

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-6715-TDI/631

**SISTEMA COMPUTACIONAL DE DETECÇÃO DE QUEIMADAS
COM IMAGENS AVHRR/NOAA**

Aníbal Evaristo Fernandes

Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada, orientada pelos Drs. Luiz Alberto
Vieira Dias e Alberto W. Setzer, aprovada em fevereiro de 1996.

INPE
São José dos Campos
1996

521.376.5

FERNANDES, A.E.

Sistema computacional de detecção de queimadas com
Imagens AVHRR/NOAA / A.E. Fernandes. - São José dos
Campos: INPE, 1996.

107p. - (INPE-6715-TDI/631).

1. Satélites NOAA. 2. Sistemas de informação geo-
gráfica. 3. Detecção. 4. Queimadas. 5 . Processamento
digital de imagens. I. Título

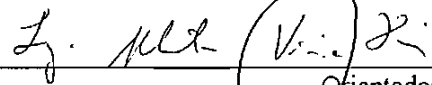
Aprovada pela Banca Examinadora em
cumprimento a requisito exigido para a
obtenção do Título de Mestre em Computação
Aplicada

Dr. Luciano Vieira Dutra



Presidente

Dr. Luiz Alberto Vieira Dias



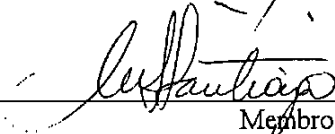
Orientador

Dr. Haroldo Fraga de Campos Velho



Membro da Banca

Dra. Maria Suelena Santiago Barros



Membro da Banca
- Convidada -

Candidato: Aníbal Evaristo Fernandes

São José dos Campos, 28 de fevereiro de 1996

SUMÁRIO

	Pág.
LISTA DE FIGURAS.....	xix
LISTA DE TABELAS.....	xxi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS.....	xxiii
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1 - Conceitos básicos de sensoriamento remoto.....	5
2.2 - Processamento digital de imagens.....	7
2.2.1 - Correção geométrica.....	7
2.2.2 - Registro de imagens.....	10
2.2.3 - Classificação digital por fatiamento de níveis1.....	14
2.3 - O Sistema de Informações Geográficas.....	14
2.4 - O sistema imageador AVHRR/NOAA.....	15
2.5 - Imagens AVHRR/NOAA.....	16
2.6 - Parâmetros orbitais dos satélites NOAA.....	19
2.7 - A detecção de queimadas por sensoriamento remoto.....	21
2.7.1 - Generalidades.....	21
2.7.2 - A detecção de queimadas nas imagens AVHRR.....	23
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	27
3.1 - Materiais utilizados.....	27
3.1.1 - Introdução.....	27
3.1.2 - Imagens.....	27
3.1.3 - “Hardware” e “Software”.....	27
3.1.3.1 - Hardware.....	27
3.1.3.2 - Software.....	28
3.2 - Metodologia proposta.....	28
3.2.1 - Introdução.....	28

A meu pai Anibal Gonçalves Fernandes (*in memoriam*).
Muito obrigado.

“Há pessoas que fazem as coisas por amor,
há pessoas que fazem as coisas por interesse,
há pessoas que fazem as coisas procurando ser o amor”.

Lubich.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Luiz Alberto Vieira Dias pela orientação.

Ao Dr. Alberto W. Setzer pela amizade e colaboração constante.

À minha família: Anibal, Eugênia, Paula, Amanda, Carla, Marilene, Ednilson, Leonardo, Cristiane, Carlos, Débora, Liliana, Cláudio, Marcelo, Rita, Nazareth, Joé, Marlene, Rogério e Glalcy pelo apoio nos momentos difíceis.

À Ricardo Alex Barros Braga, José Luiz Moreira e operadores do INPE/Cachoeira Paulista, pelo apoio ao processamento das imagens AVHRR/NOAA.

Aos amigos: Alfredo Pereira, Marcos Pereira, Rogério Andrade, Rovedy Busquim, Marilene Silva, Maria Lucia, Marinaldo Gleriani, Guaraci Erthal, José Carlos e Angélica de Maio pela amizade e ajuda constante, sem as quais não seria possível a conclusão deste trabalho.

Ao CNPq, pela bolsa de estudo.

Ao INPE, pela oportunidade de realizar esse curso.

RESUMO

Este trabalho apresenta uma proposta de desenvolvimento de um sistema computacional integrado, de detecção operacional de queimadas, utilizando as imagens do sensor AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) a bordo dos satélites NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration), recebidas diariamente pelo INPE. A revisão bibliográfica abrange os conceitos básicos de sensoriamento remoto e algumas técnicas de processamento digital de imagens que foram utilizadas no sistema proposto. Este sistema consiste na identificação digital do "pixel" considerado como queimada, extração de suas coordenadas geográficas e integração ao Sistema de Informações Geográficas desenvolvido no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O sistema proposto é constituído das seguintes etapas: criação do arquivo de parâmetros orbitais; ajuste do arquivo de parâmetros orbitais através de pontos de controle localizados manual ou automaticamente; processamento digital da imagem para a identificação dos "pixels" considerados como queimadas com a obtenção de suas coordenadas geográficas; visualização gráfica das localizações das queimadas em mapas previamente digitalizados; e a elaboração de produtos finais para os usuários. Este sistema foi desenvolvido para ambiente de microcomputador da linha IBM-PC e é totalmente compatível com os softwares SGI e SITIM desenvolvidos pela Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE.

COMPUTACIONAL SYSTEM FOR DETECTION OF FIRE WITH NOAA'S AVHRR IMAGERY

ABSTRACT

This work presents a proposal to develop an integrated computational system for operational detection of fire, using of the AVHRR (Advanced Very High Resolution Radiometer) on-board of the NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) series' satellites. Bibliographic revision includes remote sensing basic concepts and some image digital processing techniques. The system includes the identification of fire considered pixels, extraction of their geographic coordinates and integration to INPE's Geographic Information System (GIS) developed at Brazilian Institute for Space Research (INPE). The necessary steps are: creation of orbital parameters file, adjust of that file using control points, image digital processing to identify fires and obtention of its geographic coordinates, graphic visualization of fire points in maps and elaboration of final products. This system was developed for IBM-PC microcomputer environment and is full compatible with SGI and SITIM softwares, which were developed by INPE.

3.2.2 - O sistema proposto	28
3.3 - Descrição das fases do sistema proposto	29
3.3.1 - Recepção das imagens AVHRR/NOAA	29
3.3.2 - Ajuste do arquivo de parâmetros Noa.p	30
3.3.3 - Detecção de queimadas.....	34
3.3.4 - Delimitação das regiões de interesse dos usuários.....	37
3.3.5 - Geração de arquivos e produtos para usuários.....	42
CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1 - Introdução	45
4.2 - O módulo “Parâmetros”	46
4.3 - O módulo “Ajuste”	47
4.3.1 - O ajuste manual	48
4.3.2 - O ajuste automático	50
4.3.3 - Comparações entre os métodos manual e automático	51
4.4 - O módulo “Detecção”	54
4.5 - O módulo “Usuários”.....	56
4.6 - O módulo “Utilitários”	60
4.6.1 - O utilitário “Focos-Raio”	61
4.6.2 - O utilitário “Quadricula”	63
4.6.3 - O utilitário “Planilha”	65
4.6.4 - O utilitário “Relatório”	66
4.6.5 - O utilitário “Gráfico”	67
4.7 - Os benefícios e as limitações do sistema SDeQ	69
4.7.1 - Benefícios e limitações.....	69
4.7.2 - Necessidades atuais.....	70
CAPÍTULO 5 - CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	73
APÊNDICE A - PROGRAMAS DE COMPUTADOR.....	77

APÊNDICE B - DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS E ARQUIVOS

UTILIZADOS NO SISTEMA SIDeQ..... 83

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
2.1 - Estrutura das imagens de sensoriamento remoto	6
2.2 - Definição dos sistemas de coordenadas mapa-imagem.....	8
2.3 - Formação do “grid” para a correção geométrica.....	10
2.4 - Ilustração do espaço de busca.....	11
2.5 - Operador gradiente.....	13
2.6 - Imagem AVHRR/NOAA captada pelo INPE	18
2.7 - Tamanhos relativos de “pixels” selecionados ao longo de uma linhaAVHRR quando projetados na Terra.....	19
2.8 - Radiação de Planck para temperaturas do corpo negro variando de 300 a 800 K	23
3.1 - Diagrama esquemático do sistema proposto	29
3.2 - Apresentação da região de interesse do usuário com os pontos de queimadas e a órbita da passagem do satélite no monitor.....	36
3.3 - Ampliação da área de interesse do usuário com os pontos de queimada.....	42
3.4 - Exemplo de formato de arquivo telex da região de interesse do usuário com pontos de queimada	44
4.1 - Fluxograma do sistema SIDeQ.....	45
4.2 - Menu de apresentação do módulo “Parâmetros”do SIDeQ.....	46
4.3 - Imagem selecionada para ajuste no módulo “Ajuste” do SIDeQ	47
4.4 - “Zoom” da imagem selecionada no módulo “Ajuste” com a imagem de referência e os valores da correlação no SIDeQ.....	49
4.5 - Tela do módulo “Detecção” do SIDeQ em operação.....	56
4.6 - Tela do módulo “Usuários” do SIDeQ	57
4.7 - Tela do módulo “Usuários” do SIDeQ para a escolha do mês.....	58
4.8 - Tela do módulo “Usuários” do SIDeQ para a escolha do dia.....	59
4.9 - Tela do módulo “Usuários” do SIDeQ visualizando o projeto e as queimadas da data de interesse.....	60
4.10 - Tela do módulo “Utilitários” do SIDeQ	61
4.11 - Tela do módulo utilitário “Focos-Raio” aplicado ao projeto Rondônia	62

4.12 - Tela do módulo utilitário “Focos-Raio” aplicado ao projeto Rondônia com “zoom”	63
4.13 - Utilitário “Quadricula” aplicado ao projeto Brasil.....	64
4.14 - Utilitário “Quadricula” aplicado ao projeto Brasil com “zoom”	65
4.15 - Tela do utilitário “Relatório”	67
4.16 - Tela do utilitário “Gráfico” do SDeQ com os dias do mês.....	68
4.17 - Tela do utilitário “Gráfico” do SDeQ.....	69

LISTA DE TABELAS

	Pág.
2.1 - Largura e IFOV das bandas AVHRR/NOAA	17
2.2 - Descrição do arquivo de parâmetros Noa.p	20
2.3 - Dados relativos aos satélites utilizados na detecção de queimadas	24
3.1 - Descrição do arquivo Noaa.pc	31
3.2 - Arquivo de pontos de queimadas Quegeral.txt disponível para o usuário	35
4.1 - Comparação entre o método manual e o automático no módulo “Ajuste” utilizando a banda 2 (NOAA-14) do SDeQ	52
4.2 - Diferenças entre o método manual e o automático na localização do ponto de controle na banda 2 (NOAA - 14) do SDeQ	53
4.3 - Comparação entre o método manual e o automático no módulo “Ajuste” utilizando a banda 3 (NOAA-12) do SDeQ	54
4.4 - Diferenças entre o método manual e o automático na localização do ponto de controle na banda 3 (NOAA - 12) do SDeQ	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ATN	- Advanced TIROS-N
AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer
FOV	- Field of View
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IFOV	- Instantaneous Field of View
Landsat	- Land satellite
MSS	- Multispectral Scanner System
DN	- Digital Number
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
PC	- Personal Computer
Pixel	- Picture element
SIG	- Sistema Geográfico de Informações
SIDEQ	- Sistema Integrado de Detecção de Queimadas
SITIM	- Sistema de Tratamento de Imagens
TM	- Thematic Mapper
UVI	- Unidade Visualizadora de Imagens

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

No Brasil é muito comum o uso do fogo associado à agricultura e pastagens. Estima-se, a partir de avaliações feitas em países com situações climáticas e econômicas similares, e com base em dados esparsos de poucas observações de campo, que, em média, cerca de um terço da área ocupada do país seja queimada anualmente por ação antrópica. Novos desmatamentos, na Floresta Amazônica ou em cerrados densos, sempre feitos com o uso do fogo, contribuem para a expansão das queimadas. Dessa maneira, a determinação do número e extensão das queimadas, assim como sua localização geográfica e distribuição temporal, são necessárias para vários estudos científicos, técnicos e administrativos, em geral com âmbito interdisciplinar. O sensoriamento remoto orbital é uma técnica adequada para a detecção de queimadas no Brasil, considerando a extensão territorial do país e a relativa falta de condições de controle e fiscalização do uso do fogo (Setzer et al., 1992).

