), implicando em um pico de energia radiante na região de 3 μ m a 6 μ m (Hirsch et alii, 1971).

O critério usado por Wilson (1966) para a detecção de uma área, muito menor do que o IFOV do sensor é a de que o sinal de saída deve ser muito maior do que o sinal de fundo de cena pico-a-pico. Hirsch et alii (1971) concluíram que os incêndios devem ocupar pelo menos 2% do IFOV para que haja a sua distinção das anomalias geotermiais.

2.4.7 - DOMÍNIO TEMPORAL DE QUEIMADAS.

Conforme trabalho de Deshler (1974), feito em savanas africanas, e a experiência do autor desta tese no meio agropecuário, as queimadas perduram usualmente em períodos de menos de um a três dias; incêndios controlados para a queima da biomassa proveniente de resíduos agrícolas geralmente duram até um dia, e incêndios de maiores proporções, naturais ou provocados pelo ser humano, podem grassar por mais de uma semana, dependendo do material disponível para a combustão, geografia do terreno, situação meteorológica predominante, tecnologia de combate ao incêndio, e outros fatores.

Desta forma, o sistema de sensoriamento remoto deve adequar-se à estas estimativas de tempo de duração de uma queimada, para o seu monitoramento.

As imagens do sistema MSS/LANDSAT possuem resolução temporal de 18 dias tornando-se inadequadas para a detecção imediata e estudos sobre o comportamento de queimadas (Robinove, 1975). Ainda,

dependendo da ocorrência de nuvens sobre a região de estudos, podem tornar-se igualmente inadequadas para o mapeamento dessas queimadas, pois existem algumas regiões da Terra que possuem uma alta frequência de cobertura de nuvens. Com a entrada em operação do sistema orbital "Système Probatoire d'Observation de la Terre" (SPOT), abrem-se perspectivas para a obtenção de dados com boa resolução espacial e melhor resolução temporal do que no sistema TM/LANDSAT, por causa da capacidade de visada para fora do nadir do sistema de imageamento do SPOT.

As imagens do sistema VISSR/GOES possuem resolução temporal de trinta minutos, tornando-se uma opção atraente na detecção de queimadas. Os dois satélites da série NOAA imageiam um determinado alvo até quatro vezes ao dia, proporcionando a obtenção de imagens com resolução temporal de seis horas. Desta forma, esses dois sistemas apresentam-se superiores em termos de resolução temporal, se comparados ao sistema TM/LANDSAT que possui resolução temporal de 16 dias.

2.4.8 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE QUEIMADAS.

O imageamento de incêndios com sensores no intervalo de 3 a 5 μ m permitem a detecção das frentes de incêndio e manchas quentes através de fumaça (Hirsch, 1962; Lacey and Friedrich, 1984; Green et alii, 1984; Stearns et alii, 1986). Weinman et alii (1981) calcularam através de um modelo matemático que a radiometria em 11,5 μ m pode ser usada para a detecção de incêndios através de plumas de fumaça, se a densidade de massa integrada ao longo da trajetória da radiação é 3g/m².

A emissão de radiação a partir da combustão de material florestal segue o comportamento de um corpo negro, com uma curva de radiação característica como mostrado na Figura 2.6 (Wilson, 1966). O

mesmo autor cita que na região de 2 a 7 μm a radiação emitida a partir do terreno tem um comportamento semelhante em 90% ao de um corpo negro teórico.

Na Figura 2.6 são mostradas essas curvas, comparadas às "janelas" de transmitância atmosférica e às bandas em que atuam os sensores do TM, do VISSR, e do AVHRR. Pode-se notar que duas das janelas, de 3,0 a 4,2 μm e de 4,5 a 5,3 μm , são particularmente interessantes para a diferenciação entre a emissão de materiais incandescentes e do terreno, e que para comprimentos de ondas menores do que $\sim 3,5 \mu\text{m}$ a interferência da radiação solar refletida pela cena, torna-se consideravelmente alta à medida que o comprimento de onda diminui. A banda de 3,55 a 3,93 μm do AVHRR/NOAA é especialmente sensível a alvos com altas temperaturas, pois o pico de radiação de corpo negro desloca-se da região de 8 a 14 μm para a de 3,5 a 4,0 μm à medida que a temperatura aumenta (Matson et alii, 1984).

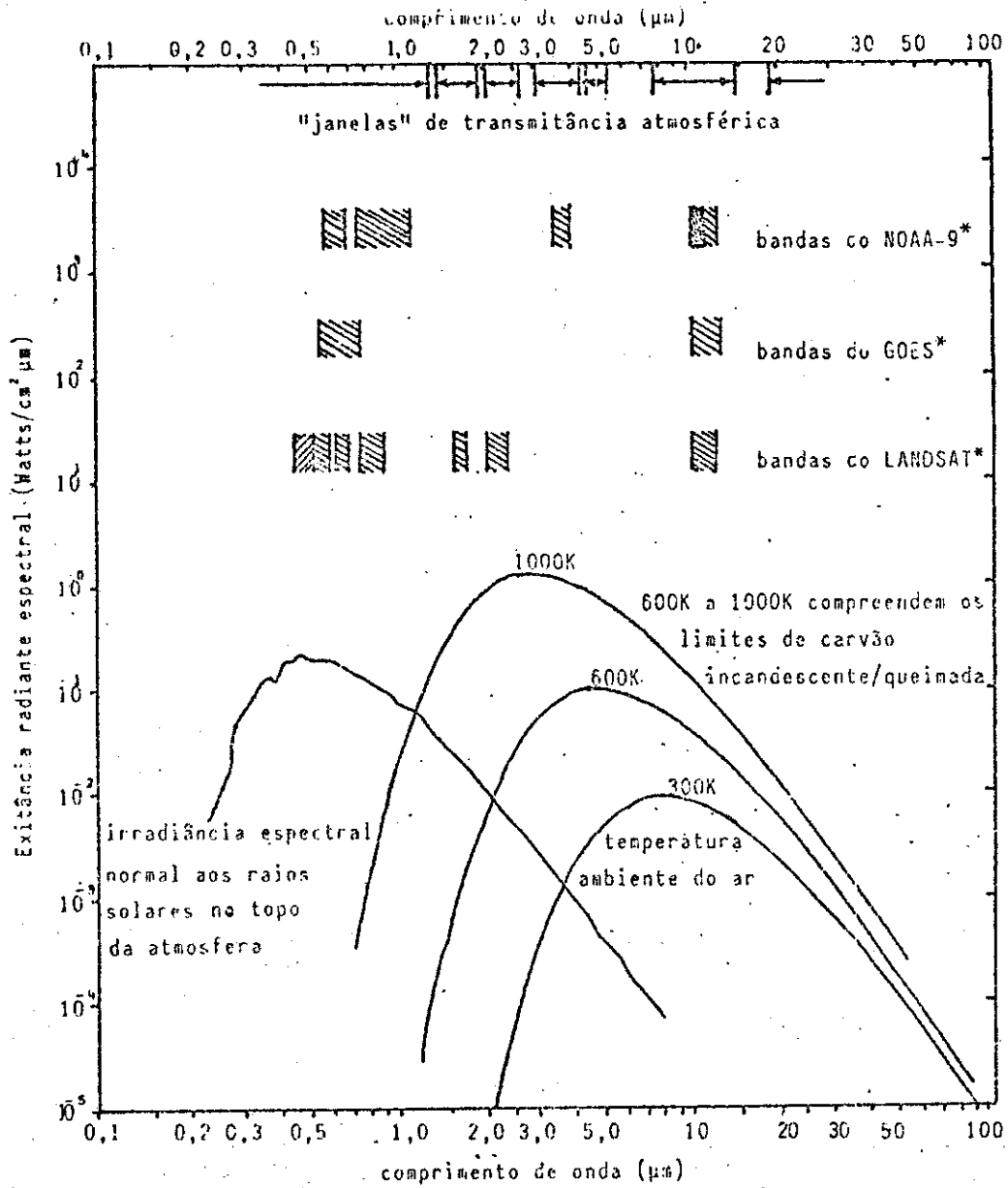


Fig. 2.6 - Curvas de exitância radiante espectral para o terreno e queimadas, e curva de irradiância solar no topo da atmosfera, comparadas com as bandas dos sistemas sensores LANDSAT, GOES e NOAA.

FONTE: Adaptado de Wilson (1966), p.901.

Na região visível do espectro eletromagnético, áreas de queimadas apresentam baixa reflectância (Robinove, 1975). Trabalhos sobre mapeamento de queimadas com o uso do MSS/LANDSAT, mostram que a banda 7 (0,8 a 1,1 μm) é a melhor para a distinção entre queimadas e vegetação, pois são facilmente identificadas e delimitadas por apresentarem uma tonalidade bem mais escura do que a vegetação (Deshler, 1974; Bruneau and Le Toan, 1978; Santos, 1981; Adamoli et alii, 1982; Tanaka et alii, 1983; Minnich, 1983; Richards and Milne, 1984), que nesta banda tem alta reflectância.

No trabalho feito por Fuller and Rouse (1979) uma sequência de superfícies queimadas com idades de 0, 1, 2, 25 e 80 anos foi investigada considerando mudanças na distribuição espectral da luz refletida, onde a reflectância espectral foi medida usando um espectrômetro ISCO-SR. Os resultados mostraram uma reflectância gradualmente crescente de acordo com a idade dos incêndios.

O estudo feito por Adamoli et alii (1982) sobre a resposta espectral de campos nativos submetidos a queimas, utilizando dados bromatológicos, curvas de reflectância espectral para diferentes períodos pós-queima, número de incêndios ocorridos em sequência temporal e níveis densitométricos tomados sobre imagens orbitais da região de Brasília (DF), mostrou que: "a biomassa formada (rebrotada) até um ano depois da queima é inferior à biomassa acumulada no momento da queima; as percentagens de proteína bruta são altas nos três primeiros meses pós-queima, para depois caírem gradativamente; as faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao infravermelho são as mais sensíveis para registrar a ocorrência de queimadas, tanto no campo quanto nas imagens; a curva de extinção da resposta densitométrica das queimadas, dá-se num prazo de 45-60 dias; o maior número de queimadas ocorre no final da época seca, particularmente no mês de agosto".

Segundo Ponzoni et alii (1986), a identificação de queimadas no Parque Nacional de Brasília através de imagens TM/LANDSAT, pode ser feita fundamentalmente por meio da banda 4 (0,76 a 0,90 μm). Partindo desta informação, Pereira e Di Lascio (1986) usaram imagens TM/LANDSAT em CCT's obtidas antes e depois da ocorrência de queimadas e fotos oblíquas obtidas de avião, para pesquisar áreas queimadas no Rio Grande do Sul e Santa Catarina em 1985. O método utilizou-se de imagens TM, com superposição simples das bandas 4 e 5 de ambas as épocas, detectando as áreas queimadas. A superposição de imagens sem a necessidade de um registro de imagens mais complexo feito através de modelos matemáticos, pode ser feita por causa da ótima qualidade das correções geométricas efetuadas no seu pré-processamento.

O comportamento espectral da área queimada é dependente de: (i) a severidade do incêndio ou grau de carbonização; (ii) a mudança de iluminação devido à inclinação topográfica e (iii) à incidência de precipitação de chuva (Tanaka et alii, 1983).

Através da Figura 2.6, nota-se que o sistema AVHRR/NOAA possui algumas vantagens sobre os outros para a detecção de incêndios. Por ser o único apresentando uma banda na região de 3,5 a 4,0 μm , possibilita uma detecção mais fácil do incêndio; por ter bandas nos comprimentos de ondas visível e infravermelho próximo, permite a determinação de diferentes superfícies, da mesma forma que o LANDSAT.

2.4.9 - DOMÍNIO ESPACIAL DE QUEIMADAS.

Soares (1984) classificou os incêndios em cinco classes de tamanho, segundo o critério adotado pelo Serviço Florestal do Canadá (Tabela 2.8). A maioria dos incêndios catalogados pelo autor em 1983 (55,1% das ocorrências), estão incluídos na classe II, vindo em seguida

a classe III com 21,14% das ocorrências (Tabela 2.9), mostrando que a eficiência no combate aos incêndios florestais no país ainda deixa muito a desejar, pois quanto maior a eficiência no combate, maior deve ser a concentração na classe I.

TABELA 2.8

CLASSE DE TAMANHOS DOS INCÊNDIOS FLORESTAIS

CLASSE	ÁREA DO INCÊNDIO (ha)
I	0 - 0,9
II	1,0 - 4,0
III	4,1 - 40,0
IV	40,1 - 200,0
V	> 200,0

FONTE: Soares (1984), p.34

TABELA 2.9

DISTRIBUIÇÃO DOS INCÊNDIOS OCORRIDOS NO BRASIL EM 1983
E RESPECTIVA ÁREA QUEIMADA, POR CLASSE DE TAMANHO

CLASSE	INCÊNDIOS		ÁREA QUEIMADA	
	Nº	%	ha	%
I	18	7,93	0,22	-
II	126	55,51	297,11	1,34
III	48	21,14	612,80	2,75
IV	17	7,49	1522,98	6,84
V	18	7,93	19836,00	89,07
TOTAL	227	100,00	22269,11	100,00

FONTE: Soares (1984), p.41

Flannigan (1985) e Flannigan and Van Haar (1986) detectaram incêndios de até 0,5 ha utilizando as bandas 3 e 4 do AVHRR. Os mesmos autores dividiram as dimensões dos incêndios em duas classes: os <40ha e os >40ha; os resultados mostraram que 80% dos incêndios em imagem sem cobertura de nuvens puderam ser identificados; 87% dos incêndios diurnos e 73% dos noturnos, assim como 90% dos maiores de 40ha e 50% dos menores de 40ha puderam ser identificados. Flannigan (1985) compilou incêndios variando de 0,5ha a mais de 20.000ha, sendo que estas áreas maiores sempre mostraram-se subestimadas em relação ao seu valor real.

Deshler (1974) mapeou através do MSS/LANDSAT incêndios nas savanas africanas que cobriam individualmente 10 a 30 km, e afetando áreas de 800 a 1400 km de largura por 2.600 km de extensão. Tanaka et alii (1983), usando imagens MSS/LANDSAT, mapearam incêndios com 12,2 km² com um erro de aproximadamente 2 a 5 %. Ponzoni et alii (1986) mapeou uma área superior a 10.100 ha queimados no Parque Nacional de Brasília, usando imagens TM/LANDSAT.

Do ponto de vista da detecção de grandes queimadas com várias centenas de metros quadrados, o melhor sistema é o NOAA, pois permite uma visão sinóptica de áreas com extensões continentais. Porém, possui baixa resolução geométrica quando comparado com o LANDSAT. Isto faz com que o mapeamento, com uma maior exatidão, seja feito preferencialmente através de imagens TM/LANDSAT. Para a detecção de queimadas o sistema GOES mostra-se limitado pelo fato de seus sensores não imagearem na janela de 3,5 a 4,0 μm . Entretanto, pode ser usado no monitoramento de transporte de poluentes (Chung and Le, 1984) com uma resolução temporal (30 minutos) melhor do que a do AVHRR (6 horas - nominal) e a do TM (16 dias), tornando-se uma opção interessante para a detecção de plumas de fumaça em tempo real, e fornecendo uma indicação dos locais de ocorrência de grandes queimadas.

Através das características temporais, radiométricas, espaciais e espectrais dos sistemas sensores NOAA, LANDSAT e GOES, percebemos que eles são complementares e devem ser usados conjuntamente, para a obtenção de resultados mais refinados.

2.5 - PROCESSAMENTO DE IMAGENS DIGITAIS.

Uma imagem digital é uma matriz de pontos chamados elementos de imagem ou "pixel" (picture element). Este pixel é completamente caracterizado pela dimensão linear do IFOV do sensor projetado no solo, a distância entre duas amostras consecutivas do IFOV e o número de bits representando as radiâncias medidas pelo sensor orbital (Schowengerdt, 1983).

As qualidades de uma imagem digital são definidas como os atributos desta imagem. Por exemplo, o valor do nível de cinza do pixel é um atributo da imagem. É através da manipulação e análise dos atributos da imagem que extraímos as informações necessárias para a pesquisa.

Um passo preliminar para o sucesso na manipulação de uma imagem é a análise de seu histograma. Este, descreve a distribuição estatística dos níveis de cinza em uma imagem em termos do número de pixels (ou % do número total de pixels) para cada um dos níveis de cinza e não contém informações sobre a distribuição espacial destes níveis na imagem. A maioria dos histogramas possuem uma forma gaussiana.

Um outro passo na manipulação de uma imagem é fazer a sua classificação, que consiste na associação de pixels a classes. Esta associação é feita sobre as hipóteses de que: i) pixels de uma certa classe tem padrões (atributos) próximos; ii) cada pixel está em uma única classe e iii) diferentes materiais implicam em propriedades espectrais diferentes.

Os classificadores utilizados podem utilizar critérios estatístico ou geométricos.

Um tipo de classificador geométrico é o célula simples (single-cell). A célula simples é um método de classificação supervisionado, não estatístico, feito através de um algoritmo que particiona o espaço de atributos em celas, determinando os pontos que caem dentro dos limites superiores e inferiores da cela.

O agrupamento (cluster-synthesis) é um método de classificação não-supervisionada, feita através de um algoritmo que determina um agrupamento "natural" de pixels, isto é, agrupa como uma classe, pontos com padrões ou atributos semelhantes.

O "MAXVER" é um classificador estatístico do tipo supervisionado, cujo algoritmo utiliza o fato de que cada tema (classe) tem uma função de densidade de probabilidade característica, e classifica os temas através da regra de máxima verossimilhança. Este algoritmo, assim como os anteriormente citados, são descritos com maiores detalhes por Ribeiro et alii (1981) e Schowengerdt (1983).

2.6 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE QUEIMADAS

Como foi dito no item 2.5, o histograma da imagem não traz informações sobre a distribuição espacial dos elementos que a compõem. Assim, esta distribuição espacial será tratada de outra maneira.

A teoria de distribuição espacial aplicada em estudos de áreas queimadas aqui utilizada, com a determinação de parâmetros como o raio e o índice de dispersão, foi descrita por Santos (1985). Segundo o autor, a determinação destes parâmetros está fundamentada em teorias de mecânica clássica que estabelecem relação de massa e espaço.

A metodologia desenvolvida, analisa a distribuição espacial por quilômetros quadrados de queimadas. Para tanto, o conjunto de áreas queimadas é demarcado em um "print-cut" obtido no I-100, e referenciado a um sistema de coordenadas, obtendo-se o momento estático (M) deste conjunto em torno de cada eixo (Santos, 1985).

O momento estático é definido "como o somatório das distâncias do centro de gravidade de cada área queimada dentro da dimensão de 1 km²". Isto é:

$$M_x = \sum_{i=1}^n X_i \cdot A_i, \quad M_y = \sum_{i=1}^n Y_i \cdot A_i \quad (2.3)$$

onde: M_x = momento estático no eixo da abcissa;

M_y = momento estático no eixo da ordenada;

A_i = área total da queimada i ;

X_i = valor na abcissa do centro de massa da queimada i ;

Y_i = valor na ordenada do centro de massa da queimada i .

O centro de gravidade de todo o conjunto (X_0, Y_0) é definido como "o ponto pelo qual passa a resultante das áreas componentes do referido conjunto". Assim:

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{M_x}{\sum_{i=1}^n A_i}, \quad Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i \cdot A_i}{\sum_{i=1}^n A_i} = \frac{M_y}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad (2.4)$$

Deste ponto obtêm-se os parâmetros de dispersão, ou seja, o raio de dispersão (RD) e o índice de dispersão (ID).

$$RD = \left\{ \left[\sum_{i=1}^n A_i (X_i - X_0)^2 + \sum_{i=1}^n A_i (Y_i - Y_0)^2 \right] / \sum_{i=1}^n A_i \right\}^{1/2} \quad (2.5)$$

e,

$$ID = RD/R, \quad 0 < ID < 1 \quad (2.6)$$

onde: R = raio da circunferência centrada em (X_0, Y_0) englobando todas as áreas queimadas.

Quando o índice de dispersão está próximo de zero, diz-se que a distribuição é agregada; quando está próximo de um, torna-se aleatória.

Desta forma, a distribuição espacial de queimadas pode ser estudada através de dados coletados em imagens orbitais.



CAPÍTULO 3

MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - ÁREA DE ESTUDO

De acordo com os locais dos experimentos a serem realizados durante o GTE/ABLE-2A (Figura 3.1), conjuntamente com as informações sobre regiões críticas de desmatamento dos vários autores citados no item 2.2 deste trabalho, a região escolhida para este estudo abrange a Amazônia Legal brasileira (Figura 3.1).

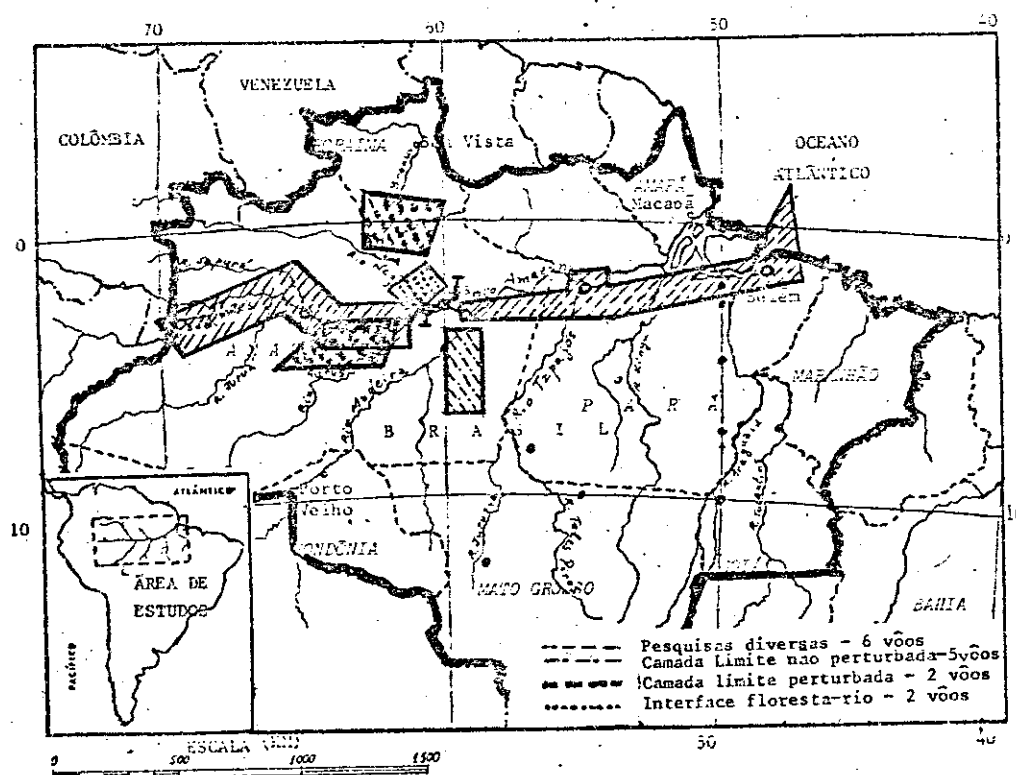


Fig. 3.1 - Área de estudo.

FONTE: Adaptado de NASA (1985a).

Os domínios da floresta Amazônica ultrapassam as fronteiras brasileiras espalhando-se por vários países sulamericanos, sendo que é atravessada pelo Rio Amazonas, eixo principal da maior bacia fluvial do mundo com aproximadamente 6 milhões de km² (IBGE, 1977). Variações climáticas, topográficas e de solo fazem com que vários tipos de vegetação espalhem-se pela região: mata de igapó, de terra firme, de várzea e até mesmo cerrados e campos são encontrados (IBGE, 1977). O clima da Amazônia é caracterizado principalmente por ventos de superfície vindos do leste e a precipitação anual varia de 1500 mm a 3000 mm, com uma média de 2000 mm sobre a Amazônia Central (Salati and Vose, 1984).

3.2 - CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES UTILIZADOS.

Para obtenção de dados de satélite sobre a região de estudo em base diária, com imageamento multiespectral, os satélites escolhidos foram os da série NOAA e, para a obtenção de dados mais refinados, como a delimitação e mapeamento das áreas queimadas o satélite escolhido foi o LANDSAT-5.

3.2.1 - OS SATÉLITES DA SÉRIE NOAA.

Os últimos satélites da série NOAA estão colocados em órbitas quase-circulares, heliossíncronas, quase-polar (98,89° de inclinação) à uma altitude nominal de 833 km. Possuem um período ao redor de 102 minutos que produz cerca de 14,1 órbitas por dia. Devido ao número de órbitas diárias não ser inteiro, o traço suborbital não se repete em base diária (Kidwell, 1985). Entretanto, a hora solar local (LST) da passagem do satélite é invariável para qualquer latitude. Os satélites utilizados para a coleta das imagens foram o NOAA 8 e 9, com

horários de passagem no equador (nó ascendente e descendente) descritos na Tabela 3.1.

TABELA 3.1

HORÁRIOS DE CRUZAMENTO NO EQUADOR DOS SATÉLITES NOAA 8 E 9.

SATÉLITE	NÓ ASCENDENTE	NÓ DESCENDENTE
NOAA-8	1930 (LST)	0730 (LST)
NOAA-9	1420 (LST)	0220 (LST)

FONTE: Modificado de Kidwell (1985), p.2-7.

O campo de visão (FOV) é de aproximadamente $+55,6^\circ$, o que fornece uma faixa de corte com 2.048 pixels, ou cerca de 2.400km de largura no chão. O AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) é um radiômetro imageador a bordo do NOAA e seus dados são obtidos via "High Resolution Picture Transmission" (HRPT). O AVHRR a bordo do NOAA-8 possui cinco bandas, em quatro faixas espectrais distintas, e o do NOAA-9 cinco bandas, em cinco faixas espectrais distintas. A largura destas bandas e o campo de visão instantâneo (IFOV) para cada uma são dados na Tabela 3.2.

TABELA 3.2

LARGURA DAS BANDAS (μm) E IFOV (mrad) DOS
SATÉLITES NOAA 8 E 9.

BANDA	NOAA-8	NOAA-9	IFOV
1	0,58 - 0,68	0,58 - 0,68	1,39
2	0,725 - 1,10	0,725 - 1,10	1,41
3	3,55 - 3,93	3,55 - 3,93	1,51
4	10,50 - 11,50	10,30 - 11,30	1,41
5	10,50 - 11,50	11,50 - 12,50	1,30

FONTE: Modificado de Kidwell (1985), p.2-12.

Como o IFOV médio é cerca de 1,4 mrad a uma altitude de 833 km tem-se um elemento de resolução na terra de 1,1 km (no nadir).

A banda um detecta comprimentos de onda na faixa visível, ou seja, luz refletida, e mede albedo, define feições na neve, gelo e solo, cobertura vegetal e atributos meteorológicas (nuvens).

A banda dois detecta comprimentos de ondas infravermelhas próximas, ou seja, reflexão infravermelha, e define condições de fusão de neve e gelo, e permite avaliação da vegetação, e monitoramento meteorológico (nuvens).

A banda três detecta comprimentos de ondas infravermelhas termiais (médio), e é sensível às fontes de calor extremo, permitindo deteccção de incêndios, análise da temperatura de superfície do mar, e mapeamento noturno de nuvens.

As bandas quatro e cinco detectam comprimentos de onda infravermelha termal, permitindo a obtenção de temperaturas diurnas e noturnas. Também permite a avaliação de plumas vulcânicas, atributos meteorológicos de nuvens, e temperaturas de lagos, rios e oceanos.

3.2.2 - O SISTEMA LANDSAT.

O LANDSAT-5, lançado em 01 de março de 1984 possui um sistema de varredura multiespectral de quatro bandas denominado MSS (Multispectral Scanner System), e um outro sistema de varredura denominado "Thematic Mapper" (TM) com sete bandas espectrais (3 no visível, 3 no infravermelho próximo e uma no infravermelho termal), conforme mostra a Tabela 3.3.

TABELA 3.3

BANDAS DO TM/LANDSAT

BANDA	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)
1	0,45 - 0,52
2	0,52 - 0,60
3	0,63 - 0,69
4	0,76 - 0,90
5	1,55 - 1,75
7	2,08 - 2,35
6	10,04 - 12,50

FONTE: Modificado de Slater (1980), p.498.

A órbita do satélite LANDSAT-5 é circular, na altitude de 750km, com inclinação de 98,2° e período de 98,7 minutos, fornecendo cobertura repetitiva de 16 dias. A hora nominal de cruzamento no Equador é 09:45 h \pm 15min. O IFOV para as bandas do TM é de 30m, exceto para a infravermelha termal (6), que é de 120m. A faixa imageada no terreno é de 185km.

3.3 - PRODUTOS UTILIZADOS.

3.3.1 - DADOS AVHRR/NOAA.

As informações HRPT enviadas pelos satélites NOAA são compostas dos dados "TIROS Information Processor" (TIP) e dados AVHRR. Esses são recebidos na estação do INPE de Cachoeira Paulista (SP) e, dos formatos de gravação de imagens em fitas magnéticas disponíveis em Cachoeira Paulista, foi escolhido o COMPR, que contém os dados TIP completos e três bandas do AVHRR, com resolução de oito bits (256 níveis de cinza). Para este formato é necessária uma fita magnética (CCT - Computer Compatible Tape) de 2400 pés, com densidade de 1600 bpi (bits per inch) inteira, para a gravação de uma imagem de horizonte a horizonte. Outra possibilidade existente na época seria a gravação de duas bandas com dez bits, desconsiderada por conter menos informações espectrais.

A gravação das imagens foi prevista para o período de 14 de julho a 4 de agosto de 1985, datas previstas para início e término das missões do GTE/ABLE-2A, porém em função da alteração destas datas, o período de gravação ocorreu entre 18 de julho a 09 de agosto. Durante este período gravou-se as bandas 1, 2 e 3 do AVHRR, devido às características do sensor e do comportamento espectral de queimadas, plumas de fumaça e vegetação. Isto é, como o estudo envolve principalmente detecção de alterações na cobertura vegetal, a banda 2 (0,725 a

1,10 μm), na qual a vegetação possui alta reflectância, e a banda 1, na qual a vegetação tem baixa reflectância devido à absorção por clorofila, combinadas, permitem a avaliação das condições da vegetação. E, conforme a literatura, a melhor banda para a detecção de incêndios ativos é a 3 (3,55-3,93 μm).

Conforme as missões de vôos da aeronave do GTE/ABLE-2A planejadas, foi feita uma seleção de órbitas utilizáveis consultando um boletim de previsão de órbitas do NOAA 8 e 9, fornecido pelo Departamento de Meteorologia do INPE.

O horário de gravação das imagens seria, em princípio à tarde, enquanto fossem executados os vôos da aeronave. Quando houvesse missões mais longas (p.ex., vôos entre Manaus e Belém) também seriam feitas as gravações no horário da manhã. As regiões cobertas pelas missões já foram mostradas na Figura 3.1, e uma descrição detalhada dos experimentos pode ser encontrada em NASA (1985a,b).

Os vôos com diferentes propósitos foram executados de acordo com as condições meteorológicas existentes. Desta forma, era transmitido via rádio, com dois ou três dias de antecedência a informação sobre qual missão seria executada. A partir disto comunicava-se à Cachoeira Paulista quais as imagens a serem gravadas. As datas e locais destas missões, assim como as imagens gravadas durante o período do experimento, estão descritos na Tabela 3.4. Os dados obtidos durante os vôos foram compilados pela NASA (NASA, 1985c).

MISSÕES DO GTE/ABLE-2A E IMAGENS AVHRR/NOAA GRAVADAS

DATA	SATELITE	Nº DE ORBITA	GRAVAÇÃO NOAA/AVHRR		NO	HORARIO DA GRAVAÇÃO (GMT)	BANDA	SAIDA		CHEGADA		PROPOSITO	Nº DO VOZ
			CRUZAMENTO COM EQUADOR					LOCAL	LOCAL	HORA	HORA		
			HORA (GMT)	LONGITUDE				LOCAL	LOCAL	HORA	HORA		
19/07	8	12000	10h40'20"	45,52°W	D	10h40' - 10h45'	1,2,3	1306Z	Manaus	1839Z	Manaus	U.B.L. (Dia)	3
"	9	3094	18h18'43"	57,62°W	A	18h13' - 18h18'	"	1206Z	"	1802Z	"	U.B.L. (Dia)	4
20/07	9	3108	18h07'55"	54,91°W	A	18h01' - 18h08'	"	"	"	"	"	"	"
21/07	8	12030	11h37'45"	59,89°W	A	11h38' - 11h44'	"	"	"	"	"	"	"
"	9	3122	17h57'06"	52,19°W	A	17h54' - 17h57'	"	1058Z	Manaus	1659Z	Manaus	U.B.L. (Dia)	5
22/07	8	12046	23h55'28"	64,30°W	A	23h49' - 23h54'	3,4,5	"	"	"	"	"	"
23/07	8	12059	10h53'53"	48,91°W	A	10h53' - 11h00'	1,2,3	1154Z	Manaus	1759Z	Belém	P.W-E	6
"	9	3151	19h17'34"	72,27°W	A	19h11' - 19h14'	"	"	"	"	"	"	"
24/07	8	12073	10h31'57"	43,42°W	D	10h31' - 10h38'	"	1200Z	Belém	"	Manaus	P.D.	7
"	9	3184	17h24'41"	44,03°W	A	17h19' - 17h25'	"	"	"	1825Z	"	"	"
25/07	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
26/07	9	3193	18h45'09"	64,13°W	A	18h39' - 18h44'	...	2357Z	Manaus	0544Z	Manaus	U.B.L. (Noite)	8
27/07	9	3207	18h34'20"	61,04°W	A	18h28' - 18h33'	1,2,3	2218Z	"	0418Z	"	U.B.L. (Noite)	9
28/07	9	3221	18h23'31"	58,68°W	A	18h17' - 18h20'	"	"	"	"	"	"	"
29/07	9	3235	18h12'43"	55,96°W	A	18h07' - 18h12'	"	1552Z	Manaus	2146Z	Manaus	"	"
30/07	9	3249	18h01'54"	53,24°W	A	17h56' - 18h02'	"	"	"	"	"	F-R I. (Dia)	10
31/07	9	3263	17h51'04"	50,52°W	A	17h45' - 17h51'	"	0659Z	Manaus	"	Manaus	"	"
01/08	9	3277	17h40'09"	47,87°W	A	17h34' - 17h39'	"	"	"	1333Z	"	F-R I. (Dia-Noite)	11
"	8	12188	23h38'27"	60,13°W	A	23h32' - 23h38'	3,4,5	"	"	"	"	"	"
02/08	9	3292	19h11'22"	70,67°W	A	19h04' - 19h07'	1,2,3	1440Z	Manaus	2051Z	Manaus	D.B.L.	12
03/08	9	3306	19h00'37"	67,95°W	A	18h54' - 18h58'	"	1350Z	"	1949Z	"	D.B.L.	13
05/08	9	3334	18h38'06"	65,61°W	A	18h33' - 18h38'	"	1121Z	"	1628Z	Tabatinga	P.E-W	14-1
"
06/08	9	3348	18h28'11"	57,79°W	A	18h23' - 18h28'	1,2,3	1812Z	Tabatinga	2128Z	Manaus	P.D.	14-2
07/08	9	3352	18h17'22"	57,07°W	A	18h10' - ...	"	1156Z	Manaus	1901Z	"	P.E-W	15
08/08	9	3376	18h06'33"	54,36°W	A	18h01' - 18h07'	"	"	"	"	"	"	"
09/08	8	12298	11h25'50"	56,94°W	D	11h24' - 11h32'	"	1150Z	Manaus	"	Belém	P.W-E	16
"	9	3390	17h55'45"	51,64°W	A	17h50' - 17h56'	"	1235Z	Belém	1828Z	Manaus	P.D.	17

Legenda: A. - Ascendente; D. - Descendente; U.B.L. - Canada Limite Planetária Não-perturbada (Undisturbed Boundary Layer); D.B.L. - Canada Limite Planetária Perturbada (Disturbed Boundary Layer); F-R I. - Interface Floresta-Rio (Forest-River Interface); P.W-E - Pesquisas Oeste-Leste; P.E-W - Pesquisas Leste-Oeste; P.D. - Pesquisas Diversas.

Ao final do experimento as imagens NOAA ocuparam 15 fitas (25 imagens) pois, apesar de o experimento ter sido prolongado em alguns dias, não foi possível a gravação de algumas imagens NOAA devido à sua órbita estar longe do local da missão do GTE/ABLE-2A no horário de interesse.

3.3.2 - DADOS TM/LANDSAT.

As gravações das imagens TM/LANDSAT são feitas rotineiramente pelo INPE. Assim, as órbitas e os pontos das imagens a serem estudadas foram escolhidos de forma a cobrir uma das áreas de maior incidência de queimadas detectadas através das imagens AVHRR/NOAA e de forma a se ter uma das passagens AVHRR/NOAA coincidente com a do TM/LANDSAT. Como uma das áreas mais atingidas está ao norte do Mato Grosso, tomou-se inicialmente para este trabalho imagens TM/LANDSAT desta região (órbita 227, ponto 67), dos dias 26/07/85 e 11/08/85.

Tomando como base os trabalhos de Ponzoni et alii (1986) e Pereira e Di Lascio (1986), foram utilizadas as imagens das bandas 3, 4 e 5 do TM.

Após a análise das imagens acima citadas, escolheu-se dois módulos em um determinado quadrante da imagem de 11/08/85, para estimar os atributos espectrais de queimadas também nas bandas 1, 2, 7 e 6.

Uma banda da imagem TM ocupa uma fita magnética por inteiro e, três bandas de um quadrante também ocupam uma CCT. Desta forma, utilizou-se inicialmente 3 fitas para as bandas 3, 4 e 5 de 26/07/85 e outras 3 fitas para as bandas 3, 4 e 5 da imagem de 11/08/85. Posteriormente, utilizou-se mais uma CCT para cada uma das

bandas 1, 2 e 7 do quadrante de 11 de agosto e outra fita para a banda 6 da imagem desta mesma imagem. Ao todo, utilizou-se 8 CCT's para o trabalho com as imagens TM/LANDSAT, conforme está mostrado nas Tabela 3.5.

TABELA 3.5

IMAGENS LANDSAT E TOTAL DE FITAS UTILIZADAS

DATA	BANDAS	QUADRANTES	LOCALIZAÇÃO CENTRAL DA IMAGEM	NÚMERO DE FITAS
26JUL85	3 4 5	A B C D	10°07' W 55°55' S	3
11AGO85	3 4 5 6	A B C D	"	4
11AGO85	1 2 7	E	"	1
ÓRBITA 227 - PONTO 67			TOTAL =	8

3.4 - TRATAMENTO AUTOMÁTICO E ANÁLISE DE IMAGENS DIGITAIS.

Para tratamento e exame das imagens TM e AVHRR utilizou-se o Sistema Interativo de Análise de Imagens Multiespectrais, IMAGE-100 (I-100), que é um analisador interativo, projetado para extrair automaticamente informações multiespectrais de imagens obtidas remotamente. Este sistema opera baseado no princípio de que todos os objetos possuem características espectrais únicas, isto é, cada objeto reflete ou emite energia eletromagnética de uma maneira peculiar nas diversas bandas do espectro eletromagnético (Ribeiro et alii, 1981).

3.4.1 - TRATAMENTO DAS IMAGENS AVHRR.

Para que o tratamento automático fosse executado sem amostragem dos dados originais do AVHRR, utilizou-se a imagem com resolução total. Ou seja, cada pixel da imagem correspondeu a um pixel do vídeo do I-100. Desta forma, a imagem original foi dividida em módulos de 512x512 pixels, de acordo com o padrão de formatação de imagens do I-100. A análise dos dados originais sem amostragem é necessária para evitar erros na quantificação de alguns parâmetros de interesse para a pesquisa, como por exemplo, o número de pixels com queimadas, plumas, etc., pois com a amostragem estamos subestimando ou superestimando um determinado fenômeno (Setzer, comunicação pessoal). Como a imagem NOAA possui 2048 pixels em suas linhas, estas são divididas em quatro segmentos. A área de estudo abrange em média mais outros dois segmentos no sentido das colunas. Têm-se então uma média de 8 módulos para cada uma das imagens tratadas.

3.4.2 - ANÁLISE DAS IMAGENS AVHRR.

A análise visual das imagens utiliza-se de uma composição colorida "falsa-cor" obtida a partir das três bandas gravadas. Devido às características dos alvos a cor vermelha foi associada à banda 1, a cor verde à banda 2 e a cor azul à banda 3. Com esta composição os alvos de interesse apresentam cores características conforme a sua reflectância expressa em termos de níveis de cinza (Tabela 3,6).

TABELA 3.6

COMBINAÇÃO DE CORES BÁSICAS COM AS TRÊS BANDAS NA ANÁLISE VISUAL

BANDA 1 (VERMELHO)	BANDA 2 (VERDE)	BANDA 3 (AZUL)	COR RESULTANTE
0	0	0	PRETO
1	0	0	VERMELHO
0	1	0	VERDE
0	0	1	AZUL
1	1	0	AMARELO
1	0	1	MAGENTA
0	1	1	CIÃ
1	1	1	BRANCO

OBS.: zero indica alvos com baixas reflectâncias e, um, com altas.

O número de queimadas por ocasião da passagem do satélite foi inferido através de uma contagem do número de pixels ou agrupamento de pixels com níveis digitais mínimos saturados (1) da banda 3 (infravermelho termal). Isto foi feito porque esta banda mede a emissão de energia radiante da superfície terrestre, e os pixels saturados correspondem a uma temperatura de no mínimo 47°C (Kidwell, 1985), normalmente associada a áreas com matéria em combustão. A contagem destes pixels foi obtida fazendo-se primeiramente a classificação total da área que apresentou as queimadas através do programa "single-cell" (Ribeiro et alii, 1981), e após, obtendo-se o número de pixels classificados por meio de um programa auxiliar (histograma).

Os níveis digitais de dois a oito dos pixels foram considerados como sendo áreas queimadas em dias anteriores. Esta inferência

é baseada no fato de que estes níveis são normalmente encontrados circunvizinhando os níveis saturados, e delimitando uma área com um alto contraste em relação às outras áreas homogêneas. A quantificação destas áreas queimadas através da banda três, foi feita multiplicando-se o número total de pixels pelo valor da área de cada pixel, que é de $\sim 1,21\text{km}^2$ no nadir (IFOV = 1,4 mrad e altitude nominal do satélite $\sim 833\text{km}$).

O número de queimadas independentes foi obtido pela contagem das áreas distintas com pixels saturados e/ou com o valor no intervalo entre 1 e 8, para o dia 09 de agosto, nas regiões de maior incidência de queimadas. Este processo foi somente executado para a imagem deste dia porque a contagem de queimadas individuais é um processo manual demorado, assim como este dia foi o que apresentou o maior número de queimadas, sendo portanto, um bom exemplo para o trabalho executado.

3.4.3 - ESTUDOS DE RADIOMETRIA E CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE QUEIMADAS EM IMAGENS AVHRR.

Como primeiro passo para estudos de radiometria e comportamento espectral de queimadas tomou-se em cada um dos módulos o histograma dos níveis de cinza nas três bandas.

As queimadas foram classificadas em cada módulo da imagem através de agrupamento (cluster-synthesis, conforme descrito no item 2.5), com um tema abrangendo os níveis de 1 a 8 da banda 3 (3,55-3,93 μm), para cada módulo.

Após a classificação por agrupamento, o tema (classe) foi utilizado como área de treinamento para uma classificação por célula

simples (single-cell, conforme descrito no ítem 2.5), obtendo-se o comportamento espectral das queimadas nas três bandas estudadas.

Como o estudo envolve alterações na cobertura vegetal, para cada uma das imagens obtidas foram tomadas amostras da vegetação em áreas identificáveis em todas imagens.

Fez-se também a impressão dos valores dos níveis de cinza das três bandas, delimitando-se áreas de queimada na banda 3 (níveis de 1 a 8), e identificando estas áreas nas outras bandas. Tomou-se a média e desvio-padrão de cada amostra, visando a obtenção de características espectrais de queimadas. Para estabelecer as amplitudes de variação dos valores digitais para as classes, construiu-se os intervalos de previsão a partir dos valores das médias amostrais obtidas para cada classe, nas bandas 1 2 e 3 do AVHRR, adotando-se um nível de significancia de 1% ($\alpha = 0,01$), conforme o método utilizado por Provesi et alii (1986).

3.4.4 - EFEITOS DE ATENUAÇÃO ATMOSFÉRICA NAS IMAGENS AVHRR.

Para o estudo dos efeitos de atenuação atmosférica, classificou-se as plumas de fumaça através de célula simples, calculando áreas e, média e variância dos níveis de cinza classificados para as três bandas. A alteração ou não dos valores dos níveis digitais indicou se houve ou não atenuação atmosférica por parte da fumaça das queimadas.

Procedeu-se ao catálogo do número de plumas, da extensão e área destas plumas, e quantidade e localização de ocorrência da maioria das queimadas. Fez-se diapositivos de todas as imagens que apresentaram queimadas, bem como elaborou-se mapas que mostravam as plumas de fumaça e a área de cobertura pela imagem. A conversão dos slides para

os mapas foi feita utilizando o "Zoon Transfer Scope", Modelo ZT4-V, da Bausch & Lomb, do Departamento de Sensoriamento Remoto. Nesta conversão há um erro devido ao fato de não haver correções geométricas nas imagens AVHRR. Estas correções não foram executadas por exigirem um "software" bastante complicado, e ainda inexistente para os usuários do I-100.

3.4.5 - TRATAMENTO DAS IMAGENS TM/LANDSAT.

Uma imagem TM/LANDSAT tem 6144x6144 pixels. Como no caso das imagens AVHRR/NOAA, temos de subdividi-la em módulos de 512x512 pixels, resultando em 144 módulos de 235 km² cada um, para serem analisados no I-100. A estimativa de tempo de tratamento é de um módulo a cada 2 ou 3 horas. Como a disponibilidade do I-100 era de no máximo conseguir-se processar um módulo por semana, esta pesquisa prolongar-se-ia por um período de tempo muito grande, isto é, aproximadamente três anos (144 semanas).

Devido a essa quantidade tão grande de informações existentes nas imagens TM/LANDSAT, e do tempo disponível para a realização deste trabalho, optou-se por selecionar um módulo que apresentasse um número razoável de queimadas que permitisse uma comparação com a imagem NOAA.

A imagem original gravada em fitas CCT's foi dividida em quadrantes compatíveis com o "hardware" do I-100, já que a parte desta imagem original que pode ser transferida das fitas para os discos do I-100 é no máximo de 2.340 linhas por 3.500 colunas do total de 6144 x 6144 pixels que compõem uma imagem TM. Assim, o 1º e 3º quadrantes analisados continham 2.340 linhas por 3.500 colunas e o 2º e 4º quadrantes 2.340 linhas por 2.644 colunas, conforma o esquema da Figura 3.2.

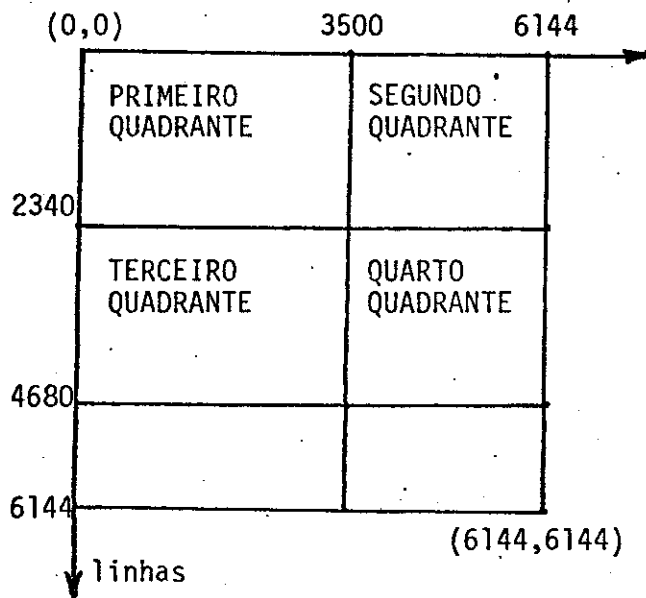


Fig. 3.2 - Esquema de transferência da imagem TM/LANDSAT para o vídeo do I-100.

Desta forma, uma pequena parte da imagem, das linhas 4.680 a 6.144 não foi utilizada, principalmente devido ao fato de haver cobertura de nuvens nesta parte da imagem do dia 26 de julho de 1985.

Para a visualização de áreas queimadas, podemos utilizar as bandas 3, 4 e 5, conforme Ponzoni et alii (1986), com uma composição colorida na qual à banda 3 associa-se a cor azul, à banda 4 a cor verde, e à banda 5 a cor vermelha. Desta forma, as áreas com vegetação densa apresentam tonalidades verdes e as áreas queimadas terão coloração azul ou magenta, pois quase não refletem radiação na banda 4.

Esta forma de detecção de áreas já queimadas pode provocar erros para áreas que apresentem baixa reflectância na banda 4, como por exemplo, pequenos lagos ou represas. Por esse motivo, utiliza-se imagens de duas épocas diferentes, uma antes e outra depois da queimada.

Neste caso, a associação de cores às bandas segue o esquema da Tabela 3.7.

TABELA 3.7

COMPOSIÇÕES COLORIDAS USADAS NA IDENTIFICAÇÃO
DE ÁREAS QUEIMADAS EM IMAGENS TM/LANDSAT

	ANTES		DEPOIS	
	BANDA 4	BANDA 5	BANDA 4	BANDA 5
1ª COMPOSIÇÃO	0	VERMELHO	VERDE	AZUL
2ª COMPOSIÇÃO	VERMELHO	0	VERDE	AZUL

3.4.6 - CARACTERIZAÇÃO ESPECTRAL DE QUEIMADAS NAS IMAGENS TM.

A classificação das áreas queimadas foi feita através do algoritmo de célula simples, conforme recomendado por Ponzoni et alii (1986). Após, utilizou-se os algoritmos do sistema MAXVER (Velasco et alii, 1977), para a extração de vários parâmetros espectrais de queimadas.

3.4.7 - ANÁLISE DAS IMAGENS TM.

Um problema que surge na análise das diferenças entre níveis de cinza de imagens com datas diferentes provem dos dados variarem devido a mudanças no azimute e elevação solar e/ou orientação topográfica das diferentes datas (Rosa e Sano, 1986). Segundo os mesmos autores, apesar da órbita héliossíncrona do LANDSAT, as diferentes passagens ocorrem com o sol ocupando distintas posições relativas ao alvo. A

elevação do sol pode ser calculada da seguinte maneira (Rosa e Sano, 1986):

$$Z = \arccos(\sin\phi \sin\delta + \cos\phi \cos\delta \cos H) \quad (3.1)$$

e,

$$h = 90^\circ - Z \quad (3.2)$$

onde:

- Z = distância zenital;
- δ = declinação do sol;
- ϕ = latitude do ponto de interesse;
- H = ângulo horário do sol;
- h = elevação do sol.

O ângulo horário do sol é calculado da seguinte forma (Rosa e Sano, 1986):

- primeiramente, achar a diferença entre horas e décimos de hora entre 12 e o tempo de interesse T;
- multiplicar o resultado anterior por 15, para converter o valor de horas em graus;
- achar a diferença em graus entre a longitude de interesse e longitude do meridiano central (no caso do Brasil são 30° , 45° , 60° e 75°);
- o ângulo horário do sol é dado pela soma dos resultados do segundo e terceiro passo caso a longitude de interesse esteja a leste do meridiano central e pela diferença caso esteja a oeste.

Para o cálculo da irradiância da superfície, se considerarmos a transmitância atmosférica igual a 1, temos (Rosa e Sano, 1986):

$$E = E_0 \cdot \cos Z \quad (3.3)$$

onde:

E_0 = constante de iluminação solar = 1353 W/m^2 ;

Z = distância zenital = complemento da elevação solar.

Temos também que os níveis de cinza dados na imagem são diretamente proporcional à irradiância E , de maneira que se calcularmos a razão entre as irradiâncias de cenas com datas diferentes estaremos calculando a razão entre os níveis de cinza, provocada pela variação do ângulo de elevação do sol.

Para as imagens usadas neste estudo (órbita 227, ponto 67, segundo a Tabela 3.4), os dados necessários para estes cálculos são:

Latitude = $10,12^\circ \text{ S}$;

Longitude = $55,92^\circ \text{ W}$;

Declinação do sol na imagem de: 26/07/85 = $19^\circ 30' (*)$;

11/08/85 = $15^\circ 21' (*)$;

Hora de passagem do LANDSAT = 09:30 local.

(*) FONTE: Anuário Astronômico , 1985, p.12-13.

Portanto, $H = 48,42^\circ$, implicando em um ângulo de elevação solar de $42,42^\circ$ para a imagem de 26/08/85 e de $53,07^\circ$ para a imagem de 11/08/85. E teremos uma razão entre as irradiâncias de 26 de julho e 11 de agosto de 1985 de:

$$\frac{E_{11ago}}{E_{26jul}} = \frac{0,7994}{0,6745} = 1,185 \quad (3.4)$$

Este cálculo será usado para a análise das diferenças entre os níveis de cinza amostrados para vários temas classificados nas imagens TM/LANDSAT.

3.5 - ANÁLISE DE TRAJETÓRIAS.

Para a análise de trajetórias utilizou-se de um programa em linguagem BASIC (Dias, comunicação pessoal) executado em um micro-computador de 8 bits.

Na execução do programa utilizou-se dados de radiossondagem já decodificados das estações meteorológicas de Belém (PA), Manaus (AM), Cachimbo (MT), Campo Grande (MS), Brasília (DF), Rio de Janeiro RJ), Fernão de Noronha e Natal (RN), e considerou-se então um espaço de tempo no qual as partículas e gases traço foram transportados, partindo de pontos localizados nas regiões aonde ocorreram as queimadas, traçando-se então a sua trajetória.

O programa calculou o transporte horizontal de massas de ar no nível de 850 mb ($\sim 1,5$ km de altitude), assumindo-se que as partículas poluentes comportam-se como o ar. Portanto, o termo trajetória de poluentes aqui usado refere-se ao movimento horizontal do ar. Porém é

conveniente lembrar que a mistura turbulenta na vertical retira poluentes desta advecção horizontal, e o termo não é de todo exato. O nível de pressão de 850 mb foi adotado porque camadas de fumaça consideradas provenientes de locais distantes de sua observação por aeronave, estavam entre 1,5 e 2,5 km de altitude.

Uma maior exatidão seria obtida nesses cálculos se houvessem radiossondagens em um maior número de horários (aqui foram utilizados os dados de 12:00 GMT), pois o período de 24 horas utilizado é suficiente para que muitas alterações possam ocorrer, como por exemplo na velocidade do vento que é considerada variar linearmente durante as 24 horas, sendo que isto não é verdade.

3.6 - DADOS DE AERONAVE OBTIDOS NAS MISSÕES DO GTE/ABLE-2A E RAZÕES DE EMISSÃO DE GASES TRAÇO.

Utilizou-se os dados de sondagens realizadas por aeronave no GTE/ABLE-2A (NASA, 1985c), e os de Andrea et alii (1987) que traçaram perfis verticais das concentrações de gases traço, e calcularam-se as razões de emissão destes com relação ao CO₂ através do coeficiente de correlação entre as concentrações de CO₂ com a de CO. Posteriormente, estimou-se o fluxo regional e global da emissão de gases traço associados a queimadas através das razões de emissão calculadas.

Através dos dados obtidos nas imagens AVHRR, estimou-se o fluxo regional e global da emissão de carbono em forma de CO₂, comparando-a com as estimativas de Andrea et alii (1987).



CAPÍTULO 4

LOCALIZAÇÃO E QUANTIFICAÇÃO DAS QUEIMADAS E PLUMAS DE FUMAÇA

4.1 - RESULTADOS NAS IMAGENS AVHRR/NOAA.

Os resultados obtidos com o processamento digital das imagens dos satélites meteorológicos NOAA mostraram que é possível a detecção de grandes queimadas, o que confirma observações de Matson et alii (1984) e Flannigan (1985). Para o Brasil, eles representam a primeira utilização destas imagens no monitoramento de queimadas, e comprovam sua validade em um programa operacional de detecção de queimadas em tempo real.

A interpretação visual foi executada no vídeo do I-100, sempre com os dados originais do AVHRR, isto é, não foram feitos realces ou outros processamentos visando melhorar a visualização da imagem.

A combinação de cores utilizada na interpretação visual seguiu a metodologia descrita no item 3.4.2. Conforme o esquema da Tabela 3.6, notou-se que para a vegetação o vermelho tende a zero na banda 1, o verde tende a 1 na banda 2 e o azul vai depender da temperatura em que a vegetação estiver, isto é, maior temperatura implica em níveis de cinza menores e vice-versa. O resultado é que no vídeo do I-100, a vegetação terá cor verde, às vezes tendendo a cinza, conforme a sua temperatura diminui.

Para a fumaça o vermelho tende a um, o verde a zero, e o azul novamente dependerá da temperatura em que a fumaça estiver. Quando as plumas são muito espessas, teremos uma resposta também na banda 2 (verde), de forma que elas se apresentam avermelhadas e, sendo mais

tênuas, podem tomar uma tonalidade amarelada, sujeito a outras alterações de acordo com a temperatura apresentada.

Ainda no esquema de representação da Tabela 3.6, nuvens mais frias terão tonalidade branco-azulada e mais quentes tonalidade amarela. Desta forma, separou-se as plumas de fumaça não muito espessas e mais frias (avermelhadas) das nuvens mais frias, e quando ambas, nuvens e plumas, têm tonalidades semelhantes, a separação foi feita através de suas formas e dimensões. Neste caso, as nuvens mais quentes são pequenas e arredondadas e as plumas têm formas alongadas e dimensões maiores, além de suas bordas (mais tênues) estarem avermelhadas.

As áreas queimadas possuem baixa reflectância na banda 3, uma reflectância relativamente mais baixa do que a da vegetação na banda 2 e um pouco mais alta do que a da vegetação na banda 1. Mas, em todos os casos, são reflectâncias baixas com relação à cena total, de forma que aparecerão como áreas mais escuras na cena.

Após a análise visual das imagens observou-se que em treze delas, entre as 25 imagens gravadas, haviam queimadas.

4.1.1 - CONTAGEM E LOCALIZAÇÃO DE PÍXEIS ASSOCIADOS A QUEIMADAS E PLUMAS DE FUMAÇA.

O processo de extração de dados das imagens AVHRR/NOAA seguiu a metodologia descrita no item 3.4.1, com uma contagem do número de píxeis com valor digital saturado e com valor no intervalo de 1 a 8

As contagens feitas, assim como a localização das áreas queimadas, e o número e área das plumas de fumaça das imagens analisadas foram as seguintes:

- dia 20/07/85: esta imagem foi subdividida em vários módulos, de acordo com a metodologia do item 3.4.1. Encontrou-se uma pluma de fumaça de 35 km por 10 km junto à rodovia Cuiabá-Santarém (BR-163); junto ao rio Xingu, ao sul do Pará, nota-se áreas mais quentes evidenciando o desmatamento em larga escala efetuado na região. Contou-se 17 pontos com saturação ao norte do Mato Grosso (MT), 33 ao sul do Pará (PA) e 27 ao sul de Rondônia (RO), num total de 77. Não foi feito o mapa da pluma encontrada por ela ser muito pequena. A contagem do número de pixels com valor entre um e oito na banda três totalizou 530.

- dia 21/07/85: esta imagem foi dividida nos módulos mostrados na Figura 4.1. Vários apresentaram-se sem níveis de cinza saturado. No módulo sobre a região norte de Rondônia, não se detectaram plumas, mas apareceu uma grande área mais quente na banda 3, provavelmente devida à ocorrência de desmatamento ou qualquer outra anomalia vegetal. Esta área também apareceu em várias imagens posteriores. Notou-se duas plumas de fumaça maiores com aproximadamente 50 km de extensão, tendo uma delas 50 km de largura e a outra 20 km, localizadas em uma região ao norte do Mato Grosso. Visualizou-se uma pluma bem menor próxima a essas outras duas. Na região próxima à cidade de São Félix do Xingu ($\sim 52^{\circ}W$ $-07^{\circ}S$) são visíveis duas plumas de 45 km de extensão por 4 km de largura. Em uma região ao sul do Pará, próxima ao rio Araguaia, encontra-se uma densa pluma de 55 km de extensão por 10 km de largura. Essas plumas são mostradas na Figura 4.1. A contagem de pixels com o nível de cinza saturado mostrou 07 deles ao norte do Mato Grosso, 10 ao sul do Pará e 2 ao sul de Rondônia. O total de pontos com valor entre 1 e 8 na banda três foi 101. Esta imagem tem poucas nuvens também ao norte do Pará, na região da rodovia Transamazônica (BR-310). Esta situação

ocorreu em poucas das imagens AVHRR, durante o período do GTE/ABLE-2A. Notou-se nesta imagem várias "estrias" transversais à rodovia, entre as cidades de Marabá e Altamira. São lotes destinados à colonização, nos quais o desmatamento é intenso, e a probabilidade de ocorrência de queimadas é maior. Infelizmente, a maioria das imagens apresentou cobertura de nuvens muito intensa sobre essa região, não sendo possível constatar essa hipótese.

- dia 26/07/85: não se localizou plumas de fumaça nesta imagem, que foi subdividida em oito módulos. No entanto contou-se um total de 55 pontos com saturação, sendo 27 ao norte do Mato Grosso, 4 ao sul do Pará e 24 ao sul de Rondônia, com um total de 514 pixels com valor entre um e oito na banda três classificados como queimadas. Não se fez o mapa da área por ela não apresentar plumas de fumaça. Entretanto, foi obtida uma fotografia do vídeo do I-100 mostrando a área ao norte do Mato Grosso (Figura 4.2). O retângulo assinalado em branco mostra a área coincidente com a da imagem TM/LANDSAT deste dia. É bom lembrar aqui a hipótese de que as queimadas ocorrendo na hora da passagem do satélite estão sendo inferidas através do nível de cinza mínimo saturado. O fato de haverem pontos saturados e não ocorrer a detecção de plumas pode ser devido a estas estarem em formação, ou serem plumas muito pequenas, e portanto imperceptíveis à resolução espacial do sensor. Nesta situação, somente um levantamento de campo no horário de imageamento poderia explicar com segurança o fenômeno detectado.

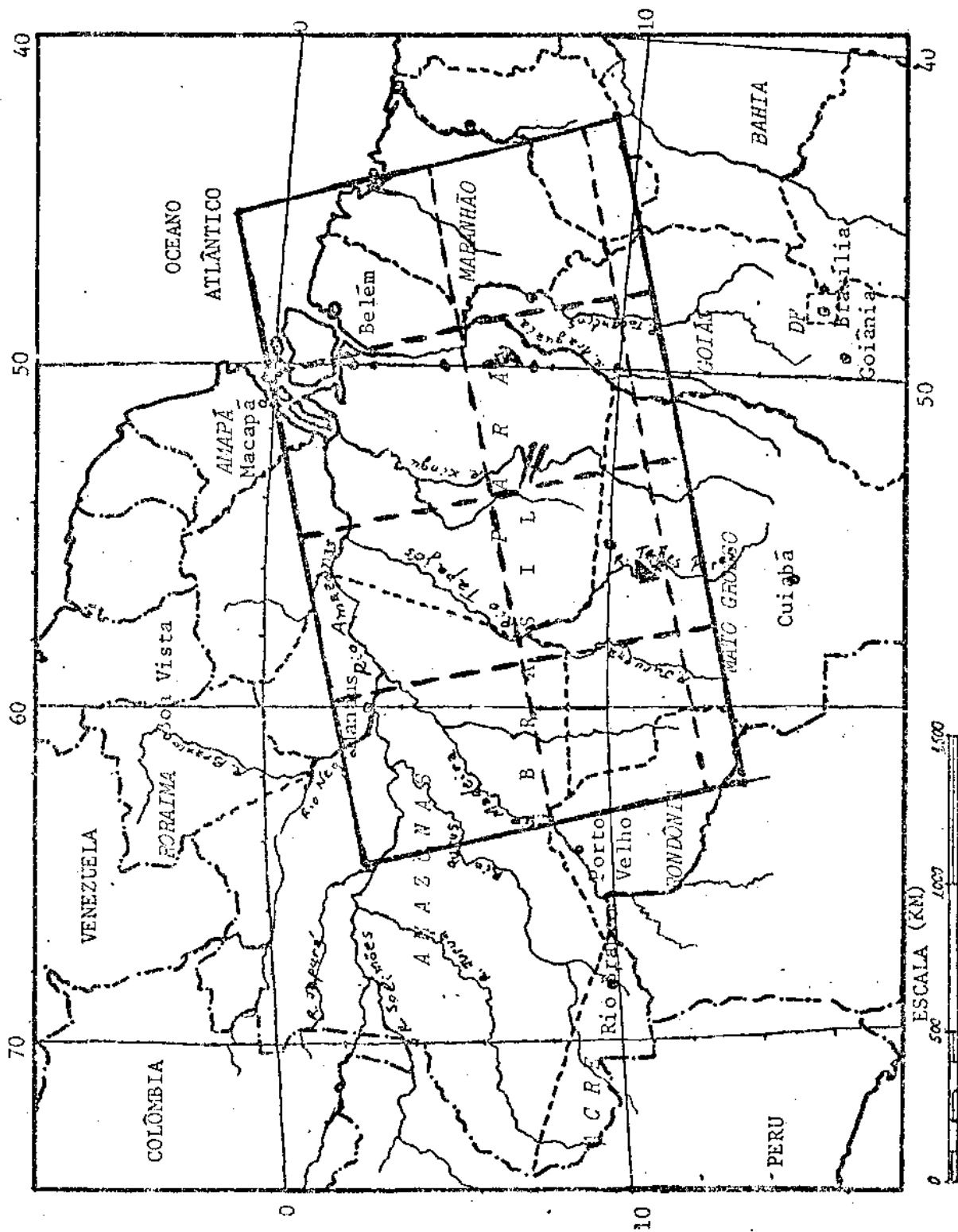


Fig. 4.1 - Área da imagem NCA-9 gravada no dia 21/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

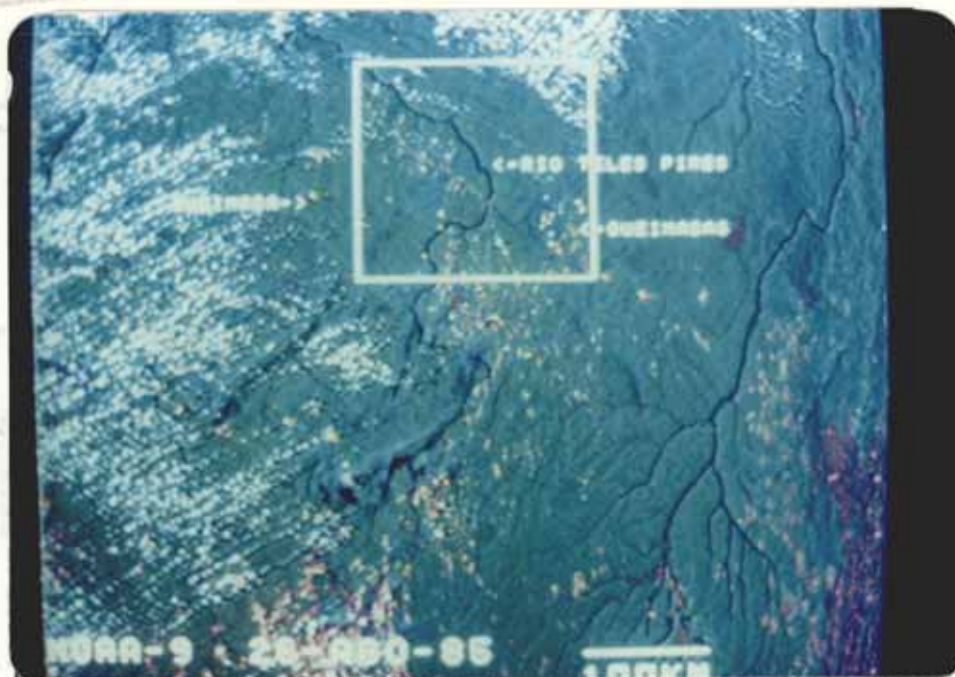


Fig. 4.2 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando parte da imagem AVHRR/NOAAA do dia 26/07/85.

- subdividiu-se a imagem do dia 27/07/85 em sete módulos. No módulo junto ao rio Juruena (MT), encontrou-se uma nuvem de fumaça com diâmetro de ~20km. Próximo ao rio Teles Pires, na região do município de Alta Floresta (MT), há cinco plumas: uma delas com 65 km de extensão por 10 km de largura e as outras com extensões aproximadas de 20 km e largura de 10 km. Ainda ao norte do Mato Grosso, na região do rio Xingu, mediu-se mais três plumas tendo em média 45km de extensão por 10km de largura. Junto ao rio Araguaia, no sudeste do Pará, encontrou-se mais duas plumas de 20km x 10km e uma terceira com 45km por 5km. Em toda a imagem encontrou-se 12 plumas (Figura 4.3). A contagem dos níveis saturados na banda três revelou 34 queimadas ao Norte do Mato Grosso, 12 ao sul do Pará e 4 ao sul de Rondônia, num total de 50. O total de pontos com valor entre um e oito foi de 502.

- a imagem do dia 29/07/85 foi subdividida em doze módulos (Figura 4.4); localizou-se duas grandes plumas próximas ao rio Teles Pires, divisa dos estados do Mato Grosso e Pará. Uma delas com 100km por 25km e a outra com 80km por 15km. Nesta mesma região, ao longo da rodovia Cuiabá-Santarém, localizou-se outra pluma menor, com 45km por 10km. Na região do rio Xingu, na divisa dos estados do Mato Grosso e Pará, as plumas apresentavam-se muito tênues e a cobertura de nuvens confundiu a sua distinção; trocou-se a combinação de cores e bandas utilizadas, conseguindo-se um efeito que permitiu a distinção um pouco melhor entre nuvens e plumas de fumaça. Para a banda 1 associou-se o complementar do azul e para a banda 3 o vermelho e o verde, omitindo-se a banda 2. Dessa forma, contou-se outras cinco pequenas plumas com extensões variando de 45-75 km e larguras de 5-15 km. Contou-se 87 níveis de cinza saturados, com 38 ao norte do Mato Grosso, 61 ao sul do Pará, e 15 ao sul de Rondônia, e 1.148 pixels com valor entre 1 e 8.

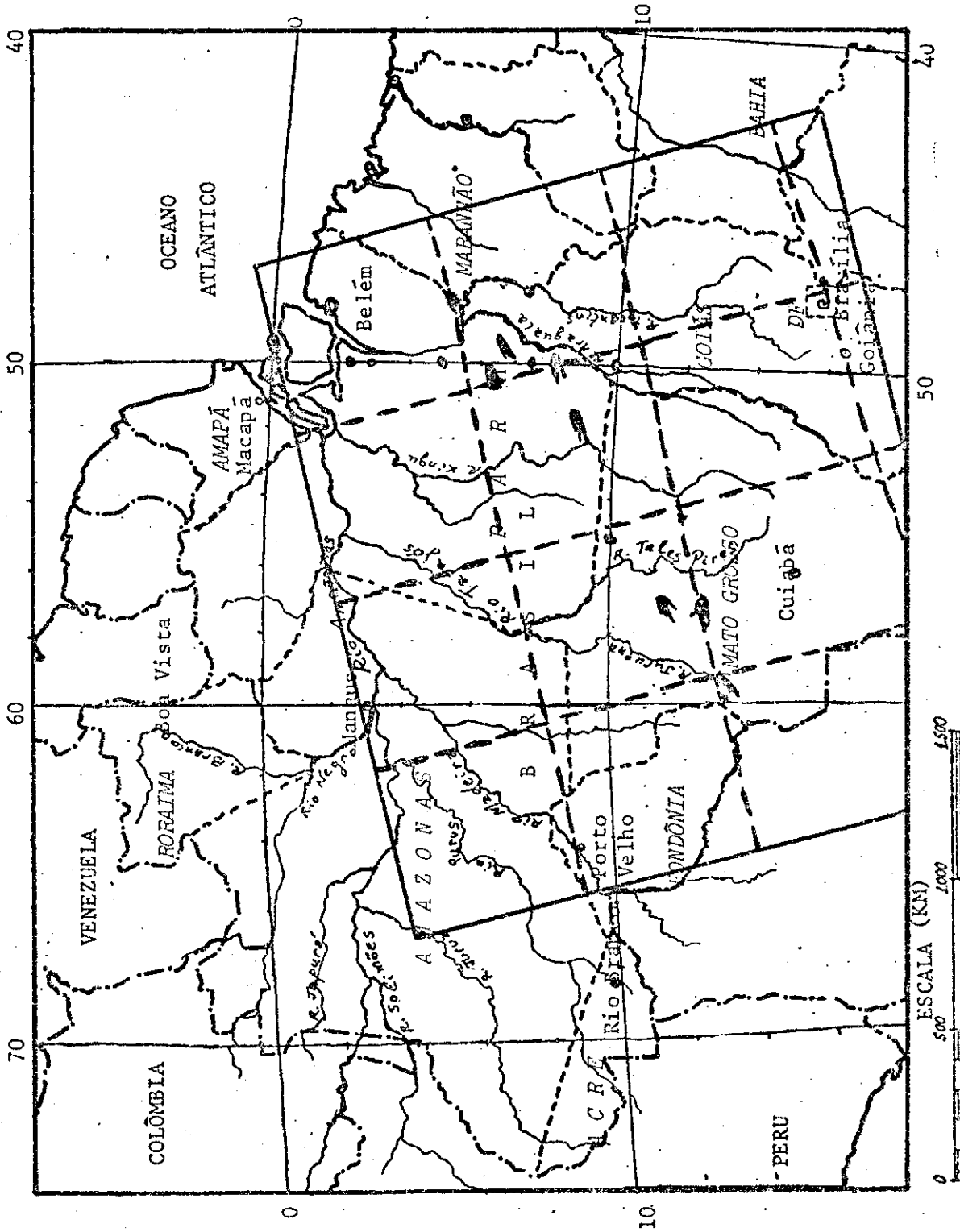


Fig. 4.4 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 29/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

- a imagem do dia 30/07/85 foi subdividida em oito módulos (Figura 4.5). A imagem toda apresentou muita nebulosidade, o que dificultou o trabalho de detecção de plumas. Mesmo assim, observou-se várias plumas pequenas na região entre os rios Juruena e Teles Pires (MT/PA), onde foi possível contar aproximadamente 15 plumas com extensões que variaram de 10-20 km. Entre os rios Xingu e Araguaia (PA) aparece uma pluma de 90km por 10km e várias outras menores e menos densas, mas de difícil distinção por causa da grande cobertura de nuvens da área. A imagem da banda infra-vermelho termal mostrou 73 pontos saturados, sendo 32 deles ao norte do Mato Grosso e 41 ao sul do Pará, e 715 pontos com valor entre um e oito.

- a imagem do dia 31/07/85 foi subdividida em 8 módulos (Figura 4.6), sendo que os módulos 1, 2 e 3 não apresentaram pontos saturados. Oito plumas foram encontradas, sendo uma com cerca de 160 km por 25 km, e as outras menores e menos densas, que variaram de 20-50 km por ~20 km. Contou-se na imagem da banda 3 cerca de 32 pontos ao norte do Mato Grosso e 61 ao sul do Pará, num total de 93. Os pontos com valor no intervalo de um a oito foram de 945.

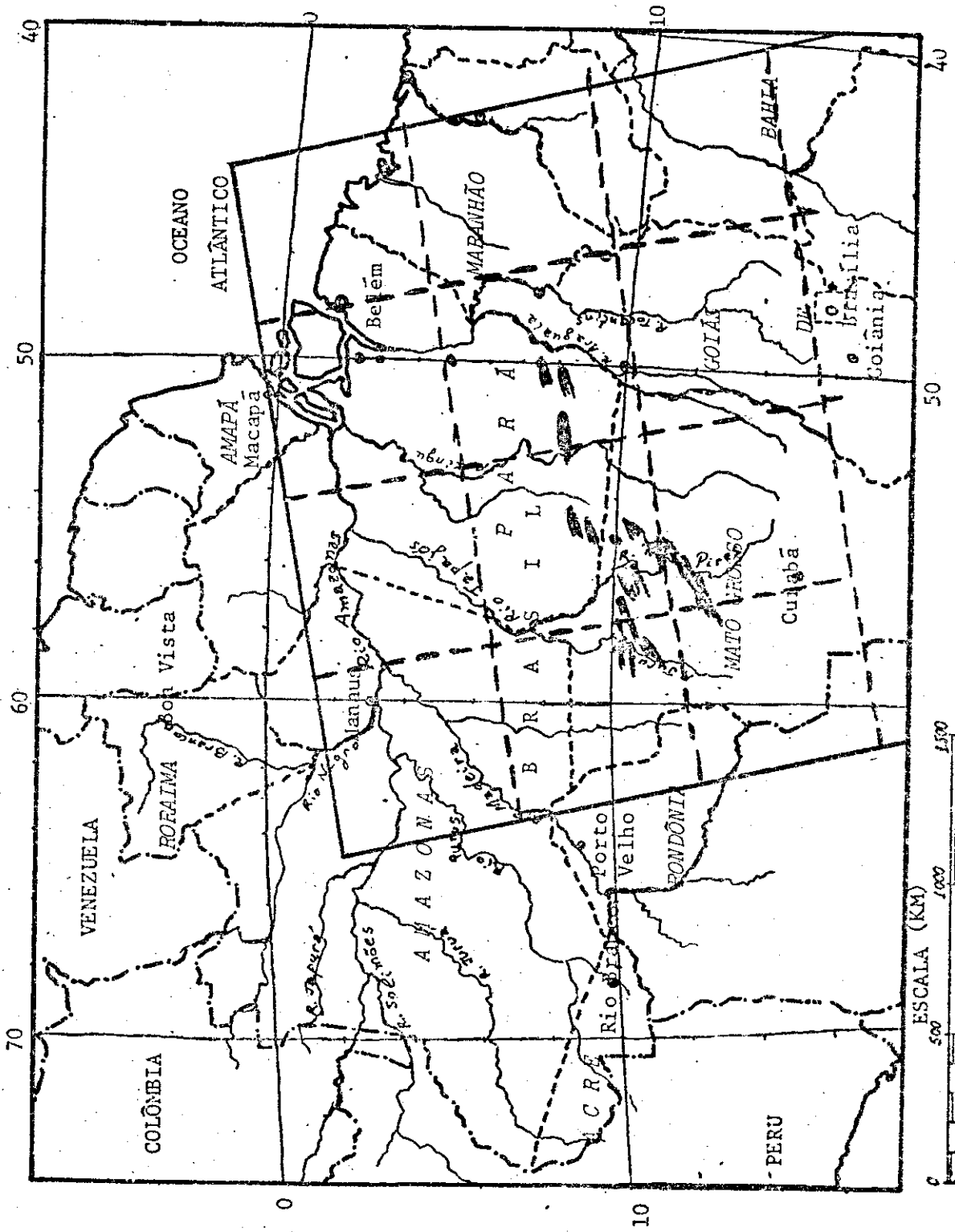


Fig. 4.5 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 30/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

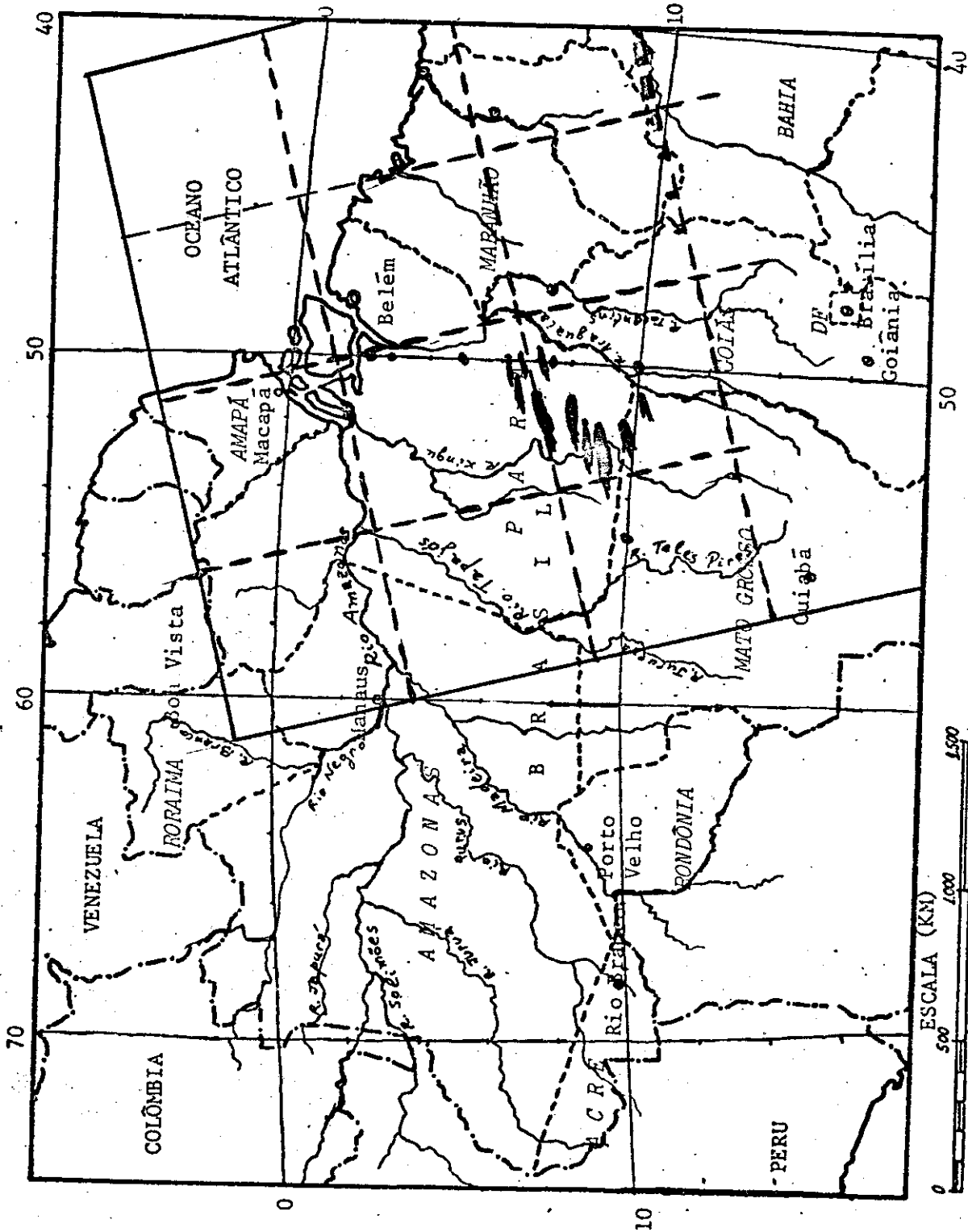


Fig. 4.6 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 31/07/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

- dia 03/08/85 contou-se 8 pequenas plumas de fumaça de 10 km de extensão, na região do rio Juruena e Teles Pires (MT/PA). Infelizmente, esta imagem apresentou muito ruído e, além disto, as plumas estavam muito na borda da imagem, com grande distorção geométrica. Mesmo assim, em uma contagem de pixels saturados foram encontrados 31 pontos de queimadas prováveis. A palavra "prováveis" é aqui usada para lembrar a hipótese de que os pontos saturados são queimadas ocorrendo no instante de imageamento e, que esta só seria "verdade" se houvesse trabalho de campo que pudesse comprová-la. A Figura 4.7 mostra a localização das plumas de fumaça. Os pixels com valor digital no intervalo de um a oito totalizaram 196 unidades. Estes baixos valores (31 e 196) são devidos ao fato de que em apenas uma pequena parte da região de estudo foi possível fazer a contagem.

- no dia 05/08/85 houve grande concentração de plumas ao norte do Mato Grosso, com extensões variáveis entre 10km e 100km, fazendo com que uma área de ~500km x 200km ficasse coberta por uma camada significativa de aerossóis, devendo ser até maior, pois a imagem inicia-se em cima dessa grande camada (Figura 4.8). A contagem de pixels feita através do I-100 mostrou 353 deles saturados na banda 3. Note que este número é bastante superior aos descritos até o momento. Por esta causa, pode-se dar uma estimativa da possível área que está sendo queimada, ou seja, aproximadamente 420 km² (1 pixel ~1,21 km²). Para a região de Rondônia encontrou-se 33 pontos saturados e para a região de Mato Grosso 320 pontos, sendo que a imagem não registrou queimadas ao sul do Pará. O número de pixels com valor digital no intervalo de um a oito foi de 2.634, mostrando um significativo aumento em relação aos valores anteriormente apresentados (o maior deles foi de 1.148 para o dia 29/07).

- no dia 06/08/85, a mesma área descrita no dia 05 de agosto apresentou um grande número de plumas e queimadas na região entre os rios Tocantins e Araguaia (PA), onde foram normalmente encontradas queimadas, embora estivessem na borda com grande distorção. A Figura 4.9 mostra a fotografia do vídeo do I-100 com 1024x1024 pixels da imagem AVHRR do dia 06/07/85 com a situação geral deste dia, e a Figura 4.10 mostra o mapa da região com a localização das plumas encontradas. A contagem automática de pixels saturados mostrou 334 pontos (400km²), sendo cerca de 185 ao norte do Mato Grosso e ~160 ao sul do Pará. Para este dia contou-se um total de 2.534 pixels com valores no intervalo de um a oito.



Fig.4.9 - Fotografia do vídeo do I-100 com 1024x1024 pixels da imagem AVHRR de 06/08/85 com a situação geral deste dia.

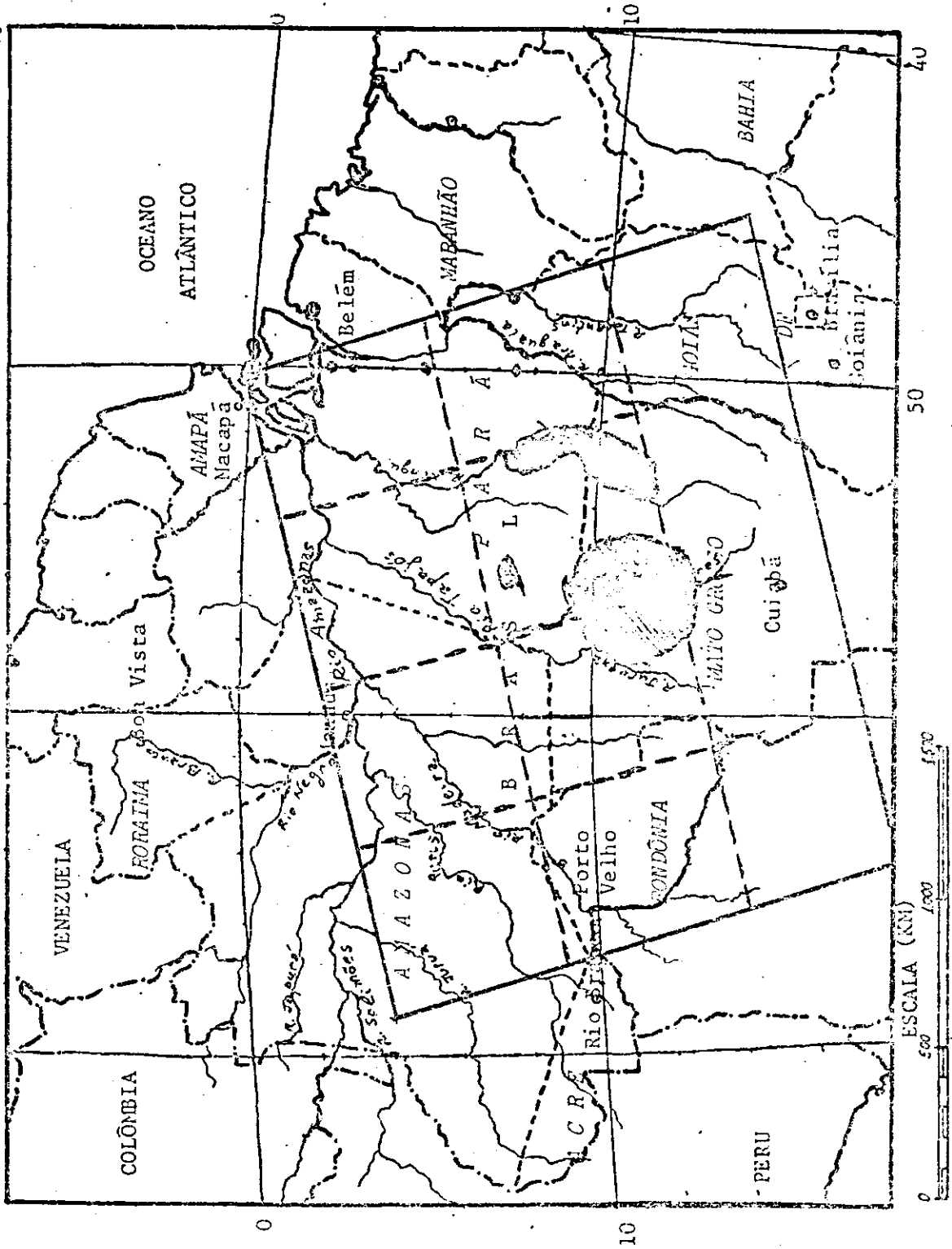


Fig. 4.10-- Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 06/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

- no dia 07/08/85 a situação encontrada foi alarmante. Na região norte do Mato Grosso, pode-se notar cerca de 20 plumas com extensões que variam de 20 km a 70 km, formando uma nuvem de fumaça sobre uma área de 200 km por 200 km. Também na região entre os rios Araguaia e Xingu houveram cerca de 14 plumas com extensões entre 20 km e 200 km, com a formação de uma nuvem em uma área ao redor de 300 km x 300 km (Figura 4.11). A contagem dos pixels feita através do I-100 mostrou 862 saturados na banda 3 ($\sim 1030 \text{ km}^2$), com cerca de 380 ao norte do Mato Grosso, 250 ao sul do Pará e 20 ao sul de Rondônia. Foram contados 4.789 pontos com valores no intervalo de um a oito. A Figura 4.12 é uma fotografia do vídeo do I-100 mostrando as plumas encontradas, para uma ampliação com 1024×1024 pixels feita conforme a composição colorida descrita no item 3.6.1. A Figura 4.13 mostra somente a imagem da banda 3 do AVHRR, tomada da mesma área. Lembrando que áreas mais escuras são as de temperaturas maiores, nota-se que a pluma maior, na parte superior direita da cena, tem o seu núcleo mais quente. Isto pode significar alta emissão de radiação e possivelmente alta absorção de radiação infravermelha termal por parte de gases e partículas presentes nesta região da pluma.

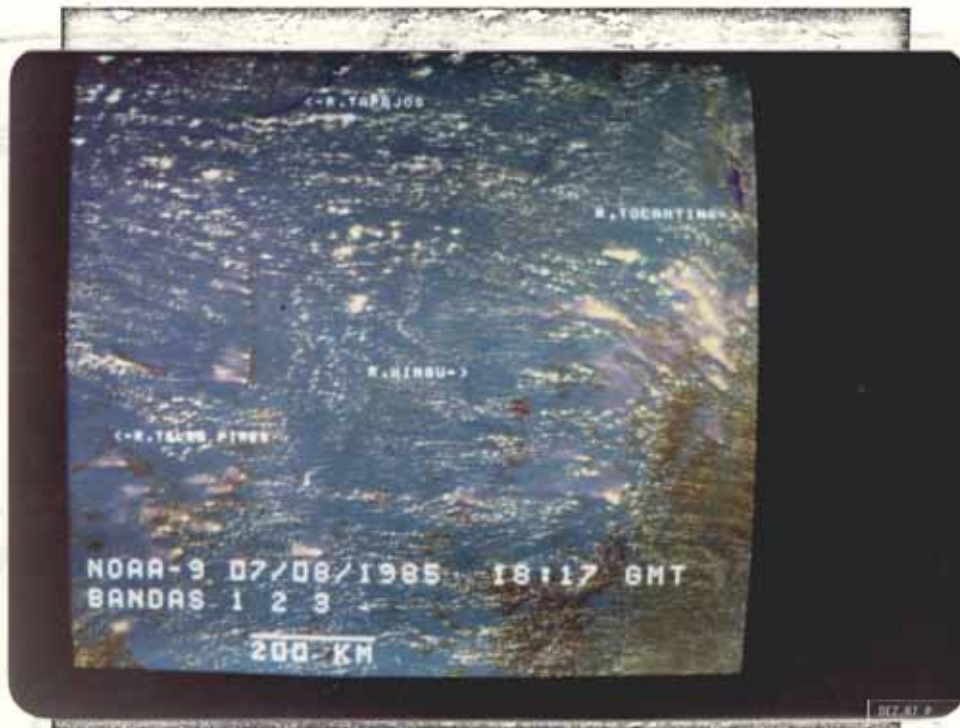


Fig. 4.12 - Fotografia do vídeo do I-100 com a composição colorida feita das bandas 1, 2 e 3 da imagem de 07/08/85.



Fig. 4.13 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando a banda 3 da imagem de 07/08/85.

- no dia 08/08/85 estavam presentes duas grandes plumas com aproximadamente 150 km de extensão por 50 km de largura e algumas outras menores, na região ao norte de Mato Grosso, sobre o município de Alta Floresta. Houve uma grande pluma de fumaça, menos densa, espalhada sobre as divisas dos Estado do Mato Grosso e Rondônia, com uma área de 150 km por 400km. O mapa com a localização dessas plumas é apresentado na Figura 4.14. Devido à intensa cobertura de nuvens, os dados deste dia são limitados. Mesmo assim, contou-se 273 pontos com o valor saturado e 2.382 com o valor no intervalo de um a oito. Provavelmente, estes números sejam bastante inferiores aos apresentados nos dias 6 e 7 por causa da intensa cobertura de nuvens citada.

- dia 09/08/85 detectou-se uma densa nuvem de fumaça com uma área de 200 km x 300 km (Figura 4.15), proveniente de um considerável número de queimadas. Houveram outras plumas menores com extensões que variam entre 20 km e 30 km (Figura 4.16). A contagem de níveis saturados apresentou 1.200 pixels ($\sim 1440 \text{ km}^2$), com aproximadamente 180 ao norte do Mato Grosso, 920 ao sul do Pará e 20 ao sul de Rondônia, e a contagem dos pixels com níveis de cinza de valor entre um e oito foi de 5.866.

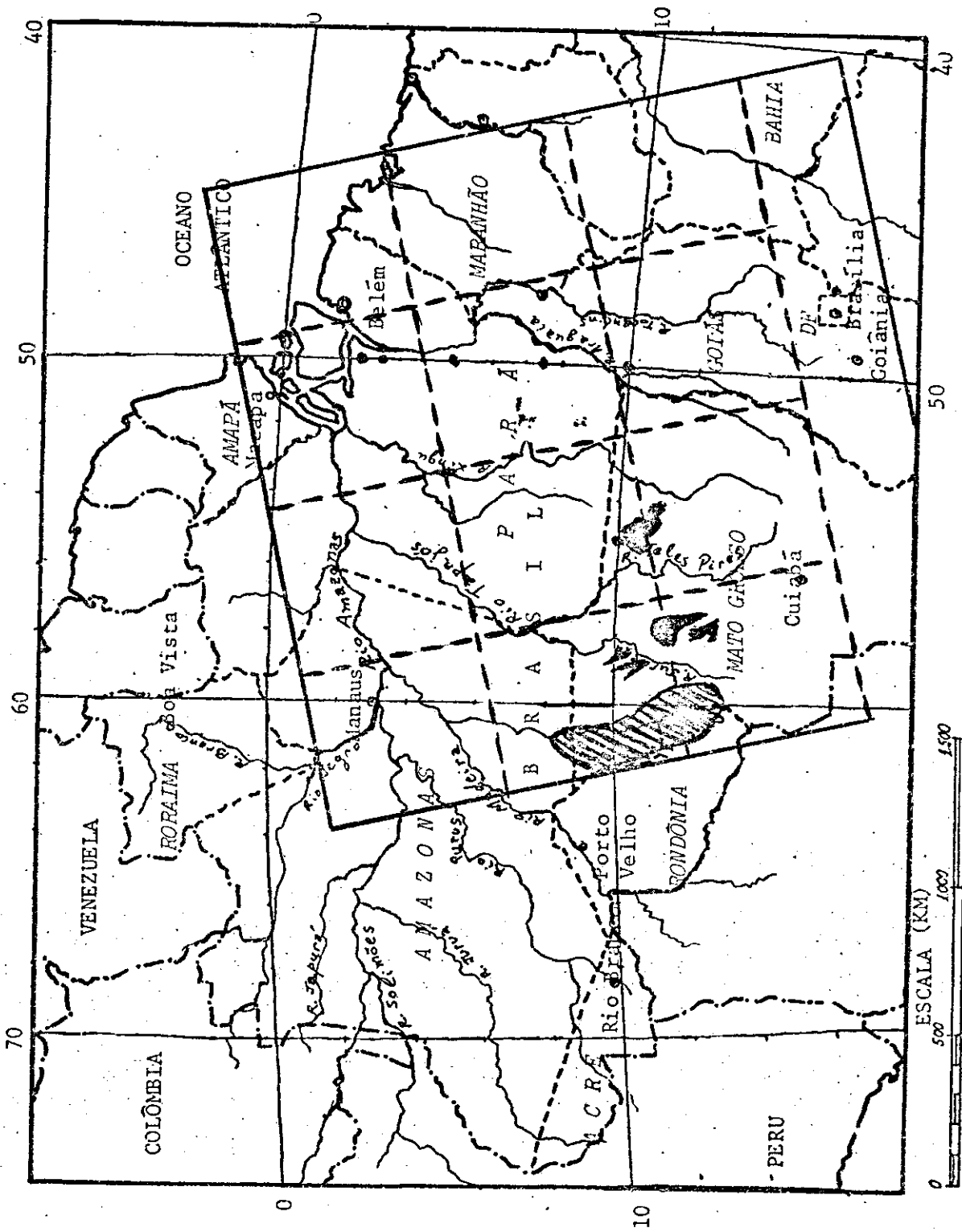


Fig. 4.14 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 08/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

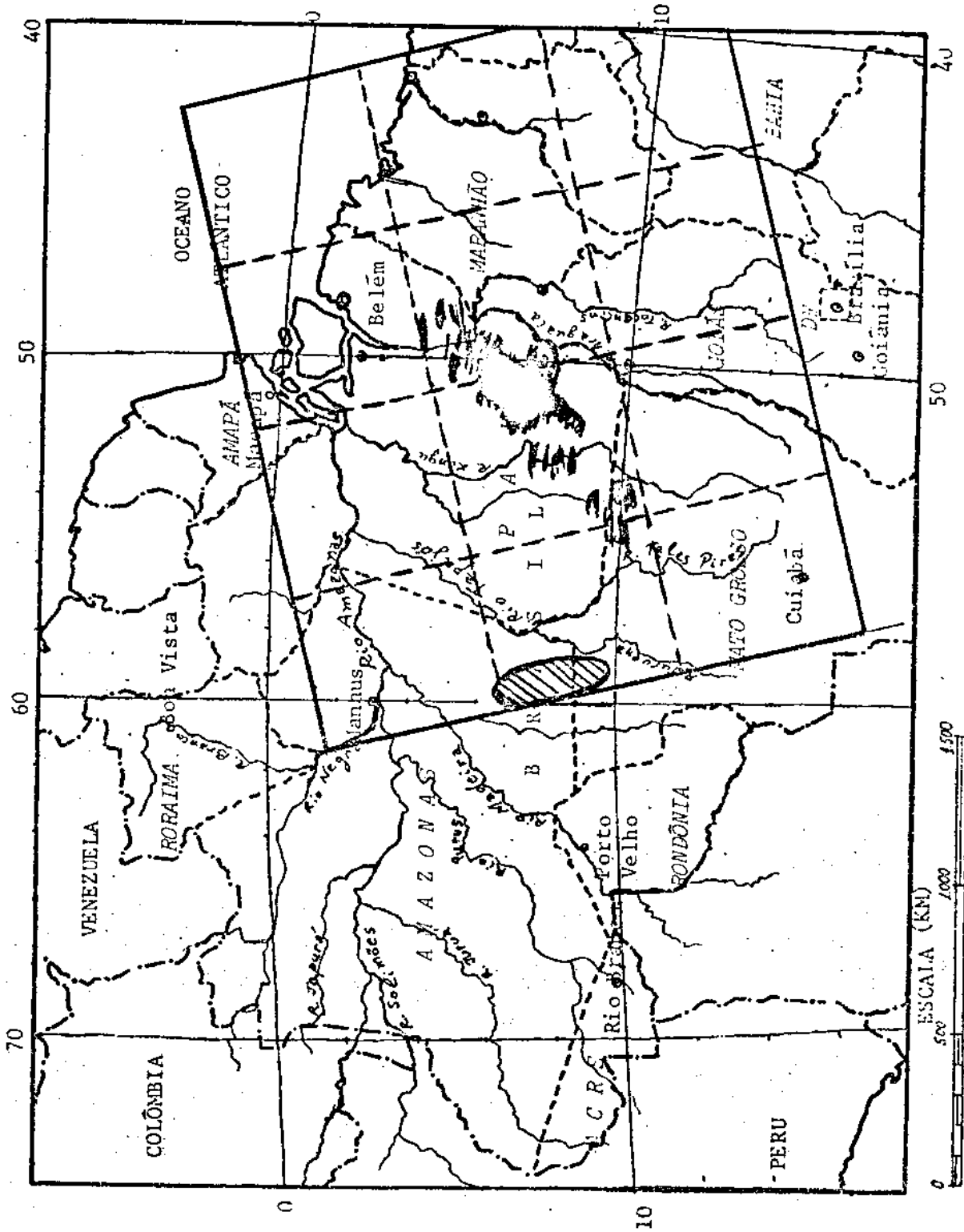


Fig. 4.15 - Área da imagem NOAA-9 gravada no dia 09/08/85 mostrando as plumas de fumaça encontradas através de análise visual.

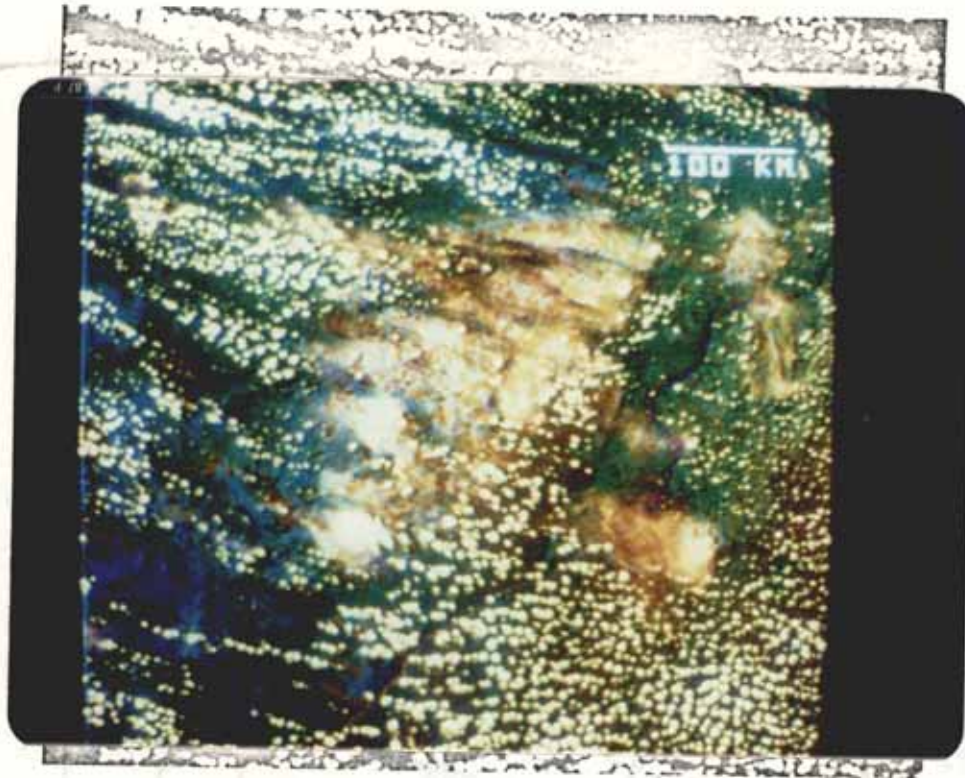


Fig. 4.16 - Fotografia do vídeo do I-100 com 512x512 pixels da imagem do dia 09/08/85 mostrando uma área de $\approx 60,000 \text{ km}^2$ coberta por fumaça.

Um resumo geral dos dados obtidos com as contagens de número de pixels com valor saturado e valor no intervalo de um a oito para cada um dos módulos que subdividiram as imagens estão na Tabela 4.1. A Tabela 4.1 também traz uma média aritmética das contagens para dois dias consecutivos. Através desta média consegue-se amenizar os efeitos de variações bruscas nas contagens dos níveis de cinza. Estas variações foram provocadas principalmente pela variação da órbita do satélite de um dia para o outro (veja no item 2.5.2 as características da órbita do satélite AVHRR/NOAA) que determina contagens sobre uma área total da imagem levemente modificada. A área total da imagem sofreu maiores modificações quando o início ou final da gravação eram atrasados ou adiantados, respectivamente, por problema de recepção da imagem. Isto ocorreu nas imagens de 26 de julho, 03 e 05 de agosto. A cobertura de

nuvens, quando muito intensa, também pode interferir nos resultados, embora tenha sido notado que, de maneira geral, a emissão de radiação proveniente de queimadas não é absorvida por nuvens menores ou pelas plumas de fumaça.