Nesse contexto, a utilização das técnicas computacionais de processamento de imagens, aliada à evolução dos sistemas imageadores (sensor-satélite), tem possibilitado uma crescente utilização das informações provenientes das imagens de satélites para os mais variados estudos relacionados ao meio ambiente, dentre os quais pode-se destacar a detecção de focos de incêndio ou queimada.

De acordo com Justice (1986), uma das grandes evoluções na área de sensoriamento remoto, para aplicações que envolvem monitoramento global, tem sido o uso de imagens fornecidas por sensores com alta frequência temporal e uma relativamente baixa resolução espacial. O principal sensor com essas características é o Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) a bordo dos satélites meteorológicos com órbitas polares da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA).

O propósito original do sistema imageador AVHRR/NOAA, é fornecer estimativa de cobertura de nuvens e medidas de temperaturas da superfície do mar. Entretanto, devido à localização, no espectro, da banda 1 (0,58 a 0,68 μm), banda 2 (0,725 a 1,10 μm) e banda 3 (3,55 a 3,93 μm), é possível a utilização de seus dados também em trabalhos relacionados à superfície terrestre.

Com uma resolução espacial de 1,1 Km no nadir (local de imageamento imediatamente abaixo do satélite, formando um ângulo normal à superfície), as imagens fornecidas por esse sistema são úteis às regiões com grandes extensões territoriais.

O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) possui antena e estação próprias para recepção dessas imagens. Trabalhos realizados no INPE mostram a viabilidade da utilização das imagens digitais AVHRR/NOAA em estudos de vegetação no país. Estes trabalhos incluem, entre outros, a geração de imagens Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), úteis para o estudo de estados da vegetação e previsão de safra, conforme Figueiredo (1990); localização de desmatamentos a partir das bandas 1, 2 e 3 das imagens AVHRR corrigidas geometricamente, segundo Amaral (1992) e Mantovani (1994); e a detecção, localização e quantificação de queimadas na região dos cerrados de acordo com trabalho realizado por Pereira Jr. (1992).

Tendo como principal motivação a enorme potencialidade de aplicações das imagens digitais AVHRR/NOAA, este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento de um sistema computacional integrado de detecção operacional de queimadas, utilizando tais imagens. As principais características deste sistema são:

- criação, correção e armazenamento do arquivo de parâmetros orbitais do satélite através de pontos de controle que podem ser localizados manualmente ou através de algoritmos de localização automática na imagem;
- processamento digital para a localização das coordenadas geográficas dos “pixels” que caracterizam queimadas;
- elaboração de produtos básicos atendendo necessidades de usuários, como localização geográfica dos focos de queimada nas áreas de interesse e o armazenamento dessas informações em uma base de dados.

O sistema permite também a atualização e recuperação de dados passados e, através de rotinas gráficas, é possível a visualização dos focos de queimada diretamente no monitor ou impressos em mapas previamente digitalizados, nos quais aparecerá representada a órbita da passagem do satélite com opção de impressão em dispositivo de saída como uma impressora do tipo laser.

O sistema foi desenvolvido em ambiente de microcomputador compatível com a linha IBM-PC. A linguagem de programação utilizada foi a C, para que o sistema possa ser integrado com os softwares SITIM (Sistema Iterativo de Tratamento de Imagens), SGI (Sistema de Informações Geográficas) todos desenvolvidos na Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Conceitos Básicos de Sensoriamento Remoto

Sensoriamento remoto do ambiente terrestre é a medida, à distância, das características espectrais da atmosfera e da superfície da Terra. Essas medidas são feitas normalmente por instrumentos carregados por satélites ou aeronaves, e são utilizadas para inferir a natureza e características da terra, da superfície do mar, ou da atmosfera no momento da observação (Mather, 1987).

Uma das vantagens dos dados das imagens de sensoriamento remoto é que, em sua grande maioria, estão disponíveis no formato digital e assim podem ser processadas por computador, seja para a extração de informações ou para evidenciar contrastes que facilitarão o trabalho de fotointerpretação.

As imagens digitais de sensoriamento remoto são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou “grid”. Cada célula desse “grid” tem sua localização definida em um sistema de coordenadas cartesianas. No eixo x do sistema tem-se representado as colunas da imagem e no eixo y as linhas. A origem do “grid”, por convenção, é sempre definida no canto superior esquerdo. O nome dado a cada célula desse “grid” é “pixel” (picture element). Cada “pixel” possui um atributo numérico z , que indica o nível de cinza ou DN (“digital number”) representando o total da intensidade da energia eletromagnética que chega ao sensor. Este sinal é função dos diversos tipos de material que compõem a superfície imageada.

De acordo com Crósta (1992), cada sistema imageador possui uma característica própria que os diferencia dos demais, e que é conhecida por resolução. A resolução define em qual setor de atividade o sistema imageador será mais apropriado. A resolução das imagens de sensoriamento remoto são basicamente de quatro tipos: espacial, espectral, radiométrico e temporal.

Na Figura 2.1 é representada a estrutura de uma imagem digital; onde em a) cada célula corresponde a um “pixel” que possui os atributos de resoluções radiométrica (representadas pelos números dentro das células) e espacial e, em b) simboliza as bandas espectrais existentes na imagem.

A **resolução espacial** é definida pela capacidade do sistema sensor de "enxergar" objetos na superfície terrestre; quanto menor o objeto possível de ser visto, maior será a sua resolução espacial. Uma maneira de se determinar a resolução espacial de um sensor é através do seu campo instantâneo de visada ("Instantaneous Field Of View" - IFOV) que define a área da Terra que teoricamente é vista pelo instrumento imageador situado a uma dada altitude em qualquer instante de tempo.

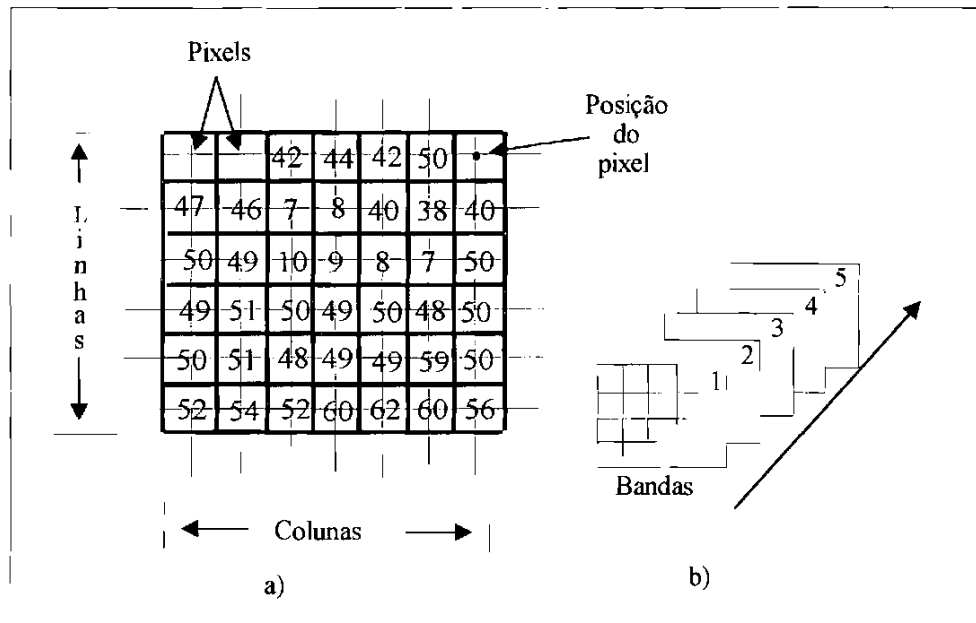


Fig. 2.1 - Estrutura das imagens de sensoriamento remoto.

a) Formato digital. b) Bandas espectrais.

FONTE: Adaptada de Richards (1986), p. 43.

A **resolução espectral** é definida pelo número de bandas espectrais de um sistema sensor e pelo intervalo de comprimento de onda coberto pela banda. Quanto maior o número de bandas e menor a largura do intervalo, maior será a resolução espectral do sensor.

A **resolução radiométrica** descreve o número de níveis digitais utilizados para a representação dos dados coletados pelo sensor. Em geral, quanto maior o número de níveis maior será a quantidade de detalhes de informações presente na imagem. A resolução radiométrica é expressa em termos de números de dígitos binários, ou bits, necessários para representar a faixa de valores possíveis. Assim, dados com 8 bits de resolução radiométrica possuem 256 níveis de cinza (variando de 0 a 255).

A **resolução temporal** é uma importante propriedade do sistema sensor. Ela é definida como o tempo que decorre entre sucessivas aquisições de imagens para uma mesma região do globo. Essa resolução pode ser medida em minutos se o satélite é efetivamente estacionário com relação a um ponto físico da Terra (caso do Meteosat) ou em horas ou dias se o satélite está em órbita polar (caso do NOAA, do LANDSAT ou do SPOT).

2.2 - Processamento Digital de Imagens

De acordo com Schowengerdt (1983) o processamento digital de imagens é a manipulação numérica das imagens digitais e inclui o pré-processamento, realce e classificação. Pré-processamento refere-se ao processamento inicial da imagem originalmente recebida pelo satélite. Entre as operações efetuadas no pré-processamento pode-se citar: calibração radiométrica da imagem, correção das distorções geométricas e remoção de ruídos da imagem. Após o pré-processamento as imagens corrigidas são submetidas ao realce ou classificação ou a ambos de acordo com o interesse do usuário.

O processamento digital de imagens de sensoriamento trata especificamente das técnicas utilizadas para identificar, extrair, condensar e realçar a informação de interesse para determinados fins, a partir de uma enorme quantidade de dados que usualmente compõem essas imagens (Richards, 1986). A necessidade de processamento digital reside no fato da imagem de sensoriamento remoto conter uma quantidade significativa de informações digitais, as quais o olho humano não consegue perceber.

Neste trabalho, nas operações de processamento digital de imagens para o desenvolvimento do sistema de detecção de queimadas, foram estudadas as seguintes técnicas: correção geométrica, registro de imagens e classificação digital por fatiamento de níveis.