TABELA 4.1

CONTAGEM DE NÚMERO DE PIXEIS CLASSIFICADOS COMO QUEIMADAS
PARA CADA MÓDULO DAS IMAGENS AVHRR UTILIZADAS

DIA	PIXEL	MÓDULO										TOTAL	MÉDIA 2 DIAS
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
20JUL	1	0	0	0	3	3	8	11	24	14	8	71	
	1 A B	0	0	0	23	29	52	117	156	109	47	530	
21JUL	1	0	0	0	1	4	10	2	1		18	44	
	1 A B	0	0	12	21	18		37	12		100	317	
26JUL	1	0	0	1	4	20	16	26	26		93		
	1 A B	0	5	4	16	80	113	110	186		514		
27JUL	1	1	3	8	7	0	0	26	5		50	72	
	1 A B	5	43	162	67	0	0	186	39		502	508	
29JUL	1	0	0	2	1	3	28	16	37	16	61	164	
	1 A B	7	29	7	4	22	199	175	235	110	360	1148	
30JUL	1	0	0	0	10	5	21	22	15		73	119	
	1 A B	0	0	0	63	71	230	226	125		715	932	
31JUL	1	0	0	0	5	26	7	27	28		93	83	
	1 A B	0	3	0	41	374	87	273	167		945	830	
03AGO	1	31									31		
	1 A B	196									196		
05AGO	1	5	24	49	54	0	4	114	103		353		
	1 A B	30	259	492	474	0	34	708	637		2634		
06AGO	1	6	4	12	23	31	57	5	110	86	334	344	
	1 A B	27	31	56	264	376	524	40	678	538	2534	2584	
07AGO	1	131	51	40	256	331	37				846	590	
	1 A B	1038	631	389	1389	1136	206				4789	3662	
08AGO	1	0	0	0	0	33	26	100	45	69	273	560	
	1 A B	0	0	0	0	242	258	774	426	682	2382	3586	
09AGO	1	0	0	7	21	54	765		79	145	1071	672	
	1 A B	1	0	18	184	724	3061		924	954	5866	4124	

Através da Figura 4.17 pode-se visualizar com maior facilidade o efeito obtido através da média de dois dias consecutivos para as contagens de valores digitais saturados (curvas inferiores) e os valores no intervalo de 1 a 8 (curvas superiores).

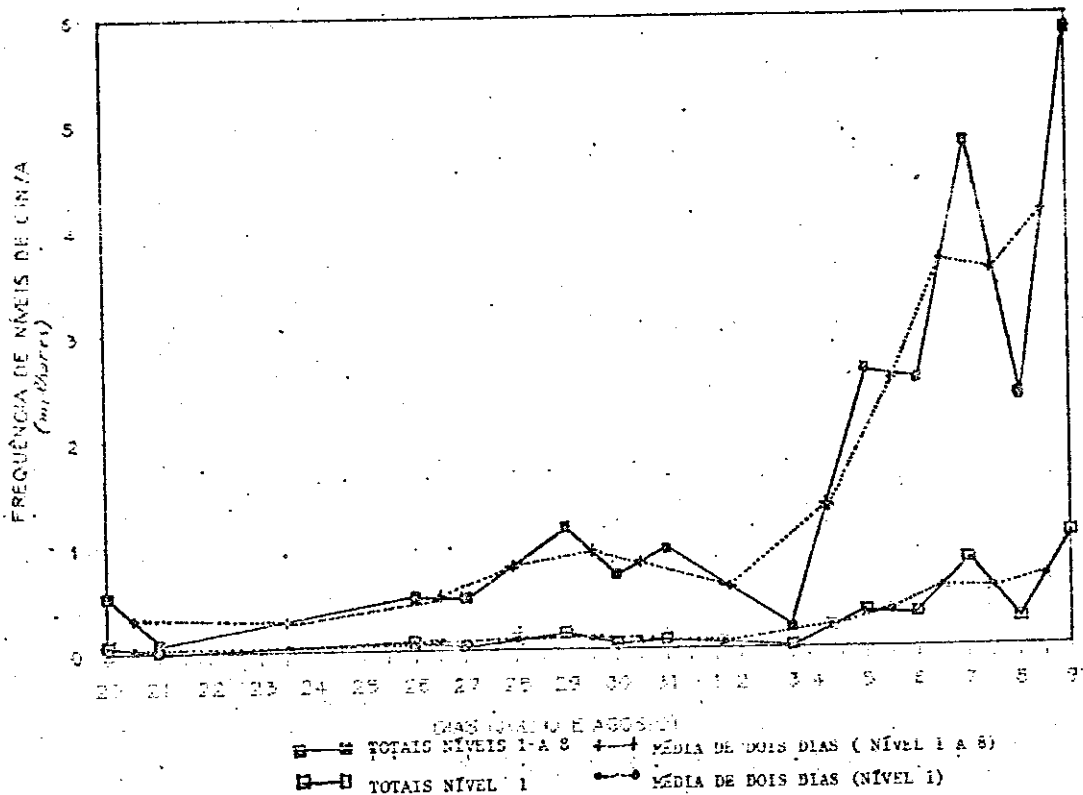


Fig. 4.17 - Gráfico ilustrando o aumento de número de pixels considerados queimadas no período de estudo.

As curvas cheias são as contagens em cada dia e as tracejadas são as médias. Pode-se notar a suavização das variações bruscas citadas anteriormente.

A contagem de pixels com nível saturado foi praticamente constante até os dias 26 e 27 de julho com um ligeiro acréscimo nos dias 29 e 30 de julho e um substancial aumento a partir de 05 de agosto. Essas variações foram mais acentuadas para as contagens dos níveis com valor entre um e oito, isto é, notou-se um leve acréscimo entre as médias dos dias 20 e 21 de julho e as dos dias 26 e 27 de julho, um aumento maior destas médias para as dos dias 29, 30 e 31 de julho e um acréscimo em cerca de quatro vezes, destas médias para as dos dias 05, 06, 07, 08 e 09 de agosto, evidenciando o início de uma "estação" de queimadas a partir dos primeiros dias de agosto.

Por causa da semelhança de números e localização nas imagens, as queimadas dos dias 29, 30 e 31 de julho, assim como as de 5 e 6 de agosto parecem ser as mesmas, portanto com duração estimada de aproximadamente dois dias.

A evolução das áreas queimadas tem proporções alarmantes. Considerando-se o valor desta área de ~500 pixels nos dias 20 e 26 de julho, e o valor final de ~5.800 pontos no dia 09 de agosto, teremos no mínimo ~5.300 pontos de área queimada em 15 dias, equivalente a 8.480 km² (um quadrado de ~92 km de lado). A emissão de poluentes agrava o problema ambiental como será visto nos capítulos 5 e 6.

Na Tabela 4.2 foram resumidos os resultados obtidos para o número de pontos com o valor saturado, considerando as regiões de maior incidência de queimadas, a saber, uma no estado de Rondônia, ao longo da rodovia BR-364, outra no estado de Mato Grosso, junto ao rio Teles Pires, e a última, no estado do Pará, ao longo de uma rodovia secundária que une várias pequenas cidades próximas ao projeto Grande Carajás. Portanto, são áreas localizadas ao longo de rodovias e vias fluviais, em locais de expansão econômica e colonização da Amazônia.

TABELA 4.2

NÚMERO DE QUEIMADAS E ÁREA TOTAL DAS PLUMAS DE FUMAÇA

	NÚMERO DE QUEIMADAS				PLUMAS	
	NORTE DO MATO GROSSO	SUL DO PARA	SUL DE RONDONIA	TOTAL	NÚMERO	ÁREA (KM ²)
20/07	17	33	27	77	1	350
21/07	7	10	2	19	5	2000
26/07	27	4	24	55	0	0
27/07	34	12	4	50	12	2900
29/07	38	61	15	120	8	7000
30/07	32	41	...	73	17	5000
31/07	32	61	...	93	10	7000
03/08	...	...	31	31	10	6700
05/08	379	...	...	379	16	30000
06/08	185	160	...	346	37	60000
07/08	380	250	20	662	39	90000
08/08	100	135	80	318	9	21700
09/09	180	920	20	1200	45	65000

A área ao sul do Pará, que apresentou um grande número de queimadas, é caracterizada por ter um período de chuvas intensas no verão e uma estação seca bem acentuada no inverno. As chuvas ocorrem no período de setembro a maio, com precipitações máximas entre os meses de novembro e fevereiro. A estação seca tem pelo menos um mês com uma altura pluviométrica inferior a 60 mm, chegando, às vezes, a ter até dois meses sem nenhuma precipitação pluviométrica (Brasil, 1981). Assim, o acréscimo de áreas queimadas a partir dos primeiros dias de agosto coincide com o período em que a estação seca torna-se mais acentuada.

A Tabela 4.2 também mostra a área coberta pelas nuvens de fumaça durante os dias de pesquisa. Estas áreas foram calculadas através do número de pixels classificados como fumaça através do algoritmo do single-cell. Notou-se, da mesma forma que para os pontos de queimada, houve um grande acréscimo na área coberta pela fumaça no mês de agosto, comparada à área coberta no mês de julho.

A Figura 4.18 contém os histogramas do número de queimadas ocorridos em cada uma das regiões apontadas, dando uma idéia da distribuição temporal do fenômeno na região norte do Mato Grosso e sul do Pará. Através da análise conjunta das Tabelas 4.1 e 4.2, e Figura 4.18, notou-se o acréscimo de pixels classificados como área queimada e, plumas de fumaça, a partir do início do mês de agosto.

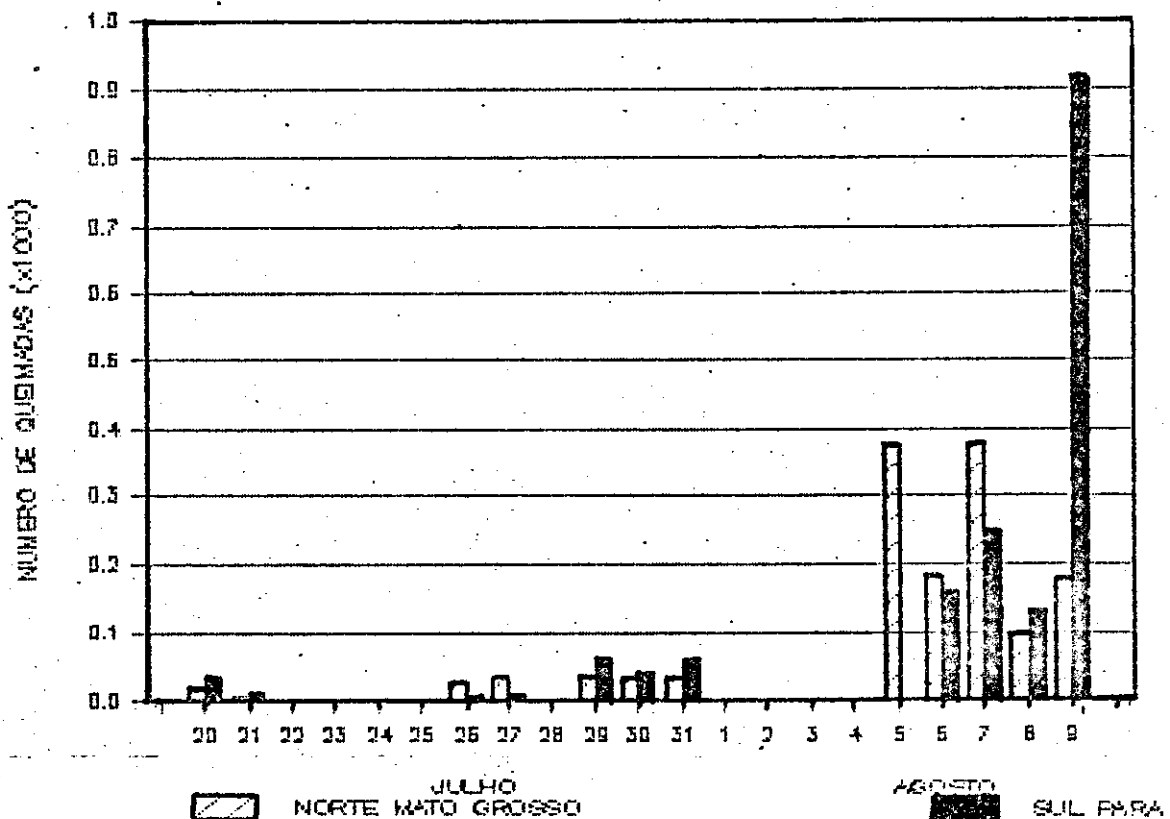


Fig. 4.18 - Histogramas do número de pixels classificados como queimadas nas regiões norte do Mato Grosso e sul do Pará.

Observou-se durante o tratamento das imagens que a utilização dos dados mesmo sem realce produz bons resultados. Isto possibilita maior rapidez na obtenção e utilização dos dados AVHRR para a detecção e avaliação de áreas queimadas. Desta forma, o uso dos dados AVHRR na execução de um programa de detecção de queimadas em tempo real é viável, e seria muito útil aos setores florestais do país.

4.1.2 - ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE QUEIMADAS.

A análise da distribuição espacial de queimadas através do método descrito no item 2.6 evidenciou de forma quantitativa a afirmação de que as áreas mais afetadas pelas queimadas são as que mostram maior expansão econômica e populacional. No print-out da área ao norte do Mato Grosso, do dia 09 de agosto, delimitou-se áreas queimadas dentro de uma circunferência com raio de 177 km. A área total queimada foi de 598 pixels ($\sim 957 \text{ km}^2$), com um número individual de queimadas de 131. O raio de dispersão (Eq. 2.5) calculado foi de 60 km, resultando em um índice de dispersão (Eq. 2.6) igual a 0,34. Este índice de dispersão mostra que as áreas queimadas tem uma distribuição agregada, ou seja, são provocadas pela ação antrópica nas atividades agropecuárias desenvolvidas em projetos de colonização da região. É notada uma tendência de expansão dessas áreas ao longo de rios e estradas, e sendo igualmente limitadas pelo relevo de altitudes mais elevadas.

No print-out da área ao sul do Pará, localizada na região do Projeto Grande Carajás, delimitou-se áreas queimadas ao longo de uma circunferência de raio 258 km. A área total de pixels classificados como queimadas foi de $\sim 2587 \text{ km}^2$, com um número de queimadas individuais de 437. O raio de dispersão calculado foi de 114 km, tendo então, um índice de dispersão de 0,44. Este índice, já não mostra com certeza se as áreas queimadas tem uma distribuição agregada ou aleatória. Somente

com uma análise conjunta de um mapa da região e do print-out realizado é observado que as queimadas na verdade estão distribuídas ao longo de duas estradas que se cruzam perpendicularmente, provocando então este índice de dispersão maior. A tendência de desenvolvimento dessa área é portanto, também ao longo de estradas e rios da região. Pode-se com certeza dizer que as queimadas são devidas à ação antrópica e não a processos naturais.

Com os dados obtidos nos print-outs das áreas queimadas ao norte do Mato Grosso e sul do Pará, foi feita uma análise da distribuição dos incêndios ocorridos nestas áreas por classe de tamanho. Como a área dos pixels aqui considerados são de $\sim 1,21 \text{ km}^2$, as classes de tamanho utilizadas por Soares (1984) descritas na Tabela 2.8 não são adequadas aos tamanhos das queimadas aqui consideradas. Desta forma, foram criadas as novas classes de tamanho apresentadas na Tabela 4.3. O número de queimadas e áreas queimadas para cada uma das classes propostas nesta Tabela são apresentados na Tabela 4.4.

TABELA 4.3

CLASSES DE TAMANHO DAS QUEIMADAS, PROPOSTAS PARA ESTE ESTUDO

CLASSE	ÁREA QUEIMADA (km^2)	NÚMERO DE PIXELS
I	0,0 - 1,5	1
II	1,6 - 3,0	2
III	3,1 - 5,0	3 - 4
IV	5,1 - 10,0	5 - 8
V	10,1 - 20,0	9 - 16
VI	$\geq 20,1$	≥ 17

TABELA 4.4

DISTRIBUIÇÃO DAS QUEIMADAS OCORRIDAS AO SUL DO PARÁ E NORTE DO MATO GROSSO NO DIA 09 DE AGOSTO DE 1985, POR CLASSE DE TAMANHO

CLASSE DE TAMANHO	SUL DO PARÁ							
	NÚMERO DE QUEIMADAS	%	ÁREA (km ²)	%	QUEIMADAS	%	(km ²)	%
I	120	27,4	145,2	7,4	30	21,9	36,3	5,0
II	134	30,6	324,3	16,5	38	27,7	92,0	12,7
III	92	21,0	379,9	19,4	32	23,4	137,9	19,1
IV	58	13,2	418,7	21,4	20	14,6	140,4	19,4
V	23	5,3	313,4	16,0	12	8,8	165,8	22,9
VI	11	2,5	377,5	19,3	5	3,6	151,3	20,9
TOTAL	438	100,0	1.959,0	100,0	137	100,0	723,7	100,0

Observa-se que para ambas as regiões a classe I (0-1,5km²) e classe II (1,5 a 3,0 km²) somam um número de queimadas representando 50% a 60% do número total, e as classes um V (10,1 a 20,0km²) e VI (20,0 km²) somam uma área representando 35% a 45% da área total. Isto pode mostrar que os incêndios devem ocorrer descontroladamente, sem preocupação de preservação da flora e fauna, ou um manejo adequado no uso do solo.

4.1.3 - ESTIMATIVA DA ÁREA QUEIMADA.

Uma estimativa da área total queimada no período de seca pode ser feita da seguinte forma:

$$Aq = Sq \cdot Ap \quad (4.1)$$

onde: Aq = área total queimada,

Sq = somatória do número de pixels identificados como queimadas,

Ap = área do pixel (no nadir) \approx 121 ha.

Antes de resolver esta equação, algumas considerações devem ser feitas relativas aos seguintes aspectos do fenômeno queimadas e dos sensores do satélite:

- 1 - época de ocorrência de queimadas;
- 2 - duração de uma queimada em um determinado pixel;
- 3 - a função temporal da ocorrência de queimadas, e
- 4 - detecção de queimadas menores do que o tamanho de um pixel.

A época de ocorrência de queimadas depende de condições climáticas dominantes no ano considerado, e de práticas diversas de uso do solo. Na região de estudo é comum um período de estiagem de três meses (IBGE, 1971; Brasil, 1981) favorável a queimadas. Parte deste período, entretanto, é utilizado para secagem natural da fitomassa a ser queimada, e para o preparo de plantios. Quanto à secagem, Fearnside (1986), obteve para 138 casos, um tempo médio de 44,1 dias entre a derubada (que em muitos casos ocorre ainda no período de chuvas) e a

queimada, porém com um desvio-padrão de 65,3 dias. Em função da análise temporal das imagens deste trabalho, adotou-se o valor conservativo de 60 dias para a duração da temporada de queimadas.

O tempo de duração de uma queimada varia de acordo com a área queimada, tipo de material combustível existente, ventos e topografia da área. Para uma roça (até ~20 ha) de floresta derrubada, o incêndio não deve perdurar mais do que um dia, mas para um incêndio maior (de ~100-140ha), o tempo de duração pode aumentar, atingindo até dois dias (informações de campo). Incêndios atingindo áreas maiores podem durar mais tempo, mas não em um mesmo pixel. Com base nestas considerações adotou-se, com margem de segurança, 1,5 dias como o tempo médio de duração de uma queimada em um pixel.

Uma estimativa mais real deste tempo poderia ser feita analisando-se várias imagens de uma mesma região, de forma que, com a superposição das áreas queimadas durante o período de pesquisa, verificar-se-ia a mudança ou não dos valores digitais dos pixels. Como este trabalho envolveria uma correção geométrica com registro das imagens sobre uma base cartográfica, e no momento não há no INPE software disponível para tanto, este problema não pode ser abordado.

A distribuição temporal de ocorrência de queimadas não tem um valor constante, ou seja, no início da temporada observa-se um número reduzido das mesmas, que aumenta significativamente, e depois reduz-se. O conhecimento desta função temporal é essencial na estimativa do número de queimadas em dias ou períodos para os quais inexistem imagens de satélite, e portanto, para o devido cálculo da área total queimada em um período de seca (Eq. 4.1).

Pelo fato de nunca haver sido feito um estudo abrangente de queimadas no País até o desenvolvimento deste trabalho, não se dispõe da função temporal de ocorrência de queimadas nas áreas investigadas. As imagens obtidas e processadas durante o GTE/ABLE-2A (Tabela 3.4) cobriram apenas o início de uma temporada de queimadas (14/07 a 09/08/85), portanto também não fornecendo insumos para a caracterização completa da função. As Tabelas 4.1 e 4.2, assim como a Figura 4.18 ilustram esta situação para o sul do Pará e norte do Mato Grosso.

Para contornar esta limitação adotou-se na temporada de queimadas de 1985 a média de ocorrência de queimadas das imagens processadas, no valor de 1.758 pixels por dia, ou seja, 213.000 ha/dia (2.130 km²/dia). Com base na experiência da temporada de queimadas de 1987 (Setzer et alii, 1988), este valor pode ser considerado como conservativo, principalmente devido fato que a maior quantidade de queimadas ocorre mais no final da estação seca, no fim de agosto e início de setembro.

Quando um alvo possui características espectrais muito diferentes do meio em que se encontra, ele pode ser detectado mesmo se o seu tamanho for inferior à resolução dos sensores utilizados. É o caso de uma queimada com área menor do que 120 ha, resolução do AVHRR/NOAA (1,1 km x 1,1 km), mas que pode saturar o pixel em que se encontra, ou ocasionar um valor de temperatura relativamente alto. Neste último caso, através de algoritmos especiais que utilizam as diferenças entre as respostas espectrais dos sensores nas bandas três (3,55-3,93 μ m) e quatro (10,30-11,30 μ m), é possível determinar-se o tamanho e a temperatura de uma queimada com dimensões abaixo da resolução do satélite Matson and Dozier (1981), Dozier (1981), Muirhead and Cracknell (1984) e Matson and Holben (1987). Esta técnica, entretanto, não pode ser empregada pois durante a realização do GTE/ABLE-2A a

estação de recepção NOAA do INPE apenas gravava três bandas, e a opção escolhida foi das bandas um, dois e três.

Neste trabalho, a área de todos os píxeis saturados ou com valores típicos de queimadas, foi considerada como queimada. Esta metodologia, em princípio tende a minimizar as estimativas de áreas queimadas, pelas seguintes razões: 1) a fumaça originada das queimadas, bastante espessas em geral, podem encobrir parte da própria queimada, ou áreas recém queimadas com temperatura mais baixas, e 2) a imagem do satélite é um visãõ instantânea de uma queimada que pode ter se iniciado muitas horas antes ou que continue por muitas horas após o instante de imageamento, implicando em que a área total queimada nos casos individuais seja muito maior.

Por último, é importante a estimativa de qual porcentagem desta área refere-se a queimadas em desmatamentos recentes, e qual a reincidência de queimadas, como por exemplo em capoeiras, pastagens, etc... Tal estimativa está apresentada nos itens 4.2.3 e 4.2.4.

Em função destas considerações, a estimativa da área total queimada passa a ser:

$$A_q = \frac{d \cdot \bar{p}}{t} \cdot A_p \quad (4.2)$$

$$\text{onde: } S_q = \frac{d \cdot \bar{p}}{t}, \quad (4.3)$$

sendo: p = número médio de pixels considerados queimada por dia,

ou seja, $p = 1.758$;

d = número de dias da temporada de queimadas = 60 dias;

t = duração média de uma queimada = 1,5 dias;

Portanto:

$$Aq = \frac{60 \cdot 1.758}{1,5} \cdot 121 = 8.508.720 \text{ ha} = 85.087 \text{ km}^2$$

Assim, uma estimativa conservativa da área total queimada durante a estação seca no ano de 1985 seria cerca de 8.508.720 ha.

4.1.4 - ESTUDOS DE COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE QUEIMADAS, VEGETAÇÃO E FUMAÇA NAS IMAGENS AVHRR.

Durante o andamento dessa pesquisa, observou-se na banda três que os valores digitais dos pixels localizados na origem das plumas estavam em sua maioria contidos no intervalo de 1 a 8. Esporadicamente, ocorreram valores um pouco maiores, geralmente de 9 a 12, que podem ter sido ocasionados por causa da presença de nuvens finas ou fumaça espessa sobre a região queimada. Estimou-se então, a área queimada total, a partir da soma do número de pixels com valor apenas no intervalo de 1 a 8. Também os estudos realizados sobre radiometria e comportamento espectral de queimadas foram feitos considerando este intervalo.

A Figura 4.19 mostra os histogramas numéricos da frequência de ocorrência dos níveis de cinza de 1 a 30 nas bandas 1, 2 e 3 para os módulos com áreas queimadas na imagem de 7 de agosto. Uma melhor

visualização dessa distribuição de frequências está na Figura 4.20, onde é mostrado o histograma em forma de barras, considerado para uma área de grande incidência de queimadas na imagem de 9 de agosto.

Nota-se nas Figuras 4.19 e 4.20 que a banda 3 é a única que apresenta uma boa caracterização espectral de queimadas, com um pico de frequências no nível de saturação e outro no nível 8. É bom lembrar que o nível de saturação é um "corte" em uma determinada quantidade de energia, isto é, um pixel com uma temperatura acima deste nível sempre apresentará esta mesma temperatura de saturação (~ 47 °C, segundo Kidwell, 1984).

A boa caracterização das queimadas na banda 3, também pode ser notada na Figura 4.21, que mostram os níveis de cinza das três bandas impressos de uma "janela" de um módulo da imagem de 7 de agosto. Pode-se notar neste exemplo que a média dos níveis de cinza das três bandas são 33,3, 39,7 e 7,0 para as bandas 1, 2 e 3, respectivamente, com variâncias de 5,95, 5,61 e 1,71. Aqui, a menor variância na amostra de queimadas é a da banda 3, demonstrando uma boa caracterização deste tema nesta banda.

Módulo 1			Módulo 2			Módulo 3					
CH#	1	2	3	CH#	1	2	3	CH#	1	2	3
0	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.
1	0.	0.	131.	1	1.	0.	51.	1	0.	0.	40.
2	0.	0.	28.	2	1.	0.	13.	2	1.	2.	7.
3	0.	0.	46.	3	1.	2.	12.	3	2.	1.	11.
4	0.	0.	39.	4	0.	0.	15.	4	0.	0.	13.
5	0.	0.	52.	5	2.	0.	29.	5	0.	1.	12.
6	0.	0.	52.	6	0.	0.	30.	6	0.	1.	11.
7	1.	0.	148.	7	0.	0.	80.	7	0.	0.	44.
8	0.	1.	587.	8	0.	0.	401.	8	0.	0.	251.
9	0.	0.	14.	9	0.	0.	7.	9	0.	0.	1.
10	0.	1.	18.	10	0.	0.	5.	10	0.	0.	5.
11	0.	0.	11.	11	0.	1.	3.	11	0.	0.	8.
12	0.	0.	16.	12	0.	0.	4.	12	0.	0.	2.
13	0.	0.	12.	13	0.	0.	3.	13	0.	0.	5.
14	0.	0.	18.	14	21.	2.	7.	14	1.	0.	0.
15	1.	4.	10.	15	544.	5.	5.	15	115.	6.	3.
16	30.	7.	18.	16	1976.	30.	9.	16	2244.	10.	5.
17	177.	12.	14.	17	7089.	122.	2.	17	26522.	46.	4.
18	475.	33.	18.	18	25561.	256.	7.	18	38769.	151.	1.
19	2873.	51.	27.	19	40154.	335.	7.	19	46496.	265.	10.
20	6878.	93.	21.	20	29626.	462.	5.	20	25749.	394.	4.
21	12007.	165.	19.	21	27487.	594.	9.	21	21499.	490.	3.
22	8058.	266.	21.	22	14419.	726.	7.	22	10382.	586.	5.
23	10364.	329.	18.	23	13212.	837.	6.	23	9512.	686.	10.
24	10109.	490.	26.	24	7654.	1040.	7.	24	6062.	940.	8.
25	13719.	504.	25.	25	7212.	991.	2.	25	5734.	1063.	5.
26	13004.	800.	30.	26	5042.	1290.	11.	26	3974.	1450.	2.
27	14061.	915.	38.	27	4981.	1451.	8.	27	4151.	1548.	7.
28	10885.	1344.	38.	28	3716.	1819.	5.	28	3080.	2043.	5.
29	11048.	1448.	35.	29	3737.	1713.	9.	29	3177.	2216.	6.
30	7840.	1930.	31.	30	2805.	2154.	5.	30	2221.	3015.	3.

Módulo 4			Módulo 5			Módulo 6					
CH#	1	2	3	CH#	1	2	3	CH#	1	2	3
0	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.
1	0.	0.	256.	1	0.	0.	331.	1	0.	0.	37.
2	0.	0.	64.	2	0.	0.	71.	2	0.	0.	12.
3	0.	0.	69.	3	0.	0.	77.	3	0.	0.	7.
4	0.	0.	69.	4	0.	0.	62.	4	0.	0.	11.
5	0.	0.	95.	5	0.	0.	87.	5	0.	0.	19.
6	0.	0.	107.	6	0.	0.	94.	6	0.	0.	15.
7	0.	0.	208.	7	0.	0.	124.	7	0.	0.	35.
8	0.	0.	521.	8	0.	0.	290.	8	0.	0.	70.
9	0.	0.	61.	9	0.	0.	79.	9	0.	0.	5.
10	0.	0.	68.	10	0.	0.	88.	10	0.	0.	8.
11	0.	0.	55.	11	0.	0.	83.	11	0.	0.	8.
12	0.	0.	97.	12	0.	0.	116.	12	0.	0.	13.
13	0.	0.	87.	13	3.	14.	97.	13	0.	0.	11.
14	0.	1.	99.	14	429.	122.	90.	14	0.	20.	11.
15	65.	6.	107.	15	2678.	721.	96.	15	12.	100.	18.
16	1106.	57.	114.	16	6552.	1704.	128.	16	189.	357.	12.
17	6119.	147.	129.	17	21960.	1924.	111.	17	776.	499.	18.
18	11196.	345.	135.	18	25498.	2644.	134.	18	1350.	764.	14.
19	15023.	520.	122.	19	21770.	2500.	146.	19	2973.	820.	14.
20	13342.	901.	149.	20	14250.	2991.	134.	20	3848.	1098.	18.
21	17034.	1347.	138.	21	18769.	3152.	148.	21	6889.	1176.	21.
22	16089.	2006.	179.	22	14696.	3464.	173.	22	7714.	1475.	18.
23	21773.	2647.	151.	23	15041.	3710.	175.	23	10451.	1678.	22.
24	17595.	3679.	193.	24	9289.	4526.	210.	24	11051.	2022.	27.
25	18467.	4154.	174.	25	8862.	4514.	164.	25	15672.	2062.	25.
26	13031.	6503.	220.	26	6103.	5942.	234.	26	15239.	2902.	22.
27	12380.	8399.	226.	27	5992.	6453.	219.	27	16665.	3111.	25.
28	8736.	12794.	223.	28	4342.	8178.	210.	28	11829.	4011.	34.
29	8347.	14677.	250.	29	4400.	8309.	239.	29	11736.	4273.	42.
30	5551.	18358.	213.	30	2998.	9665.	255.	30	7897.	5355.	28.

Fig. 4.19 - Histogramas numéricos da frequência de ocorrência dos níveis de cinza de 1 a 30 nas bandas 1, 2 e 3 dos módulos 1 a 6 da imagem AVHRR de 07/08/85.
 Obs: Note-se na banda 3 a relativamente alta incidência pixels até o nível 8, associado à ocorrência de queimadas.

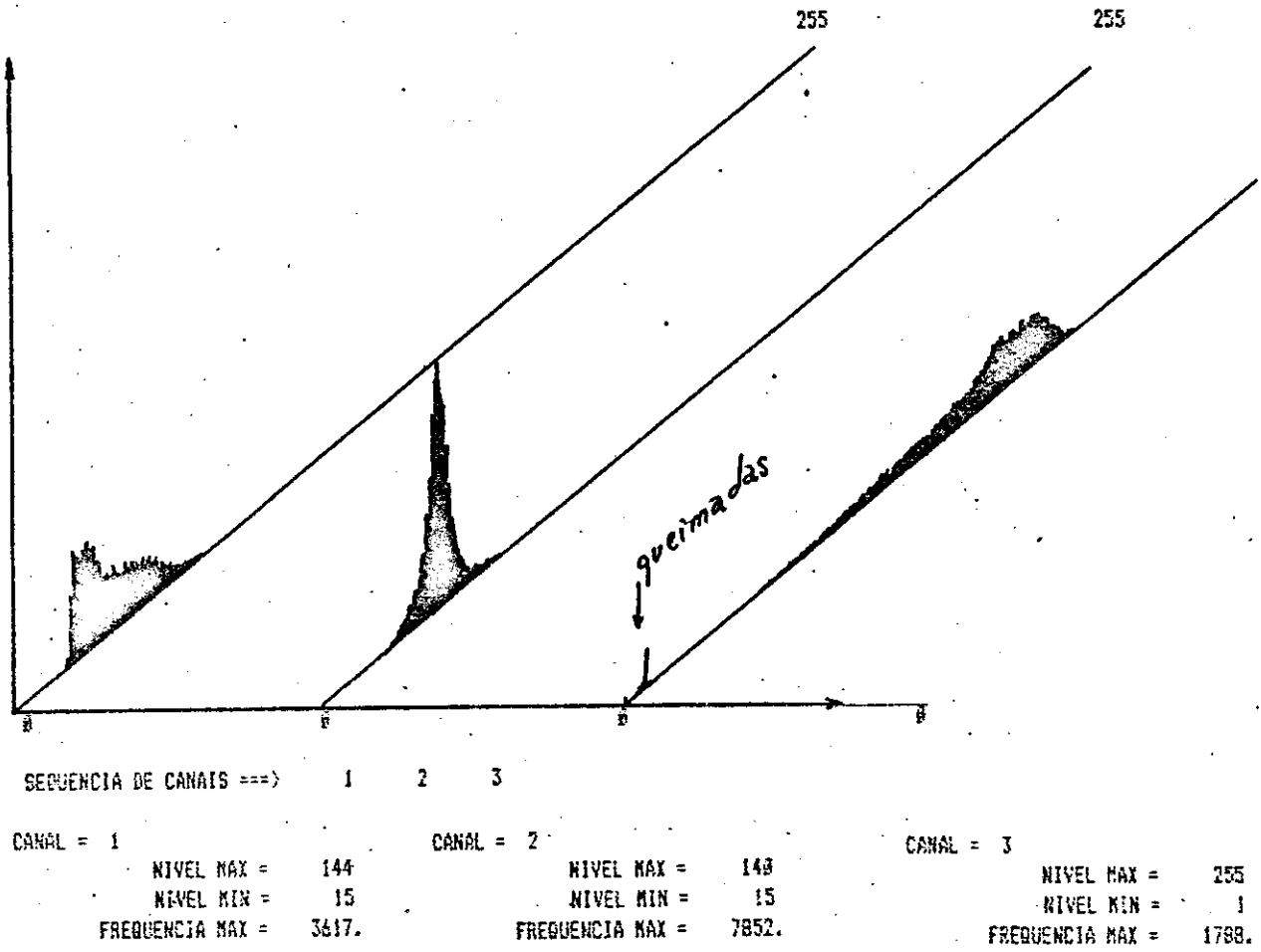


Fig. 4.20 - Histograma em forma de barras da frequência de ocorrência de níveis de cinza para uma região ao sul do Pará no dia 09/08/85.

Area do cursor: X1= 376, Y1=282; X2=387, Y2=298.

BANDA 1

	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387
282	76	60	64	53	42	37	32	28	27	25	29	40
283	63	46	45	41	35	35	33	32	30	30	44	47
284	51	47	43	35	32	31	33	33	30	30	75	104
285	77	75	52	39	35	33	34	34	32	33	72	69
286	105	76	49	42	38	35	35	35	35	33	39	30
287	90	60	54	60	47	41	37	34	36	34	26	27
288	75	63	65	96	61	56	47	35	34	34	31	29
289	76	88	94	85	59	44	41	36	30	34	33	32
290	93	100	75	75	94	79	54	39	31	30	33	36
291	65	68	64	92	127	82	49	36	34	30	30	30
292	37	41	47	65	73	65	35	33	51	56	32	27
293	31	33	32	32	32	34	29	27	31	39	36	34
294	30	28	24	23	28	37	34	31	32	32	49	37
295	32	30	28	27	25	28	28	44	53	45	50	32
296	42	40	34	35	36	34	25	52	59	31	28	32
297	29	30	32	34	34	26	24	33	36	34	23	27
298	28	30	28	25	30	32	25	21	25	37	32	24

BANDA 2

	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387
282	73	59	65	54	46	43	39	32	29	34	39	46
283	58	42	42	41	40	41	41	41	37	35	49	54
284	46	44	39	35	35	37	40	42	38	32	74	102
285	70	69	60	42	40	40	41	42	42	45	72	70
286	98	71	47	43	41	41	41	42	43	40	38	33
287	86	56	50	58	49	44	43	41	42	39	29	37
288	70	57	79	92	61	56	51	42	41	41	41	47
289	69	83	89	91	59	46	42	40	39	41	43	44
290	87	94	70	71	91	76	52	38	36	43	42	44
291	60	63	59	83	123	85	49	37	40	47	40	37
292	34	37	44	60	69	44	35	39	59	62	43	36
293	34	34	33	31	39	31	34	41	40	47	48	46
294	41	42	36	34	33	36	40	45	39	38	55	52
295	45	43	34	38	42	43	47	57	60	52	55	49
296	48	49	41	40	42	44	43	62	69	43	34	44
297	37	40	42	40	40	45	46	43	47	40	37	41
298	36	40	37	33	43	48	45	33	36	54	53	42

BANDA 3

	376	377	378	379	380	381	382	383	384	385	386	387
282	118	98	93	95	99	98	90	95	82	54	89	123
283	128	130	121	114	103	101	91	89	59	4	30	107
284	135	126	129	124	117	107	94	80	37	1	12	85
285	99	94	114	112	108	100	92	86	76	67	84	125
286	74	114	115	44	54	99	95	93	79	72	99	120
287	101	134	124	101	113	100	95	93	78	72	106	114
288	125	130	99	83	109	91	88	84	79	72	90	112
289	115	94	97	113	121	126	93	7	8	45	73	101
290	85	94	125	102	72	84	74	8	8	4	91	93
291	114	119	117	78	57	113	8	8	8	7	74	92
292	133	139	132	116	115	8	8	8	8	22	69	99
293	120	135	158	224	8	8	8	8	50	63	62	79
294	112	123	173	177	8	8	8	8	67	67	59	101
295	104	53	4	3	4	8	8	32	59	59	85	109
296	22	21	5	9	7	45	97	61	89	104	104	83
297	76	87	61	5	7	91	106	111	118	122	118	93
298	94	83	50	25	71	91	100	121	108	97	112	104

Fig. 4.21 - Janela de níveis de cinza para as bandas um (a), dois (b) e três (c) mostrando uma área de queimadas na imagem AVHRR de 07/08/85.

Para estudos do comportamento espectral as queimadas foram classificadas conforme a metodologia descrita no item 3.4.3. Os parâmetros estatísticos resultantes da classificação estão na Tabela 4.5.

TABELA 4.5

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RESULTANTES DA CLASSIFICAÇÃO
DE QUEIMADAS NAS IMAGENS AVHRR/NOAA

DIA	MORALD (X1, Y1/X2, Y2)	LIN DA	1			n	z	2			n	z
			Δ	ī	s ²			Δ	ī	s ²		
24/07	(1443, 1109/ 71754, 1611)	3	1- 1	1,09	0,66	22	0,0	1- 8	4,68	6,78	186	0,1
		2	20- 70	41,05	112,69			26- 97	39,67	86,41		
		1	32- 71	31,86	687,03			20-100	36,41	140,20		
26/07	(1931, 1100/ 71447, 1611)	3	1- 1	1,09	0,60	27	0,0	1- 8	5,16	7,92	133	0,1
		2	23- 40	30,93	35,93			21- 69	35,16	80,36		
		1	18- 45	24,28	34,47			16- 84	27,30	104,68		
29/07	(1474, 976/ 7903, 1489)	3	1- 1	1,09	0,60	32	0,0	1- 8	6,25	6,67	239	0,1
		2	15- 71	35,29	120,63			15- 71	35,52	89,45		
		1	14- 71	27,63	166,17			14- 71	28,63	128,74		
04/08	(1728, 1171/ 71799, 1642)	3	1- 1	1,09	0,60	54	0,0	1- 8	6,31	5,84	511	0,2
		2	31-100	47,68	270,54			25-119	48,92	249,93		
		1	21- 98	41,68	370,95			18-122	43,42	167,13		
07/08	(447, 717/ 1157, 1287)	3	1- 1	1,09	0,60	98	0,0	1- 8	6,60	5,59	985	0,4
		2	24- 72	36,75	94,71			24- 72	36,93	55,72		
		1	16- 79	29,29	131,41			16- 79	28,62	99,23		
07/08	(1136, 666/ 1867, 1117)	3	1- 1	1,09	0,60	129	0,0	1- 8	6,35	5,78	1051	0,4
		2	17-129	45,79	217,27			17-129	45,31	170,66		
		1	17-129	39,51	390,52			17-129	40,50	291,18		
09/08	(818, 971/ 1150, 1467)	3	1- 1	1,09	0,60	1029	0,4	1- 8	5,25	8,13	4341	1,8
		2	71-112	39,78	70,25			17-123	39,24	91,56		
		1	29-107	32,11	89,21			16-127	34,29	137,21		
09/08	(368, 971/ 619, 1487)	3	1- 1	1,09	0,60	32	0,0	1- 8	6,75	5,64	386	0,1
		2	19- 82	41,19	195,99			19- 92	39,52	112,87		
		1	18- 88	36,13	365,35			18- 88	32,94	182,36		
09/08	(63, 1190/ 574, 1701)	3	1- 1	1,09	0,60	74	0,0	1- 8	6,77	4,84	877	0,3
		2	23- 82	41,44	171,69			19- 89	39,27	81,69		
		1	19- 89	36,25	237,36			17- 91	33,75	173,38		
09/08	(0, 827/ 511, 1333)	3	1- 1	1,09	0,60	22	0,0	1- 8	6,44	5,96	124	0,1
		2	27-122	69,75	128,75			20-125	46,49	62,41		
		1	22-125	64,46	187,76			19-128	41,82	651,08		
09/08	(517, 827/ 7027, 1713)	3	1- 1	1,09	0,60	54	0,0	1- 8	6,74	4,44	729	0,3
		2	29-109	41,11	129,51			22-123	46,09	72,30		
		1	2-105	37,89	192,82			17-127	37,79	128,58		
09/09	(1024, 827/ 1575, 1733)	3	1- 1	1,09	0,60	763	0,3	1- 8	4,96	8,44	3061	1,2
		2	22-103	41,82	54,43			17-114	40,93	74,20		
		1	20-109	33,77	76,53			16-119	34,36	123,90		
09/08	(0, 1333/ 511, 1946)	3	1- 1	1,09	0,60	79	0,0	1- 8	6,72	4,97	924	0,4
		2	21- 82	39,90	111,14			19- 88	38,54	89,46		
		1	19- 88	34,62	205,93			16- 91	23,14	165,09		
09/09	(512, 1333/ 1027, 1946)	3	1- 1	1,09	0,60	145	0,1	1- 8	5,97	6,79	954	0,4
		2	18- 98	33,92	55,97			16-102	34,20	152,52		
		1	16-107	30,43	173,58							

Legenda: Δ = Intervalo radiométrico; ī = média dos níveis de cinza de n pixels;
s² = variância dos níveis de cinza de n pixels; n = número de pixels amostrados
z = porcentagem do píxel ocupada por n pixels.

Os valores médios dos píxeis calculados para o tema queimada variaram dentro de um intervalo de previsão (ver ítem 3.4.3) para a banda um, dois e três em 34±34, 40±28 e 6±7 respectivamente. Mais adiante estes valores serão usados para a curva de comportamento espectral de queimadas para o satélite NOAA.

Para uma comparação espectral entre as áreas queimadas e as de vegetação intacta, foi utilizado o algoritmo de cela simples; as médias e desvios-padrões, assim como o número e o intervalo de níveis de cinza das amostras, estão na Tabela 4.6.

TABELA 4.6

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RESULTANTES DA CLASSIFICAÇÃO
DE VEGETAÇÃO NAS IMAGENS AVHRR/NOAA

DATA	BANDA	VARIACÃO RADIOMÉTRICA	MÉDIA	VARIÂNCIA	TAMANHO DA AMOSTRA	MÉDIA TOTAL	AMOSTRA TOTAL
19/07	1	15 - 19	15,05	0,05	2100		
	2	35 - 37	34,31	0,31			
	3	175 - 144	140,15	2,03			
	1	15 - 21	19,58	0,32	100	15,26	2200
	2	40 - 44	42,13	0,55			
	3	136 - 143	138,76	1,82			
20/07	1	16 - 26	15,61	3,29	36		
	2	39 - 47	40,38	2,06			
	3	120 - 143	140,33	15,39			
	1	18 - 18	18,00	0,00	884	17,95	920
	2	31 - 47	41,41	0,70			
	3	120 - 143	135,95	3,72			
21/07	1	16 - 18	16,72	0,22	196		
	2	37 - 40	38,91	1,01			
	3	134 - 137	136,42	1,03			
	1	15 - 15	15,17	0,14	836		
	2	31 - 39	35,40	0,75			
	3	135 - 143	141,27	2,65			
1	15 - 16	15,26	0,19	100	15,45	1132	
2	34 - 37	35,40	...				
3	137 - 144	140,21	...				
26/07	1	17 - 20	19,06	0,06	100		
	2	40 - 44	42,34	0,82			
	3	137 - 141	138,73	0,62			
	1	19 - 20	19,36	0,23	140		
	2	41 - 45	42,86	0,72			
	3	135 - 141	138,31	1,20			
1	20 - 20	20,00	0,00	36	19,33	274	
2	43 - 45	44,17	0,31				
3	135 - 139	138,75	0,96				
27/07	1	15 - 20	20,00	0,00	324		
	2	41 - 46	43,69	0,65			
	3	137 - 140	138,69	1,54			
	1	15 - 20	19,00	0,00	220		
	2	40 - 45	42,90	0,55			
	3	133 - 139	136,33	1,33			

Tabela 4.6 - continuação

DATA	BANDA	VARIAÇÃO RADIOMETRICA	MEDIA	VARIANCIA	TAMANHO DA AMOSTRA	MEDIA TOTAL	AMOSTRA TOTAL
27/07	1	17 - 20	18,92	0,31	60	19,53	604
	2	42 - 46	43,85	0,86		43,10	
	3	133 - 140	136,20	2,33		136,51	
29/07	1	17 - 18	17,26	0,19	100		
	2	40 - 43	41,31	0,37			
	3	129 - 134	131,60	1,22			
	1	17 - 20	17,25	0,21	748	17,25	848
	2	38 - 48	42,73	2,46		42,56	
	3	125 - 143	135,75	7,36		135,	
31/07	1	16 - 18	16,57	0,29	100		
	2	36 - 39	37,61	0,32			
	3	133 - 138	31,04	1,08			
	1	16 - 19	17,38	0,40	60		
	2	32 - 40	38,20	1,59			
	3	111 - 141	138,77	31,04			
	1	17 - 18	17,12	0,10	60		
	2	36 - 39	37,93	0,83			
	3	136 - 141	138,77	1,68			
	1	16 - 17	16,01	0,01	100		
	2	35 - 39	36,64	0,93			
	3	129 - 141	133,47	4,99			
1	16 - 21	16,71	0,93	140	16,67	460	
2	32 - 42	36,23	2,36		37,01		
3	126 - 143	138,40	8,13		135,77		
05/08	1	17 - 17	17,00	0,00	156		
	2	34 - 38	36,25	1,12			
	3	139 - 148	142,48	1,50			
	1	17 - 18	17,89	0,10	36		
	2	35 - 36	35,83	0,14			
	3	134 - 142	139,08	2,36			
	1	17 - 18	17,50	0,25	140		
	2	31 - 36	34,36	0,59			
	3	136 - 144	140,69	1,96			
	1	18 - 21	18,07	0,17	140		
	2	33 - 37	35,02	0,19			
	3	134 - 138	141,84	2,75			
1	18 - 18	18,00	0,00	84			
2	34 - 35	34,99	0,01				
3	140 - 148	142,89	...				
1	19 - 20	19,92	0,08	36			
2	42 - 45	43,44	0,58				
3	132 - 135	133,11	0,88				

Tabela 4.6 - continuação

DATA	BANDA	VARIACAO RADIOMETRICA	MEDIA	VARIANCIA	TAMANHO DA AMOSTRA	MEDIA TOTAL	AMOSTRA TOTAL
05/08	1	19 - 23	19,99	0,23	100	16,07 35,82 140,45	692
	2	34 - 39	36,25	0,87			
	3	130 - 143	136,09	5,66			
06/08	1	19 - 20	19,89	0,10	36		
	2	42 - 44	43,33	0,33			
	3	132 - 136	133,86	0,56			
	1	20 - 21	20,89	0,10	36		
	2	44 - 47	...	0,63			
	3	116 - 130	126,42	7,74			
	1	19 - 23	19,94	0,75	484		
	2	40 - 47	43,25	1,75			
	3	129 - 144	137,29	6,68			
	1	20 - 23	20,47	0,64	36		
	2	43 - 47	45,31	0,66			
	3	121 - 129	126,14	2,62			
1	20 - 23	21,10	0,22	60			
2	43 - 46	44,75	0,55				
3	125 - 133	128,30	2,18				
1	20 - 21	20,72	0,20	36	20,16 43,69 128,52	688	
2	44 - 45	45,06	0,33				
3	128 - 132	130,11	0,87				
DATA	BANDA	VARIACAO RADIOMETRICA	MEDIA	VARIANCIA	TAMANHO DA AMOSTRA	MEDIA TOTAL	AMOSTRA TOTAL
07/08	1	20 - 22	20,15	0,19	60		
	2	44 - 49	46,43	0,95			
	3	125 - 132	128,87	2,68			
	1	18 - 21	19,27	0,30	60		
	2	35 - 46	42,92	4,21			
	3	126 - 136	129,08	3,64			
	1	19 - 19	19,00	0,00	60		
	2	40 - 45	42,63	1,07			
	3	125 - 131	128,35	1,66			
	1	19 - 20	19,12	0,10	60		
	2	40 - 46	42,15	0,99			
	3	113 - 132	127,10	12,16			
1	18 - 21	19,09	0,11	192			
2	31 - 45	42,42	2,47				
3	121 - 138	128,88	...				
1	18 - 20	18,57	0,26	694			
2	35 - 41	38,13	0,80				
3	127 - 136	133,18	2,17				
1	18 - 19	18,42	0,24	180			
2	37 - 42	38,33	0,71				
3	130 - 139	135,50	3,34				

Tabela 4.6 - conclusão

DATA	BANDA	VARIAÇÃO RADIOMETRICA	MEDIA	VARIANCIA	TAMANHO DA AMOSTRA	MEDIA TOTAL	AMOSTRA TOTAL
07/08	1	16 - 19	17,15	0,18	1140	18,02	2436
	2	34 - 43	37,25	2,14		38,60	
	3	120 - 143	137,19	7,15		134,41	
09/08	1	16 - 22	17,69	0,43	140		
	2	36 - 41	37,70	0,77			
	3	117 - 141	133,80	6,83			
	1	18 - 19	18,38	0,24	100		
	2	35 - 38	37,17	0,56			
	3	123 - 134	128,91	5,34			
	1	19 - 21	19,14	0,18	36		
	2	34 - 49	43,19	5,55			
	3	128 - 138	131,47	4,14			
	1	18 - 19	18,23	0,18	60		
	2	42 - 44	42,53	0,52			
	3	114 - 127	123,15	4,23			
1	18 - 21	18,23	0,25	1020			
2	40 - 45	42,78	0,63				
3	114 - 128	124,04	3,79				
1	18 - 19	18,01	0,01	140	18,11		
2	42 - 44	37,83	0,52		38,65		
3	114 - 140	133,98	1,49		131,31	476	

Desta forma, as médias para o tema vegetação, dentro de uma variação estimada pelo intervalo de previsão, foram 17 ± 1 , 38 ± 3 e 137 ± 5 , para as bandas um, dois e três, respectivamente.

A partir dos dados da Tabela 4.5 e 4.6 foi construído o espaço de atributos dos níveis de cinza dos temas queimadas e vegetação. A Figura 4.22 mostra esses gráficos.

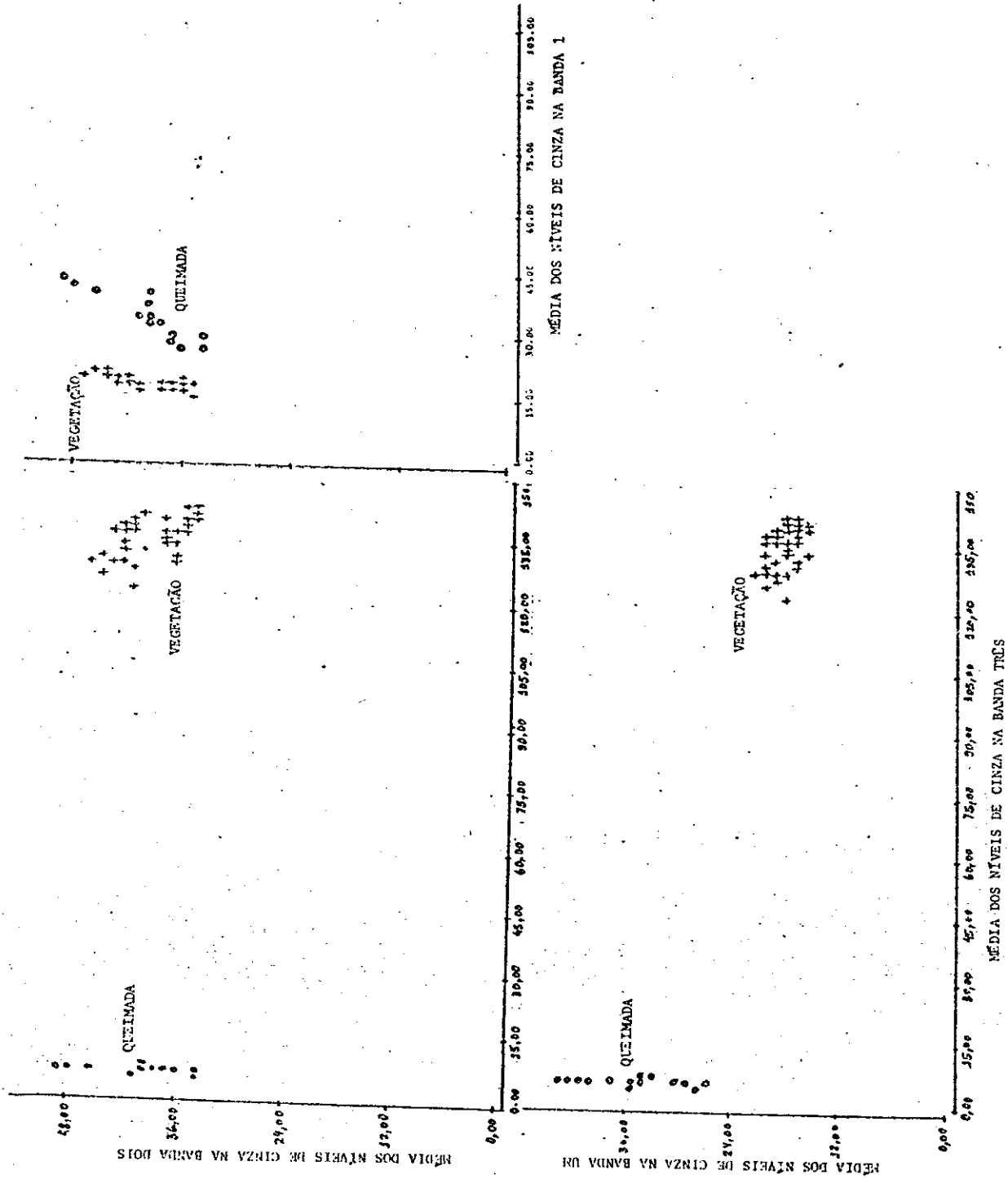


Fig. 4.22 - Espaços de atributos bi-dimensionais dos temas vegetação e queimada nas bandas um (0,58-0,68 μm), dois (0,725-1,10 μm) e três (3,55-3,93 μm).

Com esses gráficos plotados, nota-se diferenças bastante significativas entre os temas vegetação e queimadas: a primeira é a da banda 3, nas Figuras 4.22(a) e 4.22(b) a maior temperatura é associada às queimadas. E na Figura 4.22(c) nota-se uma alteração já esperada, ou seja, as queimadas apresentam uma reflectância maior na banda 1 devido à ausência de cobertura vegetal, conforme o descrito no item 3.4.2. As médias gerais de todas as amostras de queimada e vegetação na banda 2, são aproximadamente iguais (40 ± 28 e 38 ± 3 , respectivamente), embora fosse esperado que a resposta de queimadas fosse bem mais baixa (ver item 3.6.1). Este comportamento deve-se ao fato de que as queimadas foram detectadas através da banda três, e nesta, o efeito de nuvens e plumas de fumaça é minimizado; isto fez com que as amostras de queimadas tivessem alguma contaminação por nuvens e fumaça. Por este motivo, os valores digitais nas bandas 1 e 2 tendem a ser maiores do que o real.

O aumento da contaminação por fumaça proveniente de queimadas é bem evidenciado na Figura 4.23, aonde é apresentada uma composição das informações obtidas pelas imagens de satélite durante o período do GTE/ABLE-2A. A Figura 4.23(a) mostra todas as plumas observadas no período de 20 a 31 de julho e a Figura 4.23(b) as plumas observadas no período de 03 a 09 de agosto. Nota-se claramente o grande aumento da área coberta pelas plumas de fumaça neste segundo período, e devido às limitações na aquisição de dados de satélite com respeito a cobertura de nuvens e problemas de gravação de imagens, podemos dizer que esses dados na Figura 4.23 são um limite inferior para a estimativa do impacto causado pelas queimadas sobre a atmosfera da floresta Amazônica.

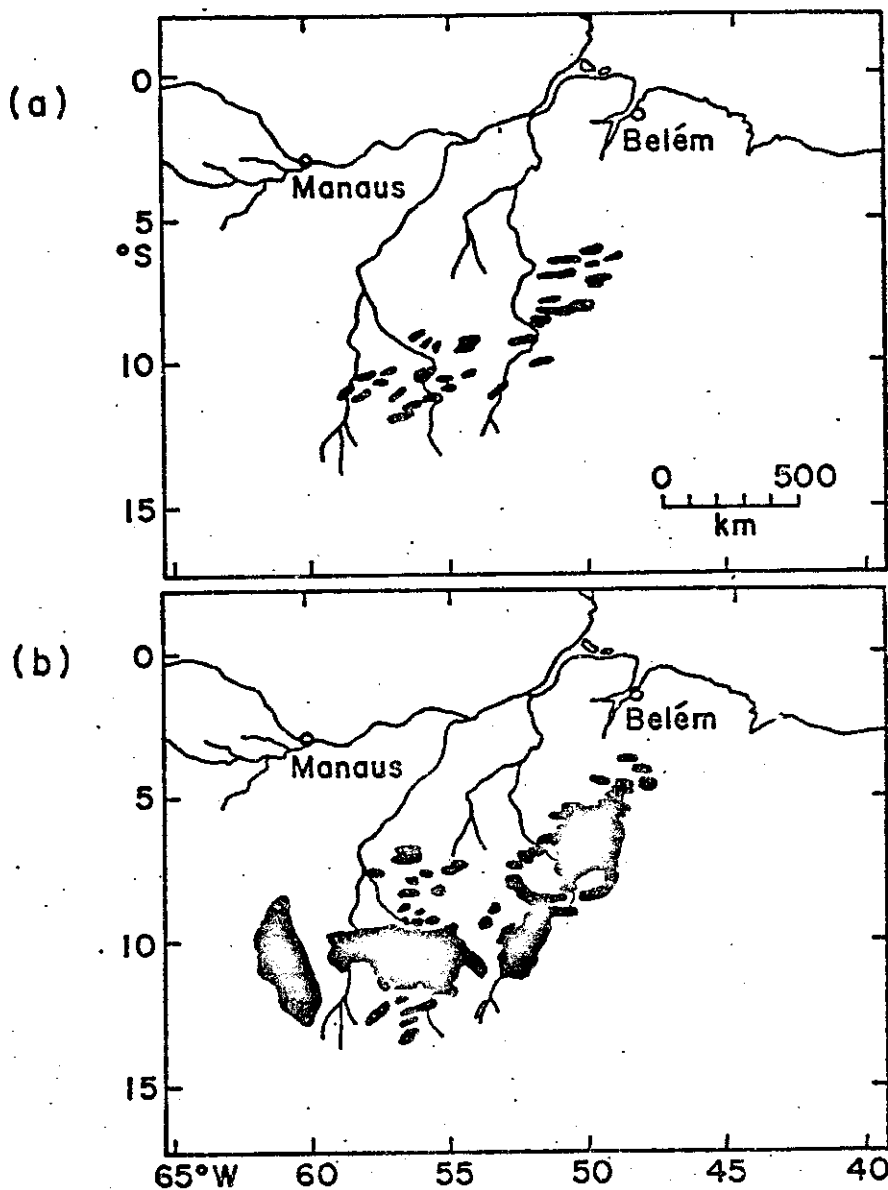


Fig. 4.23 - Plumas de fumaça encontradas no período de 20 a 31 de julho (a) e seu aumento no período de 03 a 09 de agosto (b).

FONTE: Andrea et alii (1987).

Através do programa single-cell classificou-se as plumas de fumaça, obtendo-se os parâmetros estatísticos resumidos na Tabela 4.7.

TABELA 4.7

PARÂMETROS ESTATÍSTICOS RESULTANTES DA CLASSIFICAÇÃO
DE FUMAÇA NAS IMAGENS AVHRR/NOAA

DATA	BANDA 1		BANDA 2		BANDA 3		N
	\bar{X}	S^2	\bar{Y}	S^2	\bar{X}	S^2	
21/07	26,23	0,77	38,57	1,11	147,42	9,94	100
"	47,32	26,52	46,77	3,75	151,55	3,08	60
"	48,75	18,94	47,46	3,95	152,17	2,14	36
27/07	26,88	5,54	38,50	2,38	147,20	9,94	60
"	27,38	4,84	42,40	1,11	146,52	7,22	60
"	42,27	10,60	41,57	9,58	141,65	1020,00	60
31/07	32,83	6,58	39,28	3,42	138,28	20,15	36
"	49,76	31,16	45,96	13,36	146,79	15,75	100
"	50,30	42,25	46,47	20,51	142,16	69,80	140
"	57,85	10,90	54,17	4,64	147,58	9,75	36
05/08	26,75	0,59	43,44	0,91	142,26	3,70	588
"	28,84	6,51	42,37	1,32	142,41	6,95	1332
"	32,55	1,95	42,26	0,54	143,00	6,74	468
"	40,06	10,77	42,61	2,57	143,89	11,27	36
"	41,19	3,66	44,44	1,52	146,08	2,69	36
06/08	39,78	4,62	44,44	0,64	149,72	2,37	36
"	42,47	18,30	43,92	4,47	145,47	4,47	36
"	37,33	1,33	42,92	0,80	146,58	2,58	36
"	36,26	2,15	43,01	1,01	146,15	2,19	100
"	36,08	2,57	44,17	0,64	146,15	3,71	180
07/08	30,28	2,20	43,05	1,89	138,85	6,24	196
"	22,08	0,47	38,28	0,77	134,73	1,32	180
"	25,26	3,82	38,70	1,07	138,51	1,85	140
"	24,83	5,69	38,70	1,73	136,00	4,48	84
"	52,19	11,08	49,30	5,52	144,21	5,34	84
"	46,55	11,22	45,21	5,36	145,31	12,36	84
"	47,14	25,19	44,44	16,04	143,79	47,37	108
"	38,81	13,71	43,39	3,72	142,45	12,55	196
"	50,08	21,24	47,45	11,59	145,74	4,47	156
"	56,35	5,62	53,58	4,47	141,19	38,62	108
09/08	33,22	6,12	42,14	1,23	123,86	38,67	36
"	32,83	23,08	43,03	2,36	138,33	5,61	36
"	37,19	6,27	42,25	2,63	133,22	20,62	36
"	46,87	7,52	48,15	2,33	143,13	9,72	60
"	44,94	9,72	45,67	2,00	139,11	2,21	60
"	51,95	13,30	48,70	2,74	144,44	27,66	196
"	52,76	5,88	48,14	3,78	146,44	26,61	100
"	43,40	29,61	44,55	11,77	143,33	4,08	100
"	48,06	9,14	46,35	3,98	132,59	315,23	1020
"	48,69	7,29	45,17	2,34	122,57	508,95	1020
"	42,45	11,17	39,81	3,62	93,23	268,19	572

Legenda: \bar{X} = média estimada; S^2 = variância estimada;
N = tamanho da amostra

Na banda um, os níveis de cinza classificados tiveram valor médio e intervalo de previsão de 39 ± 8 , na banda dois de 44 ± 5 e na banda três de 136 ± 31 . Pela Tabela 4.8 nota-se um aumento de 129% no valor médio do nível de cinza de fumaça com relação ao nível de cinza de vegetação na banda um apresentado anteriormente. Essas amostras de fumaça foram tomadas com o cuidado de se ter uma área homogênea em termos de temperatura e reflectância nas bandas três e dois, respectivamente, isto é, procurou-se tomar amostras que contivessem os mesmos padrões de níveis de cinza na banda três, e os mesmos padrões de vegetação para os níveis de cinza na banda dois, uma vez que esta é menos afetada. Esta afirmação pode ser evidenciada pelo fato de que houve um aumento de apenas 15,8% no valor médio dos níveis de cinza classificados como fumaça na banda dois em relação ao valor médio dos níveis de cinza classificados como vegetação nesta banda. Em termos de temperatura as duas médias praticamente não apresentam diferenças; apenas as variâncias das amostras de fumaça apresentam-se maiores. Nota-se também que a maioria das amostras possui uma maior variância na banda um com relação à banda dois, denotando mais uma vez que o efeito da fumaça é maior para os comprimentos de onda menores do espectro ótico.

TABELA 4.8

MÉDIAS E INTERVALOS DE PREVISÃO NAS BANDAS UM, DOIS E TRÊS
DOS TEMAS QUEIMADA, VEGETAÇÃO E FUMAÇA CLASSIFICADOS
PELO SINGLE-CELL DO TEMA QUEIMADA EM IMAGENS AVHRR

	QUEIMADA	VEGETAÇÃO	FUMAÇA
1	34 + 34	17 + 1	39 + 8
2	40 + 28	38 + 3	44 + 5
3	6 + 7	137 + 5	136 + 31

Observou-se também que na banda um o valor médio dos níveis de cinza classificados como queimada é apenas ligeiramente inferior ao dos de fumaça, contrastando com a diferença existente entre a média para a vegetação e a média para a fumaça. Este fato é em grande parte devido à influência mínima de fumaça sobre os níveis de cinza classificados primeiramente na banda três, conforme a metodologia usada. O intervalo de previsão da banda um para o tema queimada mostra que teríamos sérios problemas de classificação caso adotássemos um outro método que não o de agrupamento, conforme usado para a classe queimada.

Com os valores encontrados na Tabela 4.6 foi construída a curva do comportamento espectral nas bandas um, dois e três de imagens AVHRR/NOAA para os temas queimada, vegetação e fumaça (Figura 4.24).

Em termos gerais, notou-se um aumento de contaminação atmosférica por gases traço e aerossóis produzidos em queimadas a medida que o final do experimento chegava e a estação seca estabelecia-se. Esta contaminação se deu por sobre grandes regiões, atingindo praticamente toda a atmosfera sobre a floresta Amazônica.

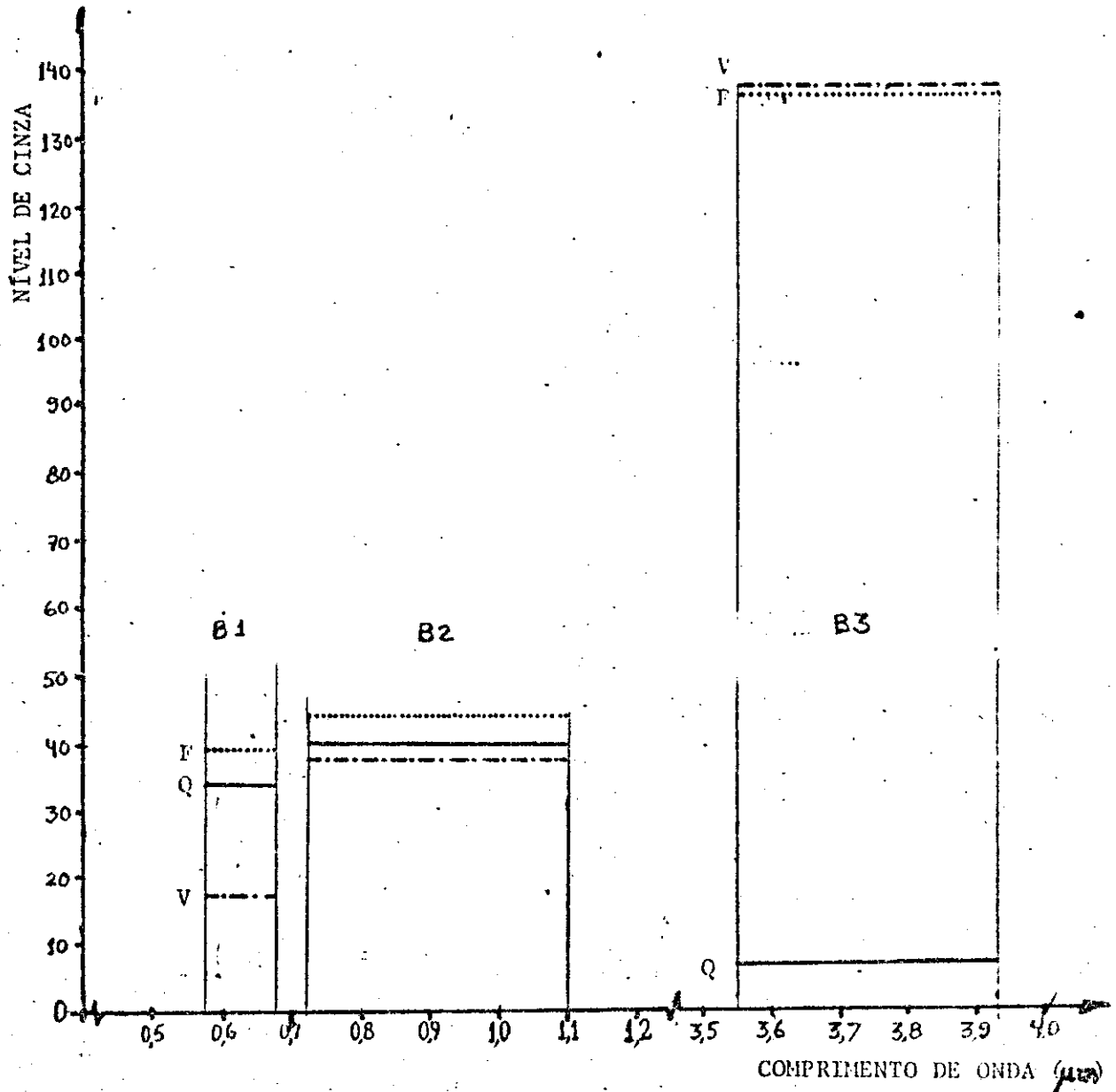


Fig. 4.24 - Curva do comportamento espectral de queimadas, vegetação e fumaça nas bandas um (B1), dois (B2) e três (B3) das imagens AVHRR/NOAA.

Legenda: V = Vegetação; Q = queimada; F = Fumaça.

4.2 - RESULTADOS NAS IMAGENS TM/LANDSAT.

Dos resultados obtidos em termos de localização e quantificação de queimadas analisadas nas imagens AVHRR/NOAA, e em função da disponibilidade física de processamento de imagens TM/LANDSAT para comparações entre os dois sistemas de imageamento, escolheu-se uma área ao norte do Mato Grosso para os estudos com as imagens TM/LANDSAT (veja Figura 4.2).

Para a análise visual destas imagens foram utilizadas composições coloridas com as bandas 3, 4 e 5 conforme a descrição feita no item 3.4.2, e Tabela 3.7.

Nestas composições a vegetação adquire tonalidades amarelas (resultado da soma de vermelho com verde), e as queimadas, tonalidades vermelhas (ou magentas), pois são áreas de baixa reflectância na imagem posterior às queimadas e mais altas na imagem anterior, ainda com a vegetação intacta. Para a primeira composição, temos uma menor definição da tonalidade vermelha pois a vegetação tem reflectância menor na banda 5 com relação à banda 4. Na segunda composição, o tom vermelho distinguindo as queimadas dos outros alvos é bem mais intenso.

4.2.1 - COMPARAÇÃO QUALITATIVA ENTRE AS IMAGENS AVHRR E TM.

Uma das imagens TM/LANDSAT escolhida para o processamento digital inicial foi a de 11 de agosto de 1985, órbita 227, ponto 67, cuja área de estudo foi demarcada com um retângulo Figura 4.2. Esta data escolhida foi a mais próxima possível do fim do período de pesquisas do GTE/ABLE-2A, permitindo uma comparação com a imagem AVHRR/NOAA de 09/08/85 para a identificação de áreas queimadas.

Utilizou-se também as imagens de 26 de julho de 1985 tomadas pelos sensores AVHRR e TM, para uma comparação entre imagens do mesmo dia. Inicialmente procurou-se identificar áreas de queimadas dentro do 1º quadrante da imagem TM através de uma análise visual, nas bandas 3, 4 e 5, com amostragem de pixels (foram transferidos para a tela do I-100 512x468 pixels amostrados em 2560x2340 pixels da imagem original). Este número de pixels associados com as dimensões do vídeo do I-100 (~ 30x30 cm) proporciona uma imagem no vídeo com escala aproximada de 1:256.000 (Figura 4.25). Para uma comparação com a imagem AVHRR da mesma área, transferiu-se para o vídeo do I-100, 64x64 pixels das bandas 1, 2 e 3 do AVHRR, com repetição de pixels (64x64 pixels da imagem original são colocados nos 512x512 pixels do vídeo do I-100), isto é, cada 64 pixels do I-100 são correspondentes à um pixel da imagem AVHRR original, proporcionando uma escala aproximada de 1:230.000 no vídeo (Figura 4.26).

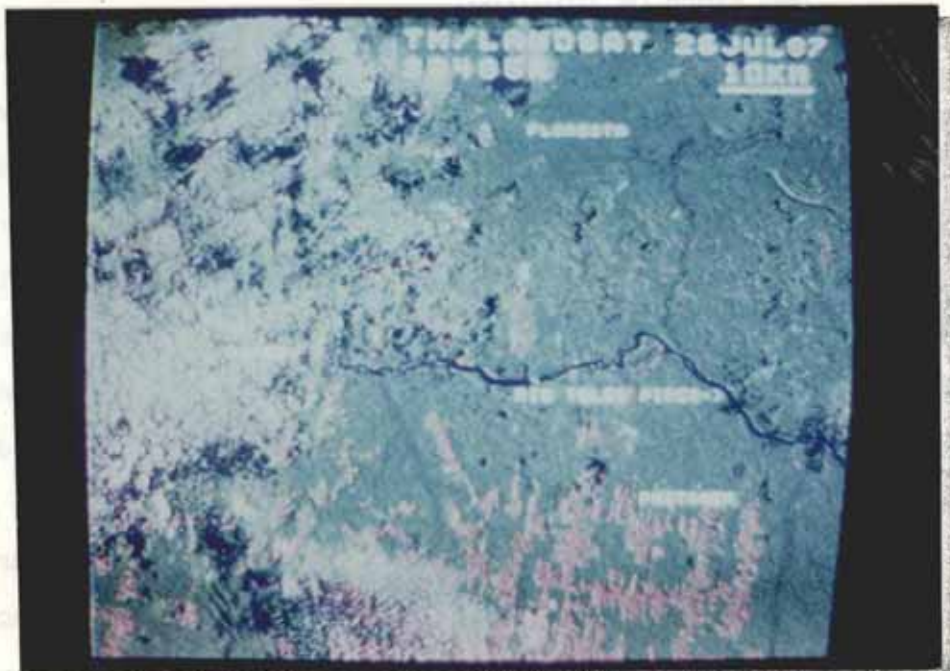


Fig. 4.25 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando 2560x2340 pixels amostrados da imagem TM de 26/07/85.

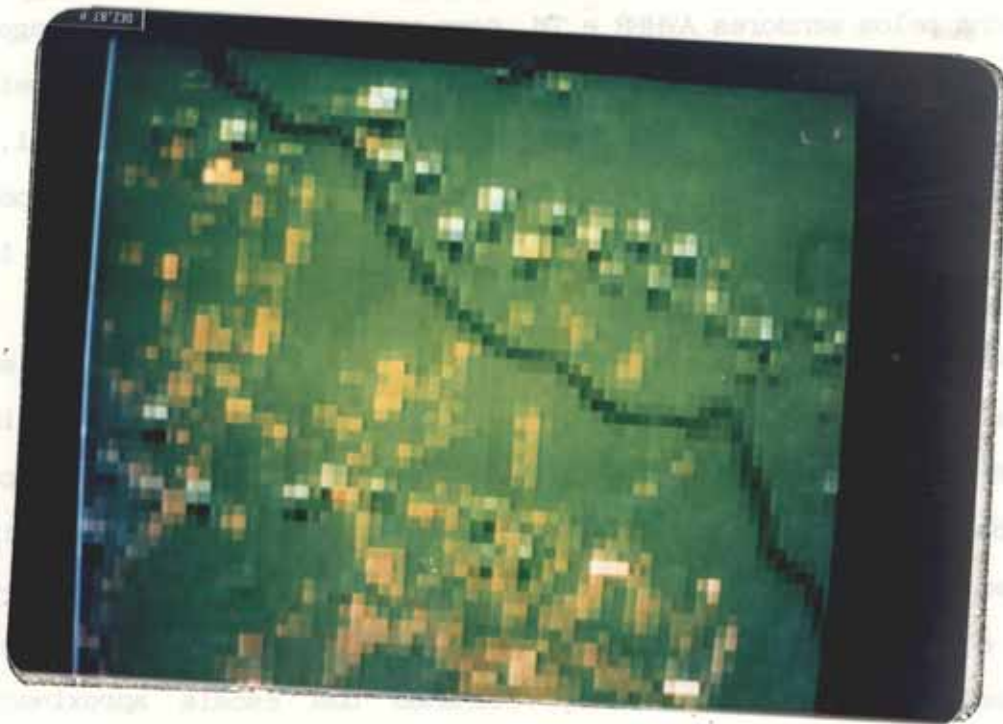


Fig. 4.26 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando 64x64 pixels da imagem AVHRR de 26/07/85.

Através da análise visual dessas imagens, observou-se que elas contêm distorções geométricas inerentes às formas de imageamento de cada satélite. O LANDSAT executa o imageamento sempre em órbita descendente (sentido Norte-Sul) e o NOAA-9, para as imagens analisadas, executou o imageamento em órbita ascendente (sentido Sul-Norte). Estas duas formas de imageamento causam principalmente uma rotação na posição relativa entre as duas imagens, quando analisadas no vídeo do I-100. Outras distorções geométricas também podem ser encontradas, e para eliminá-las seria necessário um registro de imagens sobre uma carta base. Uma desvantagem deste processo seria as novas modificações incluídas na imagem original, por exemplo, com a alteração de valores de níveis de cinza devido às interpolações realizadas durante a execução do registro. Como já ocorre amostragem e repetição de pixels, as imagens originais seriam muito mais alteradas de maneira que o resultado final

poderia ser menos satisfatório, além de o trabalho envolvido ser dispendioso. Desta forma, a diferença de resolução entre as imagens analisadas, assim como a diferença de informações espectrais, mostraram que a identificação das áreas com alteração ou não na cobertura vegetal, na imagem AVHRR e na imagem TM são correspondentes, porém a identificação das áreas queimadas ou com incêndios ativos é mais facilmente percebível nas imagens AVHRR, sendo necessário alcançar um nível de detalhamento maior nas imagens TM, para que esta identificação possa ser feita.

4.2.2 - IDENTIFICAÇÃO DE QUEIMADAS EM IMAGENS TM.

A hipótese de que estamos analisando queimadas, baseia-se em informações de autores anteriores (Ponzoni et alii, 1986; Pereira e Di Lascio, 1986), em comunicações pessoais de pesquisadores que já trabalharam com queimadas e sobre esta comparação qualitativa entre as imagens TM e AVHRR.

Na continuação da análise iniciada no item anterior, as bandas 4 e 5 das imagens de 26 de julho e 11 de agosto de 1985 foram transferidas para os quatro canais disponíveis no I-100, em escala 1:51.200, fazendo-se uma classificação das áreas de queimadas com o algoritmo cela-simples, utilizando imagens multitemporais.

Para a sobreposição das duas imagens é necessário apenas um registro simples através de uma translação de uma das imagens, pois para as imagens TM a distorção geométrica existente entre uma data e outra é mínima, conforme observado anteriormente por Pereira e Di Lascio (1986), que citaram a boa qualidade das correções geométricas realizadas no pré-processamento das imagens em Cachoeira Paulista (SP).

Na classificação do módulo apresentado na Figura 4.31 através de célula simples, várias amostras foram tomadas para queimadas, sendo que um total de 7.239 pixels foram classificados como queimadas, ou seja, aproximadamente 6,5 km² (2,8% do módulo).

O tema queimada classificado apresentou uma média para os níveis de cinza nas bandas 4 e 5 anteriores à queimada de 52,91 e 95,38, respectivamente (variâncias de 47,93 e 218,95). As médias de níveis de cinza para as queimadas nas bandas 4 e 5 da imagem de 11 de agosto foram de 39,08 e 73,40 (variâncias de 21,3 e 107,85), respectivamente, para os 7.239 pixels classificados. Houve queda de reflectância para ambos os canais, mesmo sabendo-se que a imagem de 11 de agosto é, no total da cena, mais clara que a de 26 de julho devido ao efeito de iluminação solar ser diferente em cada uma das imagens, por causa das diferentes declinações solares (Rosa e Sano, 1986; ver item 3.6.2). Assim, se for levado em conta que o valor dos níveis de cinza na imagem de 11 de agosto são maiores do que os da imagem de 26 de julho por causa da iluminação solar diferente, os níveis de reflectância da imagem de 11 de agosto apresentam um grande decréscimo para áreas queimadas.

Ao utilizar as bandas 4 e 5 das imagens de 26 de julho e 11 de agosto observou-se que as composições descritas na Tabela 3.4 são muito úteis para a diferenciação entre água e queimada, isto é, a utilização de imagens multitemporais auxilia na identificação de queimadas ocorridas no período entre as duas imagens. Outro resultado observado foi o de que a banda 4 tem uma boa definição das áreas de queimadas, pois a variância do tema classificado é bem menor do que na banda 5.

4.2.3 - ÁREA TOTAL QUEIMADA NAS IMAGENS ANALISADAS.

De forma geral o 1º e 2º quadrantes apresentaram uma área pequena de queimadas, não sendo feita uma contagem detalhada da área total queimada. Uma estimativa grosseira é de que haveria aproximadamente 50 km² de área queimada em ambos os quadrantes.

Para uma simplificação na contagem da área queimada dentro do 3º e 4º quadrantes, optou-se pela utilização das bandas 3, 4 e 5 da imagem de 11 de agosto, uma vez que a composição colorida utilizada por Ponzoni et alii (1986) é eficiente, e o erro devido a classificação de água como queimada é pequeno.

Iniciou-se fazendo uma contagem módulo a módulo com resolução total da imagem (escala 1:51.200 no vídeo do I-100). Como este processo é demorado, realizou-se um teste para saber qual a diferença entre fazer a contagem módulo a módulo e uma contagem com amostragem, utilizando imagens com escala de 1:102.400 no vídeo do I-100. Esta escala nos dá quatro módulos com resolução total reduzidos a um. O erro cometido neste processo foi de 1% para menos, isto é, subestimou-se a área queimada em 1% para os dois módulos analisados com amostragem.

Para o 3º quadrante a área total queimada encontrada foi de 78-81 km². Para o 4º quadrante a área encontrada foi de 179 km².

Desta forma, a soma total de áreas queimadas nos quadrantes analisados das imagens de 11/08/85 foi de 330 km², muito inferior à estimada na imagem AVHRR (~ 420 km²) de 09/08/85, da mesma região em uma área aproximadamente correspondente no print-out feito para a análise da distribuição espacial de queimadas nesta região (veja o item 4.1.1). Esta diferença pode ser devida à cobertura de nuvens em parte

da imagem TM conforme citado anteriormente, e que apresentava um grande número de queimadas. Outros fatores são os problemas apresentados para a estimativa da área queimada nas imagens AVHRR, descritos no item 4.1.3. Também há um erro grande cometido na estimativa da área no TM, relacionado com o fato de não ter sido feita uma contagem detalhada no 1º e 2º quadrantes, além da estimativa com amostragem do 3º e 4º quadrantes.

De qualquer forma, há uma diferença da estimativa do AVHRR da ordem de 27% superior com relação à do TM. Um trabalho acompanhado pela FAO mostrou uma diferença de 48% (Carneiro, comunicação verbal).

Considerando-se esta diferença de 27%, o total de 8.508.720 ha estimado como área queimada no item 2.1.3, cairia para aproximadamente 6.700.000 ha. Além disso, as estimativas de desmatamentos para o ano de 1985, foram da ordem de 2.700.000 ha, resultando que: do total da área queimada estimada, 40% seriam de desmatamentos recentes e o restante (60%) capoeiras, pastagens, etc...

4.2.4 - ESTUDOS DO COMPORTAMENTO ESPECTRAL DE ALVOS RELACIONADOS COM MUDANÇAS NA COBERTURA VEGETAL EM IMAGENS TM.

Uma vez executada esta contagem, dois módulos foram escolhidos dentro do 4º quadrante (pois foi o que se apresentou com maior número de áreas queimadas), para o estudo de comportamento espectral de queimadas e demais alvos relacionados com mudanças na cobertura vegetal presentes nas imagens TM/LANDSAT.

As coordenadas da imagem para este primeiro módulo eram X1= 3260, Y1=3822, X2=3771 e Y2=4333, e ele incluía quatro grandes áreas queimadas, com uma fazenda com pastagens em vários estágios de desenvolvimento, diferentes tipos de vegetação, e uma parte do rio Teles Pires com alguns afluentes.

Como a banda 4 apresentou boa definição das queimadas, fez-se um teste com uma classificação de queimadas através de cluster, nesta banda, e o resultado apesar de bom, apresentava o problema da confusão entre áreas queimadas mais recentes (níveis de cinza bem baixos) e água (que possui os níveis de cinza naturalmente mais baixos para esta banda). Utilizando-se do single-cell nas bandas 3, 4 e 5, a confusão entre água e áreas queimadas diminuiu, mas persistiu uma pequena confusão entre os dois temas. Ao utilizar celsa simples nas bandas 3, 4 e 5 da imagem de 11 de agosto e a banda 4 ou 5 da imagem de 26 de julho, a confusão existente entre os temas água e queimada desapareceu, mostrando novamente a utilidade do uso de imagens multitemporais.

A área queimada dentro deste módulo foi de 13.325 pixels (equivalente a uma área de 12 km²), com as médias dos níveis de cinza de 34,28 na banda três, 55,72 na banda quatro e 40,30 na banda cinco.

Uma classificação por meio de cels simples foi feita para vários temas dentro do módulo, sendo calculada a área de cada um deles (Tabela 4.9). O tema pasto/solo nu, refere-se a áreas com a vegetação natural alterada e com alta reflectância na banda 5 do TM, indicativo de grande quantidade de solo exposto (Santos, comunicação oral). O tema pasto/vegetação refere-se a áreas com a vegetação alterada, com pastagens provavelmente abandonadas, e com invasão de vegetação secundária - capoeira (Santos, comunicação oral).

TABELA 4.9

ÁREAS DOS TEMAS CLASSIFICADOS COM VÁRIOS TIPOS DE CLASSIFICADORES E AMOSTRAGEM NAS IMAGENS TM DE 11/08/85, BANDAS TRÊS, QUATRO E CINCO

TEMA	TIPOS DE CLASSIFICADORES E MÉTODO DE AMOSTRAGEM											
	SINGLE-CELL			MAXVER DOS TEMAS DO SINGLE CELL (LIMAR=4,5)			MAXVER COM AMOSTRAGEM (LIMAR = 5,0)			MAXVER COM AMOSTRAGEM (LIMAR = 6,0)		
	Nº DE PIXEIS	% DO MÓDULO	ÁREA (KM²)	Nº DE PIXEIS	% DO MÓDULO	ÁREA (KM²)	Nº DE PIXEIS	% DO MÓDULO	ÁREA (KM²)	Nº DE PIXEIS	% DO MÓDULO	ÁREA (KM²)
PASTO/SOLO NU	22.824	8,71	20,54	22.280	8,73	20,59	22.630	8,63	20,37	23.332	8,90	21,00
PASTO/VEGETAÇÃO	19.512	7,44	17,56	19.621	7,48	17,66	24.689	9,42	22,29	26.636	10,16	23,97
RIO	6.524	2,49	5,87	6.600	2,52	5,94	...	...	...	...	...	...
FLORESTA	184.369	70,33	165,93	187.382	71,48	168,64	181.765	69,34	163,59	184.381	70,34	165,94
QUEIMADA	16.608	6,34	14,95	16.613	6,34	14,95	14.954	5,70	13,46	17.593	6,71	15,83
RIO/SEDIMENTOS	2.069	0,79	1,86	2.077	0,79	1,87	...	...	...	...	...	...
NÃO CLASSIFICADOS	...	...	...	6.971	2,66	6,00	18.106	6,91	...	10.202	3,89	...

Utilizando como amostra para classificação do módulo por meio do algoritmo MAXVER os temas anteriormente classificados por cela simples, adotou-se um limiar = 4,5 (distância de Mahalanobis) e calculou-se as áreas para os mesmos temas (Tabela 4.9).

Para uma comparação com estas classificações, fez-se uma amostragem para os temas queimada, floresta, pasto e pasto degradado, adotando-se um limiar 5,0 e outro 6,0. Os resultados das áreas calculadas para cada um dos temas estão descritos na Tabela 4.9.

Os parâmetros das classes pasto, pasto degradado, floresta e queimada amostrados nas bandas 3, 4 e 5 da imagem de 11 de agosto estão na Tabela 4.10 e 4.11.

TABELA 4.10

MÉDIA E VARIÂNCIA DOS TEMAS CLASSIFICADOS COM AS BANDAS TRÊS, QUATRO E CINCO NO MÓDULO UM DA IMAGEM TM DE 11/08/85

BANDAS	T E M A S							
	QUEIMADA n = 1644		FLORESTA n = 2246		PASTO/SOLO NU n = 1420		PASTO/VEGETAÇÃO n = 560	
	X ± e	S	X ± e	S	X ± e	S	X ± e	S
3	39,74 ± 0,65	52,50	26,14 ± 0,10	1,80	48,84 ± 0,39	16,27	39,66 ± 0,33	4,57
4	32,43 ± 0,51	32,54	75,46 ± 0,33	18,63	56,47 ± 0,45	21,64	63,16 ± 0,95	30,22
5	60,81 ± 0,77	73,27	50,60 ± 0,27	12,19	117,78 ± 1,49	236,43	91,45 ± 1,12	52,79

Legenda: X = estimador da média do tema; S = estimador da variância do tema; e = $\sqrt{S/n}$; $\sqrt{1} = 3,645$; $\sqrt{1} = 1\%$.

TABELA 4.11

MATRIZ DE COVARIÂNCIA DOS TEMAS CLASSIFICADOS NAS BANDAS
TRÊS, QUATRO E CINCO NO MÓDULO UM DA IMAGEM TM DE 11/08/85

TEMA	MATRIZ DE COVARIÂNCIA		
QUEIMADA	52,50	24,29	93,02
	24,59	32,54	73,27
	93,02	73,27	215,53
FLORESTA	1,83	0,00	0,78
	0,00	18,83	1,39
	0,78	1,39	12,19
PASTO/ SOLO NU	16,29	11,54	50,53
	11,54	21,64	48,83
	50,53	48,89	236,43
PASTO/ VEGETAÇÃO	4,57	3,71	8,85
	3,71	30,22	18,15
	8,85	18,15	52,78

Alguma diferenças podem ser notadas nos resultados da Tabela 4.9. Uma delas é a escolha do limiar e a outra o tipo de amostragem realizada.

A escolha do limiar é subjetiva, e depende principalmente dos temas a serem classificados e do número de pixels amostrados. Note que mesmo utilizando um limiar = 4,5 apenas 6.971 pixels do módulo não foram classificados em qualquer um dos temas; pois praticamente toda a população de cada um dos temas foi utilizada como amostra na classificação (o tamanho da amostra é igual ao número de pixels classificados com cela simples).

Quando o limiar 5,0 e 6,0 foram utilizados as amostras são menores (observe a Tabela 4.9). Para o limiar = 5,0 temos 18.106 pixels não classificados e para o limiar 6 temos 10.202. Embora um menor número de pixels não tenham sido classificados com este limiar, a confusão entre os temas é aumentada, de forma que temos de achar um limiar ideal entre uma confusão mínima, uma boa classificação e um número máximo de pixels a serem classificados no módulo.

Para esta análise utilizou-se de uma matriz de classificação calculada para vários limiares. Os resultados obtidos nas várias matrizes de classificação estão na Tabela 4.12.

TABELA 4.12

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO PARA SEIS LIMIARES DIFERENTES NA CLASSIFICAÇÃO MAXVER DA IMAGEM DE 11/08/85 (MÓDULO UM)

LIMIARE	TEMA		MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO				
	C	V	NC	1	2	3	4
6,0	1	0,0	99,1	0,0	0,9	0,1	
	2	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	
	3	0,0	0,0	0,0	99,6	0,4	
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	
5,5	1	0,0	99,1	0,0	0,0	0,1	
	2	0,0	0,0	100,0	0,0	0,0	
	3	0,0	0,0	0,0	99,6	0,4	
	4	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	
5,0	1	0,2	99,9	0,0	0,7	0,1	
	2	0,0	0,0	99,9	0,0	0,0	
	3	0,1	0,0	0,0	99,5	0,4	
	4	0,2	0,0	0,0	0,0	99,8	
4,5	1	0,5	99,8	0,0	0,6	0,1	
	2	0,1	0,0	99,9	0,0	0,0	
	3	0,4	0,0	0,0	99,2	0,4	
	4	0,2	0,0	0,0	0,0	99,8	
4,0	1	1,8	98,0	0,0	0,2	0,0	
	2	1,1	0,0	98,9	0,0	0,0	
	3	1,0	0,0	0,0	98,7	0,4	
	4	1,2	0,0	0,0	0,0	98,8	
3,5	1	6,1	93,9	0,0	0,1	0,0	
	2	4,9	0,0	95,1	0,0	0,0	
	3	6,6	0,0	0,0	93,2	0,2	
	4	5,0	0,0	0,0	0,0	95,0	

Legenda: TEMAS: C = CLASSIFICADO; V = VERDADEIRO; 1 = QUEIMADA;
 2 = FLORESTA; 3 = PASTO/SOLO NU; 4 = PASTO/VEGETAÇÃO;
 NC = pixels NÃO CLASSIFICADOS (Valores em %).

Para uma boa compreensão desta matriz de classificação podemos utilizar o esquema montado na Tabela 4.13, que mostra o significado dos resultados desta matriz.

TABELA 4.13

SIGNIFICADO DA MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO DO MAXVER

CLASSE VERDADEIRA	CLASSE RESULTANTE				
	NÃO CLASSIFICADOS	(1)	(2)	(3)	(4)
QUEIMADA (1)	% de pontos da classe queimada que não foram classificados	% de pontos da classe queimada classificados como pasto/vegetação	% de pontos da classe queimada classificados como pasto/solo nu	% de pontos da classe queimada classificados como floresta	% de pontos da classe queimada classificados como queimada
FLORESTA (2)	% de pontos da classe floresta que não foram classificados	% de pontos da classe floresta classificados como queimada	% de pontos da classe floresta classificados como floresta	% de pontos da classe floresta classificados como pasto/solo nu	% de pontos da classe floresta classificados como pasto/vegetação
PASTO/SOLO NU (3)	% de pontos da classe pasto/solo nu que não foram classificados	% de pontos da classe pasto/solo classificados como pasto/veget.	% de pontos da classe pasto/solo classificados como pasto/solo nu	% de pontos da classe pasto/solo classificados como floresta.	% de pontos da classe pasto/solo classificados como queimada
PASTO/VEGETAÇÃO (4)	% de pontos da classe pasto/veg. que não foram classificados	% de pontos da classe pasto/veg. classificados como queimada	% de pontos da classe pasto/veg. classificados como floresta	% de pontos da classe pasto/veg. classificados como pasto/solo nu	% de pontos da classe pasto/veg. classificados como pasto/veget.

A Tabela 4.14 mostra os valores da confusão média, abstenção média e desempenho médio para cada um dos limiares, a Figura 4.27 um gráfico destes valores plotados para os seis limiares.

TABELA 4.14

DESEMPENHO MÉDIO, ABSTENÇÃO MÉDIA E CONFUSÃO MÉDIA

PARA OS SEIS LIMIARES DA CLASSIFICAÇÃO MAXVER

LIMLAR	DESEMPENHO MÉDIO	ABSTENÇÃO MÉDIA	CONFUSÃO MÉDIA
6,0	99,68	0,00	0,4
5,5	99,68	0,00	0,4
5,0	99,55	0,13	0,3
4,5	99,43	0,30	0,3
4,0	98,60	1,28	0,2
3,5	94,30	5,65	0,1

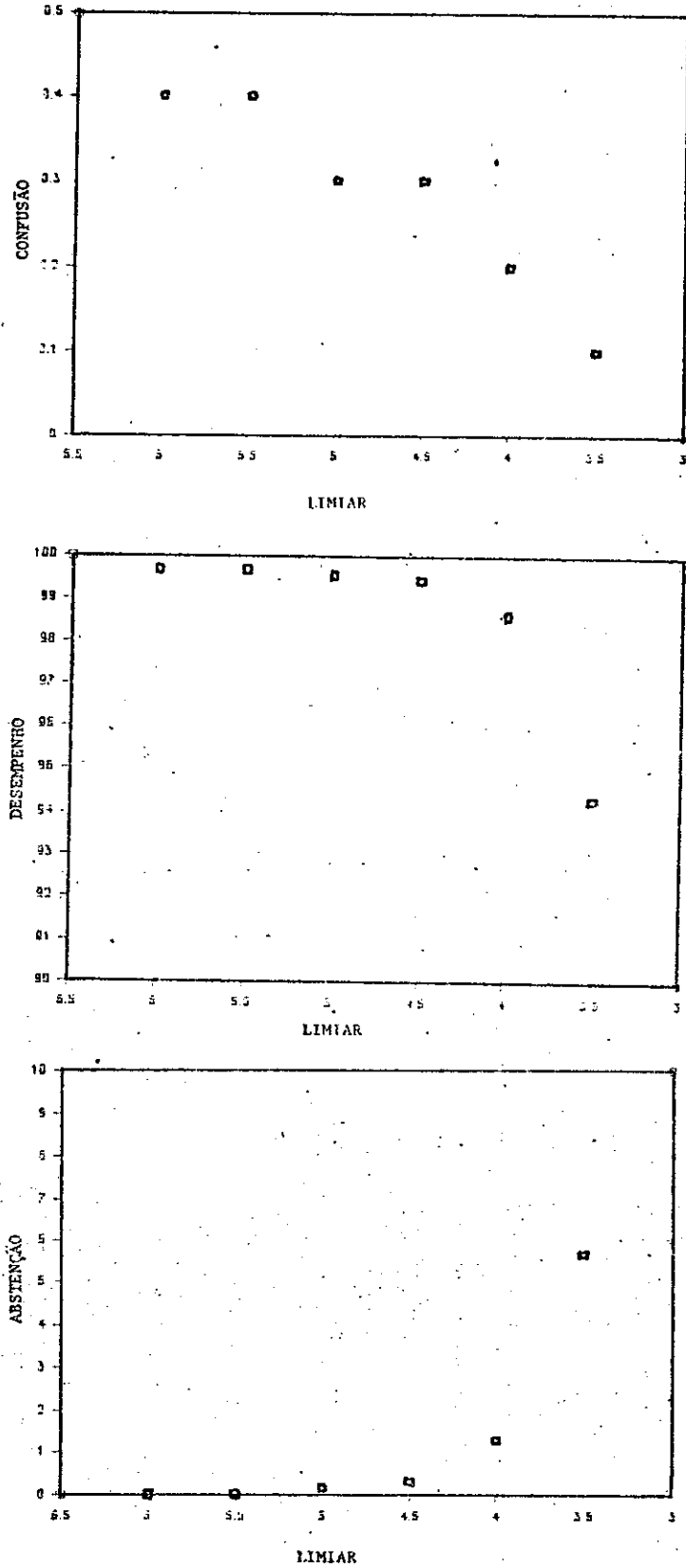


Fig. 4.27 - Gráfico para análise da confusão média (a), desempenho médio (b) e abstenção média (c) para seis limiares.

Desta forma, um bom limiar pode ser escolhido entre 3,8 e 4,2, aonde existe um bom equilíbrio entre confusão, desempenho e abstenção da classificação executada. Para um limiar igual a 4,2 temos um desempenho médio de $\sim 99\%$, uma confusão média $\sim 0,25\%$, e uma abstenção média de $\sim 1,4\%$. É desejável sempre ter um melhor desempenho e menor confusão a ter um maior número de pontos classificados.

A partir da classificação dos temas apresentados com um limiar igual a 4,2, foram montadas as elipses do espaço de atributos para as bandas 3, 4 e 5 (Figura 4.28).

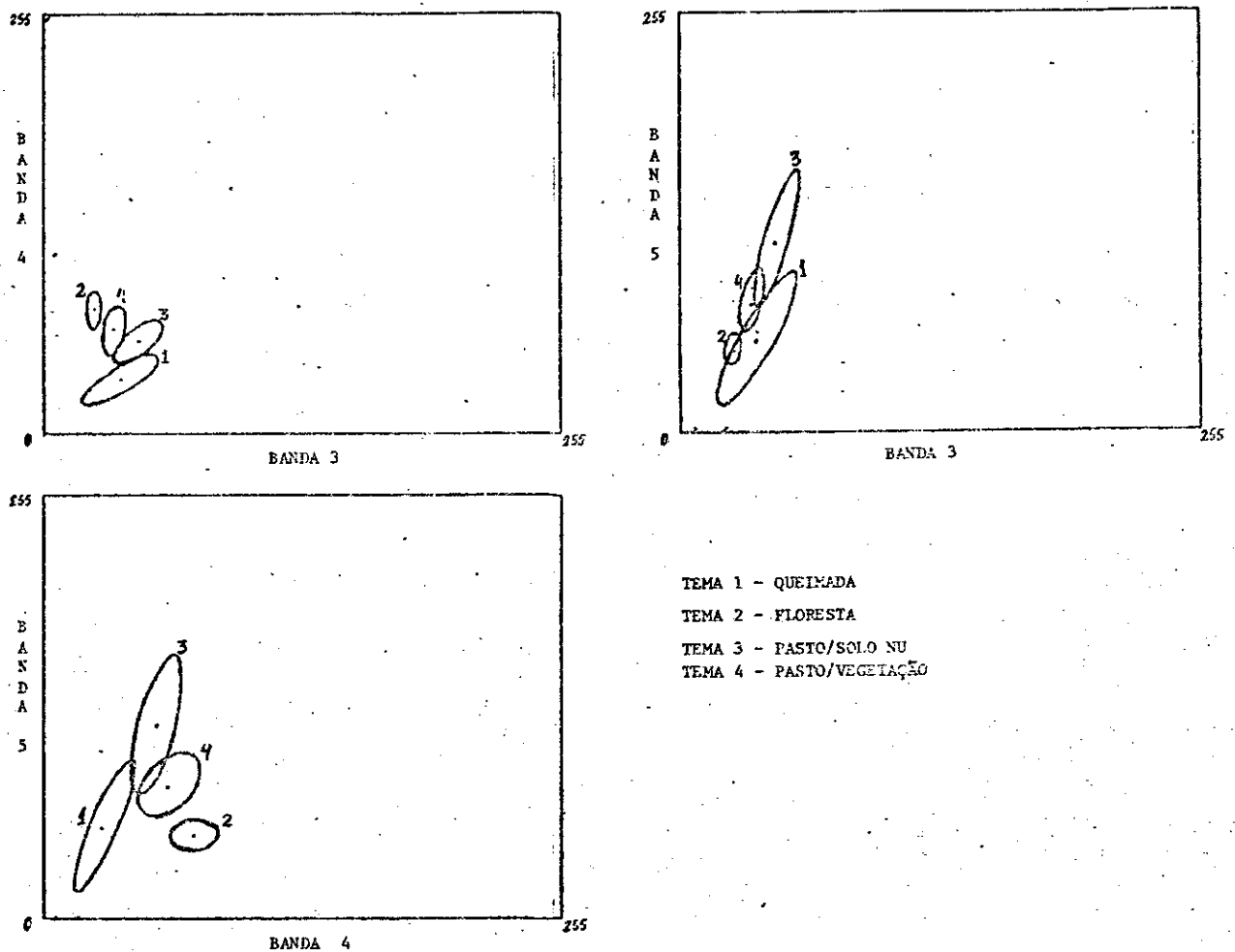


Fig. 4.28 - Espaço de atributos para as bandas 3, 4 e 5, dos temas queimada, floresta, pasto/solo nu e pasto/vegetação plotado com o algoritmo de construção de hiperelipsóides em dois canais (SGX111).