2.2.1 - Correção Geométrica

As imagens geradas por sensores remotos estão sujeitas a distorções espaciais, não possuindo exatidão cartográfica quanto ao posicionamento dos objetos nelas representados. Para que imagens de satélite tenham precisão cartográfica é necessário que sejam corrigidas segundo algum sistema de coordenadas.

O processo de transformação no qual as imagens adquirem as propriedades de escala e de projeção de um mapa é conhecido por correção geométrica. Comumente, a integração dessas imagens com mapas é realizada através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG).

Segundo Richards (1986), as principais fontes de distorções geométricas são: rotação e curvatura da Terra durante a aquisição da imagem; extenso campo de visada de alguns sensores; e variações da atitude e altitude da plataforma do satélite.

Assim, para corrigir a geometria de uma imagem é necessário conhecer os coeficientes de um modelo matemático que, através de equações, permitirão calcular as distorções existentes na imagem.

A técnica mais utilizada para a correção geométrica depende da relação matemática entre os “pixels” da imagem e as coordenadas dos pontos que lhes correspondem na superfície da Terra. Esta relação corrige a imagem independentemente das fontes e tipos de distorções. Através do mapa e da imagem relativa à área desse mapa, definem-se dois sistemas de coordenadas cartesianas como mostrado na Figura 2.2. Um sistema descreve a localização dos pontos na imagem (u, v) e o outro a localização no mapa (x, y).

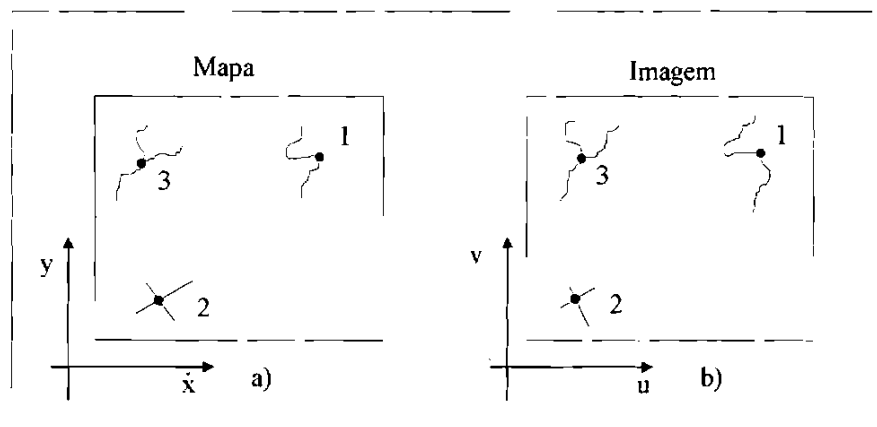


Fig. 2.2 - Definição dos sistemas de coordenadas mapa-imagem.

FONTE: Adaptada de Richards (1986), p. 51.

Pode-se relacionar os dois sistemas de coordenadas através de um par de funções de mapeamento f e g , de modo que:

$$u = f(x,y);$$

$$v = g(x,y);$$

onde: u e v correspondem às coordenadas dos pontos selecionados com relação à imagem e x e y com relação ao mapa, sendo f e g as funções que relacionam essas coordenadas.

Se essas funções forem determinadas, é possível localizar-se um ponto na imagem conhecendo sua posição no mapa e vice-versa. Em geral, essas funções são determinadas através da escolha de polinômios de primeira, segunda ou terceira ordem. Como exemplo de polinômio de segunda ordem, temos:

$$u = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2$$

$$v = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2$$

Os coeficientes a_i e b_i do polinômio escolhido são obtidos a partir da identificação de acidentes geográficos na imagem que podem ser também localizados no mapa e obtidas as suas coordenadas. Esses acidentes geográficos são denominados pontos de controle.

Assim, define-se uma malha de coordenadas sobre um mapa onde as interseções das latitudes e longitudes correspondem às posições dos centros dos “pixels” da imagem corrigida. A Figura 2.3 mostra como é realizada a formação da malha ou grid.

O processo de correção das distorções geométricas resulta na produção de uma nova imagem. A distribuição dos “pixels” dessa nova imagem não corresponde espacialmente à dos “pixels” da imagem original, e assim um modelo matemático de interpolação é necessário para atribuir valores de níveis de cinza a essa nova imagem. Os métodos mais comuns de interpolação são: vizinho mais próximo; bilinear; e convolução cúbica (Richards, 1986).

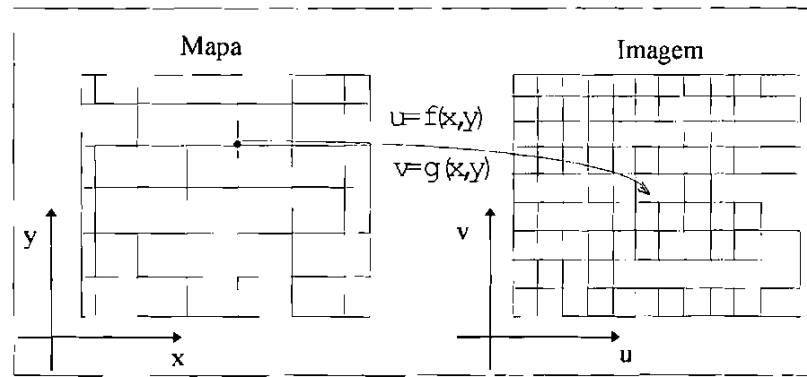


Fig. 2.3 - Formação do "grid" para a correção geométrica.
 FONTE: Adaptada de Richards (1986), p. 52.

2.2.2 - Registro de Imagens

De acordo com Erthal (1984), o registro de duas imagens distintas, obtidas de uma mesma cena-objeto, é a operação que faz com que uma imagem se relacione com a outra, de modo que cada par de pontos obtidos das imagens assim sobrepostas corresponda ao mesmo ponto do objeto originalmente imageado. O registro de imagens pode ser utilizado nos seguintes casos: formação de mosaico de imagens, comparação de imagens de diferentes sensores ou a combinação de imagens multiespectrais (Schowengerdt, 1983).

Para registrar duas imagens é necessária a aplicação das mesmas técnicas utilizadas na correção geométrica apresentadas no Item 2.2.1 (Richards, 1986).

Com o objetivo de localizar pontos de controle na imagem procurou-se, neste trabalho, adaptar a operação de registro de imagem. Serão utilizadas as linhas e colunas da imagem ao invés de coordenadas geográficas. Entretanto, para que isto ocorra há necessidade de se fazer a correlação entre as coordenadas de pontos de controle e suas correspondentes localizações em linha e coluna nas imagens.

A localização do ponto de controle pode ser feita de duas maneiras: a) **manual** e b) **automática**. O método manual envolve a sensibilidade do operador para localizar o(s) ponto(s) de controle na imagem visualizada no monitor de vídeo. Com o auxílio de um mapa correspondente à área da imagem, o operador identifica um ponto de controle na imagem obtendo assim sua linha e coluna.

No método automático a localização de um ponto de controle se dá através da comparação entre duas imagens. Em uma das imagens, conhecida por imagem de referência, tem-se o ponto de controle onde suas coordenadas em linha e coluna são conhecidas. Na outra imagem, definida como imagem de busca, se deseja localizar o ponto de controle que se encontra na imagem de referência.

Assim, no processo de localização automática de pontos de controle a imagem de referência é deslocada na imagem de busca. Para cada deslocamento é calculado o valor da similaridade, cujo valores variam de -1 a 1. Quanto maior o valor da similaridade maior a semelhança entre a imagem de referência e a imagem de busca. Essa análise de correlação se faz através da comparação entre os níveis de cinza entre as imagens.

Neste trabalho foi utilizada a técnica de correlação entre imagens baseada no estudo de registro translacional desenvolvido por Erthal (1984). Abaixo são apresentados os principais conceitos relacionados a essa técnica.

Sejam as imagens R e B (Figura 2.4), onde R é a imagem de referência de dimensão $N \times N$, e B a área de busca de dimensão $M \times M$ ($M > N$).

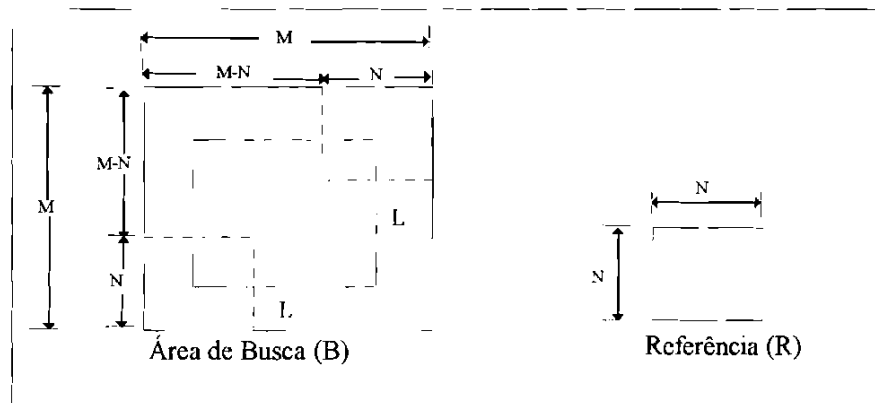


Fig. 2.4 - Ilustração do espaço de busca.

FONTE: Adaptada de Erthal (1984), p. 5.

O valor de M deve ser escolhido de maneira a garantir que haja na imagem B uma subimagem correspondente à imagem R de referência. Cada subimagem $N \times N$ de B é identificada pelas coordenadas (k, l) a partir do seu canto superior esquerdo (chamado ponto de referência - p.r.).

Desta maneira, existe em B a quantidade $(M-N+1) \times (M-N+1)$ de possíveis subimagens de tamanho $N \times N$ indicadas para o registro, onde M e N são as dimensões envolvidas conforme a Figura 2.4.

De acordo com Schowengerdt (1983) o número de operações a ser efetuadas a fim de que sejam realizadas todas as comparações possíveis entre a imagem de busca e a de referência é de $N^2 L^2$, onde N é a dimensão da imagem de referência e L é a dimensão que compreende todas as posições de deslocamento do centro da imagem de referência dentro da imagem de busca, conforme esquematizado na Figura 2.4.

De acordo com Erthal (1984) o registro translacional consiste em determinar dentre todas as possíveis subimagens qual a mais similar à imagem de referência. Existem várias maneiras de se medir o grau de similaridade entre duas imagens. Entre elas podem ser citadas: coeficiente de correlação, função de correlação, soma dos módulos das diferenças, soma dos erros quadrados.

O critério de similaridade deve ser escolhido obedecendo à uma solução de compromisso relacionada com custo computacional envolvendo desempenho desejado e limitação de memória. Os estudos realizados por Erthal (1984) concluíram que o critério do coeficiente de correlação forneceu um melhor desempenho. A Equação 2.1 abaixo mostra a equação do registro por coeficiente de correlação normalizada:

$$R_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (R_{ij} - \bar{R}) \cdot (B_{(k+i-1)(l+j-1)} - \overline{B_{kl}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (R_{ij} - \bar{R})^2} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N (B_{(k+i-1)(l+j-1)} - \overline{B_{kl}})^2}} \quad (2.1)$$

Onde : \bar{R} = média sobre a referência

$\overline{B_{kl}}$ = média sobre a subimagem do ponto de referência (k,l)

Erthal (1984) sugere que pré-processamentos sejam efetuados nas duas imagens para melhorar o desempenho do algoritmo de correlação, isto é, aumentar

a probabilidade de que os pontos da janela de referência correspondam à melhor sobreposição na janela de busca.

Os atributos mais visados pelos algoritmos de pré-processamento são as zonas na imagem de transição brusca de valores de níveis de cinza dos “pixels”. Essas zonas são também chamadas de bordas. As bordas facilitam o trabalho de registro automático pelo fato de se apresentarem nas imagens de épocas distintas e servirem como um referencial para o registro (Ii, 1985).

Para melhor visualização das bordas costuma-se aplicar técnicas de realce nas quais às bordas são atribuídas um maior peso, destacando-as em comparação ao valor dos “pixels” vizinhos (Moik, 1980).

O operador gradiente permite que sejam realçadas as bordas numa imagem. Uma possível equação para esse operador apresenta-se descrita na Equação E da Figura 2.5. A obtenção do operador E se dá através da passagem de uma “máscara” pela imagem. A máscara é uma grade de posições na qual é feita a correspondência entre os “pixels” da imagem e os elementos dessa máscara. Desta forma, com os valores dos “pixels” correspondentes aos elementos da máscara se efetua a equação descrita na Figura 2.5. Com esta operação tem-se realçado o valor digital do “pixel” central. Assim, uma borda existente na imagem ficará ressaltada em relação à vizinhança.

A	B	C
D	E	F
G	H	I

Fig. 2.5 - Operador gradiente.

FONTE: Adaptada Erthal (1984), p. 54.

$$E = |A - I| + |C - G| + |B - H| + |D - F| \quad (2.2)$$

Estudos realizados por Erthal (1984) concluíram que o critério do coeficiente de correlação, com o operador gradiente, é o critério que fornece o melhor desempenho apesar do seu alto custo computacional.

No método proposto por Erthal (1984), quando se atinge a maior correlação tem-se o melhor posicionamento em linha e coluna em uma dada subimagem de B.

Deve ser ressaltado que neste trabalho a utilização das técnicas de registro translacional restringe-se à localização de pontos de controle na imagem, embora essas técnicas possam ser utilizadas em várias outras aplicações como por exemplo nas correções geométricas de imagens conforme citado por Erthal (1984).

2.2.3 - Classificação Digital por Fatiamento de Níveis

As técnicas de classificação digital implicam na implementação de um processo de decisão em que o computador pode separar um conjunto de pontos relacionando-os a uma determinada classe onde os “pixels” apresentam características semelhantes. A técnica mais simples de classificação unidimensional (aplicada apenas a um canal espectral ou banda) é o fatiamento de níveis. Essa técnica consiste na divisão do intervalo total de níveis de cinza de uma dada faixa espectral em um certo número de classes (Novo, 1989).

Como será visto, o algoritmo de detecção de queimadas nas imagens AVHRR baseia-se na técnica de classificação digital por fatiamento de níveis. Isto é, selecionam-se apenas “pixels” da banda termal número três (3,55 μm - 3,93 μm) da imagem AVHRR que estejam em um determinado intervalo de intensidade radiométrica, de acordo com a metodologia de Pereira (1988).

2.3 - O Sistema de Informações Geográficas

Os Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) são sistemas computacionais cuja finalidade é automatizar tarefas realizadas manualmente e, assim, facilitar a realização de análises complexas, através da integração de dados de diversas fontes e da criação de um banco de dados geocodificados. Nesse contexto, para atender a estas necessidades foi desenvolvido, na Divisão de Processamento de Imagens (DPI) do INPE, o sistema de informações geográficas SGI/INPE (Felgueiras e Câmara Neto, 1993).

A característica fundamental de um sistema de geoprocessamento é a sua faculdade de armazenar, recuperar e analisar mapas num ambiente computacional. Um mapa é a representação gráfica de fenômenos geográficos, geralmente em superfície

plana. Num ambiente computacional acrescentam-se às informações contidas num mapa outros dados, sempre relacionados geograficamente, os quais passam a formar os planos de informação (Felgueiras e Câmara Neto, 1993).

Conforme (Felgueiras e Câmara Neto, 1993) o SGI/INPE é um banco de dados geográficos que permite adquirir, armazenar, analisar e recuperar informações codificadas espacialmente. Seus principais objetivos são:

- a) integrar, numa única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, de imagens de satélites e de modelos numéricos de terrenos (MNTs);
- b) combinar as várias informações, através de algoritmos que permitem operar esses dados gerando dessa maneira mapeamentos derivados e,
- c) reproduzir, visualizar e imprimir o conteúdo de dados geocodificados.

No presente trabalho foi utilizado o SGI/INPE para a digitalização dos mapas relativos às regiões dos usuários interessados na detecção das queimadas. Essa operação se faz necessária para a posterior delimitação dos focos de queimadas existentes nessas regiões. Os mapas digitalizados foram armazenados como planos de informação (P.I.) no SGI/INPE. Os usuários que foram cadastrados no sistema constam no Capítulo 3.

2.4 - O Sistema Imageador AVHRR/NOAA

Nos últimos anos tem ocorrido importantes desenvolvimentos na área de sensoriamento remoto que afetarão positivamente os conhecimentos sobre o assunto. Um destes desenvolvimentos tem sido a utilização dos dados de satélites de alta frequência temporal e baixa resolução espacial. Em particular, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) tem dado ênfase à aplicação de recursos em pesquisas com o objetivo de avaliar o uso de dados de satélites de baixa resolução espacial para monitoramento em escala mundial (Justice, 1986).

Os satélites imageadores mais utilizados para aplicações em sensoriamento de recursos naturais tem sido os das séries LANDSAT, SPOT e NOAA. Mas, para estudos relacionados à queimadas existem sérias limitações quanto ao uso dos satélites LANDSAT e SPOT.

De acordo com Setzer et al.(1992), a alta resolução espacial das imagens de satélites tais como o TM/LANDSAT e o HRV/SPOT, com resolução espacial de 30 e 10 metros respectivamente, fornecem informações de área com maior precisão para o monitoramento de queimadas, de acordo com estudos feitos nas duas últimas décadas.

Entretanto, três limitações impedem o monitoramento operacional com estes satélites em tempo real na detecção de queimadas. Primeira: a área de cobertura de cada imagem, na ordem de 30.000 Km² para o TM e 3.600 Km² para o SPOT, é pequena em termos de escala global ou continental, exigindo centenas de imagens com alto custo e dificuldades para processamento. Segunda: o intervalo de tempo entre imagens sucessivas do mesmo local é cerca de duas semanas, muito longo para monitorar mudanças locais que ocorram à nível diário. Terceira: a cobertura de nuvem combinada com a baixa frequência temporal restringe o intervalo de tempo entre a aquisição de imagens úteis.

A utilização de imagens provenientes do sistema imageador AVHRR/NOAA pode, de certa forma, contornar esses problemas na medida em que permite, devido à sua alta frequência temporal, a obtenção de no mínimo duas imagens diárias com uma larga faixa de varredura. Essa natureza multitemporal dos dados AVHRR permite aos pesquisadores estudos relativos aos aspectos do monitoramento regional e global, até então impraticáveis devido à insuficiência de imageamentos sem cobertura de nuvens e ao enorme volume de dados associados com a resolução espacial do sistema LANDSAT.

2.5 - Imagens AVHRR/NOAA

As imagens AVHRR são obtidas a partir dos satélites da série NOAA do tipo "Advanced TIROS-N" (ATN) que transitam em órbitas circulares com altitudes nominais da ordem de 833 Km e 98,89° de inclinação (quase polar), período aproximado de 102 minutos e heliossíncrona (Kidwell, 1993). Devido a essa periodicidade o satélite realiza por volta de 14,1 circunvoluções na Terra por dia. Atualmente encontram-se em operação os satélites NOAA-12 e 14.

Cada linha da imagem gerada pelo sensor AVHRR possui 2048 "pixels", com uma distância de 0,95 miliradianos entre si, resultando em um campo de visada (FOV) de $\pm 55,4^\circ$ correspondendo a uma faixa de imageamento no terreno de aproximadamente 2700 Km (Kidwell, 1993). Os atuais satélites NOAA em operação possuem cinco bandas espectrais. Na Tabela 2.1 são apresentadas as faixas espectrais destas bandas e os seus respectivos valores do campo instantâneo de visada (IFOV).

TABELA 2.1 - LARGURA E IFOV DAS BANDAS AVHRR/NOAA

BANDA	LARGURA		IFOV(mrad)
	NOAA-12	NOAA-14	
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: Kidwel (1993), p. 57.

Os satélites da série NOAA, tanto enviam continuamente os dados do sensor AVHRR em tempo real, HRPT (High Resolution Picture Transmission), como podem registrar esses dados a bordo sob programação especial e enviá-los subsequentemente, constituindo os chamados dados LAC (Local Area Coverage), utilizados em estudos de áreas desprovidas de estação receptora de imagens (Kidwell, 1993).

A Figura 2.6 mostra uma imagem AVHRR em seu formato bruto, isto é, sem correção geométrica, captada pelo INPE - Cachoeira Paulista. Nessa figura pode-se verificar a abrangência de uma imagem AVHRR/NOAA, a qual permite que seja imageada parte significativa do país.