De uma análise visual da Figura 4.28 observa-se que a melhor combinação de bandas para a distinção dos quatro temas classificados está entre as bandas 4 e 5, pois as suas médias estão melhor distanciadas, e após, as bandas 3 e 4. Também, nota-se uma certa confusão entre os temas para as bandas 3 e 5. Esta observação mostra que a banda quatro tem características espectrais que dão uma boa definição para as áreas queimadas.

A análise dos histogramas dos temas queimada e floresta conjuntamente (Figura 4.29) mostra a melhor distinção entre estes dois temas na banda quatro, sendo bem menor esta distinção nas bandas três e cinco. A confusão causada com os pixels classificados como queimada e que na verdade são água, pode ser vista no histograma da banda 5, pois os níveis baixos de nível de cinza estão claramente separados da moda das queimadas. Nota-se também que a floresta é um tema bem definido para todos os canais, com uma curva normal característica.

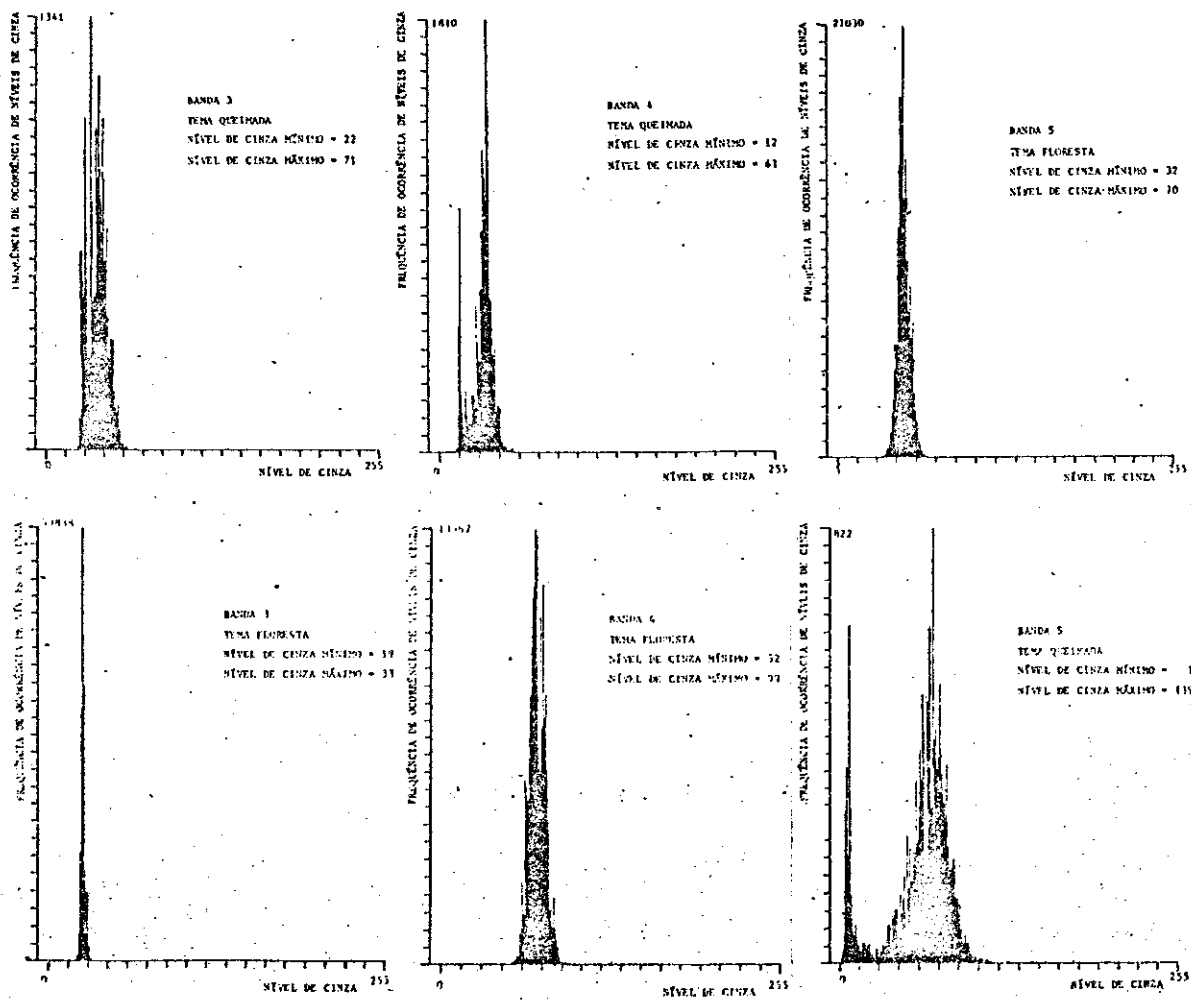
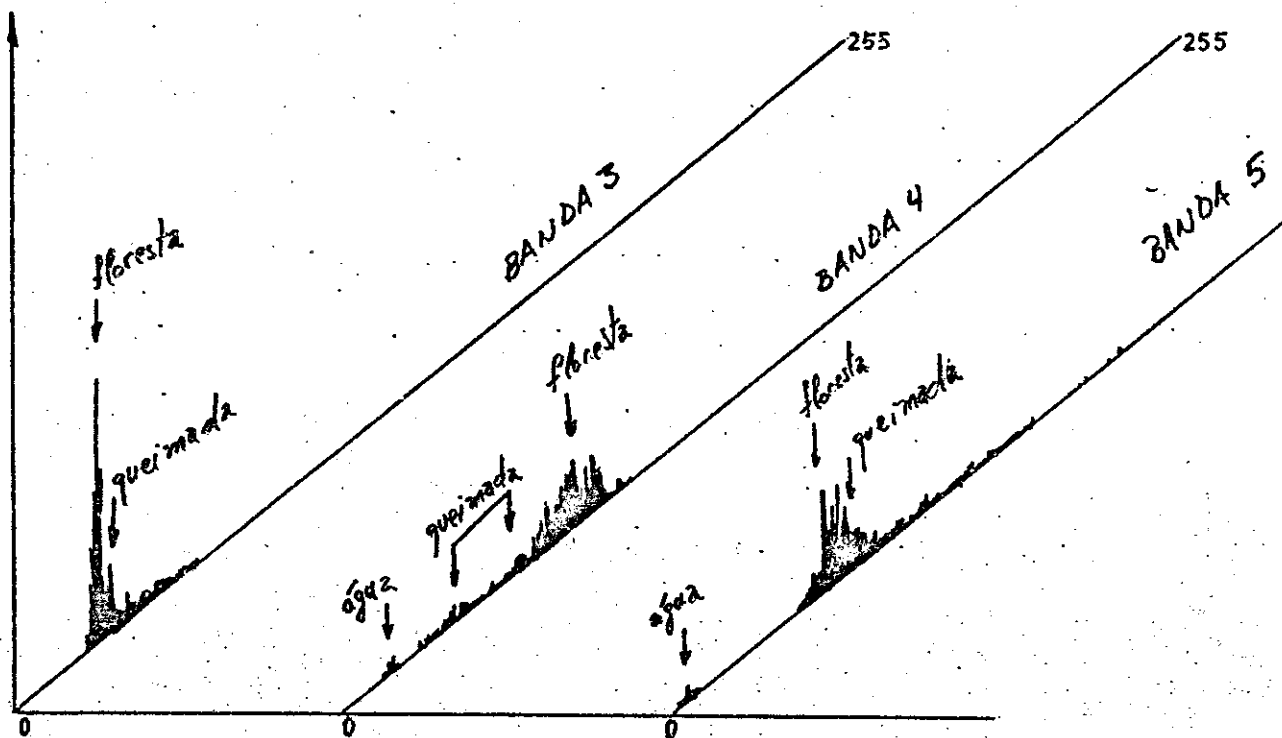


Fig. 4.29 - Histogramas da frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas três (a), quatro (b) e cinco (c) dos temas queimada e floresta classificados por MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 1).

O histograma de frequência de ocorrência de níveis de cinza de todos os pixels presentes no módulo estudado é apresentado na Figura 4.30. Note a clara distinção entre queimada e floresta na banda quatro, ao passo que na banda 5 quase não há uma definição dos picos associados à cada uma das classes.



Banda 3:	Banda 4:	Banda 5:
Nível Máx = 142;	Nível Máx = 111;	Nível Máx = 254
Nível Mín = 10;	Nível Mín = 10;	Nível Mín = 1
Freq. Máx = 54.135;	Freq. Máx = 13.689;	Freq. Máx = 20.733

Fig. 4.30 - Histogramas de frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas 3, 4 e 5 dos temas queimada e floresta classificados por MAXVER no primeiro módulo estudado

Infelizmente este módulo só pode ser estudado na imagem de 11 de agosto, por causa de um problema de gravação na imagem de 26 de julho, que apresentou linhas deslocadas, não permitindo que se fizesse o registro entre as duas imagens.

As médias e variância para cada uma das bandas foi encontrada para cada um dos temas classificados conforme mostra a Tabela 4.15 e a Figura 4.31 mostra o gráfico destas médias plotadas para cada banda.

TABELA 4.15

MÉDIA E VARIÂNCIA DOS TEMAS QUEIMADA, PASTO/VEGETAÇÃO, PASTO/SOLO NU E FLORESTA CLASSIFICADOS NAS SETE BANDAS DO TM NA IMAGEM DE 11/08/85

TEMA	QUEIMADA		FLORESTA		PASTO/SOLO NU		PASTO/VEGETAÇÃO	
TAMANHO AMOSTRA	n = 14.550		n = 166.589		n = 21.086		n = 19.427	
ESTIMADOR	\bar{X}	S ²	\bar{X}	S ²	\bar{X}	S ²	\bar{X}	S ²
BANDA								
6	140,46	30,97	121,60	3,52	130,74	13,13	126,44	9,63
7	36,33	147,77	9,40	2,36	36,69	104,72	85,10	20,65
5	62,27	175,66	50,67	19,60	114,25	416,00	75,91	108,52
4	34,50	24,38	71,59	29,81	55,76	32,75	61,51	33,89
3	41,97	40,06	26,27	2,20	48,23	40,64	35,31	15,85
2	37,45	16,08	30,74	2,17	39,45	11,17	35,43	6,99
1	89,83	40,89	77,48	9,29	89,39	25,11	85,10	20,65

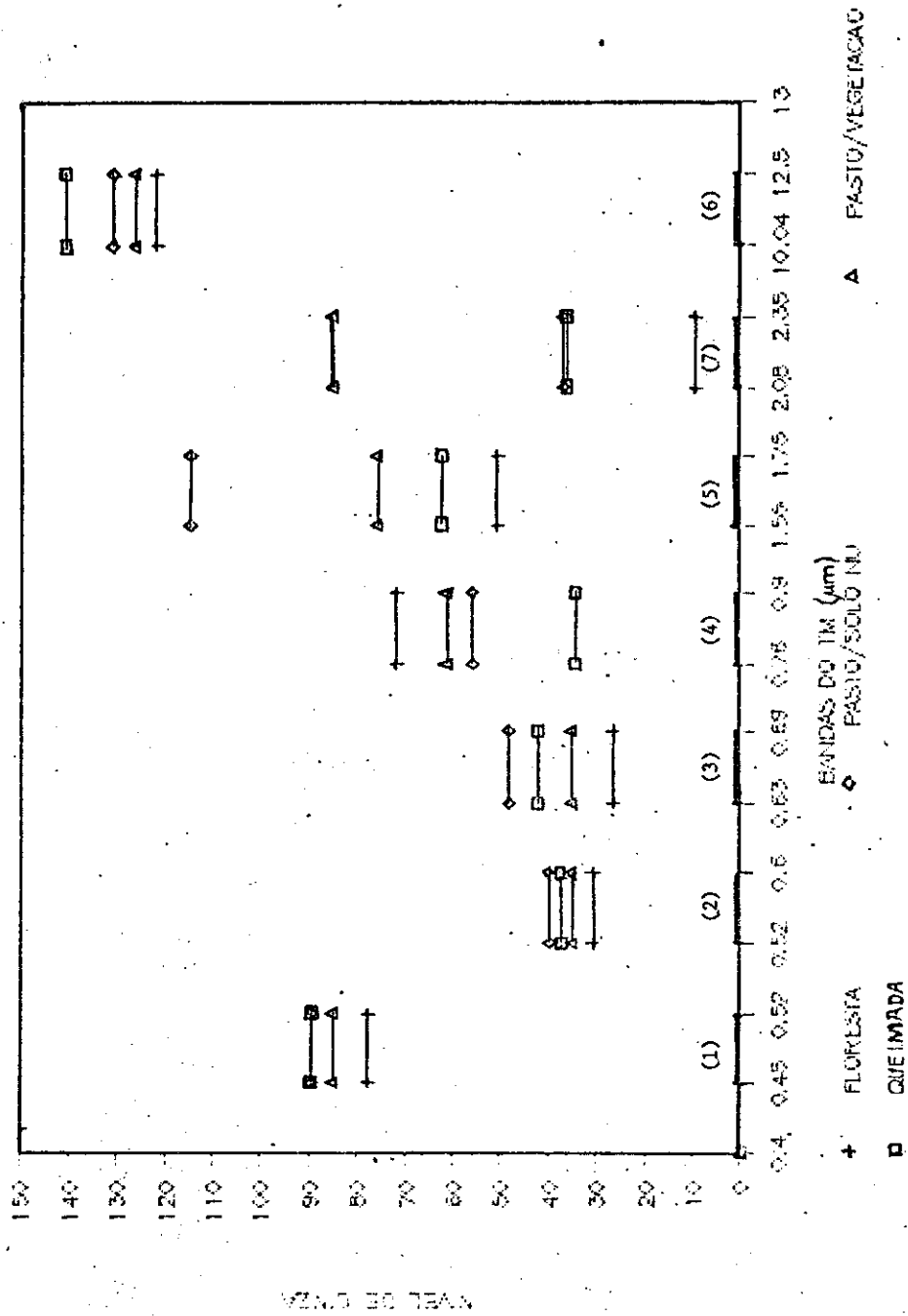


Fig. 4.31 - Comportamento espectral dos temas queimada, floresta, pasto/solo nu e pasto/vegetação para as bandas do TM/LANDSAT.

Passou-se então à análise do 2º módulo escolhido na imagem de 11/08/85 e situado mais ao sudeste do 1º módulo usado. Este segundo módulo apresentou uma grande área com pastagens, algumas grandes queimadas e floresta. Neste módulo não havia a presença de rios que pudessem ser detectados visualmente na imagem. As coordenadas do satélite são X1=4041, Y1=4480, X2=4552 e Y2=4991.

Uma forma de analisar as características espectrais de queimadas de maneira qualitativa pode ser feita através da obtenção dos valores dos níveis de cinza nas diversas bandas espectrais do sensor TM para uma linha escolhida de forma a conter vários alvos de interesse para o estudo.

As Figuras 4.32 a 4.38 mostram os valores dos níveis de cinza para 512 píxeis de uma linha deste segundo módulo nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (resolução espacial de 30m x 30m) e 128 píxeis da mesma linha na banda 6 (resolução espacial de 120m x 120m). Como a resolução espacial da banda 6 é diferente das demais, existem 4 píxeis repetidos com o mesmo valor, por causa da ampliação efetuada nesta banda, visando a se ter a mesma área do módulo em estudo. Os píxeis representando queimadas e florestas estão assinalados nas figuras de forma a possibilitar uma análise qualitativa entre os dois temas.

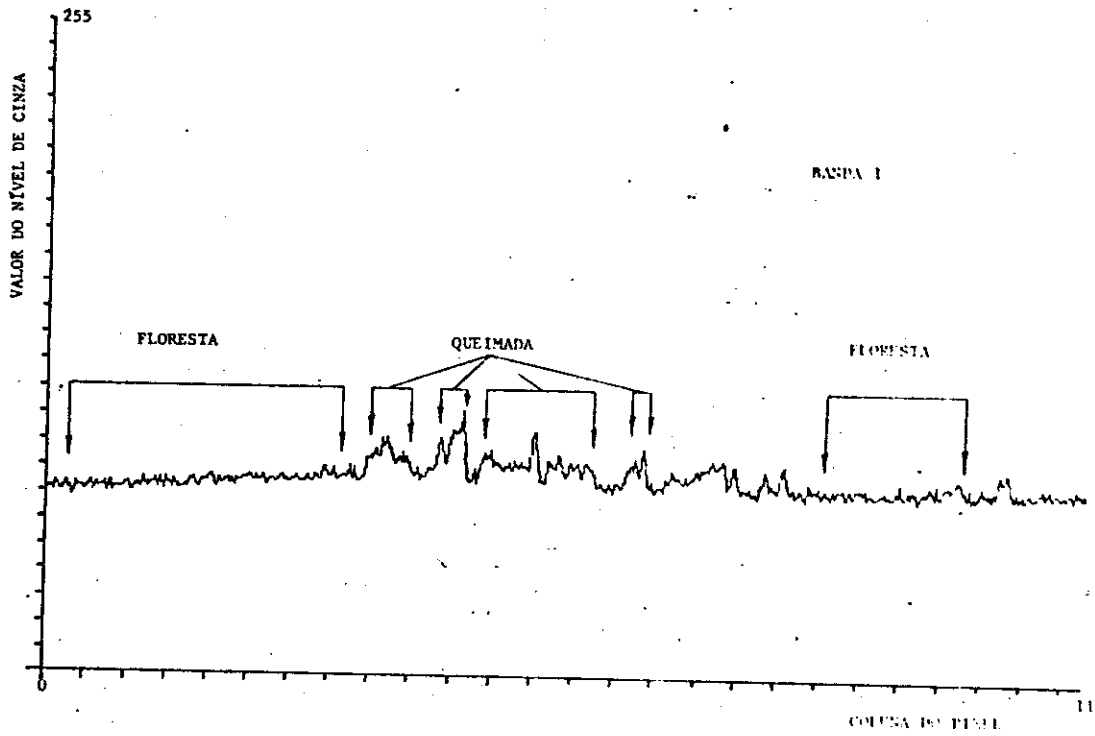


Fig. 4.32 - Valores dos níveis de cinza na banda um de uma linha de 512 píxeis da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

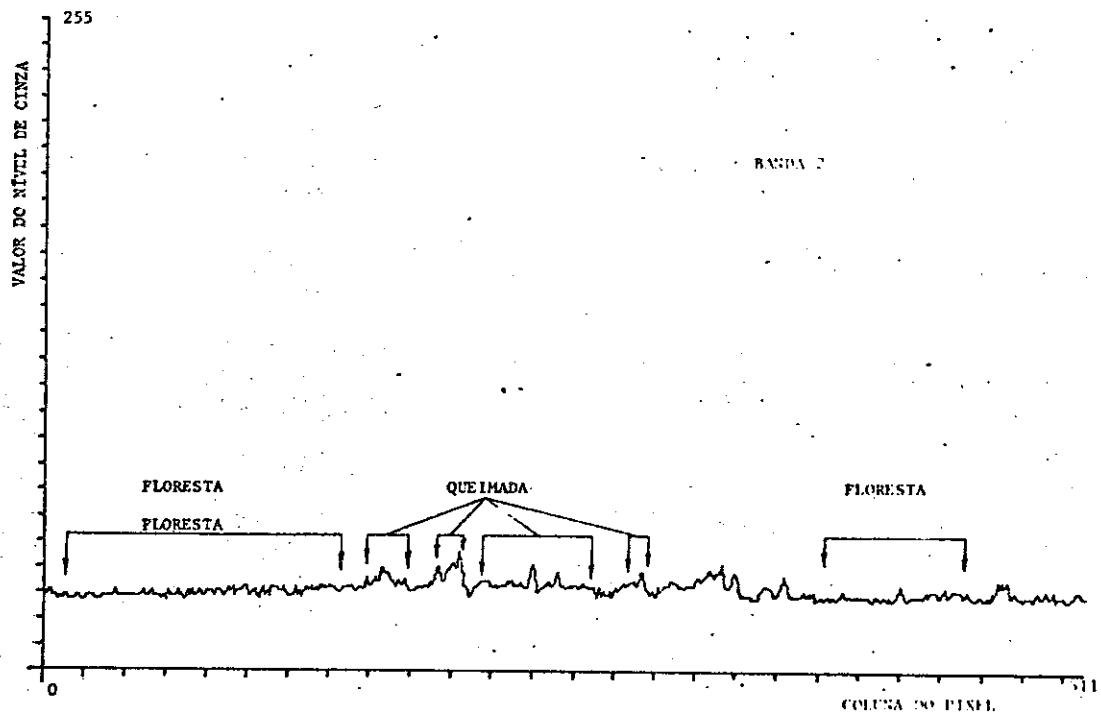


Fig. 4.33 - Valores dos níveis de cinza na banda dois de uma linha de 512 píxeis da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

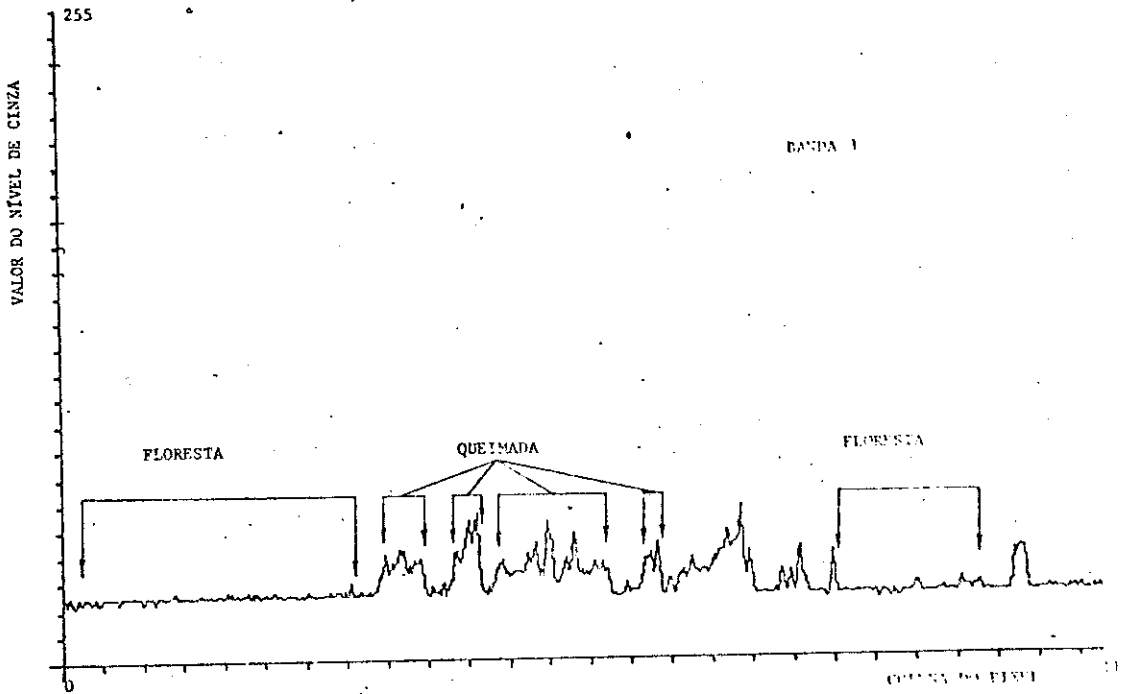


Fig. 4.34 - Valores dos níveis de cinza na banda três de uma linha de 512 píxeis da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

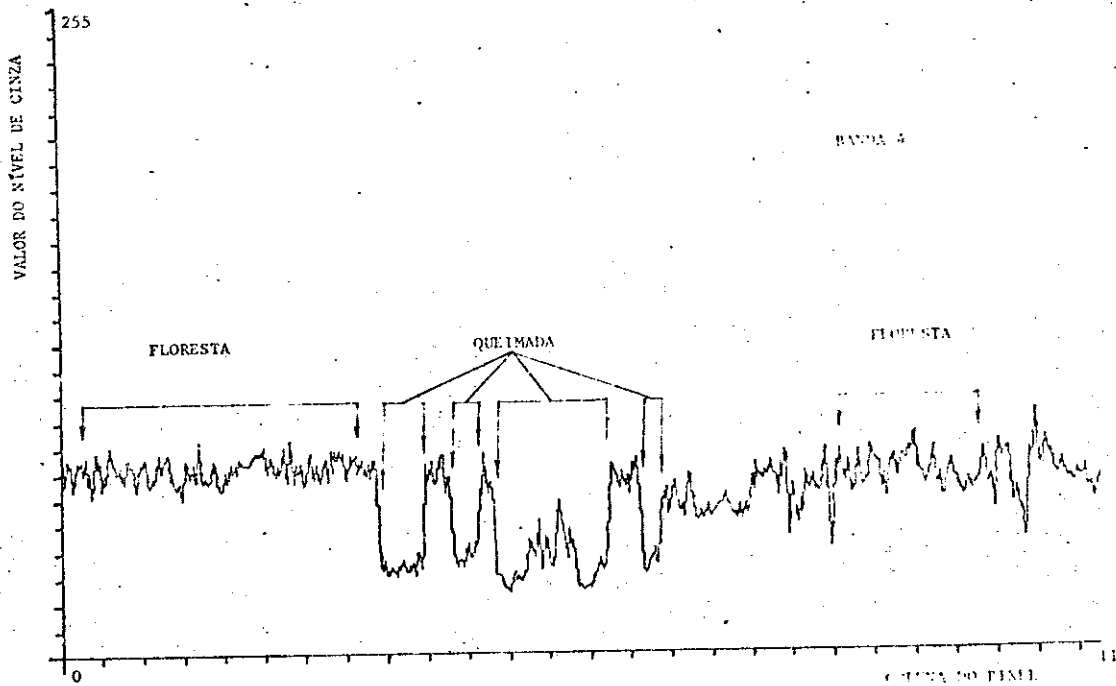


Fig. 4.35 - Valores dos níveis de cinza na banda quatro de uma linha de 512 píxeis da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

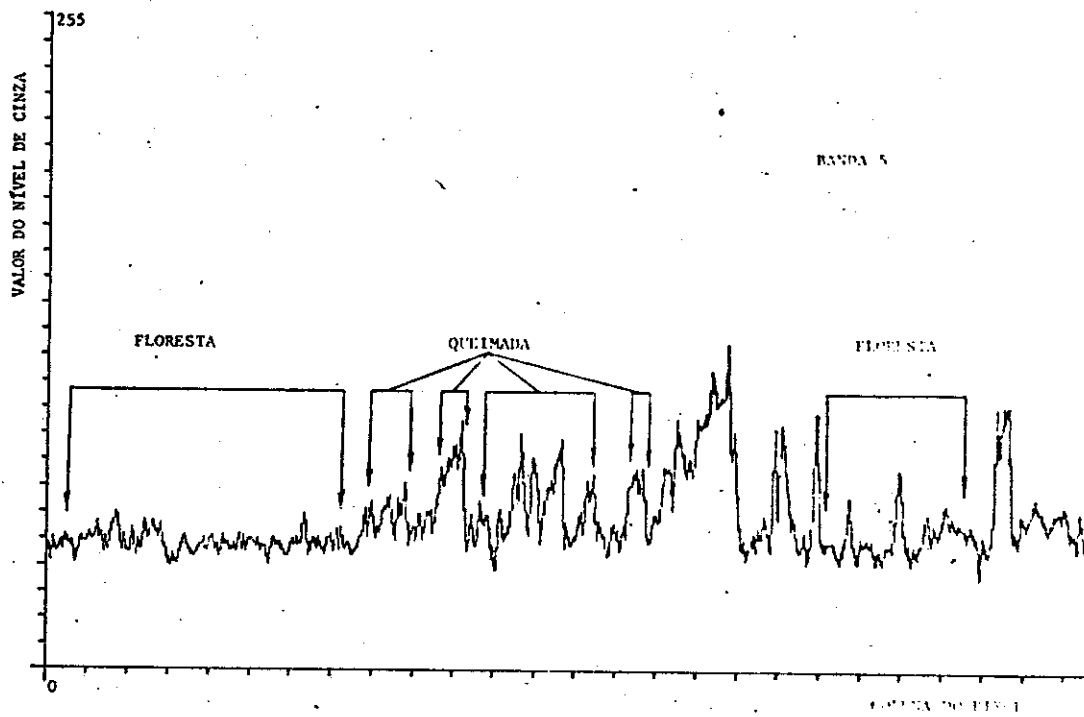


Fig. 4.36 - Valores dos níveis de cinza na banda cinco de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

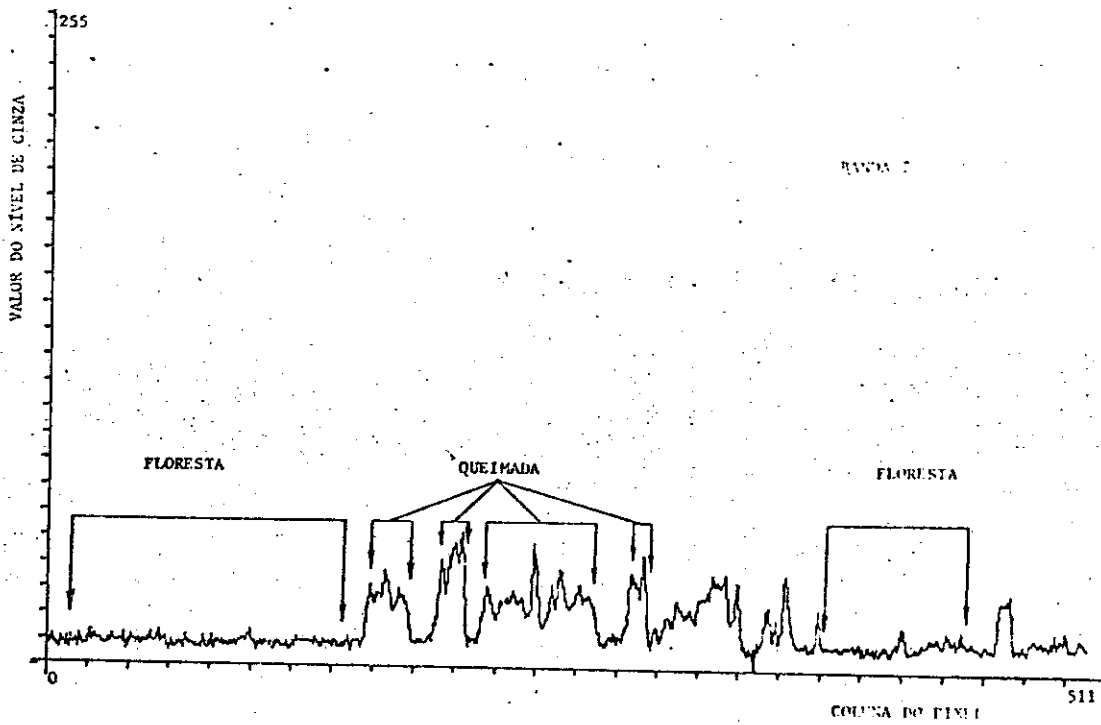


Fig. 4.37 - Valores dos níveis de cinza na banda sete de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

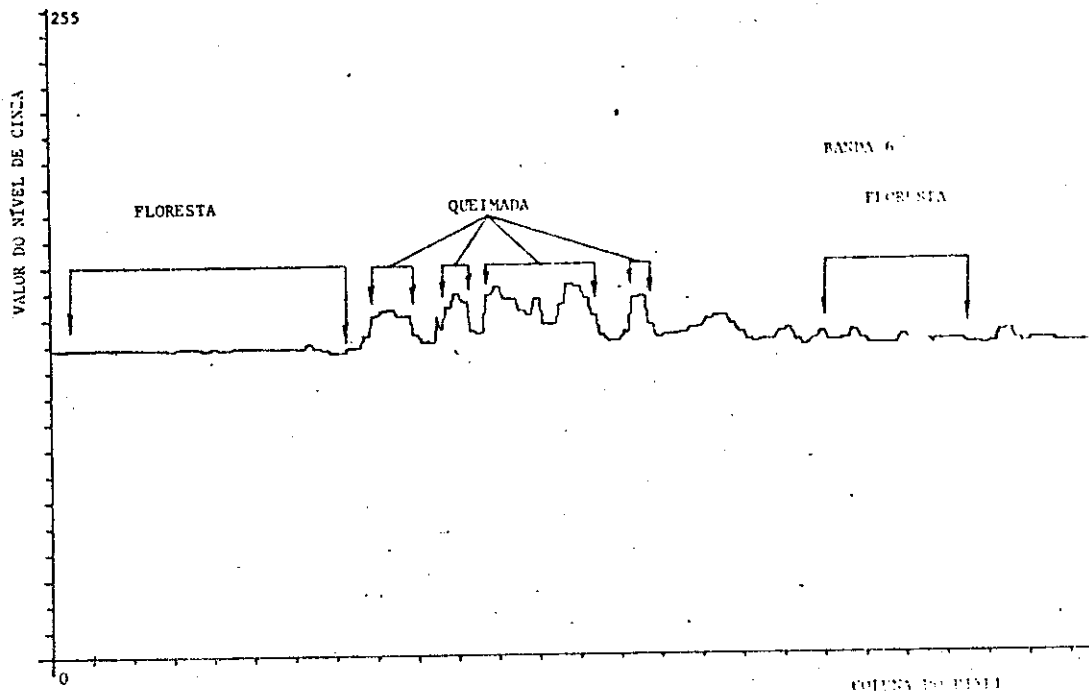


Fig. 4.38 - Valores dos níveis de cinza na banda seis de uma linha de 512 pixels da imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

A primeira observação é novamente a de que a banda 4 possui melhor definição para a classe queimada. O valor dos níveis de cinza sofrem um grande decréscimo em relação a outros temas.

Outra observação é a de que a banda 7 aparentemente apresenta uma definição um pouco melhor de queimadas do que a banda 3, possuindo os níveis de cinza com variações muito semelhantes entre si, isto é parece haver uma alta correlação entre as informações obtidas nessas duas bandas.

As bandas 1 e 2 não mostram boa definição para os temas, sendo que os valores apresentam-se muito homogêneos, com pequenas variações, podendo causar confusões se forem usados com fins de classificação.

A banda 5 apresenta uma boa definição para o tema queimada, com uma variância maior também para o tema vegetação, tendo desta forma, a possibilidade de fornecer maiores informações sobre estes temas em comparação com as demais bandas. Por exemplo, na análise de áreas queimadas há uma boa definição para o caso de serem mais antigas ou não, e para a vegetação, há a uma maior possibilidade de distinguir uma maior variedade de tipos de cobertura vegetal.

A banda 6 (termal) mostra que os níveis de cinza têm valores maiores, o que significa que as áreas de queimada permanecem com temperaturas superiores às demais áreas, mesmo para as áreas em que as queimadas são mais antigas. Também, as variações de temperatura dos demais temas são muito pequenas. Por exemplo, os pixels assinalados como correspondentes ao tema vegetação mostram ter um valor praticamente constante.

Desta forma, utilizando-se desta análise qualitativa, as bandas que se mostraram mais apropriadas para estudos de queimada foram as 3, 4, 5 e 7.

Classificou-se primeiramente as classes queimada, floresta e pasto, nas bandas 3, 4 e 5, através do MAXVER, utilizando um limiar de 4,2, e as áreas obtidas estão na Tabela 4.16, e os parâmetros das amostras de cada um dos temas estão na Tabela 4.17 e 4.18.

TABELA 4.16

ÁREA DOS TEMAS CLASSIFICADO COM MAXVER NAS
BANDAS 3, 4 E 5 NA IMAGEM TM DE 11/08/85 (MÓDULO 2)

TEMA	Nº DE PONTOS CLASSIFICADOS	ÁREA (km ²)	PORCENTAGEM DO MÓDULO
QUEIMADA	7.632	6,87	2,91
FLORESTA	144.692	130,22	55,20
PASTO/SOLO NU	43.402	39,06	16,56
NÃO CLASSIFICADOS	66.418	59,78	25,34

TABELA 4.17

MÉDIA E VARIÂNCIA DOS TEMAS CLASSIFICADOS NAS BANDAS
3, 4 E 5 POR MAXVER NA IMAGEM DE 11/08/85 (MÓDULO 2)

BANDAS	T E M A S					
	QUEIMADA		FLORESTA		PASTO/SOLO NU	
	\bar{X}	S ²	\bar{X}	S ²	\bar{X}	S ²
	n = 2.104		n = 2.248		n = 1.512	
3	41,33	35,58	25,66	1,01	44,19	59,62
4	34,65	30,18	75,16	28,54	54,13	34,81
5	67,35	121,33	47,46	11,82	107,34	302,63

TABELA 4.18

MATRIZES DE COVARIÂNCIA DOS TEMAS CLASSIFICADOS NA IMAGEM
DE 11/08/85 (MÓDULO 2) NAS BANDAS 3, 4 E 5 POR MAXVER

TEMA	MATRIZ DE COVARIÂNCIA		
QUEIMADA	35,58	19,67	46,04
	19,67	30,18	38,33
	46,04	38,33	121,33
FLORESTA	1,01	0,82	0,37
	0,82	28,54	1,87
	0,37	1,87	11,82
PASTO/ SOLO NU	59,62	8,86	113,51
	8,86	34,81	22,46
	113,51	22,46	302,63

Um detalhe novamente observado aqui, como no caso anterior (Tabela 4.11), é o dos baixos valores para as covariâncias entre as bandas 3, 4 e 5, para o tema floresta. Isto significa que as três bandas trazem informações diferentes para o tema floresta, isto é, os dados obtidos em cada banda são estatisticamente independentes. Para os outros temas isto não acontece. Por exemplo, a correlação entre os dados da banda 3 e os da banda 4, tanto para queimada quanto para pasto/solo nu, é alta.

Fora obtidas as matrizes de classificação com os limiares 4,0, 4,5 e 5,0 (Tabela 4.19), e calculados o desempenho médio, confusão média e abstenção média (Tabela 4.20), tal que um limiar ideal que nos dê um desempenho maior do que 98%, uma confusão menor do que 1,2% e uma abstenção menor que 1%, estaria aproximadamente entre 4,2 e 4,5 (Figura 4.39).

TABELA 4.19

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO OBTIDA ATRAVÉ DO ALGORÍTIMO MAXVER APLICADO
NAS BANDAS 3, 4 E 5 DA IMAGEM DE 11/08/85 (MÓDULO 2)

LIMIAR	TEMA VERLADEIRO	TEMA CLASSIFICADO (%)			
		NC	1	2	3
5,0	1	0,0	97,0	0,0	3,0
	2	0,1	0,0	99,9	0,0
	3	0,2	0,6	0,0	99,2
4,5	1	0,1	96,9	0,0	2,9
	2	0,4	0,0	99,5	0,0
	3	0,8	0,6	0,0	98,6
4,0	1	0,6	96,8	0,0	2,7
	2	1,4	0,0	98,6	0,0
	3	3,3	0,5	0,0	96,2

Legenda: TEMAS: 1 = QUEIMADA; 2 = FLORESTA; 3 = PASTO/SOLO NU;
NC = pixels NÃO CLASSIFICADOS (Valores em %).

TABELA 4.20

DESEMPENHO MÉDIO, CONFUSÃO MÉDIA E ABSTENÇÃO MÉDIA PARA TRÊS LIMIARES
DA CLASSIFICAÇÃO MAXVER DA IMAGEM DE 11/08/85 (MÓDULO 2)

LIMIAR	DESEMPENHO	ABSTENÇÃO	CONFUSÃO
	MÉDIO (%)	MÉDIA (%)	MÉDIA (%)
5,0	98,7	0,1	1,3
4,5	98,3	0,4	1,2
4,0	97,3	1,6	1,1

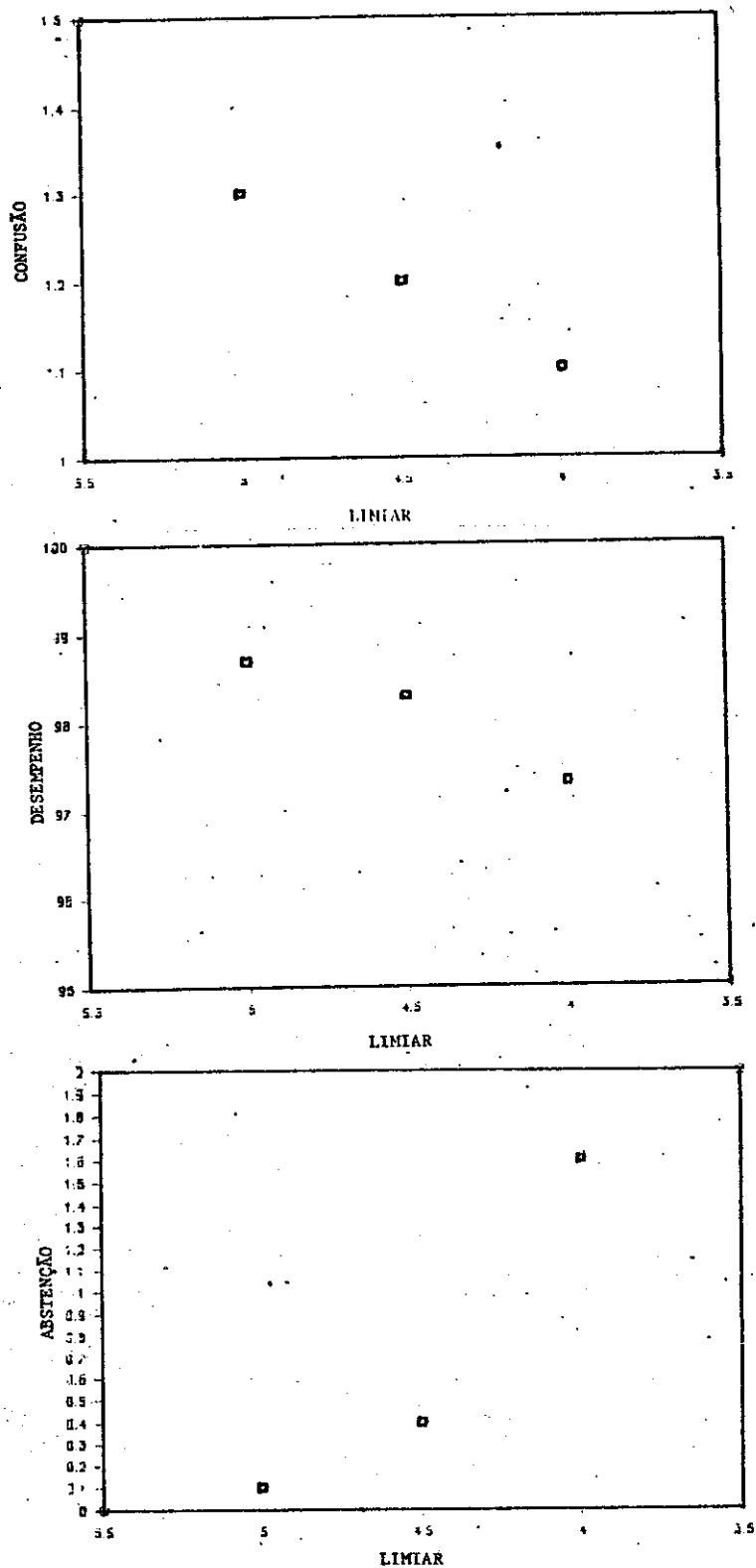


Fig. 4.39 - Gráfico para análise do desempenho médio, confusão média e abstenção média para três limiares com classificação MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

Para a classificação do módulo dois utilizou-se um limiar de 4,5 com bons resultados, isto é, com bom desempenho médio sem aumentar muito a confusão e abstenção.

Tendo-se os temas classificados, construiu-se os histogramas de frequência de ocorrência de níveis de cinza para os temas florestas e queimadas, nas bandas três (Figura 4.40a), quatro (Figura 4.40b) e cinco (Figura 4.40c).

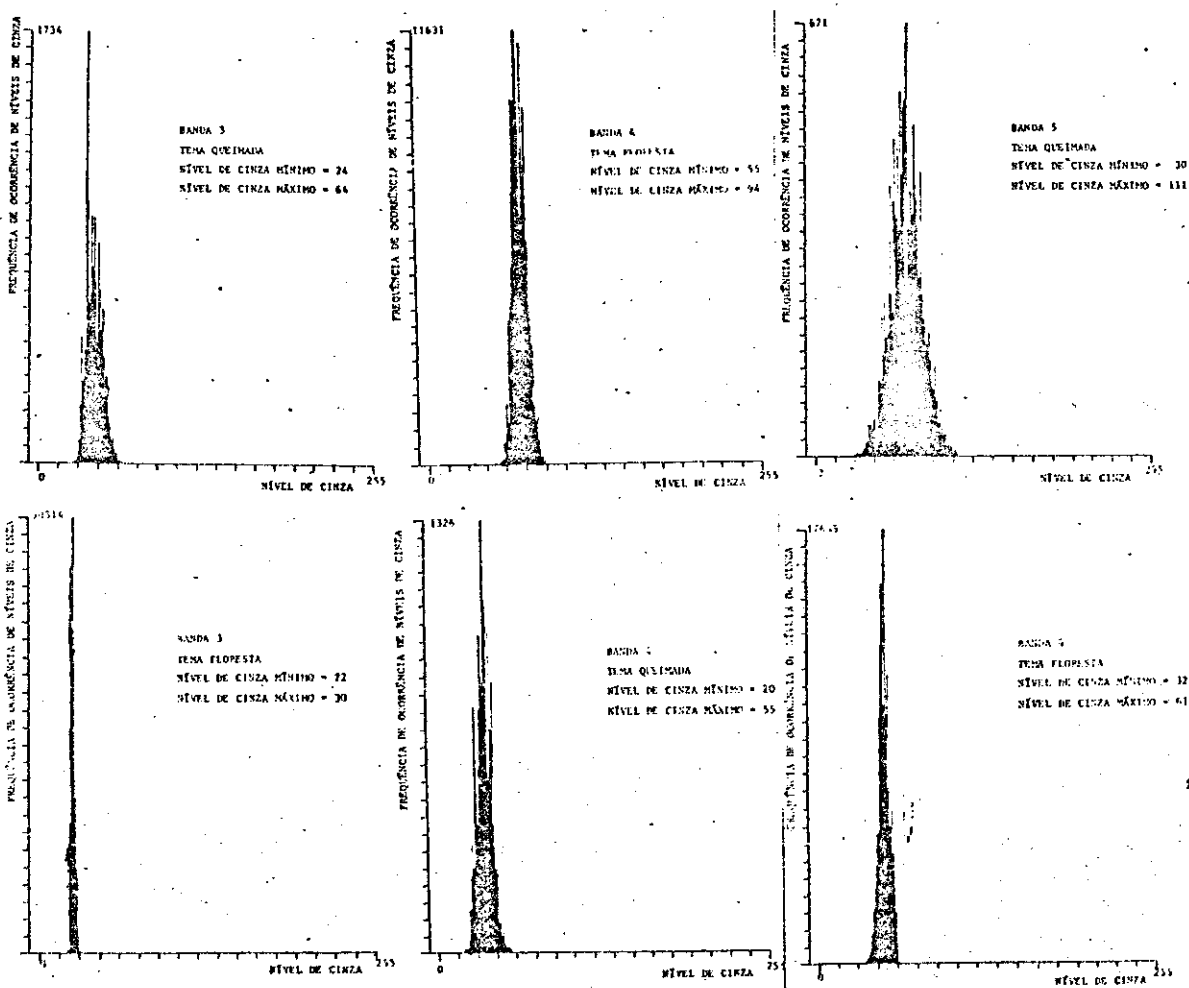
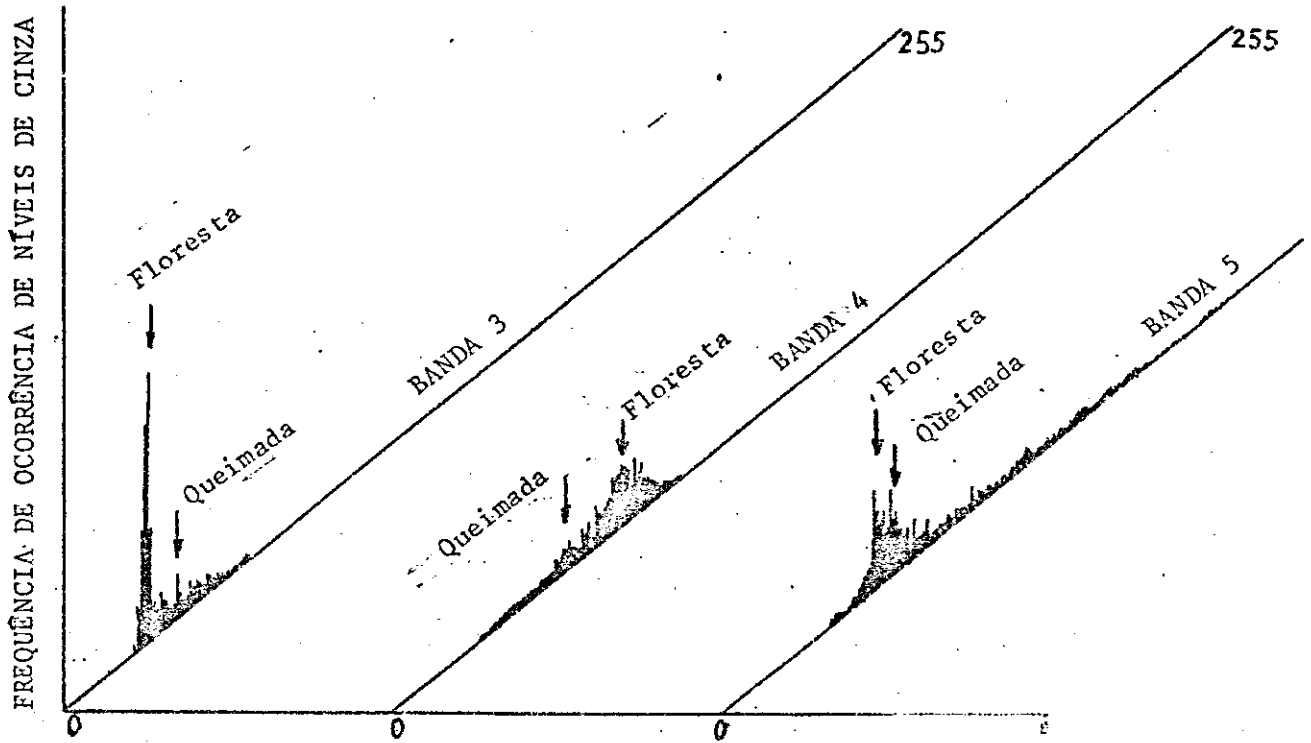


Fig. 4.40 - Histograma da frequência de ocorrência de níveis de cinza na banda três (a), quatro (b) e cinco (c) dos temas queimada e floresta classificados por MAXVER na imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

Na Figura 4.40(a) observa-se que o tema queimada e o tema vegetação estão melhor diferenciados do que no caso anteriormente apresentado na Figura 4.29(a), sendo que a confusão existente entre os temas neste caso anterior pode ter sido devido à confusão na classificação de água como queimada. Na Figura 4.40(b) nota-se mais uma vez a clara distinção entre os temas queimada e vegetação, e na Figura 4.40(c), há uma confusão maior entre os temas, como na Figura 4.29(c). Observa-se também a pequena variância do tema floresta nas bandas 3 e 5 mostrando que a vegetação tem uma boa definição nestes intervalos espectrais.

Um histograma de todos os níveis de cinza contidos no módulo, para as bandas 3, 4 e 5, é mostrado na Figura 4.41. Nota-se na banda três uma leve diferenciação entre as modas de queimada e floresta, na banda quatro uma boa definição entre as modas dos mesmos temas e na banda cinco há uma definição muito ruim da moda do tema queimada.