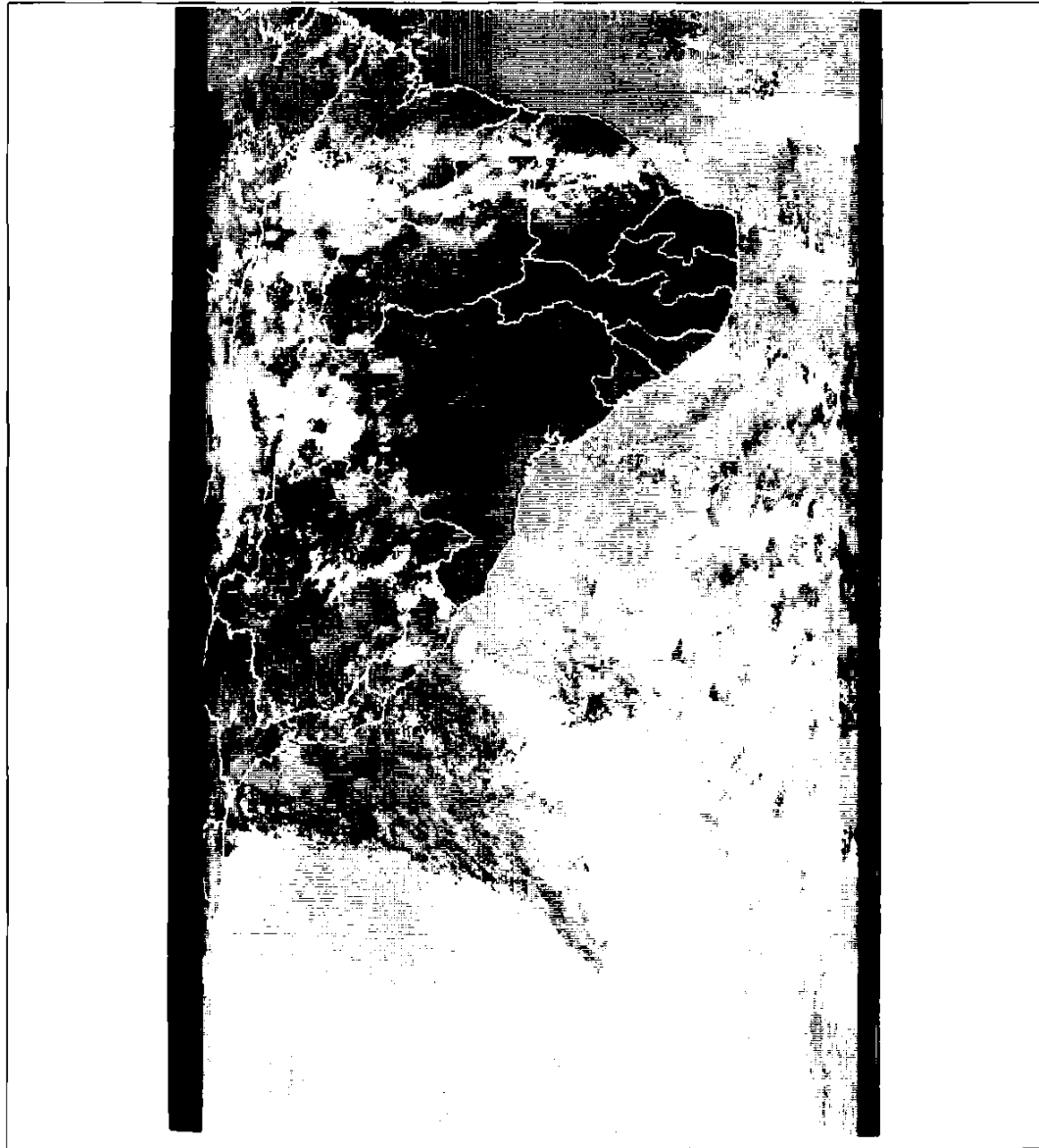


Fig. 2.6 - Imagem AVHRR/NOAA captada pelo INPE.

O IFOV constante do sensor AVHRR faz com que os “pixels” ao longo da linha de varredura tornem-se maiores à medida em que eles estiverem afastados

A Figura 2.7 mostra as variações em tamanho dos “pixels” em direção às bordas da imagem.

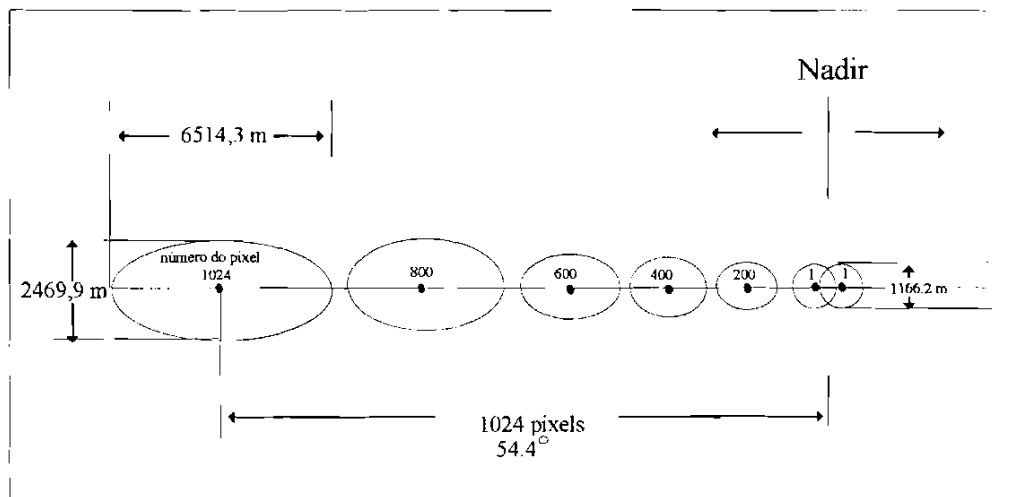


Fig. 2.7 - Tamanhos relativos de “pixels” selecionados ao longo de uma linha AVHRR quando projetados na Terra.

FONTE: Flannigan e Vonder Haar (1986), p. 4.

O INPE da cidade de Cachoeira Paulista recebe imagens AVHRR/NOAA. As imagens utilizadas para a detecção de queimadas são adquiridas no período da estação seca (junho a novembro) pois é nesse período que se verifica a ocorrência de queimadas no país (Setzer et al. 1992).

A imagem AVHRR recebida pelo INPE sofre uma degradação na sua resolução radiométrica, passando de 10 para 8 bits a fim de que possa ser utilizada pelos softwares SGI/SITIM - INPE. Essa degradação corresponde em intervalos de níveis de cinza a uma variação de 0 a 1023 para 0 a 255.

2.6 - Parâmetros Orbitais dos Satélites NOAA

São recebidos diariamente os parâmetros orbitais dos satélites NOAA através da agência NOAA, que é responsável pelos satélites e seu controle orbital. Entretanto, devido a pequenas alterações orbitais entre dias consecutivos e à falta de parâmetros de controle de atitude do satélite (“yaw-pitch-roll”), é necessário um ajuste dos dados recebidos (Setzer et al. 1992).

de parâmetros de controle de atitude do satélite (“yaw-pitch-roll”), é necessário um ajuste dos dados recebidos (Setzer et al. 1992).

Esses dados são armazenados em um arquivo denominado pelo INPE de Noa.p e são úteis para “correção geométrica” e conseqüente determinação das coordenadas geográficas de cada “pixel” de queimada. O arquivo Noa.p está descrito na Tabela 2.2.

TABELA 2.2 - DESCRIÇÃO DO ARQUIVO DE PARÂMETROS Noa.p.

13081994	201725.0	202702	307.3403	1	99.175522	101.9662	7224.41	BNQ28/94	NOAA-11	3194	2
Onde cada grupo de dígitos é detalhado abaixo											
13081994	:	Data de aquisição da imagem (dia 13, mês 08 e ano 1994)									
201725.0	:	Horário de início de gravação da imagem: 20 horas, 17 minutos e 25.0 segundos									
202702	:	Horário de cruzamento do satélite com o equador: 20 horas, 27 minutos e 02 segundos									
307.3403	:	Longitude de cruzamento do satélite com o equador em graus leste									
1	:	Sentido da órbita (1 ascendente (Sul -> Norte); -1 descendente (Norte -> Sul))									
99.175522	:	Inclinação da órbita em graus									
101.9662	:	Período orbital em minutos									
7224.41	:	Raio da órbita em Km									
BNQ28/94	:	Identificação da fita onde está armazenada a imagem									
NOAA-11	:	Nome e número do satélite									
3194	:	Número de linhas da imagem									
2	:	Número da passagem do satélite									

Atualmente o processo de ajuste do arquivo de parâmetros Noa.p é realizado de acordo com as seguintes etapas:

- a) visualização da imagem AVHRR na Unidade Visualizadora de Imagens (UVI);
- b) localização visual dos pontos de controle;
- c) atribuição das coordenadas geográficas do ponto de controle ao ponto correspondente na imagem.

O processo de ajuste manual requer muita atenção do operador, uma vez que a identificação equivocada de um ponto de controle poderá comprometer a precisão das coordenadas dos “pixels” obtidos na imagem.

Um ponto de controle é uma característica fisicamente detectável em uma imagem. Suas coordenadas geográficas podem ser obtidas através de um mapa relativo à área da imagem onde se deseja localizar o ponto de controle.

Como exemplos de pontos de controles em uma imagem AVHRR pode-se citar: as barragens das represas de Sobradinho e Itaipu, algumas feições do Rio Paraná, do Tocantins, da Lagoa dos Patos, da Ilha Bela, etc. Os pontos de controle utilizados neste trabalho estão descritos na Tabela 3.1 do Capítulo 3.

Uma vez que o operador forneça a localização do ponto de controle em linha e em coluna, o programa *Ajuste.c* se encarrega de ajustar o arquivo de parâmetros visto no item anterior. Esse programa altera, no arquivo *Noa.p*, os valores de tempo de início de gravação da imagem e da longitude de cruzamento da passagem do satélite pelo o equador. Esse arquivo servirá como referência para a obtenção precisa das coordenadas dos “pixels” de interesse na imagem.

A técnica de alterar o tempo de início de gravação da imagem e a longitude de cruzamento com o equador corresponde a se fazer um registro translacional na imagem, modificando-se a linha e coluna respectivamente. O algoritmo de ajuste é realizado por aproximações sucessivas deslocando a imagem por translação. A precisão deste processo é a própria resolução do sensor, ou seja, um “pixel” (Setzer et al., 1992).

No processo de ajuste todos os parâmetros do arquivo *Noa.p* são levados em consideração. Uma vez ajustado, o arquivo de parâmetros é armazenado junto com a imagem.

2.7 - A Detecção de Queimadas por Sensoriamento Remoto

2.7.1 - Generalidades

Todos objetos com temperatura acima de zero absoluto emitem radiação eletromagnética. A temperatura de um objeto determina o nível de energia emitida em um particular comprimento de onda, conforme pode ser visto na Figura 2.8.

O valor máximo da radiância espectral é a emitida pelo Sol (que possui uma temperatura em torno de 6000 K) e ocorre em torno de 0,5 μm no meio da região visível do espectro. Para a Terra, (com uma temperatura em torno de 300 K) isto ocorre em torno de 9,7 μm no meio da região do infravermelho termal.

No sensoriamento remoto, utilizando-se dessas propriedades, foram feitas adaptações objetivando a extração de informações de temperaturas a partir de imagens digitais (Kennedy et al., 1993).

Entre os sensores utilizados na obtenção de imagens de satélites, o sensor AVHRR mostrou-se adequado à detecção dos alvos considerados como queimadas, apesar de não ter sido projetado para essa finalidade (Setzer et al., 1992).

Na Figura 2.8 é apresentada a distribuição de radiâncias emitidas por um corpo em relação ao espectro eletromagnético onde destacam-se as faixas correspondentes aos canais 3 (3.55 μm a 3.93 μm) e 4 (10.3 μm a 11.3 μm). A maioria dos corpos da superfície da Terra encontra-se em temperaturas da ordem 300 K enquanto que a temperatura das queimadas se encontra em 800 K.

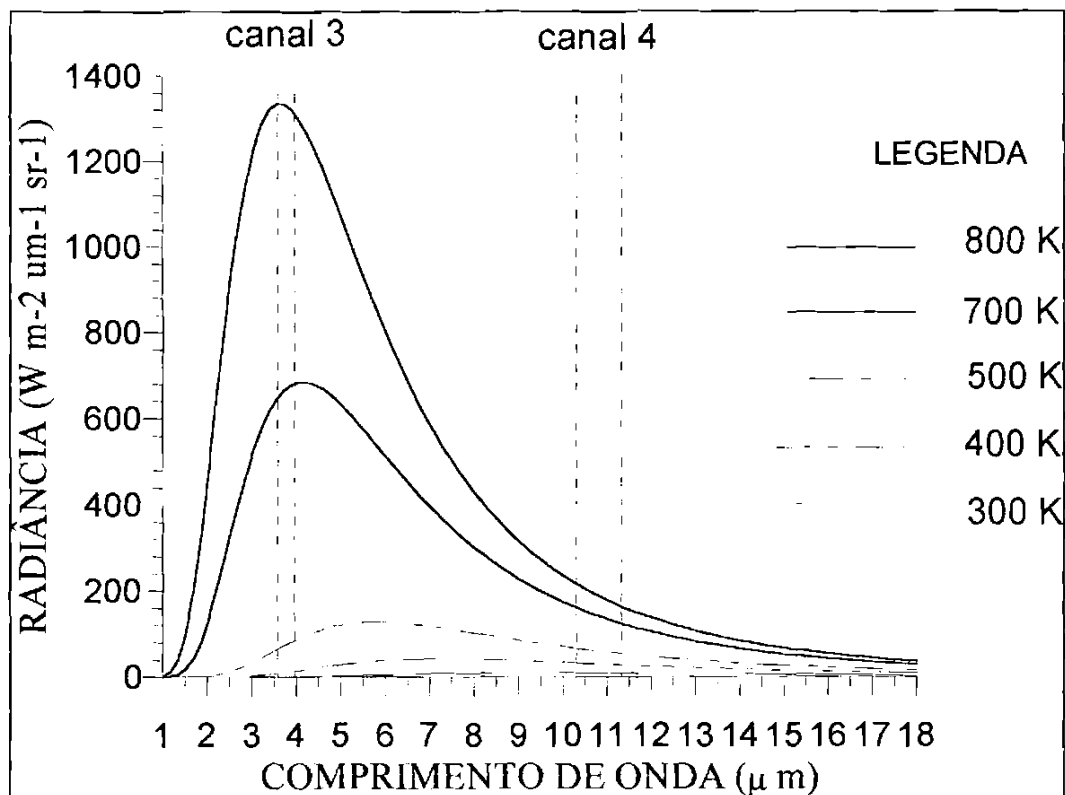


Fig. 2.8 - Radiação de Planck para temperaturas do corpo negro variando de 300 a 800K
 FONTE: Kennedy et al.(1993), p.24.

2.7.2 - A Detecção de Queimadas nas Imagens AVHRR

Segundo Kennedy et al. (1993), para um “pixel” localizado no nadir, onde a resolução espacial do AVHRR é de 1.1 Km, contendo um único elemento de temperatura ambiente (27°C / 300 K), a radiação recebida nos canais 3 e 4 deverá ser de 0.442 w/m²μmsr e 9.68 w/m²μmsr, respectivamente, assumindo uma emissividade de 1 e nenhuma atenuação do sinal pela atmosfera. Para um “pixel” contendo metade de sua área com temperatura ambiente (300 K) e metade de sua área com fogo (800 K) a média da energia radiante para os canais 3 e 4 seria 670 w/m²μmsr e 99.92 w/m²μmsr respectivamente, ou seja a radiação recebida pelo canal 3 aumenta no fator de 1516 e a

recebida pelo canal 4 aumenta por um fator de 10. Esta diferença de resposta é a base para se detectar queimadas através do canal 3 do sensor AVHRR.

Matson et al. (1984) realizaram um trabalho pioneiro para a detecção da atividade do fogo e as suas marcas deixadas na floresta tropical a partir de imagens AVHRR/NOAA. Mais recentemente Setzer et al. (1992), desenvolveram uma metodologia para a detecção de queimadas usando o canal 3 (3.55 - 3.95 μm) e o canal 2 (0.725 - 1.10 μm) onde o canal 2 é utilizado apenas para a determinação de ruídos na imagem.

Existem variações na detecção das queimadas causadas principalmente por: redução da sensibilidade dos sensores a bordo dos satélites; substituição dos satélites a cada dois anos, variações orbitais; e por reflexão solar em algumas superfícies, em casos muito particulares (Setzer et al., 1992). Os valores dos níveis de cinza utilizados em cada satélite na detecção de queimadas são definidos pelo grupo de pesquisadores do INPE. Esses valores são definidos ao se analisar o histograma das imagens AVHRR banda 2 e banda 3.

A Tabela 2.3 apresenta alguns dados relativos aos satélites utilizados na detecção de queimadas. A primeira coluna refere-se ao ano de atividade do satélite, a segunda coluna o satélite ativo nesse ano, a terceira coluna os níveis de cinza na imagem AVHRR, banda 3, considerados como queimadas e a terceira coluna a escala de informação enviada para o usuário. Na escala *invertida* os níveis de cinza dos “pixels” considerados como queimadas são substituídos. Por exemplo, uma queimada cujo “pixel” possui nível de cinza zero (o de maior temperatura) vai ser enviado para o usuário como intensidade 9 (máxima intensidade).

TABELA 2.3 - DADOS RELATIVOS AOS SATÉLITES UTILIZADOS NA DETECÇÃO DE QUEIMADAS.

ANO	SATELITE	NIVEIS	ESCALA
1985	NOAA - 8	0 a 11	Invertida
	NOAA - 9	0 a 8	Invertida
1986	NOAA - 8	0 a 11	Invertida
	NOAA - 9	0 a 9	Invertida
1987	NOAA - 9	0 a 9	Invertida
	NOAA - 10	0 a 8	Invertida
1988	NOAA - 9	0 a 10	Invertida

(continua)

Tabela 2.3 - Conclusão

	NOAA - 10	0 a 9	Invertida
	NOAA - 11	0 a 9	Invertida
1989	NOAA - 9	0 a 12	Invertida
	NOAA - 10	0 a 10	Invertida
	NOAA - 11	0 a 10	Invertida
	NOAA - 9	0 a 12	Invertida
	NOAA - 10	0 a 11	Invertida
	NOAA - 11	0 a 11	Invertida
1991	NOAA - 9	0 a 13	Invertida
	NOAA - 10	0 a 11	Invertida
	NOAA - 11	0 a 11	Invertida
	NOAA - 12	0 a 9	Invertida
1992	NOAA - 9	0 a 13	Invertida
	NOAA - 10	0 a 12	Invertida
	NOAA - 11	0 a 12	Invertida
	NOAA - 12	0 a 10	Invertida
1993	NOAA - 9	0 a 13	Invertida
	NOAA - 10	0 a 12	Invertida
	NOAA - 11	0 a 12	Invertida
	NOAA - 12	0 a 10	Invertida
1994	NOAA - 9	0 a 13	Invertida
	NOAA - 10	0 a 12	Invertida
	NOAA - 11	0 a 13	Invertida
	NOAA - 12	0 a 11	Invertida
1995	NOAA - 12	0 a 12	Invertida
	NOAA - 14	0 a 3	Não Invertida

Como todas as imagens de sensoriamento remoto, as imagens AVHRR possuem distorção geométrica. Assim, as coordenadas de um “pixel” numa imagem sem correção geométrica encontram-se afetadas por erros decorrentes das variações da plataforma do satélite e movimento de rotação da Terra.

A fim de corrigir essas distorções inicialmente se faria necessária a correção geométrica em toda imagem. Entretanto, devido ao elevado tempo requerido para essa operação foram desenvolvidos alguns algoritmos, que serão discutido adiante,

que permitem a obtenção das coordenadas dos “pixels” sem que houvesse a necessidade de correção de toda a imagem.

Figueiredo (1990) desenvolveu, através de estudos realizados por Medeiros et al. (1986), as rotinas básicas de navegação nas imagens AVHRR. Essas rotinas foram utilizadas em seu trabalho de geração de imagens AVHRR de índice de vegetação.

De acordo com Medeiros et al. (1986), a navegação é um processo analítico de determinação de parâmetros dinâmicos do satélite, necessários para gerar uma transformação matemática exata entre o sistema de referência do satélite (linha e coluna de uma imagem) e o de coordenadas geográficas (latitude e longitude).

Essas transformações matemáticas foram implementadas em linguagem de programação C e denominadas de *Lc_ll.c* onde, através da linha e da coluna da imagem AVHRR é obtida a latitude e longitude terrestre correspondente do “pixel” e de *Ll_lc.c*, onde através da latitude e da longitude terrestre obtém-se a linha e a coluna da imagem AVHRR.

As rotinas *Lc_ll.c* e *Ll_lc.c* utilizam como dados de entrada o arquivo de parâmetros Noa.p ajustado, descrito na Tabela 2.2. Essas rotinas formam a base de todos os processamentos relacionados à navegação em imagens AVHRR, quer para a obtenção de coordenadas geográficas ou obtenção de linha e coluna do “pixel” de interesse. Essas rotinas fornecem os meios necessários à extração de informações das imagens AVHRR “brutas” (sem correção), sem que haja a necessidade da correção geométrica na própria imagem.

Como exemplo de aplicações que podem ser obtidos a partir de imagens AVHRR com a utilização das rotinas de navegação tem-se: determinação de Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN), levantamento de novos desmatamentos e detecção de focos de queimada.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - Materiais Utilizados

3.1.1 - Introdução

Neste capítulo serão descritos e justificados os materiais utilizados no sistema desenvolvido, incluindo desde os tipos de imagens de sensoriamento remoto até os requisitos de “software” e “hardware”.

3.1.2 - Imagens

Devido às vantagens de proporcionar uma visão sinóptica, ou seja maior abrangência do terreno, facilidade de obtenção diária de imagem e baixo custo em comparação com outras imagens digitais de sensoriamento remoto, optou-se pela utilização das imagens digitais obtidas através do sensor AVHRR do satélite NOAA.

As imagens utilizadas neste trabalho correspondem às bandas 2 (0,725 a 1,10 μm) e 3 (3.55 a 3.93 μm) do AVHRR cujas características foram detalhadas no Item 2.5. Além das imagens, também são necessários o arquivo de parâmetros Noa.p e o arquivo descritor da imagem Noa.d. O arquivo de parâmetros contém informações orbitais conforme mencionado no Item 2.5 e o arquivo descritor fornece as informações de número de linhas, de colunas, de bandas e a resolução espacial da imagem.

3.1.3 - “Hardware” e “Software”

3.1.3.1 - Hardware

O ambiente computacional escolhido para o desenvolvimento deste sistema é um microcomputador pessoal compatível com a linha IBM-PC. O computador deve ter as seguintes características mínimas: processador 386 com coprocessador aritmético, 1 Megabyte de memória RAM (Random Access Memory), espaço livre disponível no disco rígido de 20 Megabytes, monitor de vídeo VGA (Video Graphics Array) e mouse. A disseminação cada vez maior de microcomputadores é uma das principais justificativas para a escolha deste ambiente.

Entre algumas das vantagens dos microcomputadores pode-se citar: aumento de performance com as versões 486, Pentium, Pentim Pro, facilidade de uso por ser um computador pessoal e de baixos custos de hardware e dos softwares básicos a serem utilizados.

3.1.3.2 - Software

A linguagem de programação utilizada é a C devido à flexibilidade de operar em alto e baixo nível de programação. Deve ser ressaltado também o seu caráter de modularidade e integração com as bibliotecas dos programas SGI/SITIM do INPE, permitindo rápidas adaptações e a utilização de seus algoritmos. O trabalho proposto é executado utilizando o sistema operacional DOS (Disk Operation System).

3.2 - Metodologia Proposta

3.2.1 - Introdução

Neste item será detalhada a metodologia proposta do sistema computacional que se destina à identificação de “pixels” que se apresentem com características espectrais de pontos de queimada.

Serão apresentados os processos necessários à implementação do sistema que se iniciará pelo ajuste de parâmetros orbitais, a fim de que possa existir uma melhor correspondência entre as coordenadas dos “pixels” da imagem e as coordenadas correspondentes no terreno.

3.2.2 - O Sistema Proposto

Com base nas rotinas de navegação das imagens AVHRR, foi desenvolvido um sistema computacional integrado para extração de informações das imagens AVHRR visando, particularmente, a utilização em detecção de focos de queimadas.