Banda 3:	Banda 4:	Banda 5:
Nível Máx = 125;	Nível Máx = 110;	Nível Máx = 254
Nível Mín = 18;	Nível Mín = 20;	Nível Mín = 25
Freq. Máx = 51.819;	Freq. Máx = 12.042;	Freq. Máx = 191.88

Fig. 4.41 - Histograma da frequência de ocorrência de níveis de cinza nas bandas três, quatro e cinco na imagem de 11/08/85 (Módulo 2).

Uma comparação para as mudanças ocorridas na cobertura vegetal no período entre as duas imagens de 26 de julho e 11 de agosto de 1985 pode ser feita através de uma classificação MAXVER e da análise da matriz de classificação, quando é feita uma re-amostragem sobre a imagem de 26 de julho. Isto é, transferindo-se as bandas 3, 4 e 5 da imagem de 26 de julho para o vídeo do I-100, as amostras de queimadas, floresta e pasto serão tomadas nos mesmos locais em que foram tomadas para a imagem de 11 de agosto. Espera-se com este procedimento que haja um aumento na confusão entre os temas queimadas e floresta e entre queimadas e pasto devido à ocorrência de queimadas entre as duas épocas de imageamento, assim como pode haver um aumento no número de pontos não classificados para florestas devido a desmatamento.

Na Tabela 4.21 estão as médias de níveis de cinza obtidas nas imagens de 26 de julho e 11 de agosto, para os temas queimada, floresta e pasto estudados.

TABELA 4.21

MÉDIAS DOS NÍVEIS DE CINZA OBTIDOS COM REAMOSTRAGEM
NA IMAGEM DE 26/08/85 COMPARADAS COM AS DE 11/08/85

		M É D I A S					
		BANDA 3		BANDA 4		BANDA 5	
DATA	TEMA	26/JUL	11/AGO	26/JUL	11/AGO	26/JUL	11/AGO
	QUEIMADA	30,42	41,33	51,80	34,65	82,34	67,35
	FLORESTA	17,38	25,66	69,01	75,16	43,09	47,46
	PASTO/SOLO NU	35,39	44,19	50,30	54,13	93,85	107,34

Para o dia 26 de julho as médias de queimada e pasto são próximas. Nas bandas três e cinco são um pouco menores, e na banda quatro um pouco maior. A hipótese para uma explicação do porquê isto ter ocorrido poderia ser o fato de que a maior parte das queimadas ocorreram em áreas de pastagens, e em escala menor em algumas áreas de floresta. Isto, porque a diferença das médias nas bandas três e cinco para menos e na banda quatro para mais é acompanhada do fato de que nas bandas três e cinco a vegetação tem médias mais baixas e na banda quatro tem média mais alta.

Conforme calculado no item 3.4.7 a irradiância da cena de 11 de agosto é aproximadamente 1,185 vezes a de 26 de julho. A observação visual das imagens mostra que a de 11 de agosto é em sua totalidade mais clara que a de 26 de julho.

Se calcularmos qual seriam as médias dos temas para os três alvos na imagem de 11 de agosto diminuídas em 1,185 vezes, teríamos o quadro da Tabela 4.22 que permite comparações entre as imagens de épocas diferentes, evitando-se o erro devido à iluminação solar diferente.

TABELA 4.22

DIFERENÇAS ENTRE AS MÉDIAS DOS TEMAS QUEIMADA, FLORESTA E PASTO/SOLO NU PARA OS DIAS 26/07/85 E 11/08/85 CONSIDERANDO A VARIACÃO PFOVOCADA PELO EFEITO DE ILLMINAÇÃO SOLAR

	BANDA 3		BANDA 4		BANDA 5	
	26/JUL	11/AGO	26/JUL	11/AGO	26/JUL	11/AGO
QUEIMADA	30,42+0,45	34,87+0,40	51,50+0,18	29,24+0,37	82,34+0,75	56,83+0,75
FLORESTA	21,65+0,65	21,65+0,07	69,01+0,42	63,42+0,35	43,09+0,61	40,04+0,22
PASTO/ SOLO NU	35,39+1,22	37,29+0,61	50,30+0,25	45,67+0,46	93,85+1,46	90,57+1,38

Desta forma, pode-se dizer com certeza que houve um grande decréscimo na médias dos níveis de cinza para o tema queimada nas bandas 4 e 5. Quanto às outras médias nota-se variações muito pequenas de maneira que não se pode concluir nada com exatidão. Apenas, de maneira geral, nota-se um aumento nas médias de todos os temas da banda três, ao passo que nas bandas 4 e 5 elas sofrem diminuição. Uma hipótese para que isto esteja ocorrendo poderia ser devido à presença de aerossóis na atmosfera devido a queimadas, que afetam muito mais a banda três (0,63-0,69 μ m) com comprimentos de ondas visíveis do que as bandas quatro (0,76-0,90 μ m) e cinco (1,55-1,75 μ m) com comprimento de ondas infravermelhas.

Na Tabela 4.23 estão as matrizes de covariância para as três classes obtidas nas imagens de 26 de julho e de 11 de agosto.

TABELA 4.23

MATRIZ DE COVARIÂNCIA DOS TEMAS NA IMAGEM DE 26/07/85
COM REAMOSTRAGEM COMPARADAS COM A DA IMAGEM DE 11/08/85

TEMA	MATRIZ DE COVARIÂNCIA					
	26 DE JULHO			11 DE ACOSTO		
QUEIMADA	31,56	-10,12	72,56	35,58	19,67	46,04
	-10,12	66,30	-47,12	11,67	30,18	38,73
	72,56	-47,12	234,28	46,04	38,73	121,33
FLORESTA	5,35	1,56	0,65	1,01	0,82	0,37
	1,56	30,41	3,63	0,82	28,54	1,87
	0,65	3,63	10,29	0,37	1,87	11,82
PASTO/ SOLC NU	63,90	-4,10	105,86	59,62	8,86	113,51
	-4,10	41,75	-6,37	8,86	34,81	22,46
	105,86	-6,37	243,88	113,51	22,46	306,23

Primeiramente, nota-se mais uma vez a baixa correlação entre as bandas, quando se estuda o tema floresta (os valores fora da diagonal da matriz são as covariâncias). Depois, há o aparecimento das covariâncias negativas para os temas pasto e queimada quando a banda 4 está envolvida. A explicação para este fato é novamente o de que a área atingida pelas queimadas é em sua maioria pastagem, aliada ao fato de que na banda 4 os valores dos níveis de cinza sofrem um decréscimo significativo no tema queimada, fazendo com que a correlação entre as bandas 3 e 4, e as bandas 4 e 5 sejam negativas quando os temas queimadas e pastagens são analisados.

Através da matriz de classificação obtida com esse tipo de amostragem (Tabela 4.24), tem-se resultados interessantes.

TABELA 4.24

MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO OBTIDA COM FEAMOSTRAGEM NA IMAGEM DE 26/07/85 COMPARADA COM A OBTIDA NA IMAGEM DE 11/08/85

LIMILAR		TEMAS		MATRIZ DE CLASSIFICAÇÃO							
				26 DE JULHO				11 DE AGOSTO			
				NC	1	2	3	NC	1	2	3
5,0	1	0,6	62,4	2,2	34,8	0,0	97,0	0,0	3,0		
	2	0,1	0,9	99,0	0,0	0,1	0,0	99,9	0,0		
	3	0,5	42,5	0,1	56,9	0,2	0,6	0,0	99,2		
4,5	1	2,2	60,8	2,2	34,7	0,1	96,9	0,0	2,9		
	2	0,1	0,8	99,0	0,0	0,4	0,0	99,5	0,0		
	3	1,5	42,0	0,1	56,4	0,8	0,6	0,0	98,6		
4,0	1	4,2	59,2	2,1	34,6	0,6	96,8	0,0	2,7		
	2	0,5	0,8	98,7	0,0	1,4	0,0	98,6	0,0		
	3	5,4	41,2	0,1	53,4	3,3	0,5	0,0	96,2		

Pode-se notar que apenas 0,8% dos pontos amostrados como florestas foram considerados como sendo queimada, ao passo que 42% dos pontos amostrados como pasto foram classificados como queimada. Da mesma forma, 2,2% dos pontos amostrados como sendo queimada foram considerados como floresta e 34,7% dos pontos amostrados como queimadas foram considerados pasto. Isto reafirma a hipótese anterior, quando da análise das médias, em que se dizia que a maior parte das queimadas haviam ocorrido em pastagens e apenas uma porcentagem bem menor de floresta foi queimada. A análise visual das duas imagens também confirma esta observação. Infelizmente, não é possível afirmar algo a respeito da verdadeira porcentagem de florestas e pastagens transformadas em áreas queimadas. Isto, porque a área do módulo considerado é muito pequena em relação à Amazônia Legal, de maneira que poderíamos estar estudando um

caso muito particular. Por esta razão adotaremos a estimativa feita anteriormente no item 4.2.3, para os futuros cálculos da emissão de gases traço, a ser feita no capítulo 6.

A Tabela 4.25 mostra o desempenho, confusão e abstenção médios para as classificações das duas imagens e nota-se que a confusão entre pastos e floresta é mínima. Apenas 0,1% dos pontos amostrados como pasto foram classificados como floresta, isto é, quase não houve a transformação de florestas em pasto ou solo exposto, pois as pastagens presentes na região apresentam características que nos levam a crêr que estão bastante degradadas com bastante solo exposto. Este 1% de confusão pode ter sido causado pela presença de uma área de floresta derrubada, com um enleiramento do que restou para secagem e queima posterior, sendo então uma área com probabilidade de possuir algum solo exposto.

TABELA 4.25

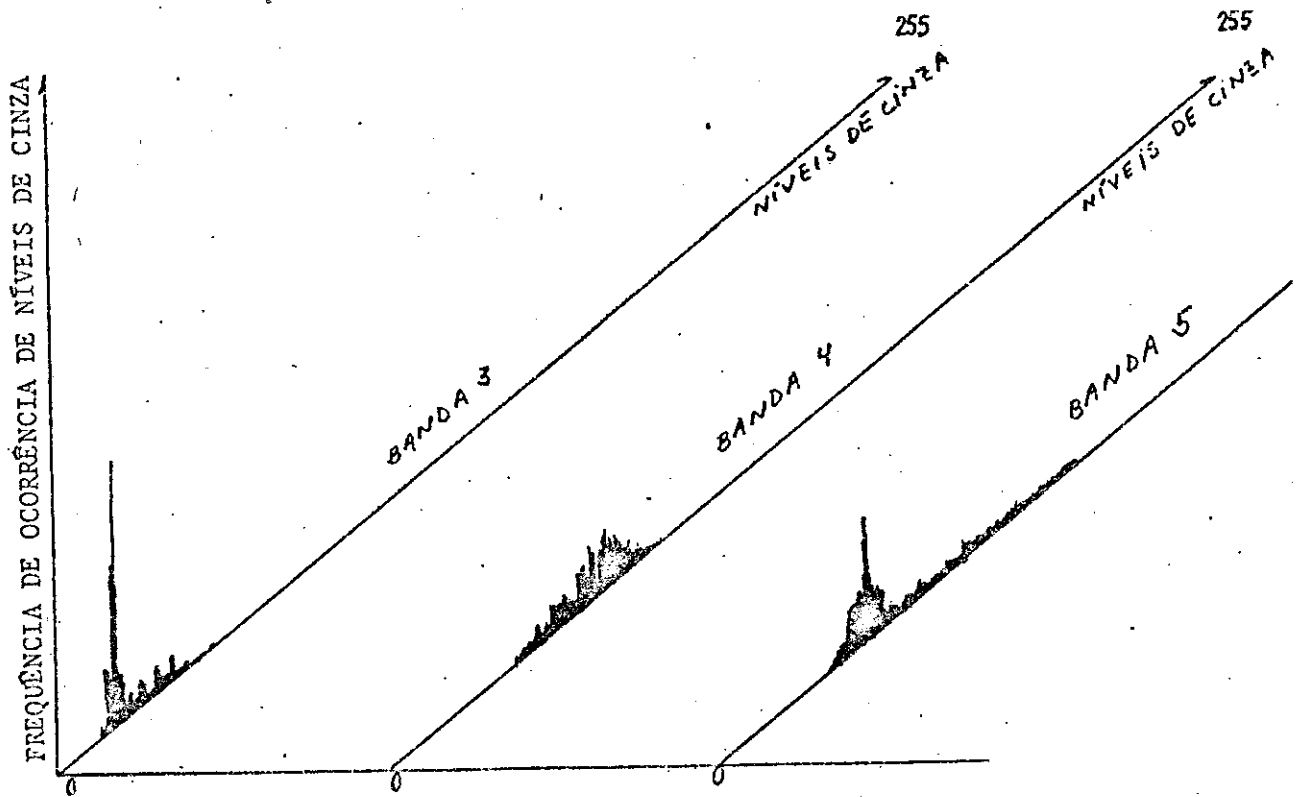
DESEMPENHO, ABSTENÇÃO E CONFUSÃO MÉDIA OBTIDOS NA CLASSIFICAÇÃO DA IMAGEM DE 26/07/85 COMPARADOS COM OS DE 11/08/87

LIMIAR	26 DE JULHO			11 DE AGOSTO		
	DESEMPENHO MÉDIO (%)	ABSTENÇÃO MÉDIA (%)	CONFUSÃO MÉDIA (%)	DESEMPENHO MÉDIO (%)	ABSTENÇÃO MÉDIA (%)	CONFUSÃO MÉDIA (%)
5,0	75,0	0,4	24,6	98,7	0,1	1,3
4,5	74,3	1,2	24,2	98,3	0,4	1,2
4,0	72,8	3,1	24,1	97,3	1,6	1,1

No geral, observa-se que o desempenho médio cai de 98,3% na imagem de 11 de agosto para 74,3% na imagem de 26 de julho, e a confusão média aumenta de 1,2% para 24,4%, mostrando que houve grandes

transformações nas áreas analisadas, em termos de uso do solo, no intervalo de 16 dias entre uma imagem e outra. A maioria destas mudanças foram provocadas pela execução de queimadas com forma de manejo de pastagens, e menor escala foram mudanças ocasionadas por derrubadas da floresta ou criação de novas pastagens.

Os histogramas de frequência de ocorrências de níveis de cinza para o módulo todo nas bandas 3, 4 e 5 da imagem de 26 de julho (Figura 4.42), mostram a ausência de picos de frequência causados pelas queimadas, reforçando a afirmativa de que a área de queimadas apresentada anteriormente foi devida apenas a queimadas executadas no intervalo de 16 dias entre uma imagem e outra. Além disto, comprovava-se que a maioria das queimadas iniciaram-se em fins de julho e início do mês de agosto.



Banda 3:	Banda 4:	Banda 5:
Nível Máx = 120;	Nível Máx = 118;	Nível Máx = 198
Nível Mín = 3;	Nível Mín = 17;	Nível Mín = 22
Freq. Máx = 57.894;	Freq. Máx = 12.064;	Freq. Máx = 16.744

Fig. 4.42 - Histograma da frequência de ocorrência de níveis de cinza na banda três, quatro e cinco, na imagem de 26/07/85 (Módulo 2).

A partir dos parâmetros amostrados na imagem de 11 de agosto para este segundo módulo, e feita uma classificação com o limiar de 4,5, obteve-se o espaço de atributos para as bandas 3, 4 e 5, duas a duas (Figura 4.43).

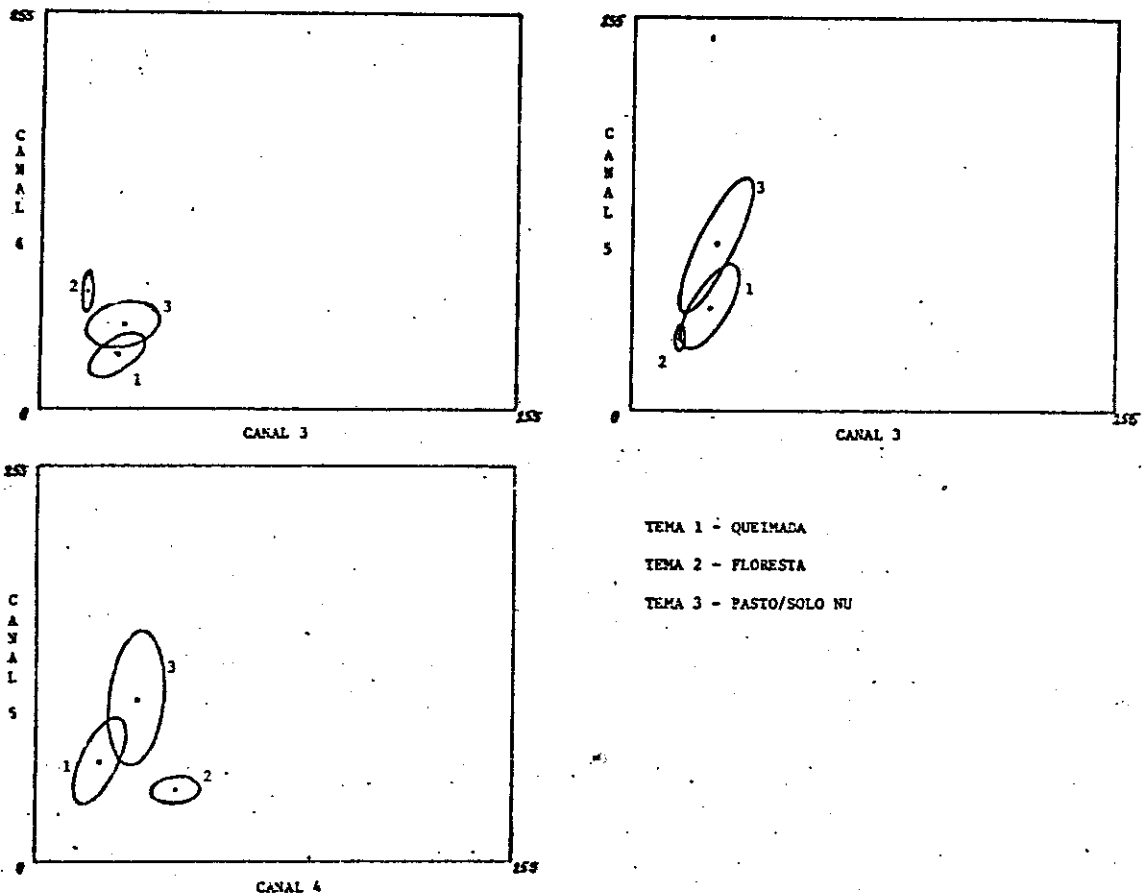


Fig. 4.43 - Espaço de atributos para as bandas três, quatro e cinco dos temas queimada, floresta e pasto/solo nu para a imagem de 11/08/85.

Novamente, a banda 4 mostra sua utilidade para a separação de queimadas de outros alvos, pois o espaço de atributos entre as bandas três e cinco mostram uma pequena separabilidade entre os temas classificados, ao passo que os espaços de atributos envolvendo a banda quatro, ou seja, entre as bandas 4 e 5 e entre as bandas 3 e 4, mostram uma melhor separabilidade entre os temas.

4.2.5 - EFEITOS DA FUMAÇA SOBRE OS NÍVEIS DE CINZA.

Ao utilizar uma composição colorida com as bandas 1, 2 e 7, notou-se claramente a fumaça proveniente de queimadas, através de uma análise visual do 4º quadrante (Figura 4.44).

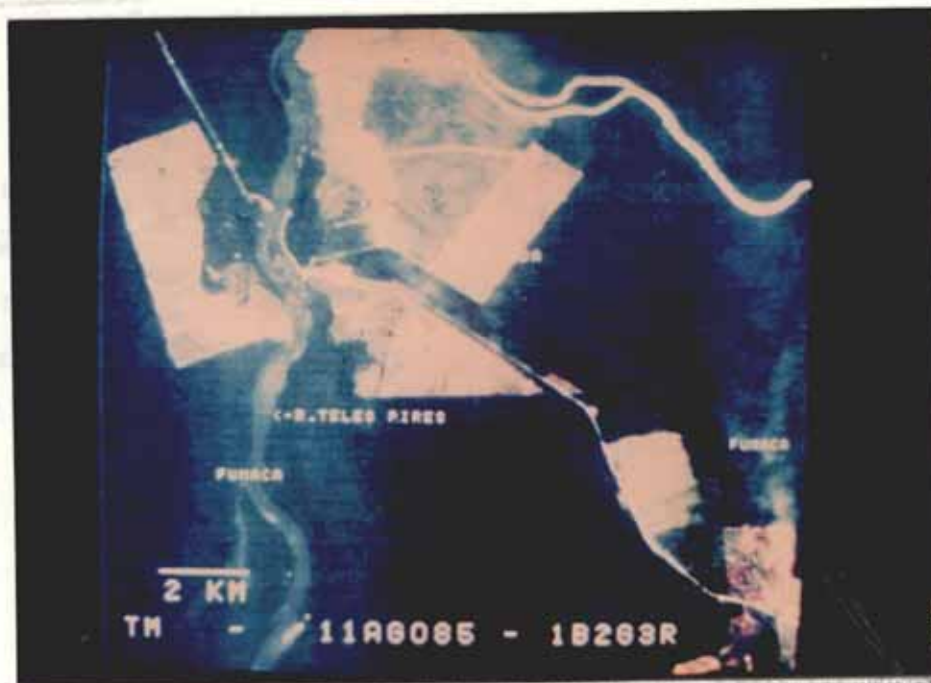


Fig. 4.44 - Fotografia do vídeo do I-100 mostrando a composição colorida das bandas 1, 2 e 7 de imagem de 11/08/85, com as plumas de fumaça e incêndios ativos.

Uma curiosidade a se notar é o fato de aparecerem pontos com altos níveis de cinza na banda 7, contrastando fortemente com o padrão da imagem. Estes pontos aparecem na origem das plumas observadas, de forma que dão a impressão de que a radiação proveniente delas estaria associada à emissão, devido a incêndios ativos no instante de passagem do satélite.

A maneira escolhida para estudar os efeitos dessa fumaça foi a análise dos valores dos níveis de cinza de uma linha escolhida de forma a passar sobre as plumas de fumaça e áreas com menor densidade de fumaça, no módulo de coordenadas X1=3260; Y1=3822; X2=3771; Y2=4333. A classificação de fumaça neste módulo utilizando amostras das bandas 1 e 2 mostrou-se inviável, pois a contaminação dentro do módulo era grande, e o resultado dos temas nas demais bandas muito confuso. Por esta razão, utilizou-se apenas deste método.

As Figuras 4.45 a 4.50 mostram os gráficos dos valores de níveis de cinza para os pixels de uma linha nas imagens. São 512 pixels, nas bandas 1, 2, 3, 4, 5, e 7. Através destes gráficos, conjuntamente com a análise visual, identificou-se duas plumas de fumaça maiores nas bandas 1 e 2, que doravante serão chamadas de pluma 1 e pluma 2, conforme ilustrado nas Figuras 4.45 a 4.50.

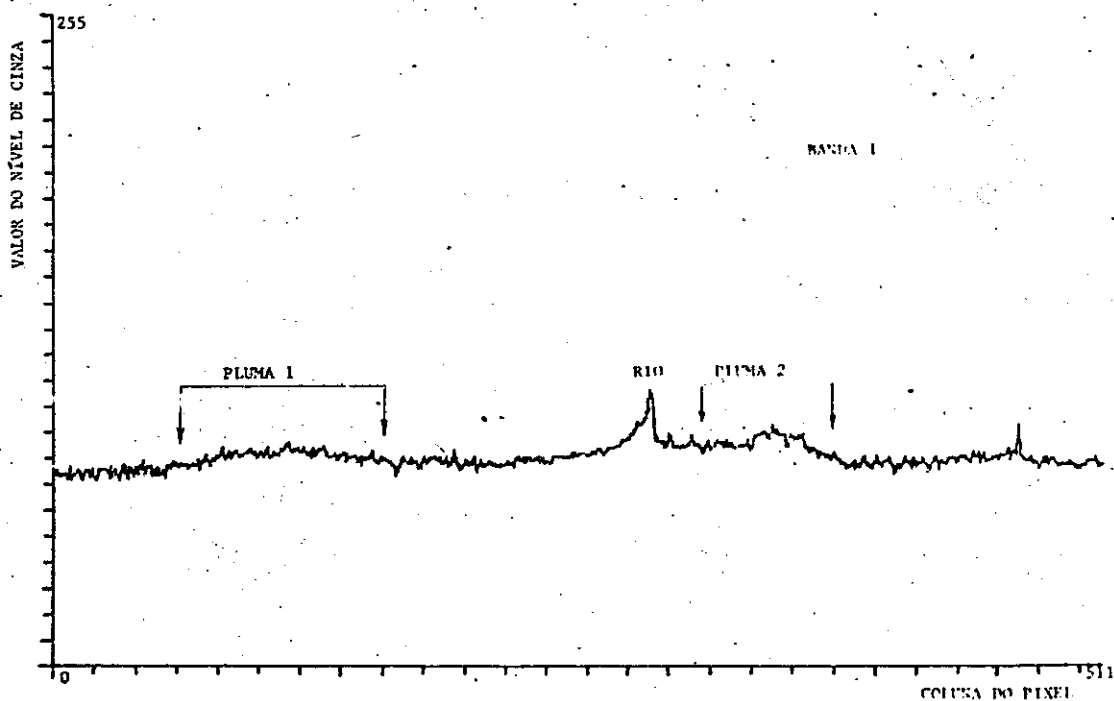


Fig. 4.45 - Valores dos níveis de cinza na banda um de uma linha de 512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça.

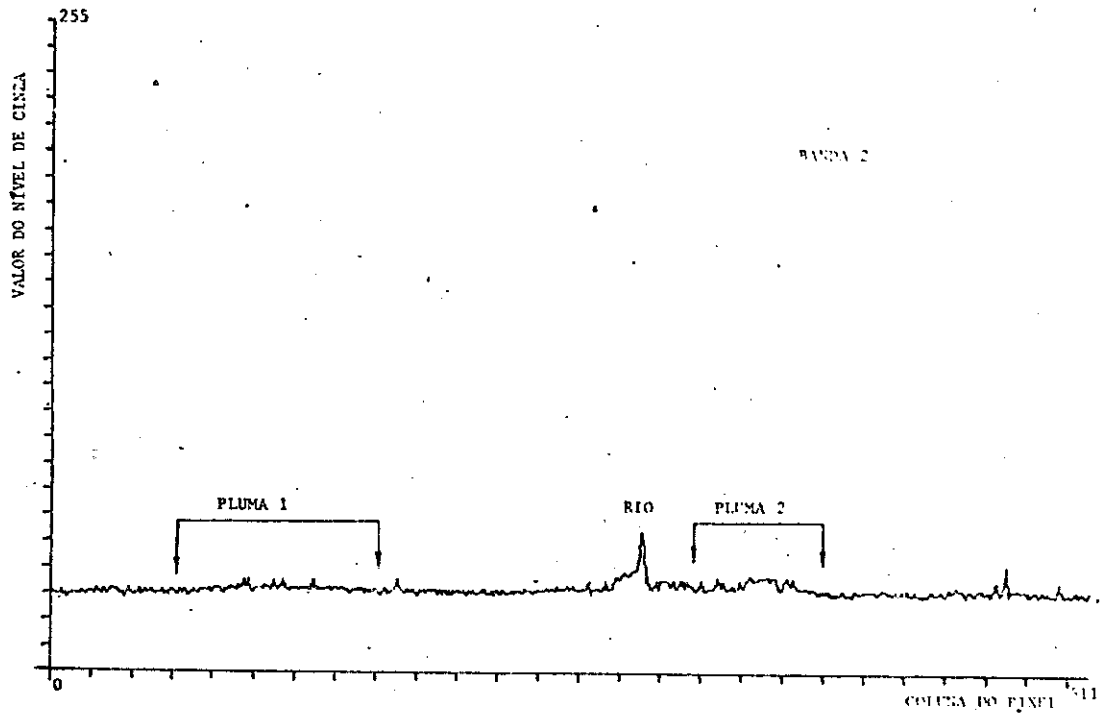


Fig. 4.46 - Valores dos níveis de cinza na banda dois de uma linha de 512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça.

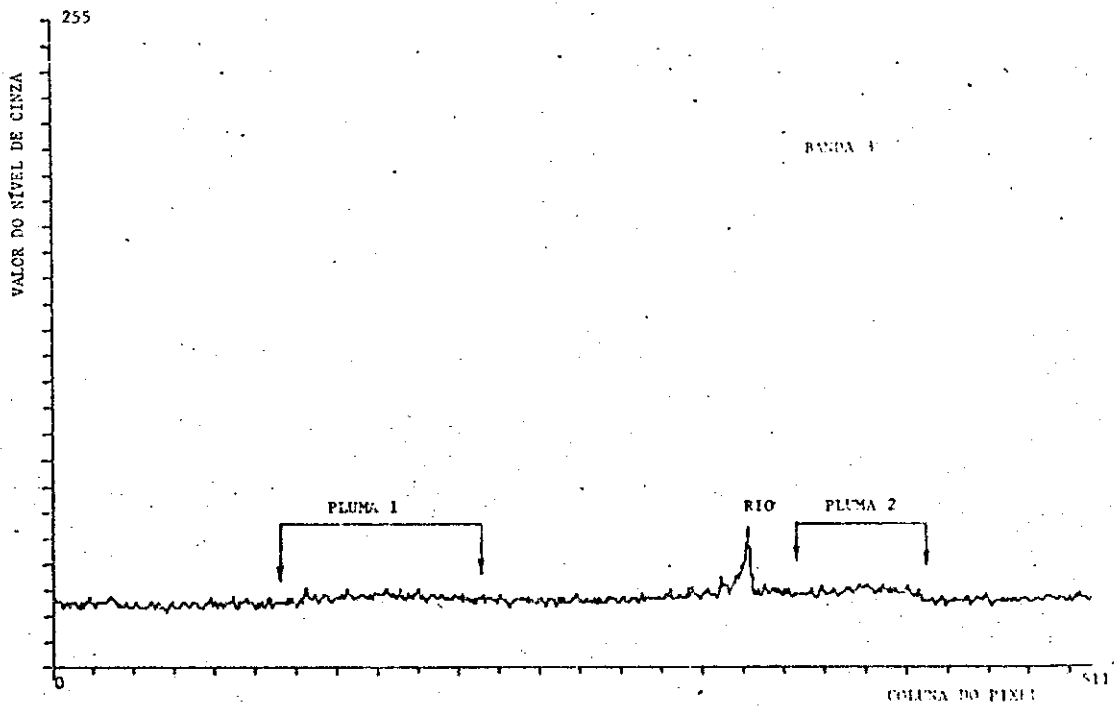


Fig. 4.47 - Valores dos níveis de cinza na banda três de uma linha de 512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça.

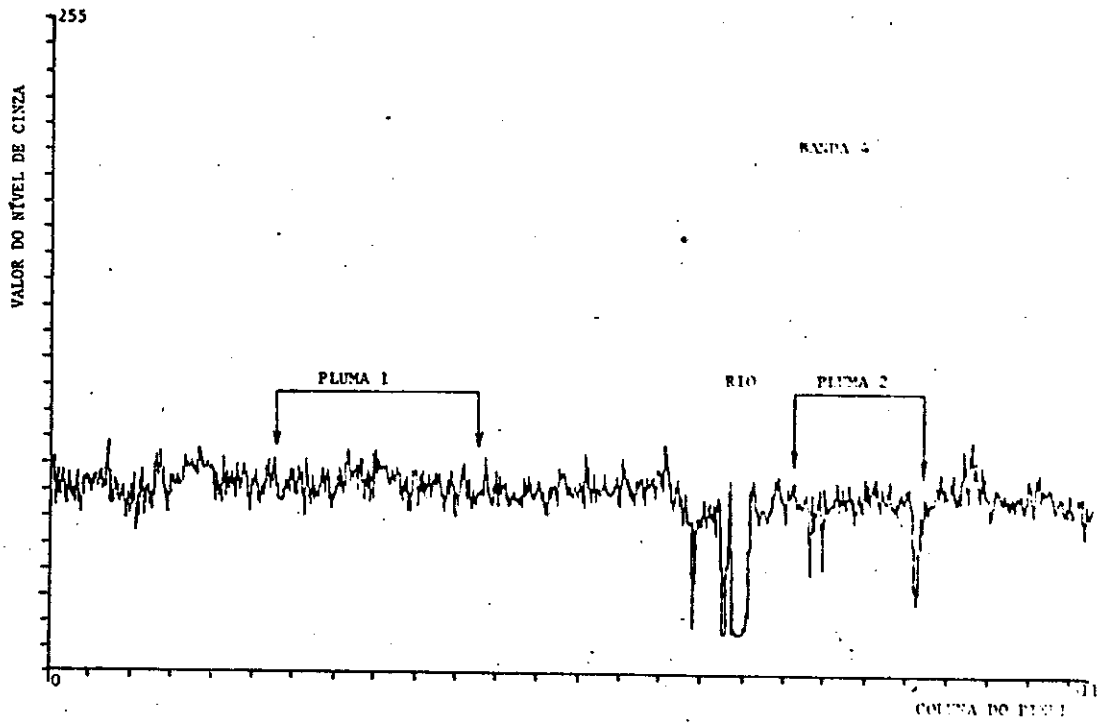


Fig. 4.48 - Valores dos níveis de cinza na banda quatro de uma linha de 512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça.

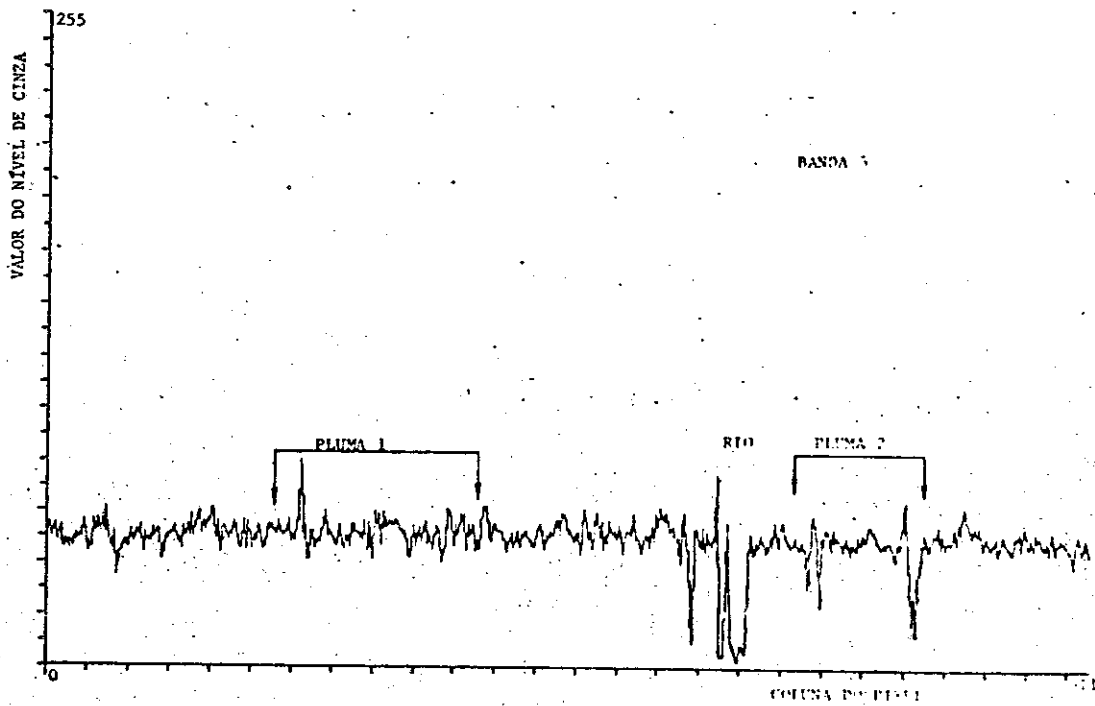


Fig. 4.49 - Valores dos níveis de cinza na banda cinco de uma linha de 512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça.

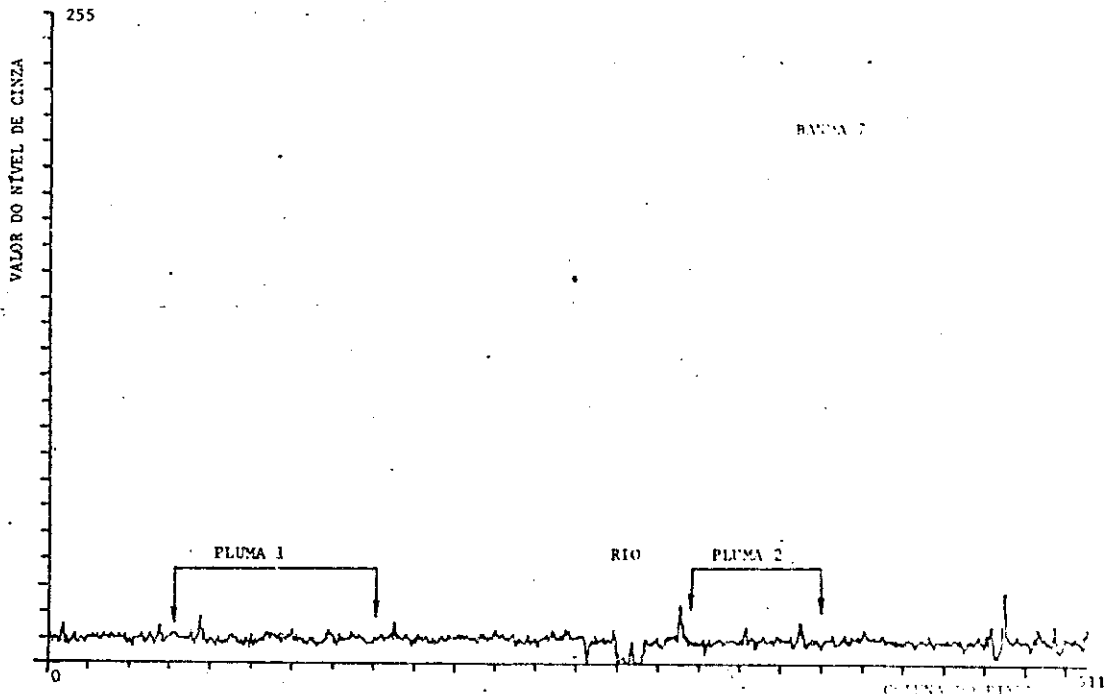


Fig. 4.50 - Valores dos níveis de cinza na banda sete de uma linha de 512 pixels da imagem TM de 11/08/85 para análise qualitativa das características espectrais de plumas de fumaça.

Um cálculo aproximado mostra que houve um acréscimo de 1,2-2,5% nos valores dos níveis de cinza da pluma 1 e de 2,5-4,1% nos valores da pluma 2, em relação aos valores mais baixos de níveis de cinza encontrados na linha, que teoricamente seriam correspondentes a pixels do tema vegetação, identificados através das bandas 3, 4 e 5. Este cálculo aproximado, feito para a banda 2, estimou em 0,9% o aumento dos valores na pluma 1 e 1,3-1,7% na pluma 2, sendo portanto menor o efeito da fumaça sobre esta banda em relação à banda um. Na banda 3 estimou-se um aumento nos valores dos níveis de cinza de 0,8-1,2% para a pluma 1 e de 1,2-1,7% para a pluma 2, aproximadamente o mesmo da banda dois. Nas demais bandas não há distinção dessas plumas, e o que se nota é uma maior variação do valor dos níveis de cinza encontrados na linha, demonstrando uma maior heterogeneidade da cena, não percebida nas bandas 1 e 2. Esta homogeneidade nas bandas um e dois faz com que seja prati-

camente impossível tentar uma classificação da fumaça a partir delas, por se mostrarem mais susceptíveis à presença de fumaça na atmosfera. Este fato confirma a teoria de que para as bandas de comprimentos de onda menores nos sensores do TM o efeito atmosférico é maior do que para as bandas de comprimentos de onda maiores. Estes resultados demonstram a possibilidade de estudar os efeitos atmosféricos provocados pela poluição causada por queimadas, através de imagens TM, em escala regional.

CAPÍTULO 5

TRANSPORTE DE POLUENTES

As condições meteorológicas gerais da área de estudo são descritas por Dias et alii (1987). Os dados aqui utilizados foram coletados durante a série de vôos ocorridos em julho e agosto de 1985. A maioria desses vôos foi feita sobre grandes regiões praticamente inexploradas da floresta Amazônica. Somente perto de rios e na periferia de áreas habitadas (por exemplo, Manaus Tabatinga e Belém) observou-se sinais de atividades agrícolas com queimadas associadas. O início dos experimentos deu-se quando a estação seca estava se definindo, embora ainda com precipitações relativamente frequentes. O fluxo de ar foi predominantemente de leste para oeste durante o período de pesquisas devido à presença de um anticiclone subtropical centrado próximo a 20-25° S e 35-45° W.

Durante o período do experimento a precipitação diminuiu, com excessão de instabilidades e tempestades convectivas ocorridas em 2 e 3 de agosto devido a um sistema frontal de alta latitude que entrou na parte sudoeste da Bacia Amazônica em 31 de julho (Garstang et alii, 1987).

Uma progressão da posição do anticiclone subtropical em direção noroeste introduziu quantidades crescentes de ar proveniente dos limites ao sudoeste da Bacia Amazônica em direção aos locais dos experimentos. Isto provocou um aumento nos níveis de poluição atmosférica na parte final do experimento, quando a estação seca foi estabelecida e as queimadas ocorreram com maior intensidade.

5.1 - OBSERVAÇÕES VISUAIS DE CAMADAS DE NÉVOA ATMOSFÉRICA ATRAVÉS DE AERONAVE.

(Adaptado de Andrea et alii, 1987)

Quando a aeronave Electra da NASA iniciou seus vôos em 18 de julho a visibilidade era excelente e não foi detectada nenhuma camada de névoa. Por causa de um período de precipitação relativamente frequente antes do início dos experimentos, foi presumido que qualquer existência de camadas de névoa poluente anterior fora removida pelas chuvas.

Nos vôos 3 e 4 (18 e 19 de julho; veja Tabela 3.2), e 7 (Belém Manaus em 24 de julho), densas camadas de névoa de cor castanha foram observadas entre 50-52°W e ~2°S (proximidades do rio Tocantins), a altitudes de 1,5-2,5 km. Estas camadas possuíam ao redor de 100 m de espessura e entre 10 e 100 km de extensão. Durante o período seguinte, nos vôos 8 a 11 (de 31 de julho a 01 de agosto), não foi detectada nenhuma camada de névoa. Os vôos 12 e 13 (2 e 3 de agosto) foram feitos com distúrbios que passaram por Manaus e criaram nuvens e precipitações consideráveis. Densas camadas de névoa foram observadas durante estes vôos a altitudes próximas a 2 km, e foram relacionadas a queimadas locais na região de Manaus. No vôo a Tabatinga, fronteira entre Brasil e Colômbia, fortes camadas de névoa foram observadas em altitudes de 2 a 3 km.

A camada de névoa mais intensa foi observada no vôo 16, em 8 de agosto, no segundo vôo de Manaus a Belém, aonde várias camadas foram observadas entre Manaus e o rio Xingu (~ 52° W). Eram finas camadas cobrindo extensas regiões. No vôo de retorno esta região esteve sujeita a atividades convectivas e as camadas estavam mal definidas.

Em contraste com estas camadas de névoa em altitudes maiores, foram observadas numerosas plumas de queimadas locais durante a maioria dos vôos. Estas plumas eram normalmente provenientes de pequenas queimas associadas a atividades agrícolas e foram mais frequentemente vistas próximas a Manaus, Tabatinga e Belém.

5.2 - OBSERVAÇÕES POR SATÉLITE E TRAJETÓRIAS DAS MASSAS DE AR.

Como foi mostrado no item 4.1.1, houve um significativo aumento no número de queimadas e áreas cobertas pelas plumas de fumaça ao final do experimento, e a partir dos maiores focos de queimadas calculou-se as trajetórias de massa de ar utilizando dados de radiossondagens, conforme descrito no item 3.7. Estas trajetórias foram calculadas para um período de 48 h, de 29 de julho até 09 de agosto. Nas Figuras 5.1 a 5.10 foram traçadas as trajetórias que têm por pontos iniciais, locais em que ocorreram a maioria das queimadas detectadas através do satélite NOAA-9, ou seja, ao sul do Pará e norte do Mato Grosso.

Estes cálculos mostraram que durante o período de coleta de dados o fluxo de ar foi predominantemente de leste para oeste, sendo que no período de 29 de julho a 1º de agosto a parte final da trajetória mudou gradativamente da direção nordeste-sudoeste para a direção sudeste-noroeste, com o ar poluído sendo transportado para os locais de amostragem do GTE/ABLE-2A. Também, no período de 2 a 4 de agosto, as trajetórias são mais no sentido leste-oeste e, de 5 a 8 de agosto, são predominantemente na direção noroeste, novamente transportando o ar poluído para as regiões de coleta do GTE/ABLE-2A.

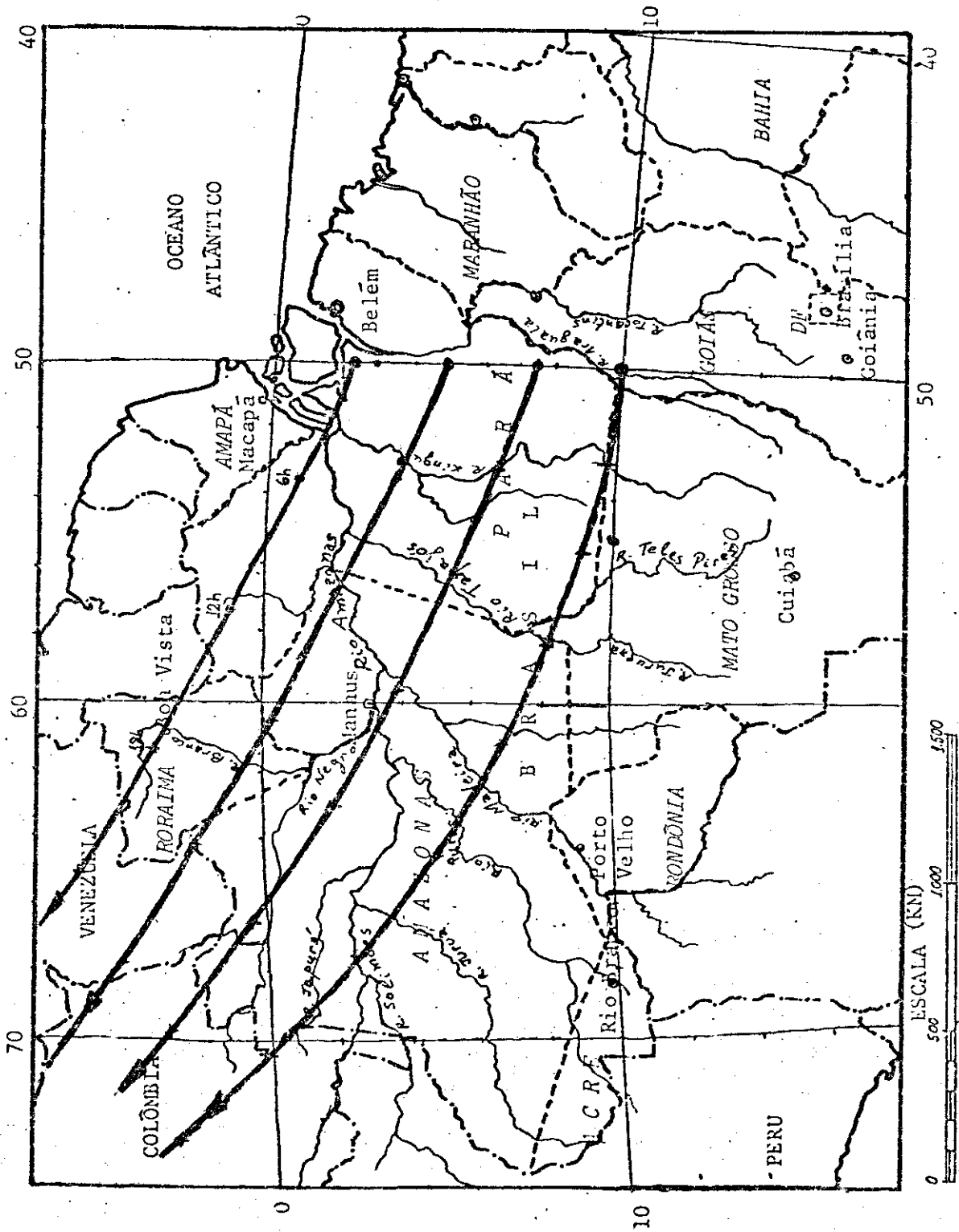


Fig. 5.4 - Trajetória dos poluentes nos dias 01 e 02 de agosto

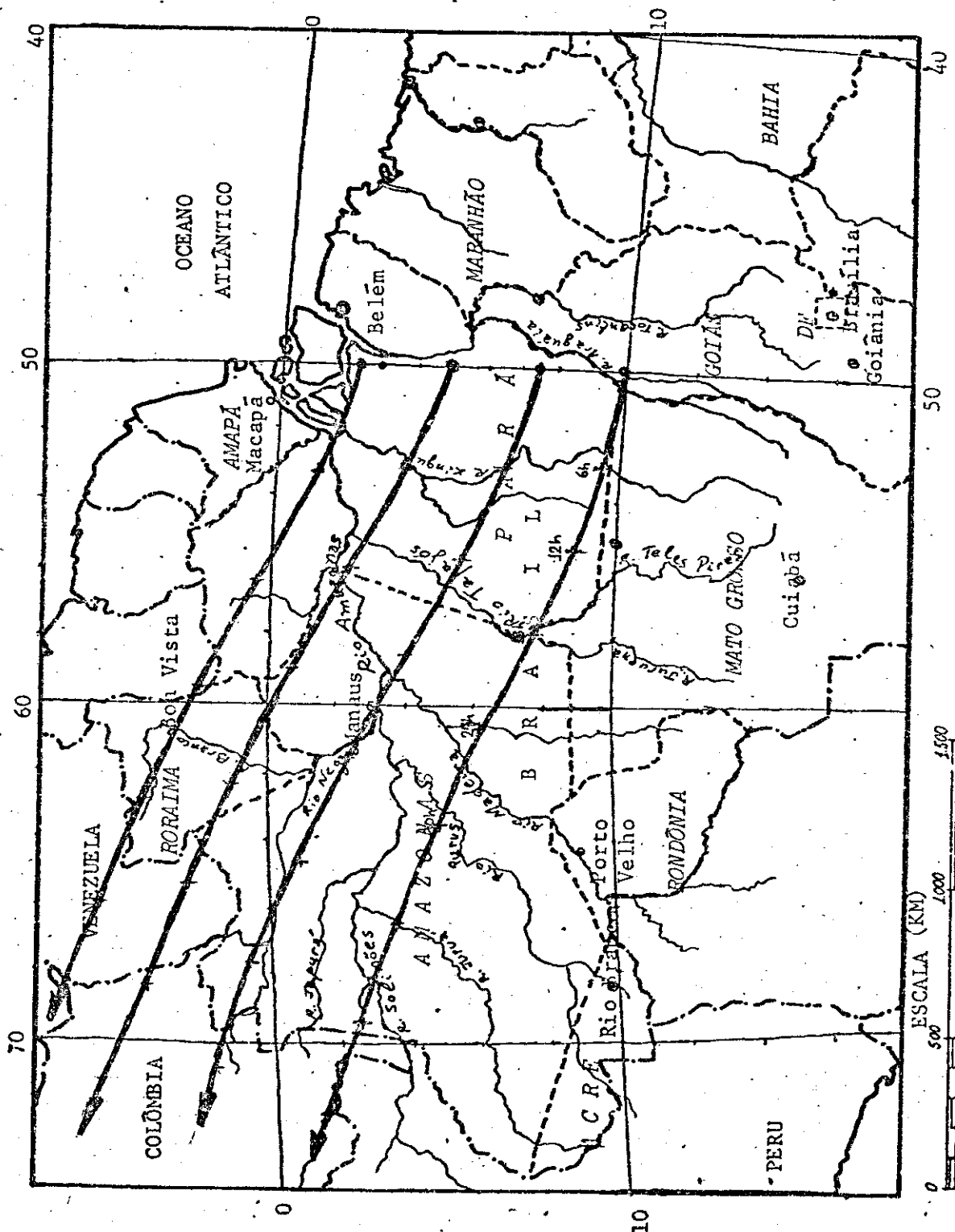


Fig. 5.6 - Trajetória dos poluentes nos dias 03 e 04 de agosto.