Esse sistema consiste dos seguintes módulos principais: ajuste automático do arquivo de parâmetros; detecção de queimadas; delimitação das áreas de queimadas nas regiões de interesse dos usuários; geração de arquivos; e produtos de interesse dos usuários. O fluxograma da Figura 3.1 mostra as principais etapas do sistema proposto.

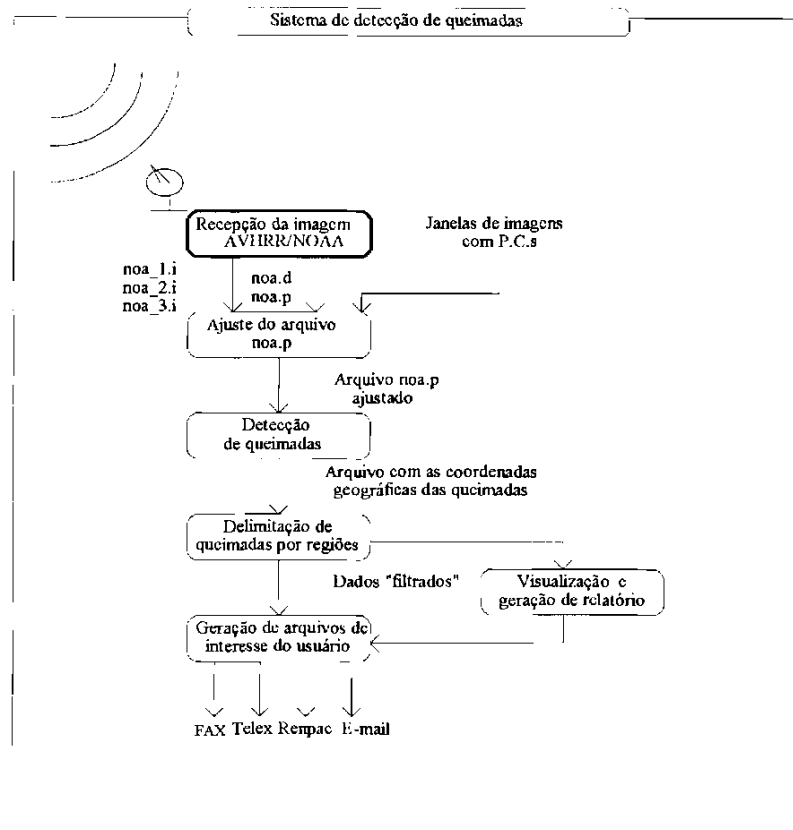


Fig. 3.1- Diagrama esquemático do sistema proposto.

3.3 - Descrição das Fases do Sistema Proposto

Neste item será efetuada a descrição detalhada das operações realizadas conforme o diagrama esquemático apresentado na Figura 3.1.

3.3.1 - Recepção das Imagens AVHRR/NOAA

São recebidos operacionalmente pelo INPE, os sinais provenientes dos satélites da série NOAA que se encontram ativos. No momento encontram-se nessa situação os satélites 12 e 14. Estes sinais recebidos são basicamente as imagens AVHRR/NOAA das bandas 1, 2, 3, 4 e 5 com descritor e arquivo de parâmetros que constituem a base de dados de entrada do sistema proposto. O arquivo descritor contém as seguintes informações: número de linhas; número de colunas; número de bandas; e a resolução espacial da imagem. Neste trabalho foram utilizadas as imagens AVHRR bandas 2 e 3 conforme mencionado no Item 2.6.2.

3.3.2 - Ajuste do Arquivo de Parâmetros Noa.p

Visando a determinação das coordenadas geográficas de cada “pixel” de queimada, foram utilizadas as chamadas equações de navegação mencionadas no Item 2.7.2, onde a partir da posição de um “pixel” na imagem AVHRR, dada por sua linha e coluna, são obtidas a latitude e a longitude terrestres correspondentes. Como dados de entrada para essas rotinas têm-se: o arquivo de parâmetros, a linha e coluna do “pixel” de interesse.

No processo de ajuste do arquivo de parâmetros o operador deve identificar e fornecer as coordenadas de pontos de controle na imagem com o auxílio de um mapa. Este procedimento requer habilidade visual e condições de visibilidade do ponto de controle na imagem. O arquivo de parâmetros ajustado servirá para referenciar a navegação de todos os “pixels” da imagem.

Visando o aperfeiçoamento do processo de ajuste do arquivo de parâmetros, Figueiredo (1990) sugeriu a utilização de algoritmos que realizassem esse ajuste de forma automática. Este procedimento tornaria desnecessária a localização pelo operador dos pontos de controle na imagem, que tem sido uma operação demorada e sujeita a erros.

O autor deste trabalho implementou um algoritmo de ajuste do arquivo de parâmetros, baseado nas técnicas de localização automática de pontos de controle apresentadas por Erthal (1984) e utilizadas por Li (1985) nas imagens MSS/LANDSAT. Essas técnicas foram aplicadas visando a obtenção de coordenadas de pontos de controle em imagens AVHRR em substituição ao operador.

Para o processo de obtenção automática de pontos de controle em imagens AVHRR foi criado um arquivo denominado **Noaa.pc** que contém as coordenadas geográficas de pontos de controle existentes em todo o país e uma janela de imagem AVHRR que contém cada ponto de controle. Esse arquivo é detalhado na Tabela 3.1. Os valores de latitudes e longitudes são armazenados em graus decimais. Para latitudes norte os valores são positivos e latitudes sul negativos. Já, para as longitudes oeste os valores são sempre negativos; as longitude leste não serão utilizadas pois o Brasil fica completamente a oeste do meridiano de Greenwich.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as seguintes informações: na coluna *Ponto de Controle* são identificados os pontos de controle cadastrados no sistema; nas colunas *Latitude* e *Longitude* os valores em graus decimais da localização geográfica dos pontos de controle; na coluna *Janela de imagem que contém o PC* o nome do arquivo da janela que contém o ponto de controle; nas colunas *Linha do PC* e *Coluna do PC* a localização do ponto de controle na janela da imagem de referência.

TABELA 3.1 - DESCRIÇÃO DO ARQUIVO Noaa.pc.

Ponto de Controle	Latitude (em graus)	Longitude (em graus)	Janela de imagem que contém o PC	Linha do PC	Coluna do PC
	-20.0825	-51.0625	tri_2.i	134	311
	-20.7766	-51.6236	tr2_2.i	244	508
	-22.6541	-53.0872	tr2_2.i	406	274
	-21.2953	-49.7833	tr2_2.i	329	676
	-19.0203	-50.4928	tr2_2.i	90	670
	-22.6594	-51.3572	tr2_2.i	434	481
	-7.1830	-47.7420	toc_2.i	108	237
	-7.3580	-58.1250	tap_2.i	51	358
	-27.2833	-58.6000	rpr_2.i	240	74
	-25.4211	-54.5975	it2_2.i	532	666
	-23.9667	-45.2500	bel_2.i	250	288
	-23.0000	-42.0000	cab_2.i	112	383
	-32.1475	-52.0767	lag_2.i	346	117
	-9.4420	-40.8250	sfs_2.i	107	285
	-10.5125	-36.4008	sfs_2.i	289	772
	-13.0081	-38.5375	sfs_2.i	499	470
	-3.8328	-49.6400	tat_2.i	26	225
	-5.3500	-48.6920	tat_2.i	194	302

Os valores que constam na Tabela 3.1 foram determinados por um especialista em imagens AVHRR/NOAA.

Através do conhecimento das coordenadas de pontos de controle apresentadas na Tabela 3.1 será realizada uma primeira navegação na imagem com o arquivo de parâmetros original. Esse processo visa, num primeiro passo, localizar o ponto de controle na imagem.

As rotinas de navegação localizam o valor de linha e coluna da imagem correspondentes às coordenadas fornecidas para todos os pontos de controle que se encontram armazenadas no arquivo Noaa.pc. Entretanto, devido aos motivos apresentados no Item 2.5, esses pontos localizados por suas linhas e colunas não coincidem com suas verdadeiras posições na imagem, mas servem como uma inicialização do posicionamento em linha e coluna do ponto de controle na imagem.

Dessa forma, o número de iterações necessárias à localização precisa do ponto de controle será reduzido, em comparação ao número de iterações que se efetuariam, caso não se tivesse nenhum conhecimento de sua posição na imagem.

Para isso, deve-se armazenar *a priori* janelas de imagens. Essas janelas devem, de preferência, ter sido obtidas a partir de regiões imageadas sob o nadir do satélite diminuindo-se as distorções na imagem. Essas janelas deverão estar livres de nuvens ou ruídos para permitir melhores resultados na análise de correlação.

Conforme será visto adiante, cada análise fornece um valor de correlação correspondente ao ponto de controle selecionado. Uma vez efetuada a análise para todos os pontos de controle do arquivo Noaa.pc, escolher-se-á o ponto cuja correlação mais se aproximar da unidade conforme visto no Item 2.2.2.

A coincidência se fará a partir das análises de correlação entre essas janelas e a imagem utilizada, conforme Erthal (1984). Dentre os índices de correlação obtidos tomar-se-á o que mais se aproximar da unidade, indicando com isso que se obteve a melhor correspondência entre os “pixels” da janela e os da imagem.

Neste trabalho a janela de busca (M) foi definida com o tamanho de 60x60 “pixels” e as janelas de referência (N) variam com os tamanhos 10x10, 20x20, 30x30, 40x40 e 50x50 “pixels”.

Com os valores de M e N definidos acima pode-se deduzir que as dimensões L, citada no Item 2.2.2, assumem os valores de 51, 41, 31, 21, 11 significando que serão efetuadas L^2 , portanto 2601, 1681, 961, 441, 121 comparações entre as janelas de busca e de referência.

Para a análise de correlações o sistema fará com que a janela de imagem de referência, que contém os pontos de controle, percorra a imagem onde se deseja localizar o ponto de controle. Essa imagem percorrida foi denominada no trabalho como imagem de busca.

Será selecionado o ponto de controle correspondente à melhor correlação, tomando-se os seus valores de linha e de coluna como dado de referência para o programa *Ajuste.c*, que efetuará o ajuste do arquivo de parâmetros *Noa.p*. Desta maneira o arquivo *Noa.p* proporcionará melhores resultados para as coordenadas de “pixels” a serem obtidas pelas rotinas de navegação *Lc_ll.c* e *Ll_lc.c*.

Abaixo é apresentado, em pseudo-linguagem, o algoritmo da função correlação implementado no programa *Ajuste.c*.

Algoritmo 3.1 - programa *Correlação.c*

Para cada ponto de controle do arquivo NOAA.pc

Início

-Leitura do nome do ponto de controle (P.C.), de suas coordenadas e do nome do arquivo imagem

-Utilização do arquivo *Noa.p* para localização aproximada de P.C. na imagem

-Para cada tamanho da janela de referência que contém o P.C.

início

-Para cada deslocamento na janela original

início

aplicação da função de correlação

armazenamento do valor da correlação, da linha e da coluna

fim

fim

fim

Obtenção do maior valor da correlação

3.3.3 - Detecção de Queimadas

Nesta etapa é realizada a varredura da imagem a fim de localizar os “pixels” que caracterizam respostas como pontos de queimada. Assim, serão selecionados apenas os “pixels” da banda termal número três ($3,55\mu\text{m} - 3,93\mu\text{m}$) da imagem AVHRR que estiverem no intervalo de níveis de cinza definidos na Tabela 2.3. A cada “pixel” selecionado como queimada é associado o valor correspondente de intensidade de nível de cinza da imagem.