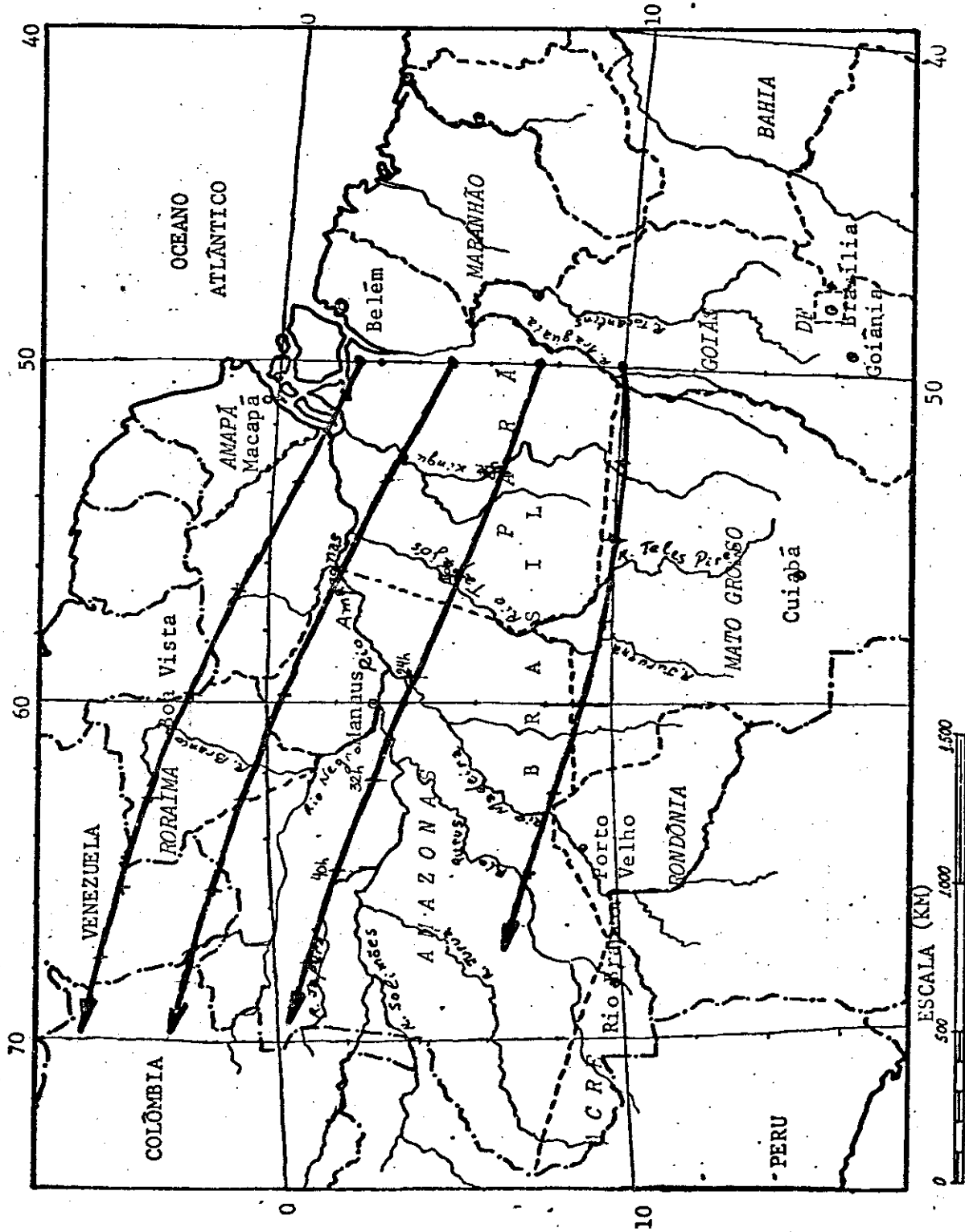


Fig. 5.7 - Trajetória dos poluentes nos dias 04 e 05 de agosto.

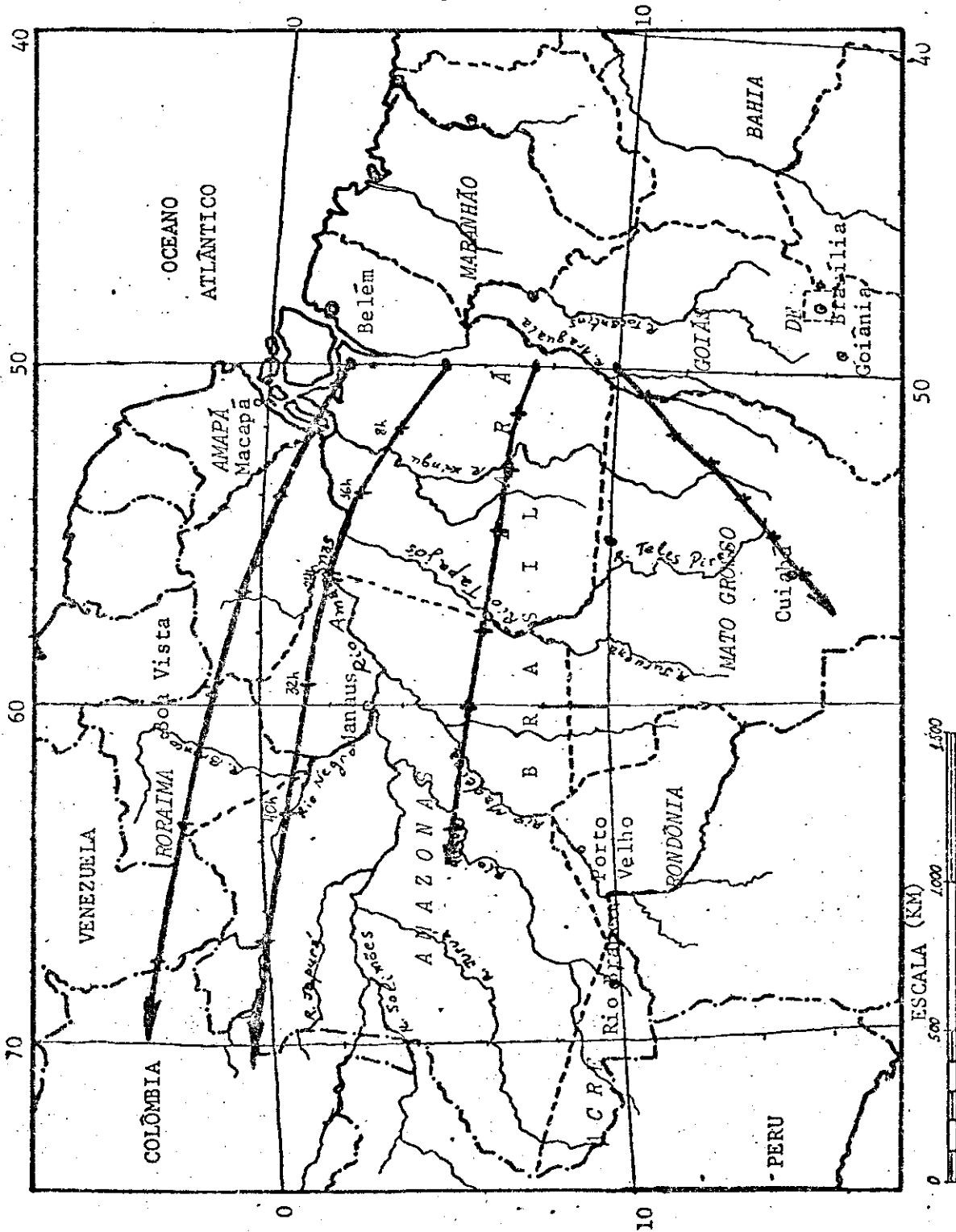


Fig. 5.8 - Trajetória dos poluentes nos dias 05 e 06 de agosto.

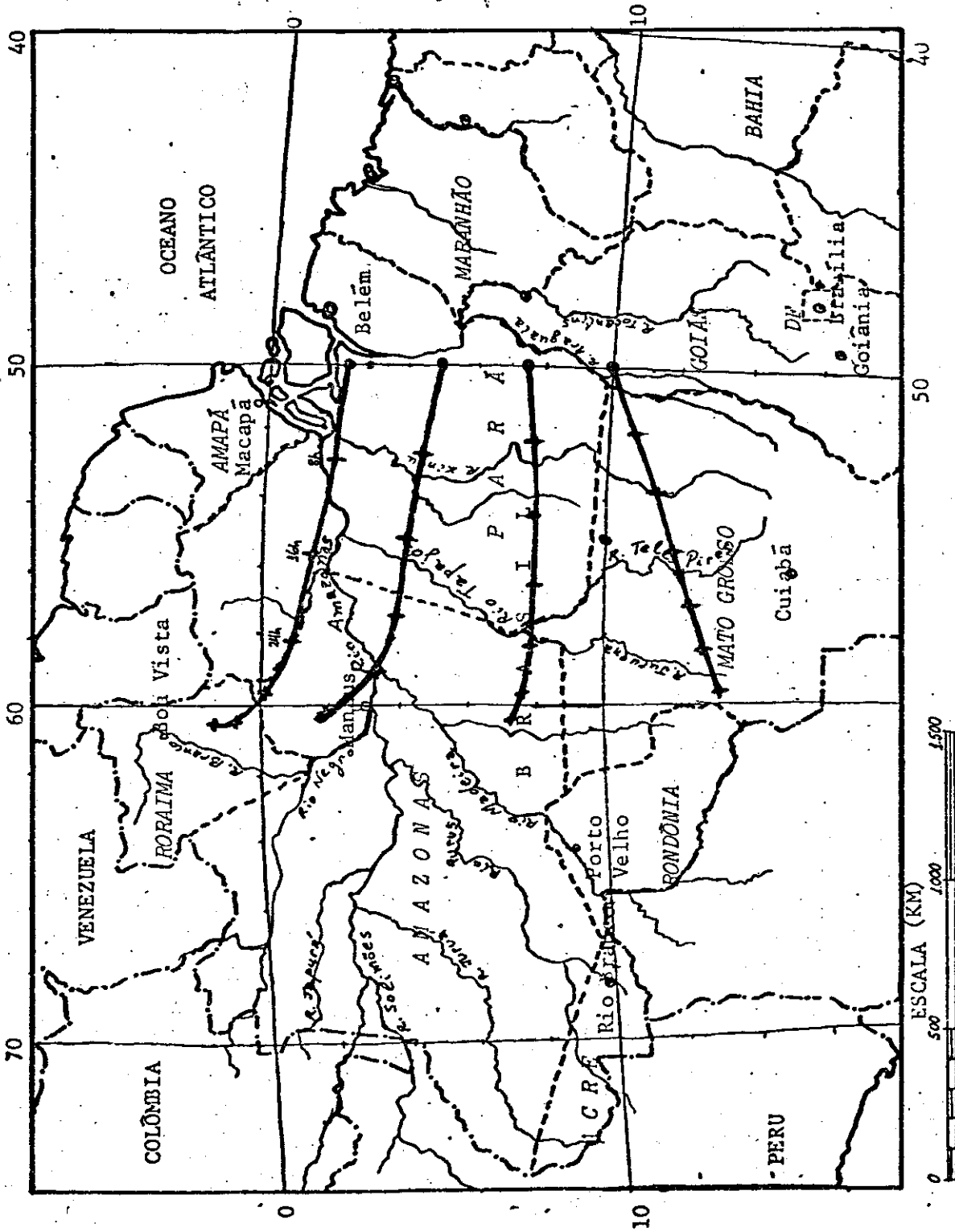


Fig. 5.9 - Trajetória dos poluentes nos dias 06 e 07 de agosto.

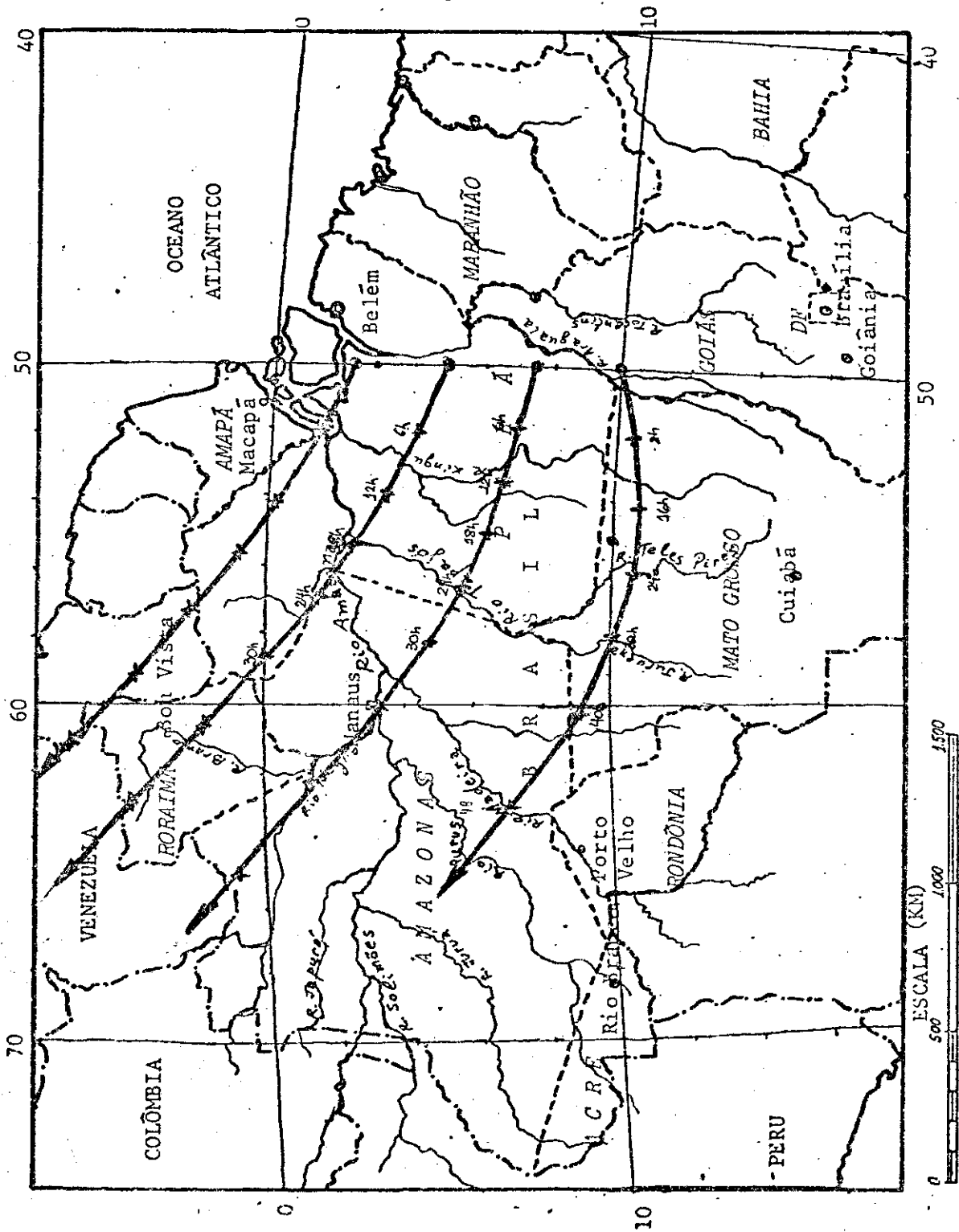


Fig. 5.10 - Trajetória dos poluentes nos dias 07 e 08 de agosto.

Os cálculos de trajetórias dão uma forte evidência de que as camadas de névoa observadas durante os vôos (veja ítem 5.1) são originárias de queimadas que ocorreram ao sul do Pará. Isto pode ser melhor demonstrado com o vôo 16 realizado em 8 de agosto de 1985.

Conforme pode ser visto na Figura 4.23 as queimadas provocaram um grande número de plumas nas regiões norte do Mato Grosso e sul do Pará. Na Figura 5.11, foram sobrepostas as Figuras 4.11 e 5.10, mostrando então que as plumas de fumaça observadas na imagem de satélite, as trajetórias de massas de ar e a rota do vôo 16. As trajetória sugerem que as plumas foram transportadas ao redor de 1.000 km entre o seu ponto de origem e o local em que estavam sendo avistadas pela aeronave, em um espaço de tempo de um dia, ou seja, com ventos médios da ordem de 40-50 km/h no nível de 850 mb.

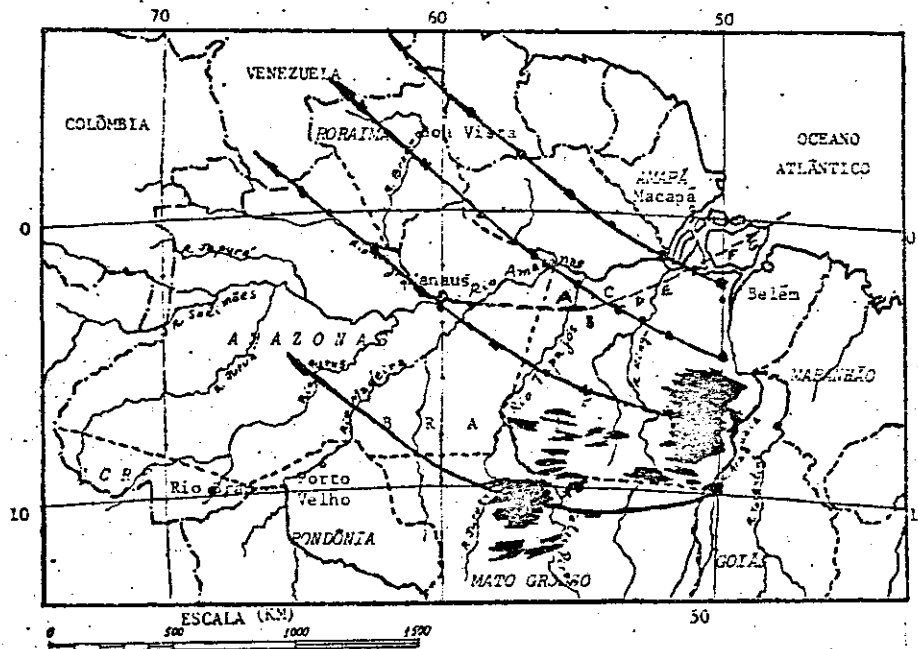


Fig. 5.11 - Locais de amostragem do vôo 16 coincidentes com as trajetórias de massas de ar poluídas no dia 08/08/85.
FONTE: Andrea et alii. (1987).

Dados de concentração de partículas finas tomados na Reserva Ducke (~25 km de Manaus) por Artaxo (1986), estão mostrados na Tabela 5.1. A Figura 5.12 mostra os dados de concentração de fuligem de carbono, em forma de histograma.

TABELA 5.1

DADOS DE CONCENTRAÇÃO DE PARTÍCULAS FINAS TOMADOS NA RESERVA DUCKE DURANTE O PERÍODO DO GTE/ABLE-2A

INÍCIO		FINAL		PARTÍCULAS FINAS					
DIA	HORA	DIA	HORA	MASSA	SO ₂	NO ₂	F	CO	FULGEM
				µg/m ³	(ng/m ³)				
11-07	15:16	12-07	15:00	4.97	312	--	--	--	270
12-07	16:57	14-07	10:18	2.66	760	--	--	--	570
14-07	10:20	16-07	09:22	2.68	229	--	--	2.5	631
16-07	10:18	18-07	13:00	1.62	152	--	--	--	220
18-07	13:05	22-07	15:45	3.75	361	--	--	0.57	720
22-07	15:50	24-07	12:00	3.48	405	--	2.39	--	390
24-07	12:00	26-07	13:50	4.41	534	--	5.68	--	680
26-07	13:50	28-07	11:45	2.33	309	--	1.26	3.73	120
28-07	11:45	30-07	11:05	5.48	590	--	9.13	2.97	600
30-07	11:50	01-08	09:00	4.66	610	--	14.4	3.38	420
01-08	09:00	03-08	11:40	8.14	795	10.4	11.9	4.53	1130
08-08	09:50	08-08	11:50	--	--	--	--	--	--
08-08	11:55	08-08	13:32	--	--	--	--	--	--
08-08	14:00	09-08	09:00	14.3	858	15.8	23.9	--	1120
09-08	09:04	11-08	09:06	8.31	125	5.16	7.91	--	770
11-08	09:11	13-08	10:19	10.1	532	16.4	12.4	--	780
13-08	10:23	15-08	09:40	9.67	814	13.1	11.6	--	960
15-08	09:42	17-08	09:55	5.92	363	4.68	--	1.3	810
17-08	10:03	19-08	13:10	11.1	985	17.5	11.3	--	980
19-08	13:15	21-08	09:36	13.2	098	12.1	9.99	--	1080
21-08	09:40	22-08	09:37	11.7	606	17.2	--	--	1070
22-08	09:40	23-08	10:20	12.2	469	20.6	5.4	--	990
23-08	10:28	24-08	10:37	9.45	647	--	8.88	--	950
24-08	10:41	25-08	11:34	6.02	684	--	7.87	--	760
25-08	11:37	26-08	10:19	8.36	991	37.9	6.21	--	830
26-08	10:23	27-08	10:49	2.44	488	--	--	--	660
27-08	10:53	28-08	15:42	4.67	367	--	2.56	89.9	760

FONTE: Artaxo, 1986.

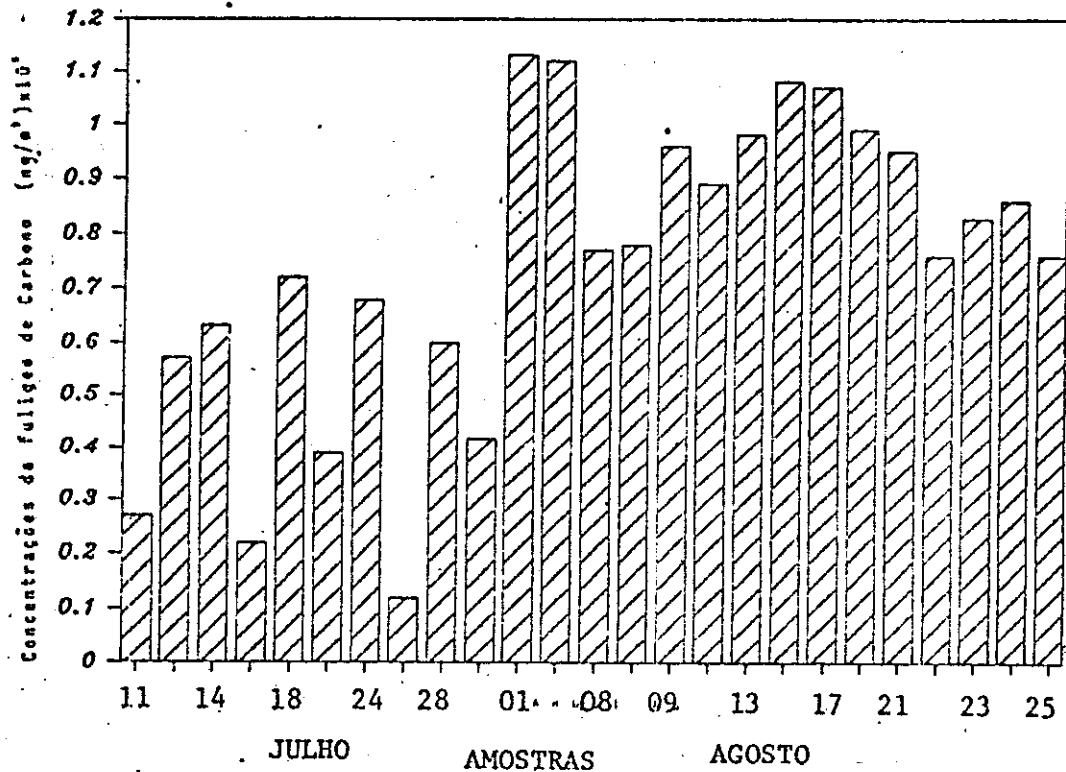


Fig. 5.12 - Histograma da concentração de fuligem de carbono tomadas na Reserva Ducke.
FONTE: Artaxo, 1986.

Nos dias 02 e 08 de agosto houve um grande aumento nas concentrações medidas, em perfeito acordo com a advecção de poluentes originários das queimadas distantes e inferida pelas trajetórias mostradas nas Figuras 5.4 e 5.10, e com as observações por meio de aeronave e satélite. Esta foi também uma das conclusões da reunião de trabalhos do GTE/ABLE-2A, realizada de 3 a 7 de fevereiro de 1986, para uma análise preliminar dos dados, registradas em trabalhos de Pereira e Setzer (1986a, b, c, d), Setzer and Pereira (1986) e Andrea et alii (1987).

CAPÍTULO 6

RAZÕES DE EMISSÃO DE GASES PRODUZIDOS EM QUEIMADAS

Os dados de campo aqui analisados foram obtidos através de inúmeros experimentos executados durante o GTE/ABLE-2A, e instalados na aeronave Electra, e são adaptados de Andrea et alii (1987).

6.1 - DIÓXIDO DE CARBONO E MONÓXIDO DE CARBONO.

Um dos produtos que se apresentam em maior quantidade durante as queimadas é o dióxido de carbono (Andrea et alii, 1987). Desta forma, a medida de sua concentração serve para localizar a presença de plumas de fumaça e para fornecer relações entre as concentrações das diversas espécies observadas nas plumas e a quantidade de matéria orgânica queimada. Estas relações tem fatores limitantes tais como: i) a concentração de CO₂ da pluma deve ser relativamente muito mais alta do que a concentração normal encontrada na atmosfera; ii) os níveis de concentração de CO₂ na camada limite planetária são naturalmente variáveis, tanto espacialmente como temporalmente (Wofsy et alii, 1987); iii) o detector de CO₂ instalado na aeronave mostrou-se sensível às variações de altitude exigindo constantes recalibrações.

O monóxido de carbono produzido durante a combustão incompleta de matéria orgânica representa de 5% a 20% do carbono orgânico queimado (Crutzen et alii, 1979; Greenberg et alii, 1984; Crutzen et alii, 1985) e, o seu aumento de concentração na atmosfera devido à presença de plumas de fumaça de queimadas é mais facilmente detectado do

que o CO_2 , desde que a quantidade emitida seja de uma ordem de grandeza maior do que a concentração do CO_2 . O detector de CO não mostrou sensibilidade a mudanças de altitude e, desta forma, as medidas de concentração de CO foram usadas como o principal traçador de plumas de fumaça (Sachse et alii, 1986).

Na Figura 6.1 é mostrada uma série de perfis verticais de CO adquiridos no vôo Manaus-Belém do dia 08 de agosto (vôo 16 - veja Tabela 3.4) com a distribuição em escala regional das plumas de fumaça.

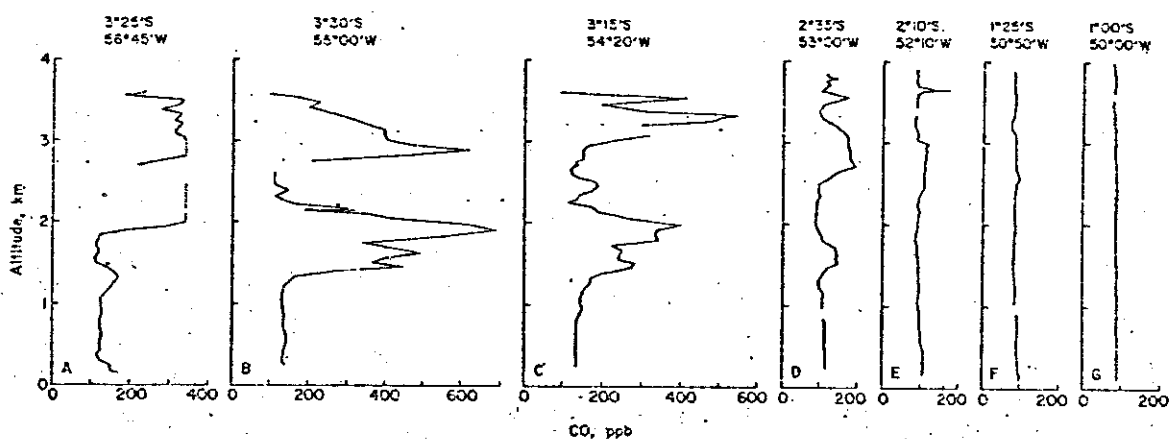


Fig. 6.1 - Perfis verticais da concentração de CO sobre a Bacia Amazônica entre Manaus e Belém (vôo 16 - 08/08/85)
Fonte: Andrea et alii, 1987.

Para achar as razões de emissão de CO_2 e CO, foram analisados os casos em que se obteve amostras conjuntas de CO_2 e CO (Andrea et alii, 1987).

Dentro das camadas de névoa provocadas pela fumaça de queimadas a altitudes de 2 km e 3-3,5 km, uma boa coerência entre as concentrações de CO e CO₂ obtidas ficou evidente. Entretanto, os dados obtidos na camada limite planetária não mostram esta coerência, por causa da grande variação de concentração de CO₂ provocada pelas interações deste gás com a floresta (Andrea et alii, 1987).

Na Figura 6.2 estão plotados os valores de concentração de CO e CO₂ obtidos nas camadas de névoa em intervalos médios de tempo de 10s, durante o voo 16 entre Manaus e Belém (conforme descrito no item 5.1). Uma correlação muito boa entre os dados pôde ser notada, tal que, as razões de emissão obtidas através da reta de regressão para as camadas em 2km, 3,3 km e 3,5 km de altitude foram $0,088 \pm 0,008$, $0,080 \pm 0,007$, e $0,079 \pm 0,006$, respectivamente, com um $r^2 > 0,8$. Para o conjunto todo de 112 amostras, obteve-se uma razão de emissão média de $\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ de $0,085 \pm 0,004$, com $r^2 = 0,82$. Este resultado tem valor um pouco inferior ao do obtido por Crutzen et alii (1979) e os de Greenberg et alii (1984) citados no item 2.4.4, devido ao fato de que as amostras atuais foram tomadas em camadas de névoa distantes mais de 1000 km de seu local de origem conforme mostrou a análise de trajetórias (veja item 5.2), ao passo que Crutzen et alii (1979) e Greenberg et alii (1984) fizeram coletas em plumas de fumaça próximas ao local das queimadas.

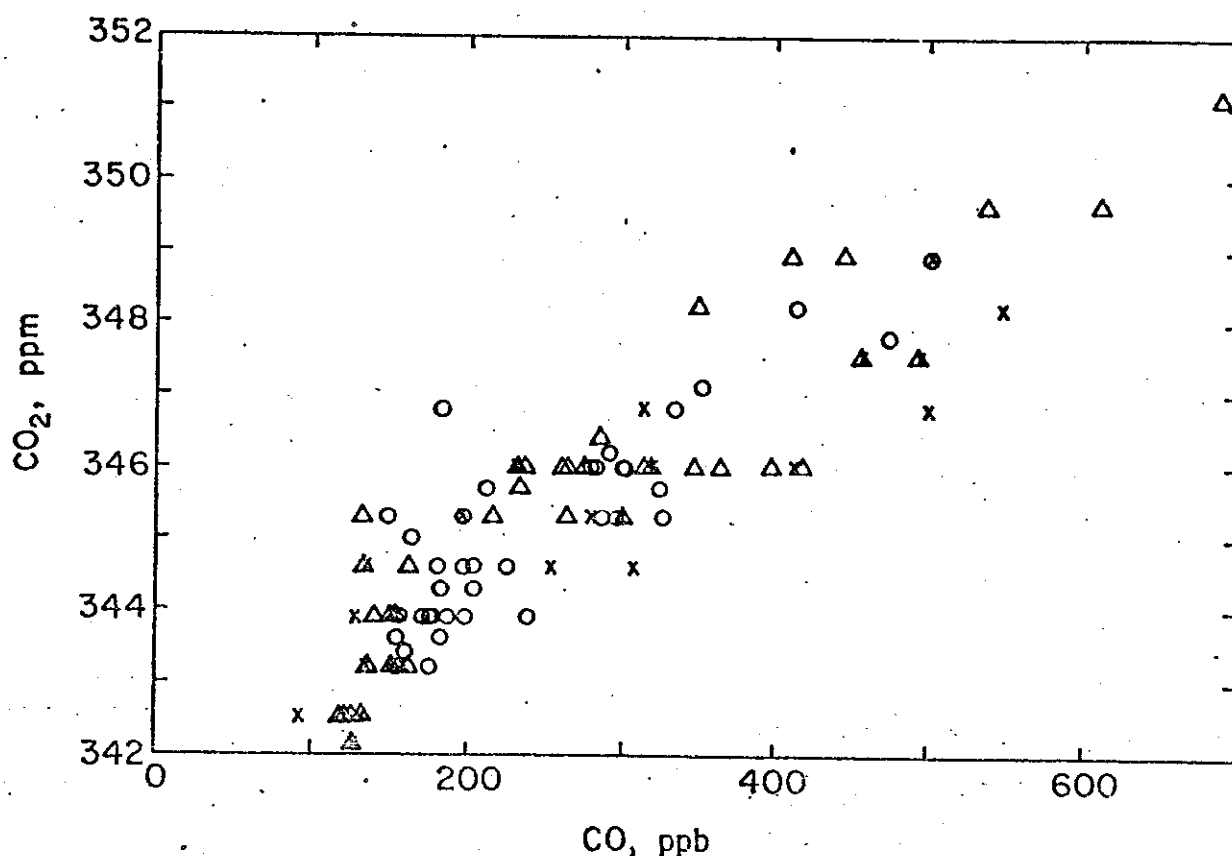


Fig. 6.2 - Gráfico de COxCO₂ medidos nas camadas de névoa amostradas no vôo 16 (08/08/85).

FONTE: Andrea et alii, 1987.

Legenda: △ = espiral descendente em B; X = espiral ascendente em C; O = amostragem ao nível do vôo (~3,5km de altitude).

6.2 - ÓXIDO NÍTRICO E NO_x.

O óxido nítrico (NO) é o óxido de nitrogênio emitido em maior quantidade durante as queimadas. Em presença de luz solar, ozônio e vários outros hidrocarbonetos que são emitidos juntos com o NO durante a queimada, várias reações fotoquímicas são iniciadas, seguidas de reações secundárias equivalentes ao processo de smog fotoquímico. Como as amostras foram tomadas em camadas de névoa com tempo de vida estimado em um dia (item 5.2) é esperado que uma grande parte do NO produzido nas queimadas tenha sido oxidado em HNO₃ e nitratos orgânicos, tais como o peroxiacetilnitrato.

As razões de emissão de $\Delta\text{NO}/\Delta\text{CO}$ calculadas pela correlação entre os dados de concentração de NO e CO em plumas de fumaça são mostradas na Tabela 6.1. Os dados estão separados em dois grupos: o primeiro para as plumas locais "novas" provenientes de pequenas queimadas locais com propósitos agrícolas, e o segundo para as plumas "velhas" provenientes de locais distantes. Esta separação deve-se ao fato anteriormente citado de que nestas plumas velhas uma grande parte dos óxidos de nitrogênio já foram convertidos em HNO_3 e nitratos orgânicos. Baseado nas análises de trajetórias (item 5.2) estas plumas teriam um tempo de vida de um a dois dias.

TABELA 6.1

RAZÕES DE NO E NO_x POR CO E CO₂ EM PLUMAS DE QUEIMADAS RECENTES (A)
E CAMADAS DE NÉVOA NA MÉDIA TROPOSFERA (B) SOBRE A BACIA AMAZÔNICA

Vôo	Altitude (km)	n	r ²	$\Delta\text{NO}/\Delta\text{CO}$ (x 10 ³)	$\Delta\text{NO}/\Delta\text{CO}_2^a$ (x 10 ³)	NO _x /NO ^b	$\Delta\text{NO}/\Delta\text{CO}_2$ (x 10 ³)
3	0.25-0.5	97	0.74	8.59±0.52	0.73±0.04	4.0	2.92±0.16
5	0.3	60	0.69	6.19±1.69	0.53±0.14	4.1	2.16±0.59
10	0.15	319	0.53	1.41±0.07	0.12±0.01	4.4	0.53±0.04
10	0.15	43	0.59	1.52±0.20	0.13±0.02	4.4	0.57±0.08
12	1.6	14	0.52	1.50±0.38	0.13±0.03	4.1	0.53±0.12
14	0.65	56	0.95	3.43±0.10	0.30±0.01	3.9	1.17±0.04
16	0.13	--	--	2.0 ^c	0.17 ^c	3.9	0.66 ^c
17	0.15	28	0.84	9.96±0.85	0.85±0.07	4.1	3.48±0.28
Média para todos os vôos				4.32±3.46	0.37±0.29	4.1	1.51±1.21
Média (Intervalo), vôos 3,5,14,16,17				6.0(2.0-10.0)	0.51(0.17-0.85)		2.08(0.66-3.48)
B)							
7	2.2	65	0.79	1.03±0.07	0.088±0.006		
7	2.6-3.5	79	0.28	0.46±0.08	0.039±0.007		
14	2.7	59	0.51	0.44±0.06	0.037±0.005		
16	1.6-3.8	96	0.78	0.15±0.01	0.013±0.001		
Média				0.52±0.37	0.044±0.031		

FONTE: Adaptado de andrea et alii (1987).

Legenda: (a) Baseada na razão de $\Delta\text{CO}/\Delta\text{CO}_2$ de 0,085; (b) NO_x = NO₂ + NO;
(c) Variância não estimada devido ao pequeno número de dados.

Para as plumas novas, o tempo de amostragem foi muito pequeno em alguns dos casos (vãos 10 e 12), justificando os baixos valores de razão de emissão e coeficiente de correlação (r^2). Entretanto, para os vôos 3,5,14,16 e 17, os resultados são melhores, tal que a razão de emissão de $\Delta NO/\Delta CO$ foi calculada em $(6,0 \pm 4) \times 10^3$.

Para a obtenção da razão de emissão de NO_x a partir deste resultado multiplica-se a razão de $\Delta NO/\Delta CO$ pelas razões de $\Delta CO/\Delta CO_2$ e NO_x/NO . Usando a razão de emissão de $\Delta CO/\Delta CO_2 = 0,085$ anteriormente calculada, a razão de emissão média de $\Delta NO/\Delta CO_2$ é de $(0,51 \pm 0,34) \times 10^3$. A Tabela 6.1 mostra também que as razões de NO_x/NO foram de 3,9 a 4,4 para todas as plumas, e a razão média de $\Delta NO_x/\Delta CO_2$ para as plumas novas foi calculada em $2,1 \times 10^3$.

Como exemplo das relações entre NO/CO nas plumas velhas, é mostrado na Figura 6.3 o gráfico de NO vs. CO para os dados obtidos no vôo 16. As razões de emissão obtidas em todas estas plumas estão mostradas na Tabela 6.1. E a razão média total de $\Delta NO/\Delta CO$ para estas camadas foi de $(0,52 \pm 0,37) \times 10^3$, uma ordem e grandeza menor do que a encontrada para as plumas novas. Isto é uma forte evidência de que várias reações já ocorreram durante o transporte das plumas desde o local das queimadas ao local de amostragem.

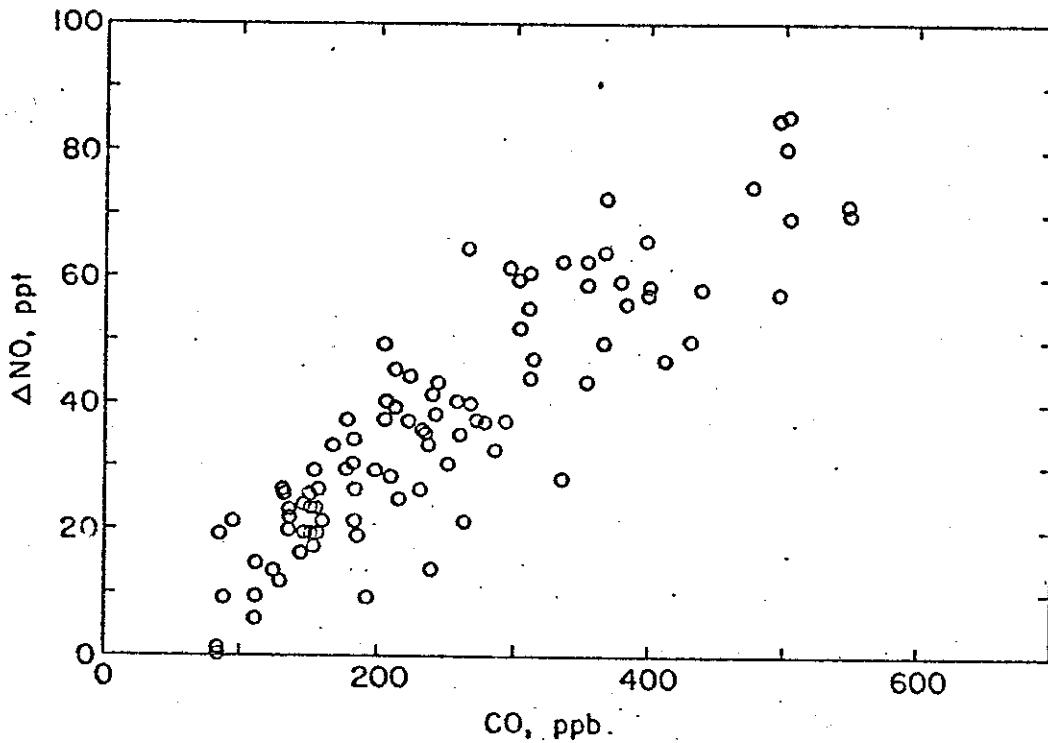


Fig. 6.3 - Gráfico de NOxCO dos dados obtidos no vôo 16.
FONTE: Andrea et alii (1987)

6.3 - OZÔNIO.

Níveis elevados de ozônio medidos na troposfera foram associados à presença de camadas de névoa provocadas pelas queimadas. Estes altos níveis foram interpretados como uma evidência para a formação de ozônio nas plumas durante o seu transporte para os locais de amostragem. Conforme descrito no item 5.2, o tempo para este transporte é da ordem de um dia, de maneira que temos ao redor de 12h de luz solar disponível para a ocorrência de processos fotoquímicos.

Conforme Andrea et alii (1987) a produção de ozônio por meio da oxidação de CH₄ não foi levada em conta nestes cálculos, pois é muito pequena a sua contribuição nesta escala de tempo, e foi presumido

que os principais contribuintes para este processo de produção de O_3 foram o CO e os hidrocarbonetos.

A oxidação de CO pode consumir ou produzir O_3 , dependendo da quantidade de NO presente. Na ausência de NO, uma molécula de O_3 é consumida para cada molécula de CO oxidada, ao passo que na presença de NO uma molécula de O_3 é produzida para cada molécula oxidada. O limite entre estes dois processos ocorre quando a razão de NO/ O_3 é de $0,2 \times 10^3$ (Crutzen, 1986).

As medidas de concentração de NO nas plumas variaram de 20 a 300 ppt, dependendo da "idade" das plumas, extensão e diluição no ar. Estes valores de concentração implicam em razões de NO/ O_3 de $0,4-6 \times 10^3$, sendo então presumido que pelo menos inicialmente a oxidação do CO participa na produção de O_3 (Andrea et alii, 1987).

Um limite superior para a quantidade de O_3 que possa ser produzida a partir do excesso de CO nas plumas é dada por:

$$\Delta O_3 = k \cdot [OH] \cdot \Delta CO \cdot \Delta t,$$

onde k é a razão constante para a reação $CO + OH$ ($= 2,2 \times 10^3 \text{ cm}^3 \cdot \text{molécula.s}$), [OH] é a concentração de OH (média diurna de $5 \times 10^5 \text{ moléculas.cm}^3$, segundo Jacob and Wofsy, 1987), e Δt é o intervalo de tempo disponível para a reação (12 horas).

Partindo desta equação, foi obtida a razão de $\Delta O_3 / \Delta CO$ de aproximadamente 0,005, sob a hipótese de que somente a oxidação do CO está produzindo O_3 . Por outro lado, a análise da correlação entre os dados de CO e O_3 amostrados nas camadas de névoas do vôo 16, mostram razões de $\Delta O_3 / \Delta CO$ no intervalo de 0,01 a 0,09 (Tabela 6.2). Isto sugere

que a maior parte do O_3 produzido nas plumas é resultado da oxidação fotoquímica de hidrocarbonetos não metanos.

TABELA 6.2

CORRELAÇÃO ENTRE OZÔNIO E MONÓXIDO DE CARBONO EM PLUMAS
AMOSTRADAS NO VÔO 16 ENTRE MANAUS E BELÉM NO DIA 08/08/85

Altura da camada (km)	Tempo de amostragem (UT)	$\Delta O_3 / \Delta CO$ (mol/mol)	r ²	n
ca. 1.5	1221-1245	0.060±0.005	0.54	122
1.5-2.5	1340-1354	0.015±0.010	0.68	74
1.5-2.5	1411-1415	0.060±0.010	0.60	27
1.5-2.0	1445-1449	0.093±0.010	0.89	13
ca. 3.0	1338-1339	0.012±0.001	0.98	5
3.0-3.5	1418-1422	0.027±0.003	0.83	25
3.5-4.5	1316-1336	0.033±0.004	0.50	62
3.5-4.5	1335-1336	0.019±0.006	0.75	6
3.5-4.5	1419-1441	0.029±0.002	0.70	132
3.5-4.5	1519-1520	0.087±0.012	0.90	8

FONTE: Andrea et alii (1987).

6.4 - AEROSSÓIS

Com excessão de sódio, todos os constituintes aerossóis iônicos foram achados em concentrações maiores nas plumas de fumaça do que as normais na atmosfera (Tabela 6.3). O grau de enriquecimento destes aerossóis nas plumas em relação aos aerossóis da camada limite planetária foi da ordem de duas a três vezes em média. Também a fuligem de carbono (preta) foi claramente enriquecida, mas para estas espécies há a hipótese de que pudessem ser provenientes da poluição industrial de Manaus, que estava a 100 km do local de amostragem.

Todos os íons ácidos orgânicos também tiveram sua concentração aumentada nas plumas (Tabela 6.3). Estes íons são provavelmente os produtos da combustão primária e produtos da oxidação atmosférica de outros compostos orgânicos.

Também foi encontrada uma alta concentração de metanosulfonato nos aerossóis de plumas de queimadas, sendo que este componente não era esperado.

TABELA 6.3

CONCENTRAÇÕES DE COMPONENTES DE AEROSSÓIS NAS PLUMAS DE FUMAÇA

Vôo Altitude (km)	12 1.7	16 1.3	16 3.7	17 3.0	camada limite	troposfera
Formate (aerosol)	39	43	90	103	24±12	9.2±5.5
Acetate (aerosol)	30	45	50	65	20±12	7.8±4.4
Oxalate (aerosol)	85	117	67	116	43±16	5.0±3.1
Pyruvate (aerosol)	5.5	6.7	11	13	3.8±1.3	0.7±0.7
Na	162	107	27	102	130±65	26±24
K	321	171	318	275	103±38	20±16
Cl	70	24	144	74	29±24	20±12
TPM ^d (µg m ⁻³)	10	12	6	ND	10±8	2±2
POC ^e (µg m ⁻³)	5.3	9.4	7.7	ND	8.8±2.3	2.6±0.7
EC ^f (µg m ⁻³)	1.6	1.1	1.0	ND	0.7±0.3 ^g	ND

^aΣSO = SO₂ + SO₄⁻ + MSA; ^bEstimado como 3,5xNO; ^cΣNO = HNO₃ + NO₃⁻ + NO_x;

^dTPM = matéria particulada total; ^ePOC = carbono orgânico particulado;

^fEC = carbono elementar (preto); ^gAmostras em filtros coletadas ao nível do solo a 100 km de Manaus

6.5 - ESTIMATIVA DAS EMISSÕES GLOBAIS E REGIONAIS DE GASES TRAÇO A PARTIR DE QUEIMADAS.

Baseado nas razões de emissão (Tabela 6.4), Andrea et alii (1987) estimaram as fontes dos fluxos de emissões a partir de queimadas, na América do Sul e no mundo (Tabela 6.5). Os autores utilizaram as estimativas de Seiler and Crutzen (1980) para o fluxo de CO₂ de queimadas (média de 3,1 Pg de C/ano - ver item 2.4.1) e fração de florestas tropicais sulamericanas (17%). Uma discussão detalhada a respeito dos valores da Tabela 6.4 é encontrada em Andrea et alii (1987).

Conforme a estimativa do item 4.2.3, a área total queimada durante a temporada de 1985 na Amazônia Legal foi de 67.000 km², dos quais 27.000 km² associados a desmatamentos recentes e o restante a capoeiras, pastagens, cerrado, etc...

TABELA 6.4

RAZÕES DE EMISSÃO DE QUEIMADAS ESTIMADAS A PARTIR DA COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS DE NÉVOA ENCONTRADAS NA MÉDIA-TROPOSFERA SOBRE A AMAZÔNIA

Vão Data	12 02/08/85	16 08/08/85	16 08/08/85	17 09/08/85	Média
Altitude	1.7	1.3	3.7	3.0	
\overline{CO} (ppb)	173	190	192	173	
CO (superf) (ppb)	125	120	82	90	
ΔCO (ppb)	48	70	110	83	
ΔCO_2 (= $\Delta CO/0.085$)	565	824	1294	976	
\overline{NO} (ppt)	25	18	29	21	
NO (superf)	11	—	14	14	
ΔNO	14	—	15	7	
$\Delta NO/\Delta CO_2$ (10^{-3})	0.025 ^a	0.014 ^b	0.012 ^b	0.007 ^a	0.015
\overline{INO}^c (ppt)	700	390	640	930	
INO (superf)	127	134	73	197	
ΔINO	573	256	567	733	
$\Delta INO/\Delta CO_2$ (10^{-3})	1.01	0.31	0.44	0.75	0.63
$\overline{NH_4^+}$ (ppt)	980	780	780	1070	
NH_4^+ (superf)	242	108	22	132	
ΔNH_4^+	738	672	758	938	
$\Delta NH_4^+/\Delta CO_2$ (10^{-3})	1.31	0.82	0.59	0.96	0.92
\overline{ISO}^d (ppt)	430	360	280	360	
ISO (superf)	122	103	22	154	
ΔISO	308	257	258	206	
$\Delta ISO/\Delta CO_2$ (10^{-3})	0.55	0.31	0.20	0.21	0.32
\overline{K} (ppt)	321	171	318	275	
K (superf)	85	64	19	78	
ΔK	236	87	299	207	
$\Delta K/\Delta CO_2$ (10^{-3})	0.42	0.11	0.23	0.21	0.24
$\overline{TPM}^{e,f}$ ($\mu g m^{-3}$)		12	6		
TPM (superf)		—	42		
ΔTPM		—	4-6		
$\Delta TPM/\Delta CO_2$ ($g (kg C)^{-1}$)	<35	18 ^g	6-8	<20	12
$\overline{POC}^{f,h}$ ($\mu g C m^{-3}$)			7.7		
POC (superf)			2.6		
ΔPOC			5.1		
$\Delta POC/\Delta CO_2$	<19	<23	7.9	<20	7.9

(a) Baseada nas medidas de resposta rápida dos dados de NO e CO; (b) baseada no cálculo de NO da concentração média de plumas; (c) $\Sigma NO = NO_x +$ aerosol de $NO_3 + HNO_3$ gasoso; (d) $\Sigma SO = SO_2 +$ aerosol de $SO_4 + MSA$; TPM = matéria particulada total; (f) para TPM e POC o enriquecimento das plumas só pode ser calculado para uma amostra; para os outros valores são limites superiores; (g) baseada na regressão entre TPM e CO; (h) carbono orgânico particulado.

TABELA 6.5

ESTIMATIVA DE EMISSÕES DE QUEIMADA A NÍVEL REGIONAL E GLOBAL

	$\Delta X/\Delta CO_2$ ($\mu\text{mol/mol}$)			Am. do Sul (Tg elem./ano)	Global (Tg elemento/ano)		
	Média	Mín.	Máx.	Média	Média	Min.	Máx.
CO ₂	---	---	---	527	3100	2000	4000
CO	85	60	160	45	264	120	640
POC ^a	7.9	---	20	4	24	---	80
EC	2.2	1.0	2.6	1.2	6.8	2.0	10
NO _x	2.1	0.66	3.5	1.3	7.6	1.5	16.3
NH ₃ ^b	0.92	0.59	1.3	0.6	3.3	1.4	6.1
ISO	0.32	0.20	0.55	0.5	2.6	1.1	5.9
K	0.24	0.11	0.42	0.4	2.4	0.7	5.5
TPM ^c	12	6	25	6.3	37	12	100
Ozone	4.8	1.0	7.9	10	59	8	126

(a) Estimativa incerta pois houve apenas uma medida; (b) estimativa baseada na concentração de NH₄⁺ particulado encontrado no aerosol. Os fluxos podem ser maiores se quantidades de amônia na fase gasosa estiverem presentes. (c) unidades das razões de emissão em g/Kg de carbono.

A quantidade de fitomassa queimada anualmente na floresta Amazônica pode ser calculada pela Eq. 2.1.

Para a área de queimadas em florestas adotou-se um fator de combustão bastante conservativo de 0,25 (Seiler and Crutzen, 1980), pois conforme Setzer et alii (1988) este deve ser muito maior, da ordem de 0,6 a 0,8. Para os demais tipos de vegetação, adotou-se o fator de combustão com valor típico de cerrados, 0,75 (Seiler and Crutzen, 1980), assim como um valor médio de 4 kg/m² de matéria orgânica por área unitária (B) do bioma cerrado, e uma fração de fitomassa média acima do solo (α) de 0,65, também usados por Seiler and Crutzen (1980). Quanto ao valor de fitomassa para as áreas de florestas, que diferem grandemente entre os diversos experimentos realizados para sua determinação, adotou-se o valor médio sugerido por Fearnside (1985b) de 22,61 kg/m². O valor de $\alpha = 0,81$ de Seiler and Crutzen (1980), foi utilizado para as áreas de floresta queimada.

Logo, a Eq. 2.1, fica sendo:

$$M = A_1 \cdot \alpha_1 \cdot \beta_1 \cdot B + A_2 \cdot \alpha_2 \cdot \beta_2 \cdot B \quad (6.1)$$

sendo: A_1 = área total queimada no ano de 1985 em florestas

$$= 27000 \text{ km}^2;$$

α_1 = fração média de fitomassa acima do solo para florestas

$$= 0,81;$$

β_1 = fator de combustão para floresta = 0,25;

B_1 = média da matéria orgânica acima do solo para floresta

$$= 22,61 \text{ kg/m}^2;$$

A_2 = área total queimada no ano de 1985, em regiões sem

$$\text{floresta densa} = 40000 \text{ km}^2;$$

α_2 = fração média de fitomassa acima do solo para cerrado = 0,65;

β_2 = fator de combustão para o cerrado = 0,75;

B = média da matéria orgânica acima do solo para cerrado
= 11 kg/m².

Então:

$$M = 27000\text{km}^2 \cdot 0,81 \cdot 0,25 \cdot 22,61\text{kg/m}^2 + 40000\text{km}^2 \cdot 0,65 \cdot 0,75 \cdot 4\text{kg/m}^2$$

$$M = 2,02 \cdot 10^{15}\text{g ms}$$

Considerando o valor de conversão de massa de matéria seca para carbono emitido na atmosfera sob a forma de CO₂ como sendo 0,45 (Seiler and Crutzen, 1980) obtém-se que as queimadas na Amazônia contribuíram com a emissão de 0,09 Pg de C durante o ano de 1985.



CAPÍTULO 7

CONCLUSÕES

Com os resultados obtidos pôde ser comprovada a detecção e monitoramento de queimadas em tempo quase real através dos satélites meteorológicos da série NOAA, principalmente com a utilização de imagens da banda 3 do AVHRR aonde a caracterização radiométrica de queimadas foi muito boa. Desta forma, o sensoriamento remoto de queimadas por meio de satélites é um eficiente modo de aquisição de dados em áreas tão extensas como a do Brasil com uma maior frequência temporal, permitindo uma melhor avaliação da verdadeira situação do fenômeno das queimadas.

Os resultados das imagens AVHRR/NOAA mostraram que na Amazônia Legal:

- as queimadas ocorrem principalmente nas regiões sul e sudeste do Pará, norte do Mato Grosso e Rondônia;
- segundo seu padrão de distribuição espacial elas são devidas principalmente à ação antrópica e não a processos naturais;
- conforme a distribuição das classes de tamanho de queimadas (Tabelas 4.3 e 4.4 do dia 09 de agosto de 1985 para as regiões do Pará e norte do Mato Grosso, grande parte dos incêndios deve ocorrer descontroladamente, sem preocupação de preservação da flora e fauna ou um manejo adequado no uso do solo;

- conforme a estação seca se estabelece nessas regiões, ocorre um enorme aumento na área atingida pelas queimadas, assim como na área coberta pelas plumas de fumaça;
- a área atingida pelas queimadas durante a estação seca foi estimada em $\sim 85.000 \text{ km}^2$, somando-se áreas de florestas, pastagens, e demais usos.

Os dados obtidos das imagens TM/LANDSAT permitiram um estudo mais detalhado das características espectrais de queimadas.

A maior exatidão na estimativa da área queimada através dos dados TM é um fato óbvio, uma vez que a resolução espacial do TM é muito melhor do que a do AVHRR, porém como é um trabalho demorado, esta estimativa não foi executada detalhadamente. Mesmo assim, avaliou-se que a diferença de áreas existentes entre os dois sistemas foi da ordem de 27% superior para os dados AVHRR, de forma que a área de queimada anteriormente estimada em 85.000 km^2 , foi reestimada em aproximadamente 67.000 km^2 .

Os dados AVHRR foram utilizados sem cometermos um erro muito grosseiro, de maneira que permitiu a avaliação de áreas queimadas para toda a extensão Amazônica, com uma resolução temporal mais adequada ao fenômeno.

As características espectrais das imagens analisadas mostraram que a banda 4 do TM é a que proporciona melhor definição radiométrica das áreas queimadas, pois nela ocorre um considerável decréscimo nos valores dos níveis de cinza nestas áreas, que se apresentam com tonalidades bem mais escuras do que a de outros alvos, tanto mais quanto mais recentes são as queimadas.

Queimadas muito recentes apresentaram-se com níveis de cinza tão escuros quanto os de água nas bandas infravermelhas, de forma que uma combinação das bandas TM 3 e 5, e 5 e 7 com a 4 pode evitar em parte confusões deste tipo, assim como a análise de imagens multitemporais mostrou-se muito útil para evitar estas confusões.

A análise dos temas classificados em um conjunto de imagens TM mostrou que grande parte das queimadas analisadas ocorreu em locais de pastagens e que este processo de "limpeza (manejo) de pastos" analisado ocorreu praticamente todo ele no intervalo de 16 dias entre as imagens analisadas.

As bandas um, dois e três do TM foram as que melhor resultado apresentaram quando o objetivo foi detectar efeitos atmosféricos causados pelas plumas de fumaça.

A banda sete apresentou a probabilidade de detecção de incêndios ativos no instante de passagem do satélite, fato já notado por Ponzoni et alii (1986), de forma inédita. Assim, trabalhos futuros deveriam ser executados com o objetivo de analisar mais profundamente o potencial desta banda na detecção de queimadas.

Os resultados obtidos com as análises de trajetórias e análises de gases e aerossóis demonstraram que as queimadas causam poluição, a qual atinge áreas tão grandes ou maiores do que o total da floresta Amazônica, sendo potencialmente nociva tanto para o ser humano em escala imediata, quanto para o clima global em uma escala maior de tempo.

As razões de emissão calculadas por Andrea et alii (1987) permitiram o cálculo dos fluxos das emissões geradas em queimadas, para vários gases traço analisados.

O cálculo feito aqui para o total de emissão de carbono em forma de CO_2 durante a temporada de queimadas na Amazônia foi de aproximadamente 0,1 Pg de C/ano. Este total foi obtido através de uma estimativa da área total de fitomassa queimada anualmente na Amazônia feita com os dados AVHRR/NCAA.

Com os resultados obtidos neste trabalho pode-se dizer que os efeitos ambientais causados pelas queimadas na Amazônia são preocupantes. Embora continue a se ter muitas incertezas a respeito do que pode ocorrer futuramente em termos ecológicos, ou em termos de mudanças climáticas, esses resultados fornecem uma excelente alternativa para investigar mais profundamente o fenômeno das queimadas.

CAPÍTULO 8

RECOMENDAÇÕES

Com esta dissertação ficou demonstrada a validade do uso de imagens dos satélites NOAA na detecção em tempo quase-real de grandes queimadas em áreas de dimensões continentais. Considerando-se as proporções e efeitos das queimadas que ocorrem em nosso País, também descritos neste trabalho, a continuação das pesquisas e sua implementação é altamente recomendável.

A nível de implementação dos resultados, cabe mencionar o convênio já assinado entre o IBDF e o INPE, com alocação própria de recursos, para o monitoramento de queimadas no País durante os períodos de estiagem (julho a outubro, basicamente) de 1987 e 1988.

Espera-se que este monitoramento passe a fornecer dados e localização de áreas queimadas no Brasil, auxiliando as autoridades competentes na racionalização do uso do solo e das reservas florestais principalmente na Amazônia, inclusive alterando as atuais políticas e práticas que têm se mostrado nocivas ao meio ambiente.

Quanto às pesquisas, inúmeros temas poderiam ser desenvolvidos para complementar esta dissertação, e entre os quais destacam-se:

- com imagens NOAA:

- produção de mosaicos geometricamente corrigidos para a avaliação da duração dos incêndios, e obtenção de cartas de distribuição de queimadas;

- cálculo da alteração do albedo do nosso continente em função das extensas nuvens de fumaça associadas às queimadas;
- com imagens TM:
 - determinação de taxas de desmatamento e queimadas para áreas de expansão da fronteira agrícola;
 - avaliação a níveis estaduais da porcentagem de queimadas associadas à derrubada de florestas nativas.
- de caráter multidisciplinar:
 - realização de sobrevôos no interior de plumas de queimadas, e próximo às suas origens para monitoramento da concentração de gases e aerossóis, objetivando uma melhor estimativa das emissões das queimadas;
 - estudo da alteração da composição química da atmosfera e seus efeitos no clima devido às emissões das queimadas;
 - avaliação quantitativa da degradação dos solos do País devido à prática de queimadas;
 - estudo da relação entre duração e tipos de estiagens, e o número e a área de queimadas, e do tipo de cobertura vegetal;
 - estabelecimento pelo IBDF e outras organizações, de um sistema nacional de prevenção, monitoramento e combate de incêndios florestais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADAMOLI, J.; FUKUHARA, M.; SILVA, J.A. da. Aplicação de técnicas de sensoriamento remoto no estudo de queimas em pastagens nativas da região dos cerrados. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2., Brasília, DF, 1982. Anais. Brasília, DF, CNPq/INPE, 1982, v.3, p.811-820.
- ADAMS, J.A.S.; MANTOVANI, M.S.M.; LUNDELL, L.L. Wood versus fossil fuel as a source of excess carbon dioxide in the atmosphere: a preliminary report. Science, 196(4285):54-56, 1977.
- ALLAN, G.E. Criteria for the remote sensing bushfire history current fuel load and fire behaviour in Central Australia. In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 3., Gold Coast, Queensland, May 21-25, 1984. Proceedings. Brisbane, Australia, Organizing Committee LANDSAT 84, 1984, p.275-281.
- ALVIM, P.T. Floresta Amazônica: equilíbrio entre utilização e conservação. Ciência e Cultura, 30(1):9-16, 1978.
- AMPLIA-SE A DEVASTAÇÃO no Sul do Pará. O Estado de São Paulo, São Paulo, 23 jan. 1986, 4º cad., p.60, c.6.
- AMORIN, G. Desmatamento. O Estado de São Paulo, São Paulo, 25 dez., 1985, Suplemento Agrícola, nº 30, p.3.
- ANDREA, M.O.; BROWELL, G.L.; DIAS, P.L.S.; GARSTANG, M.; GREGORY, G.L.; HARRIS, R.C.; HILL, G.F.; JACOB, D.J.; PEREIRA M.C.; SACHSE, G.W.; SETZER, A.W.; TALBOT, R.W.; TORRES, A.L.; WOFSEY, S.C. Biomass burning emissions and associated haze layers over Amazonia. Submetido ao Journal of Geophysical Research, Fev., 1987.
- ANDREA, M.O.; BROWELL, G.L.; GREGORY, G.L.; HARRIS, R.C.; SACHSE, G.W.; SHIPLEY, S.T.; TALBOT, R.W.; DIAS, P.L.S.; GARSTANG, M.; SETZER, A.W.; TORRES, A.L.; WOFSEY, S.C. Haze layers over Central Amazonia: sources and chemical characteristics. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):249, 1986.
- ANUARIO ASTRONÔMICO 1985. São Paulo, USP-IAG, 1984, p.12-13.

- ARTAXO, P. Amostragens de aerossóis na Reserva Ducke durante o GTE/ABLE-2A. São José dos Campos, 1986. Comunicação pessoal a A.W. Setzer, em fevereiro de 1986.
- BAIARDI, A. Desmatamento: o caso da Amazônia brasileira. Revista Brasileira de Tecnologia, 14(2):5-19, 1983.
- BENTANCURT, J.J.V.; SANTOS, J.R. Sensoriamento remoto na conservação e manejo de ecossistemas naturais vegetais. São José dos Campos, INPE, nov. 1981, 27p. (INPE-2264-PRE045)
- BJORNSEN, R.L. Infrared mapping of large fires. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 5., Ann Arbor, MI, Apr. 16-18, 1968. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1968, p.459-464.
- BOLIN, B. Changes on land biota and their importance for the carbon cycle. Science, 196(4290):613-615, 1977.
- BOWONDER, B. Forest and development. Mazingira, 5(2):62-71, 1982.
- BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAMBRASIL. Folha SC.22 Tocantins; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1981, 524p. (Levantamento de Recursos Naturais, 22)
- _____. Ministério da Agricultura. Secretaria Nacional de Produção Agropecuária. Secretaria de Recursos Naturais. Coordenadoria de Conservação do Solo e Água. Manejo e conservação do solo e da água; informações técnicas. Brasília, 1983, 66p.
- BROWELL, E.V. Airborne Lidar observations of the undisturbed and disturbed atmosphere over the tropical rain forest of Brazil. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):247, 1986.
- BROWN, S.; LUGO, A.E. Biomass of tropical forests: a new estimate based on forest volumes. Science, 223(4642):1290-1293, 1984.
- BRUNEAU, M.; Le TOAN, T. An interpretation of Northern Thailand swiddening and multiple cropping systems using multitemp LANDSAT images and computer compatible tapes. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 12., 20-26 Apr., 1978. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1978, v.3, PP.1883-1895.
- BRYSON, R.A. A perspective on climatic change. Science, 184(4183):753-760, 1974.

CANADIAN. Department of Energy, Mines and Resources. Forest fire fuel maps from LANDSAT data. Ottawa, ON, 1980, 5p.

CHEN, S.C.; SHIMABUKURO, Y.E.; HERNANDES F^a, P. The mapping of burned area in forestry by IMAGE-100 system. São José dos Campos, INPE, Mar. 1979, 9p. (INPE-1431-RPE/009)

CHUNG, Y.S. On the forest fire and the analysis of air quality data and total atmospheric ozone. Atmospheric Environment, 18(10):2153-2157, 1984.

CHUNG, Y.S.; LE, H.V. Detection of forest fire smokes by satellite imagery. Atmospheric Environment, 18(10):2143-2151, 1984.

CLEMENTS, H.B.; WARD, D.E.; ADKINS, C.W. Measuring fire behaviour with photography. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 19(2):213-217, 1983.

COUTINHO, L.M. As queimadas e seu papel ecológico. Brasil Florestal, 10(44):7-23, 1980.

COUTINHO, L.M.; LAMBERTI, A. Algumas informações sobre a análise dos solos de terra firme e mata de igapó. Ciência e Cultura, 23(5):601-603, 1971.

CROFT, T.A. Nighttime images of the earth from space. Scientific American, 238(1):68-79, 1978.

CRUTZEN, P.J. The possible importance of the CSO for the sulfate layer of the stratosphere. Geophysical Research Letters, 3(2):73-76, 1976.

CRUTZEN, P.J.; COFFEY, M.T.; DELANY, A.C.; GREENBERG, J.; HAAGENSON, P.; HEIDT, L.; LUEB, R.; MANKIN, W.G.; POLLOCK, W.; SEILER, W.; WARTBURG, A.; ZIMMERMAN, P. Observations of air composition in Brazil between the Equator and 20°S during the dry season. Accepted for publication in the Acta Amazônica, em Jan. 13, 1986

- CRUTZEN, P.J.; DELANY, A.C.; GREENBERG, J.; HAAGENSON, P.; HEIDT, L.; LUEB, R.; POLLOCK, W.; SEILER, W.; WARTBURG, A.; ZIMMERMAN, P. Tropospheric chemical composition measurements in Brazil during the dry season. Journal of Atmospheric Chemistry, 2(3):257-271, 1985.
- CRUTZEN, P.J.; HEIDT, L.E.; KRASNEC, J.P.; POLLOCK, W.H.; SEILER, W. Biomass burning as a source of atmospheric gases CO, H₂, N₂O, NO, CH₃Cl e COS. Nature, 282(5736):253-256, 1979.
- DELANY, A.C.; HAAGENSEN, P.; WALTERS, S.; WARTBURG, A.F.; CRUTZEN, P.J. Photochemically produced ozone in the emission from large-scale tropical vegetation fire. Journal of Geophysical Research, 90(D1):2425-2429, 1985.
- DESHLER, W. An examination of the extent fire in the savanna of Africa along the southern side of the Saara. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 9., Ann Arbor, MI, apr. 15-19, 1974. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1974, v.1, p.23-30.
- DETECTION OF FOREST FIRES in Catalonia from TM images. Earth Observation Quaterly, 17, 1987, 2p.
- DIAS, P.L.S.; CUTRIN, E.M.C.; MOLION, L.C.B.; GAN, M.A. Preliminary analysis of meteorological soundings over the Manaus region during the GTE/ABLE-2A. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):247, 1986.
- DICKINSON, R.F.; CICERONE, R.J.; Future global warming from atmospheric trace gases. Nature, 319(6049):109-115, 1986.
- DIGITAL FIRE MAPPING in Australia by NSCA. Deadalus International Newsletter, 7(1):2-3, 1986.
- DOZIER, J. A method for satellite identification of surface temperature fields of subpixel resolution. Remote Sensing of the Environment, 11(3):221-229, 1981.
- EDWARDS, J.B. Introduction. In: Combustion, the formation and emission of trace gases. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Sciences, 1978, cap.1, p.1-19.
- ERNST, J.A. A different perspective reveals air pollution. Weatherwise, 28(5):215-216, 1975.

- ERNST, J.A.; MATSON, M. A NOAA-5 view of Alaska smoke patterns. Bulletin of Meteorological Society, 58(10):1.074-1.076, 1977.
- ESSA PHOTOGRAPHS soviet forest fires. Aviation Week & Space Technology, 98(2):51-53, 1973.
- FAHNESTOCK, G.R.; WONG, C.S. Technical comments: carbon input to the atmosphere from forest fire. Science, 204(4389):209-210, 1979.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). Mapa mundial de suelos. Paris, 1971, UNESCO, v.4, 201p.
- FEARNSIDE, P.M. A floresta vai acabar? Ciência Hoje, 2(10):42-52, 1984.
- _____. Brazil's Amazon forest and the global carbon problem. Interciência, 10(4):179-186, 1985a.
- _____. Distribuição de solos pobres na colonização de Rondônia. Ciência Hoje, 6(33):74-78, 1987.
- _____. Land-use trends in the brazilian Amazon region as a factor in accelerating deforestation. Environmental Conservation, 10(2):141-148, 1983.
- _____. Predição da qualidade da queimada na Transamazônica para simulação do agrossistema em estimativas de capacidade de suporte humano. Ciência e Cultura, 38(11):1804-1811, 1986.
- _____. Summary of progress in quantifying the potential contribution of Amazonian deforestation to the global carbon problem. In: WORKSHOP ON BIOGEOCHEMISTRY OF TROPICAL RAIN FOREST, Piracicaba, SP, 30 Sep.-04 oct., 1985b. Proceedings. Piracicaba, SP, CENA/USP, 1987, PP.75-82.
- FERREIRA, L. Área destruída é o mais novo recorde brasileiro. Correio Brasiliense, Brasília, 20 mar. 1986.
- FISHMAN, J.; MINNIS, P.; REICHLER Jr., H.G. Use of satellite data to tropospheric ozone in the tropics. Journal of Geophysical Research, 91(D3):14.451-14.465, 1986
- FISHMAN, J.; MINNIS, P.; TAYLOR, M.Z. Ozone emissions from tropical forest and savannah fires from satellite observations. Conference on Fires and Forest Meteorology, Detroit, MI, Apr. 29, 1985a, 8p.

- FISHMAN, J.; RAMANATHAN, V.; CRUTZEN, P.J.; LIU, S.C. Tropospheric ozone and climate. Nature, 282(5741):818-820, 1979b.
- FISHMAN, J.; SOLOMON, S.; CRUTZEN, P.J. Observational and theoretical evidence support of a significant in-situ photochemical source of tropospheric ozone. Tellus, 31(5):432-446, 1979a.
- FISHMAN, J.; VUKOVICH, F.M.; BROWELL, E.V. The photochemistry of synoptic-scale ozone synthesis: implication for the global tropospheric ozone budget. Journal of Atmospheric Chemistry, 3(3):299-320, 1985b.
- FLANIGAN, M.D. Forest fire monitoring using the NOAA satellite series. Thesis for the Degree of Master of Science, Colorado State University, Fort Collins, CO, 1985, 59p.
- FLANIGAN, M.D.; HAAR, T.H.V. Forest fire monitoring using the NOAA satellite series. American Meteorological Society Symposium, Atlanta, GE, may 1986, 5p.
- FREITAS, J.B. Queimadas devastam 27 mil km² por ano na Amazônia. Jornal do Brasil, 03 ago. 1986.
- FULLER, S.P.; ROUSE, W.R. Spectral reflectance changes accompanying a post-fire recovery sequence in a subarctic spruce lichen woodland. Remote Sensing of the Environment, 8(1):11-23, 1979.
- GARCIA, F. E as reservas florestais, que fim levaram? Revista Brasileira de Tecnologia, 17(1):47-53, 1986.
- GARDNER, P.D.; CORTNER, H.; BRIDGES, J.A. Wildfire managing the hazard in urbanizing areas. Journal of Soil and Water Conservation, 40(4):318-321, 1985.
- GOUDIE, A. Man's impact on vegetation. In: _____ The human impact. MIT, Cambridge, MA, 1982, cap.2, p.25-65.
- GOUDRIAAN, J.; KETNER, P. A simulation study for the global carbon cycle, including man's impact on the biosphere. Climatic Change, 6(2):167-192, 1984.

- GREEN, A.; O'BRIEN, M.; ROBERTS, G.; CHURCHILL, J.; CHENEY, P.
Infrared linescan techniques for monitoring the spread of bushfires
(Project Aquarius). In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 3.,
Gold Coast, Queensland, May 21-25, 1984. Proceedings. Brisbane,
Australia, Organizing Committee LANDSAT 84, 1984, p.282-293.
- GREENBERG J.P.; ZIMMERMAN, P.R. Nonmethane hydrocarbons in remote
tropical, continental and marine atmospheres. Journal of
Geophysical Research, 89(D3):4767-4778, 1984.
- GREENBERG, J.P.; ZIMMERMAN, P.R.; CHATFIELD, R.B. Hydrocarbons and
carbon monoxide in African Savannah air. Geophysical Research
Letters, 12(3):113-116, 1985.
- GREENBERG, J.P.; ZIMMERMAN, P.R.; HEIDT, L.; POLLOCK, W. Hydrocarbon
and carbon monoxide emissions from biomass burnings in Brazil.
Journal of Geophysical Research, 89(D1):1350-1354, 1984.
- GREGORY, G.L.; Ozone: an airborne survey of the boundary layer across
the Amazon Basin. EOS, Transactions, American Geophysical Union,
67(16):247, 1986.
- GRYGORIEV, A.I.A.; LIPATOV, V.B. Space remote sensing of smokes. In:
INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 10.,
Ann Arbor, MI, Oct. 6-10, 1975. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM,
1975, v.1, p.305-318.
- HALL, D.R.; ORMSBY, J.P.; JOHNSON, L.; BROWN, J. LANDSAT digital
analysis of the initial recovery of burned tundra at Kokolik River,
Alaska. Remote sensing of the Environment, 10(4):263-272, 1980.
- HARRIS, R.C.; WOFSY, S.C.; GARSTANG, M.; MOLION, L.C.B. The Amazon
Boundary Layer Experiment. EOS, Transactions, American
Geophysical Union, 67(16):246-247, 1986.
- HIRSCH, S.N. Applications of remote sensing to forest fire detection
and suppression. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF
THE ENVIRONMENT, 2., Ann Arbor, MI, Oct. 15-17, 1962. Proceedings.
Ann Arbor, MI, ERIM, 1963, v.1, p.295-308.
- _____ Preliminary experimental with infrared line scanners for
forest fire surveillance. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE
SENSING OF THE ENVIRONMENT, 3., Ann Arbor, MI, Apr. 14-16, 1964.
Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1965, p.623-648.

- Project fire scan - summary of 5 years progress in airborne infrared fire detection. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 5., Ann Arbor, MI, Apr.16-18, 1968. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1968, p.447-457.
- HIRSCH, S.N.; KRUCKEBERG, R.F.; MADDEN, F.H. The bispectral forest fire detection system. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 7., Ann Arbor, MI, May 17-21, 1971. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1971, v.3, p.2253-2272.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Geografia do Brasil: Região Norte. IBGE, 1977, v.1, 466p.
- JACOB, D.J.; WOFSY, S.C. Photochemistry of biogenic emissions over the Amazon forest. Submetido ao Journal of Geophysical Research, 1987
- JOLY, A.B. Conheça a vegetação brasileira. São Paulo, USP, Polígono, 1970, 165p.
- KAUFFMAN, J.B.; UHL, C.; CUMMINGS, D.L. Fire ecology in the Venezuelan Amazon. 1. Fuel biomass and chemistry of seven tropical forest communities. s.l. 1987.
- KELLER, M.; GOREAU, T.J.; WOFSY, S.C.; KAPLAN, W.A.; McELROY, M.B. Production of nitrous oxide and consumption of methane by forest soils. Geophysical Research Letters, 10(12):1156-1159, 1983.
- KHAKIL, M.A.K.; RASMUSSEN, R.A. The influence of slash burning on the level of the CH₄, CO, and hidrocarbons in the Amazon Basin. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):249, 1986.
- KIDWELL, K.B. NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8 and NOAA-9) user guide. Washington, DC, NOAA-NESS, May 1985, 98p.
- KIRCHOFF, W.W.J.H. Are northern hemisphere tropospheric ozone densities larger? EOS, Transactions, American Geophysical Union, 65(30):449, 1984.
- Ground based ozone measurements in a equatorial rainforest. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):248, 1986.

- KONDRATYEV, K.YA.; DYACHENKO, L.N.; BINENKO, V.I.; CHERNENKO, A.P. Detection of small fires and mapping of larges forest fire by infrared imagery. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON THE REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 8., Ann Arbor, MI, Oct. 2-6, 1972. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, v.2, 1972, p.1297-1310.
- LACEY, G.M.; FRIEDRICH, J. Detection and mapping forests fires using an airborne thermal infrared scanner. In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 3., Gold Coast, Queensland, May 21-25, 1984. Proceedings. Brisbane, Australia, Organizing Committee LANDSAT 84, 1984, p.275-281.
- LAUER, D.T.; KRUMPE, P.E. The usefulness of ERTS-1 imagery for inventorying wildland resources in northern California. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE ERTS-1. New Carrollton, MD, Mar. 5-9, 1973. Proceedings. Washington, DC, NASA, 1973, p.97-104.
- LETTAU, H.; LETTAU, K.; MOLION, L.C.B. Amazonia's hidrologic cycle and the role of atmospheric recycling in assessing deforestation effects. Monthly Weather Review, 107(3):227-238, 1979.
- LOGAN, J.A. Nitrogen oxides in the troposphere: global and regional budgets. Journal of Geophysical Research, 88(C15):10.785-10808, 1983.
- MAACK, R. Devastação das matas no estado do Paraná, suas consequências e problemas de reflorestamento. Boletim Geográfico, 22(178):40-48, 1964.
- MALINGREAU, J.P. Remote sensing and forest fire monitoring in Indonesia. s.l. 1984a, 24p. Report on a Consultancy.
- _____. Remote sensing and disaster monitoring. A review of applications in Indonesia. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 18., Paris, France, Oct. 1-5, 1984b. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, v.1, 1984, p.283-297.
- MALINGREAU, J.P.; STEPHENS, G.; FELLOWS, L. Remote sensing of forest fires: Kalimantan and North Borneo in 1982-1983. Ambio, 14(6):314-321, 1985.

- _____ The contribution of AVHRR data for measuring and understand global process: large-scale deforestation , in the Amazon Basin. In: INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS '87), Ann Arbor, MI, 18-21 May, 1987b. Proceedings. Remote sensing: understanding the Earth as a system, New York, NY, IEEE, 1987, v.2, p.1229-1235.
- MANABE, S.; STRICKLER, r.f. Thermal equilibrium of the atmosphere with a convective adjustment. American Meteorological Society, 21(4):361-384, 1964
- MANABE, S.; WETHERALD, R.T. Thermal equilibrium of the atmosphere with a given distribution of relative humidity. Journal of the Atmospheric Sciences, 24(3):241-259, 1967.
- _____ The effects of doubling the CO concentration on the climate of a general circulation model. Journal of the Atmospheric Sciences, 32(1):3-15, 1975.
- MARTINELLO, S. Geólogo denuncia que Rondônia não terá mais florestas em 1988. Jornal do Brasil, Rio de Janeiro, 05 jun. 1987.
- MATSON, M.; DOZIER, J. Identification of subresolution high temperatures sources using thermal IR sensor. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 47(9):1311-1318, 1981.
- MATSON, M.; HOLBEN, B. Satellite detection of tropical burning in Brasil. International Journal of Remote Sensing, 8(3):509-516, 1987.
- MATSON, M.; SCHNEIDER, S.R.; ALDRIDGE, B.; SATCHWELL, B. Fire detection using NOAA-series satellite. Washington, DC, jan. 1984, 34p. (NOAA Technical Report NESDIS-7)
- MINNICH, R.A. Fire mosaics in southern California, and northern Baja California. Science, 219(4590):1287-1294, 1983.
- MISSION 41-D PHOTOGRAPHS cover Earth views, crew duties. Aviation Week & Space Technology, 121(15):902-906, 1985.
- MOLION, L.C.B. Climatonic study of the energy and moisture: fluxes of the Amazon Basin with considerations of deforestation effects. Thesis of Doctor of Phylosophy (Meteorology), University of Wisconsin, Madison, 1975.

MOLLER, F. On the influence of changes in the CO₂ concentration air on the radiation balance of the earth's surface and on the climate. Journal of Geophysical Research, 68(13):3877-3886, 1963.

MUIRHEAD, K.; CRACKNELL, A.P. Identification of gas flares in the North Sea using satellite data. International Journal of Remote Sensing, 5:199, 1984.

NASA. Atmospheric Boundary Layer Experiment (GTE/ABLE-2A): 1985 expedition plan. s.l., NASA/INPE, May 23, 1985a.

GTE/ABLE-2A expedition: plots of aircraft trajectory, air and dew points temperatures as a function of altitude, aircraft altitude as a function of time, and winds speed/wind direction as a function of time. s.l., NASA, 1985b.

GTE/ABLE-2B expedition: preliminary data release; aircraft meteorological navigation data; Mission II to XVI, july-august, 1985. s.l., NASA, 15Vol., 1985.

NELSON, R.; HOLBEN, B. Identifying deforestation in Brazil using multiresolution satellite data. International Journal of Remote Sensing, 7(3):429-448, 1986.

PALMER, T.Y. Large fire winds, gases and smoke. Atmospheric Environment, 15(10/11):2079-2090, 1981.

PARADA, N.J.; TARDIN, A.T.; SANTOS, A.P.; HERNANDEZ F^o, P.; SHYBABUKURO, Y.E. Remote sensing in forestry: application to the Amazon region. São José dos Campos, INPE, 1981, 71p. (INPE-2035-RPE/292)

PARMENTER, F.C. Smoke from slash burning operations. Monthly Weather Review, 99(9):684-685, 1971.

Monitoring air quality from satellite. Monthly Weather Review, 105(6):789-792, 1977.

PEREIRA, M. da C.; Di LASCIO, M.A. Um método para detecção de queimadas em imagens TM/LANDSAT. São José dos Campos, SP, 1986. Dados não publicados.

PEREIRA, M. da C.; SETZER, A.W. Large biomass burning detection in the Amazon Forest by satellite imagery. In: WORKSHOP ON GTE/ABLE-2A, São José dos Campos, INPE, NASA-INPE, 3-7 fev. 1986a. Detecção de queimadas e plumas de fumaça na Amazônia através de imagens de satélites NOAA. São José dos Campos, INPE, jun. 1986b, 51p. (INPE-3924-PRE/958)

Detecção de grandes queimadas na Amazônia através de satélites. In: CIÊNCIA E CULTURA. Curitiba, PR, v.38, nº:7, (suplemento), jul. 1986c, p.734. Resumos da 38ª Reunião da Sociedade Brasileira para o Progresso da Ciência, realizada em Curitiba, 7-14 jul. 1986

Detecção de queimadas e plumas de fumaça na Amazônia através de imagens de satélites NOAA. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4.; REUNION PLENARIA SELPER, 6., Gramado, RS, 10-15 Ago., 1986. Anais. Gramado, RS, INPE/SELP/SEC, v.1, 1986d, p.701-709.

PINSON, W.E.; KOURTZ, P.H. The pyroelectric vidicon and its use in forest-fires mapping. Canadian Journal of Remote Sensing, 1(2):60-66, 1975.

PONZONI, F.J.; LEE, D.C.L.; HERNANDEZ Fº, P.; Avaliação de área queimada e da regeneração da vegetação afetada pelo fogo no Parque Nacional de Brasília através de dados do LANDSAT/TM. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4.; REUNION PLENARIA SELPER, 6., Gramado, RS, 10-15 Ago., 1986. Anais. Gramado, RS, INPE/SELP/SEC, v.1, 1986, p.615-621.

PROVESI, J.R.; VALERIANO, D. de M.; KRUG, T. Estudo preliminar sobre a aplicação de processamento digital de dados TM/LANDSAT no mapeamento de pomares de maçã em Fraiburgo, SC. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4.; REUNION PLENARIA SELPER, 6., Gramado, RS, 10-15 Ago., 1986. Anais. Gramado, RS, INPE/SELP/SEC, v.1, 1986, p.772-784.

RADKE, L.F.; HOBBS, P.V. Cloud condensation nuclei on the Atlantic sea board of the United States. Science, 193(4257):999-1.002, 1976

- RAMANATHAN, V.; CICERONI, R.J.; SINGH, H.B.; KIEHL, J.T. Trace gas trends and their potential role in climatic change. Journal of Geophysical Research, 90(D3):5.547-5.566, 1985.
- RASOOL, S.I.; SCHNEIDER, S.H. Atmospheric carbon dioxide and aerosols: effects of large increases on global climate. Science, 173(3992):138-141, 1971.
- RIBEIRO, E.A.; II, F.A.M.; MOREIRA, J.C.; DUTRA, L.V. Manual dos usuários dos sistemas de tratamento de imagens digitais. São José dos Campos, INPE, 1981.
- RICHARDS, J.A.; MILNE, A.K. Mapping the fireburn vegetation regeneration by classification of multispectral LANDSAT-MSS image data. In: AUSTRALIAN REMOTE SENSING CONFERENCE, 3., Gold Coast, Queensland, May 21-25, 1984. Proceedings. Brisbane, Australia, Organizing Committee LANDSAT 84, 1984, p.304-314.
- ROBINOVE, C.J. Worldwide disaster monitoring and assessment with path resources technology satellites. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 10., Ann Arbor, MI, Oct. 6-10, 1975, Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, v.2, p.811-820.
- ROSA, R.; SANO, E.E. Análise dos parâmetros responsáveis pelas variações das condições de iluminação nos dados LANDSAT. In: SIMPÓSIO LATINO AMERICANO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 4.; REUNION PLENARIA SELPER, 6., Gramado, RS, 10-15 Ago., 1986. Anais. Gramado, RS, INPE/SELP/RS/SBC, v.1, 1986, p.583-588.
- ROUTHIER, F.; DENNET, R.; DAVIS, D.D.; WARTBURG, A.; HAAGENSON, P.; DELANY, A.C. Free tropospheric and boundary-layer airborne measurements of ozone over the latitude range of 58°S to 70°N. Journal of Geophysical Research, 85(C12):7307-7321; 1980.
- SACHSE, G.W.; HILL, G.F.; FISHMAN, J.; GREGORY, G.L. Airborne CO measurements over the Amazon region during ABLE-2A. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):247, 1986.
- SAGAN, C.; TOON, O.B.; POLLACK, J.B. Anthropogenic albedo changes and the earth's climate. Science, 206(4425):1363-1368, 1979.
- SALATI, E.; VOSE, P.B. Amazon Basin: a system in equilibrium. Science, 225(4658):129-138, 1984.

- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L.M.; DUARTE, V. Avaliação da viabilidade da utilização de dados orbitais na análise da degradação das pastagens com o tempo de implantação, no município de Paragominas (PA). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, SP, Nov. 1978. Anais. São José dos Campos, SP, 1981.
- SANTOS, A.P.; NOVO, E.M.L.M.; DUARTE, V.; TOLEDO, F.L. Relatório do trabalho de campo no município de Paragominas (PA). São José dos Campos, INPE, maio 1979, 70p. (INPE-1481-RPE/028)
- SANTOS, J.R. Utilização de imagens orbitais como forma adequada no controle de áreas de preservação. São José dos Campos, INPE, maio 1981, 14p. (INPE-2064-RPE/306)
- SANTOS J.R. Análise automática de dados do sensor MSS/LANDSAT para avaliação de áreas queimadas na instalação e conservação de projetos agropecuários. São José dos Campos, INPE, 1985, 10p. (INPE-3417-PRE/683)
- SANTOS, J.R.; AOKI, H. Monitoramento do Parque Nacional de Brasília, através de imagens orbitais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 1., São José dos Campos, SP, Nov. 1978. Anais. São José dos Campos, SP, CNPq/INPE, 1978, v.1, p.118-134.
- SCHOWENGERDT, R.A. Fundamentals. In: _____. Techniques for image processing and classification in remote sensing. Academic, Orlando, FL, 1983, cap.1, p.1-56.
- SEILER, W.; CRUTZEN, P.J. Estimates of the gross and net flux of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning. Climatic Change, 2(3):207-247, 1980.
- SEILER, W.; FISHMAN, J. The distribution of carbon monoxide and ozone in the free troposphere. Journal of Geophysical Research, 86(C8):7255-7265, 1981.
- SETZER, A.W. The study of air pollution plumes with imaging techniques. Thesis of Doctor of Philosophy, West Lafayette, IN, Dec. 1982.
- _____. Tipos de amostragem utilizadas no software do I-100. São José dos Campos, 1987. Comunicação pessoal a M.C. Pereira, em outubro de 1987.

- SETZER, A.W.; PEREIRA, M. da C.; Detection of large biomass burning in the Amazon with satellite images. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):247, 1986b.
- SETZER, A.W.; PEREIRA, M.C.; PEREIRA Jr., A.C. Relatório do projeto SEQE. São José dos Campos, INPE, 1988. A ser publicado.
- SLATER, P.N. Space remote sensing systems. In: _____. Remote sensing: optics and optical systems. London, Addison-Wesley, 1980, cap.14, p.438-514. (Remote Sensing, 1)
- SMITH, W.H. Introduction. In: _____. Air pollution and forests. New York, NY, Springer Verlag, 1981, cap.1, p.1-23.
- SOARES, L.V. Perfil dos incêndios florestais no Brasil em 1983. Brasil Florestal, (58):31-42, 1984.
- STEARNS, J.R.; ZAHNISER, M.S.; KOLB, C.E.; SANDFORD, B.P. Airborne infrared observations and analyses of a largest fire. Applied Optics, 25(15):2.554-2.562, 1986.
- SMITH, J.L.; RADKE, L.F.; HOBBS, P.V. Particle emissions and the production of ozone and nitrogen oxides from the burning of forest slash. Atmospheric Environment, 15(1):73-82, 1981.
- STONE, T.A.; WOODWELL, G.M. Analysis of forest and forest clearings in Amazonia with LANDSAT and Shuttle Imaging Radar-A data. INTERNATIONAL GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS '87), Ann Arbor, MI, 18-21 May, 1987. Proceedings. Remote Sensing: understanding the Earth as a system, New York, NY, IEEE, 1987, v.2, p.1229-1235.
- SVEJKOVSKY, J. Santa Ana air flow observed from wildfire smoke patterns in satellite imagery. Monthly Weather Review, 113(5):902-906, 1985.
- TALBOT, R.W.; ANDREA, M.O.; ANDREA, T.W.; HARRIS, R.C. Regional aerosol chemistry of the Amazon Basin, Brazil. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):248, 1986.
- TANAKA, S.; KIMURA, H.; SUGA, Y. Preparation of a 1:25.000 LANDSAT map for assessment of burned area of Etajima Island. International Journal of Remote Sensing, 4(1):17-31, 1983.

- TARDIN, A.T.; LEE, D.C.L.; SANTOS, R.J.R.; ASSIS, O.R.;
BARBOSA, M.P.S.; MOREIRA, M.L.; PEREIRA, M.T.; SILVA, D.;
SANTOS Fº, C.P. Subprojeto desmatamento, São José dos Campos,
INPE, 1980, 49p. (INPE-1649-RPE/103)
- TIMMONS, J.F. Aspectos econômicos do manejo de recursos naturais aplicados ao uso de solo e água na agricultura brasileira.
Brasília: Secretaria Nacional de Produção Agropecuária, Secretaria de Recursos Naturais, 1985, 96p.
- TORRES, A.L. Tropospheric Nitric Oxide measurements over the Amazon Basin. EOS, Transactions, American Geophysical Union, 67(16):247, 1986.
- TUCKER, C.J.; FUNG, I.Y.; KEELING, C.D.; GAMMON, R.H. Relationship between atmospheric CO² variations and a satellite-derived vegetation index. Nature, 319(6050):195-199, 1986.
- TUCKER, C.J.; HOLBEN, B.N.; GOFF, T.E. Intensive forest clearing in Rondonia, Brazil, as detected by satellite remote sensing. Remote Sensing of the Environment, 15:255-261, 1984.
- TURCO, R.P.; WHITTEN, R.C.; TOON, O.B.; POLLACK, J.B.; HAMILL, P. OCS, stratospheric aerosols and climate. Nature, 283(5744):283-286, 1980.
- UHL, C.; BUSCHBACHER, R. A disturbing synergism between cattle ranch burning practices and selective harvesting in the eastern Amazon. Biotropica, 17(4):265-268, 1985.
- UHL, C.; JORDAN, C.F. Succession and nutrients dynamics following forest cutting and burning in Amazonia. Ecology, 65(5):1.476-1.490, 1984.
- UHL, C.; KAUFFMAN, J.B.; CUMMINGS, D.L. Environmental conditions necessary for forest fires in the evergreen rainforests of Venezuela. s.l. 1987.
- VIANELLO, R.L. Indícios de mudança climática causada por desmatamento - Município de Juiz de Fora - Minas Gerais. Juiz de Fora, UFJF, INPE/CNPq, 1975. 14p.
- WANG, W.C.; YUNG, Y.I.; LACIS, A.A.; MO, T.; HANSEN, J.E. Greenhouse effects due to man-made perturbations of trace gases. Science, 194(4266):685-690, 1976.

WARREN, J.R. Infrared applications for forest management. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 14., Ann Arbor, MI, Apr. 23-30, 1980,. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1980, v.2, p.957-965.

WEINMAN, J.A.; HARSHVADAN; OLSON, W.S. Infrared radiation emerging from smoke produced in brush fires. Applied Optics, 20(2):199-206, 1981.

WIGHTMAN, J.M. Detection mapping and estimation of rate of spread of grass fires from Southern African ERTS-1 imagery. In: SYMPOSIUM ON SIGNIFICANT RESULTS OBTAINED FROM THE ERTS-1, New Carrollton, MD, 5-9 Mar., 1973. Proceedings. New Carrollton, MD, GSFC, 1973, p.593-601.

WILSON, R.A. The remote surveillance of forest fires. Applied Optics, 5(6):899-904, 1966.

Fire detection feasibility tests and system development.
In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON REMOTE SENSING OF THE ENVIRONMENT, 5., Ann Arbor, MI, 1968. Proceedings. Ann Arbor, MI, ERIM, 1968, p.465-477.

WOFSY, S.C.; HARRIS, R.C.; KAPLAN, W.A. Carbon dioxide in the atmosphere over the Amazon Basin. Submetido ao Journal of Geophysical Research, 1987.

WONG, C.S. Atmospheric input of carbon dioxide from burning wood. Science, 200(4338):197-200, 1978.

WOODWEL, G.M. The carbon dioxide question. Scientific American, 238(1):34-43, 1978.

WOODWEL, G.M.; HOBBIE, J.E.; HOUGHTON, R.A.; MELILLO, J.M.; MOORE, B.; PETERSON, B.J.; SHAVER, G.R. Global deforestation: contribution to atmospheric carbon dioxide. Science, 222(4628):1081-1086, 1983.

WOODWEL, G.M.; HOUGHTON, R.A.; STONE, T.A.; NELSON, R.F.; KOVALICK, W. Deforestation in the tropics: new measurements in the Amazon Basin using LANDSAT and NOAA Advanced Very High Resolution Radiometer imagery. Journal of Geophysical Research, 92(D2):2.157-2.163, 1987.

WOODWELL, G.M.; HOUGHTON, R.A.; STONE, T.A.; PARK, A.S. Changes in the area of forests in Rondonia, Amazon Basin, measured by satellite imagery. In: The changing carbon cycle: a global analysis. Ed. Trabalka, J.R.; Reichle, D.E. Springer-Verlag, New York, NY, 1986, cap.13, p.242-257.

WOODWELL, G.M.; WHITTAKER, R.H.; REINERS, W.A.; LIKENS, G.E.; DELWICHE, C.C.; BOTKIN, D.B. The biota and the world carbon budget. Science, 199(4395):141-145, 1978.

ZEDLER, P.H.; GAUTIER, C.R.; McMASTER, G.S. Vegetation change in response to extreme events: the effect of a short interval between fires in California chaparral and coast scrub. Ecology, 64(4):809-818, 1983.

APÊNDICE A

O PROBLEMA DAS QUEIMADAS, NOTICIADO PELA IMPRENSA

Conforme citado no capítulo 2, nesse apêndice faz-se uma descrição de um levantamento de problemas cotidianos e ambientais decorrentes de queimadas na estação seca e, mostrados pela imprensa.

No interior do estado de São Paulo, nas regiões canavieiras, a população urbana comumente vê suas calçadas, ruas, quintais, e a cidade enfim, sujas e cobertas de partículas carbonizadas provenientes das nuvens de fuligem causadas pela queima da palha da cana-de-açúcar (Queimadas, 1985a).

Incêndios perto de cabos de alta tensão provocam a elevação da temperatura do ar e a emissão de partículas sólidas que ficam em suspensão, ionizando o ar. Então, as linhas descarregam a energia para o solo curto-circuitando os meios isolantes. No ano de 1985, a provável causa de um "black-out" no dia 18 de agosto nos estados de São Paulo, Minas Gerais e Espírito Santo foi a ocorrência de queimadas sob a linha de transmissão (Queimadas, 1985b; CESP, 1985). No dia 9 de outubro do mesmo ano houve uma interrupção de energia elétrica em várias cidades do estado de São Paulo devida, da mesma forma, à ocorrência de queimadas sob linha de transmissão (Queimada, 1985).

Além do processo da queima dos canaviais antes de serem submetidos ao corte, incêndios de maiores proporções ocorridos na época da seca são destacados pela imprensa todos os anos. De forma resumida pode-se citar os seguintes:

- em outubro de 1984, moradores da Serra da Cantareira dominaram seis grandes incêndios e vários outros menores (Incêndios, 1984). Esses incêndios, além de colocarem em risco a vida dos moradores dos terrenos próximos, provocaram danos ambientais, pois a maior parte da Serra da Cantareira que está situada no município de Mairiporã, constitui área de mananciais que estão sendo destruídos em função de interesses imobiliários.

- no mesmo ano de 1984, matas de Terra Rica, PR, foram eliminadas devido a incêndios criminosos que duraram vários dias (As matas, 1985). O desmatamento dessa região durante os últimos dez anos já provocou o desaparecimento da fauna regional e o surgimento de inúmeras vossorocas, e erosões.

- de 10 a 13 de agosto de 1985, um incêndio no morro do Anhangava, PR, destruiu grande parte da reserva florestal ali existente (Incêndio, 1985a).

- na reserva do Japi, município de Jundiaí, SP, mais de 750 ha foram destruídos por um grande incêndio iniciado dia 20/08/1985 e somente controlado dois dias após (Fogo, 1985a). Só no ano de 1985, até essa data, registraram-se neste local outros 23 incêndios que destruíram aproximadamente 200 ha de florestas virgens, com prejuízo incalculável, pois a grama que substitui a vegetação é incapaz de conter a erosão (Incêndio, 1985b). No dia 24/08/1985 o incêndio recomeçou, queimando mais de 700 ha (Incêndio, 1985c; Fogo, 1985b). No dia 23/10/85 novo incêndio foi registrado (O fogo, 1985), sendo apagado apenas no dia 25/10/85 quando uma área superior a 800 ha já havia sido queimada (Chuva salva, 1985). Ao todo, estimou-se que uma área em

torno de 10% das matas virgens do parque, com um total de 250 km², tenham sido queimadas.

- um foco de incêndio detectado dia 21/08/85 no morro do Capivari, Serra do Mar, município de Campina Grande do Sul, PR, perdurou além do dia 28 de agosto (Incêndio, 1985c; Fogo, 1985b; Surge o responsável, 1985). Por causa da densa nuvem de fumaça, a visibilidade era pouca em aproximadamente 1 km da rodovia BR-116, quase motivando sua interdição ao tráfego de veículos.
- no mês de setembro de 1985 foram registrados vários incêndios devastando a Serra do Itapeti, município de Mogi das Cruzes, SP, sem que a polícia tivesse condições de combatê-los por falta de equipamentos. Houveram suspeitas de que grande parte desses incêndios foram provocados em função de interesses imobiliários (Mogi, 1985).
- um incêndio de grandes proporções ocorreu no dia 16/10/85 no Parque Estadual da Serra do Mar, na divisa dos municípios de Cunha, SP, Vale do Paraíba, SP, e Ubatuba, SP, destruindo parte da mata nativa, por causa da falta de equipamentos, viaturas e força humana suficientes para a extinção do incêndio (Outro grande incêndio, 1985). Também este incêndio foi provocado por pessoas interessadas em extrair madeira e ocupar áreas protegidas por lei.

Portanto, nota-se nesses exemplos para a região de São Paulo e Paraná, que as queimadas são prática comum estabelecidas no manejo de recursos agropecuários, ocorrendo principalmente na época da seca e, muitas vezes, atingem as matas de reservas florestais.

BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- AS MATAS de Terra Rica devastadas por incêndios. O Estado de São Paulo, São Paulo, 16 jun. 1985, 1º cad., p.29, c.1-3.
- CESP diz que queimada de pasto causou blecaute. Folha de São Paulo, São Paulo, 20 ago. 1985, 3º cad., p.21, c.1-3.
- CHUVA SALVA outra vez a mata do Japi. O Estado de São Paulo, São Paulo, 2º cad., p.44, c.1-2.
- FOGO destrói reserva da Serra do Japi. O Estado de São Paulo, São Paulo, 22 ago. 1985a, 1º cad., p.16.
- FOGO na serra do Mar ainda sem controle. Folha de São Paulo, São Paulo, 27 ago. 1985b, 4º cad., p.26, c.3-7.
- INCÊNDIO no Paraná. O Estado de São Paulo, São Paulo, 13 ago. 1985a, 1º cad., p.13, c.1.
- INCÊNDIO poderia ter sido evitado. O Estado de São Paulo, São Paulo, 22 ago. 1985b, 1º cad., p.16, c.2.
- INCÊNDIOS preocupam os moradores da Cantareira. O Estado de São Paulo, São Paulo, 17 out. 1984, 2º cad., p.36, c.1-2.
- INCÊNDIO volta a queimar Japi. O Estado de São Paulo, São Paulo, 27 ago. 1985c, 2º cad., p.44, c.1-3.
- MOGI sem meios para combater a devastação. O Estado de São Paulo, São Paulo, 17 set. 1985, 1º cad., p.16, c.1-2.
- QUEIMADA provoca "black-out" em São Paulo. O Estado de São Paulo, São Paulo, 10 out. 1985, 1º cad., p.14, c.1-3.
- QUEIMADAS, a provável causa. O Estado de São Paulo, São Paulo, 20 ago. 1985b, 1º cad., p. 11, c.3-5.
- QUEIMADAS perturbam o Interior. O Estado de São Paulo, São Paulo, 14 jul. 1985a, 2º cad., p.28, c.1-2.
- SURGE O RESPONSÁVEL pelo incêndio. O Estado de São Paulo, São Paulo, 29 ago. 1985, p.13.