Dessa forma, o algoritmo de detecção de queimadas executa uma classificação digital por fatiamento de níveis de cinza, citada no Item 2.2.3. Neste trabalho foi desenvolvido o programa *Fogo.c* que executa a classificação e a localização dos “pixels” de queimada, bem como a ordenação de suas coordenadas geográficas por ordem crescente de latitude. Segue abaixo, descrito em pseudo-linguagem, o algoritmo utilizado na implementação do programa *Fogo.c*.

Algoritmo 3.2 - Localização e ordenação dos pontos de queimada - (programa Fogo.c)

```

Início
Leitura do arquivo de parâmetros Noa.p
Para cada linha da imagem AVHRR, banda 3
  Início
    Leitura da linha da imagem
    Para cada “pixel” da linha
      Início
        Se o “pixel” é de queimada
          Início
            Obtenção das coordenadas geográficas do pixel
            Armazenamento das coordenadas no arquivo Qgeral.txt
          fim
        fim
      fim
    fim
  fim
Ordenação dos pontos de queimada
fim

```

Conforme verificado no Algoritmo 3.2, os “pixels” considerados como queimadas são obtidos linha por linha e suas coordenadas, ainda não ordenadas, são armazenadas no arquivo denominado *Qgeral.txt*. Assim, faz necessária a ordenação de suas coordenadas a fim de que possam ser fornecidas aos usuários. A Tabela 3.2 mostra um exemplo de arquivo *Quegeral.txt* ordenado.

Para a ordenação das coordenadas dos pontos de queimada foi implementado o algoritmo de ordenação “Quicksort”. Este algoritmo baseia-se na ordenação por trocas e é considerado o melhor método de ordenação (Schildt, 1989).

Para efetuar essa ordenação utilizou-se a função *qsort.c* implementada na biblioteca de rotinas da linguagem C. A ordenação é realizada por ordem crescente de latitude, onde as coordenadas correspondentes a “pixels” situados mais ao norte são as primeiras a serem armazenadas conforme pode ser verificado na Tabela 3.2.

**TABELA 3.2 - ARQUIVO DE PONTOS DE QUEIMADAS QUEGERAL.TXT
DISPONÍVEL PARA O USUÁRIO.**

```

13091994 03746.72 204812 303.26 1 99.17 101.96 7224.39 bnq42/94 NOAA-11 3579 2
S03168625613
S03484510890
S04135504920
S04136504980
S05550485920
S05551442860
S08576492072
S09042635121
S09043635257
S10016493620
S10017493680
.....
.....
S27074622204
S27075622390
S28269604286
S28271604430
S33505591360
S33551590387
S36314590470

```

Onde : S 03 168 62 561 3

Latitude : *Sul 03° 16,8'*

Longitude : *Oeste 62° 56,1'*

Intensidade : 3

Os “pixels” situados nas bordas das imagens são desprezados devido à existência de distorções geométricas nessas regiões. Desta forma, numa linha de imagem AVHRR que contém 2048 “pixels”, desprezam-se as 70 colunas iniciais bem como as 70 finais (Setzer et al., 1992). Conforme pode ser visto na Figura 3.2.

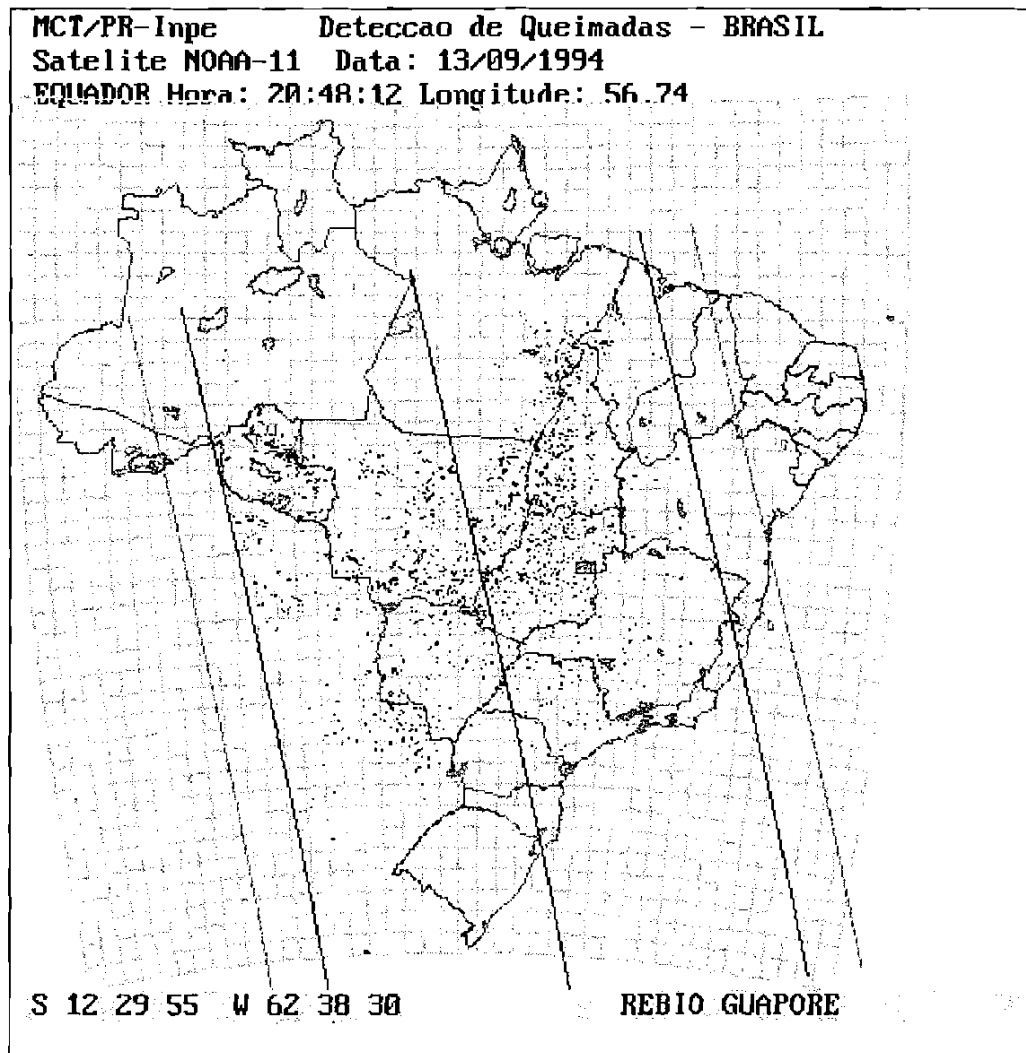


Fig. 3.2 - Apresentação da região de interesse do usuário com os pontos de queimadas e a órbita da passagem do satélite no monitor.

3.3.4 - Delimitação das Regiões de Interesse dos Usuários

Na etapa anterior foi explicado o procedimento de localização, na imagem, dos “pixels” que correspondem às queimadas. No arquivo *Quegeral.txt* serão armazenadas as coordenadas de pontos de queimada existentes em toda a imagem.

Deve ser observado que a cobertura da imagem AVHRR é de dimensões continentais. Entretanto, os usuários geralmente solicitam apenas a identificação de queimadas em áreas de seu interesse. Assim, o sistema fornece as coordenadas de pontos de queimada relativos às áreas solicitadas.

Para a delimitação das queimadas em áreas de interesse, o usuário deverá fornecer as áreas digitalizadas ao sistema. Essa operação de digitalização deve ser realizada no SGI/INPE através de um mapa correspondente. Neste trabalho as seguintes áreas foram digitalizadas e já estão implementadas no sistema.

1 - Projeto : Rondônia (ro)

Numero de planos : 13

Escala : 1/1000000.000000

Coordenadas do projeto :

Xmin : -1433855.3 Xmax : -594157.4

Ymin : -398074.7 Ymax : 327886.7

Plano ativo : lim

Unidade de trabalho : metros

Projeção : policônica

Parâmetros dos planos de informação:

#	Nome	Escala	Categoria	#	Nome	Escala	Categoria
1	hydr	1000000	MAPA POLIG.	2	baci	1000000	MAPA POLIG.
3	Lbac	1000000	MAPA POLIG.	4	lim	1000000	MAPA POLIG.
5	zon	1000000	MAPA POLIG.	6	eros	1000000	MAPA POLIG.
7	st	1000000	MAPA POLIG.	8	smig	1000000	MAPA POLIG.
9	mun	1000000	MAPA POLIG.	10	pcd	1000000	MAPA POLIG.

11 429 1000000 MAPA POLIG. 12 bum 1000000 MAPA POLIG.
13 ptos 1000000 MNT

2 - Projeto : Brasil (br)

Numero de planos : 3

Escala : 1/5000000.000000

Coordenadas do projeto :

Xmin : -2314196.8 Xmax : 2270000.2

Ymin : -4136595.8 Ymax : 943697.3

Plano ativo : brc

Unidade de trabalho : metros

Projeção : policônica

Parâmetros dos planos de informação:

#	Nome	Escala	Categoria
1	brc	5000000	MAPA POLIGONAL (Brasil) 2 ptos 5000000 MNT
3	iba	5000000	MAPA POLIGONAL (Reservas ecológicas)

3 - Projeto : Pantanal (bap)

Numero de planos : 8

Escala : 1/1000000.000000

Coordenadas do projeto :

Xmin : -646651.5 Xmax : 107794.1

Ymin : -947101.5 Ymax : -295.1

Plano ativo : mun

Unidade de trabalho : metros

Projeção : lambert geral

Parâmetros dos planos de informação:

#	Nome	Escala	Categoria
---	------	--------	-----------

1	dren	1000000	MAPA POLIG.	2	cont	1000000	MAPA POLIG.
3	lest	1000000	MAPA POLIG.	4	mun	1000000	MAPA POLIG.
5	pant	1000000	MAPA POLIG.	6	sub	1000000	MAPA POLIG.
8	ptos	1000000	MNT				

4 - Projeto : América do Sul (ams)

Numero de planos : 2

Escala : 1/5000000.000000

Coordenadas do projeto :

Xmin : -1147369.7 Xmax : 4472399.4

Ymin : -8260837.9 Ymax : -313323.9

Plano ativo : amst

Unidade de trabalho : metros

Projeção : bipolar oblíqua

Parâmetros dos planos de informação:

#	Nome	Escala	Categoria
1	amst	5000000	MAPA POLIG.
2	ptos	5000000	MNT

5 - Projeto : São Paulo (cet)

Numero de planos : 2

Escala : 1/1000000.000000

Coordenadas do projeto :

Xmin : -446334.5 Xmax : 525072.3

Ymin : -571079.3 Ymax : 67484.5

Plano ativo : cet

Unidade de trabalho : metros

projecção : lambert geral

Parâmetros dos planos de informação:

#	Nome	Escala	Categoria
1	cet	1000000	MAPA POLIG.
2	ptos	1000000	MNT

6 - Projeto : Mato Grosso (mt)

Numero de planos : 2

Escala : 1/1500000.000000

Coordenadas do projeto :

Xmin : -868852.4 Xmax : 434493.8

Ymin : -2080135.4 Ymax : -772790.6

Plano ativo : mtc

Unidade de trabalho : metros

Projecção : lambert geral

Parâmetros dos planos de informação:

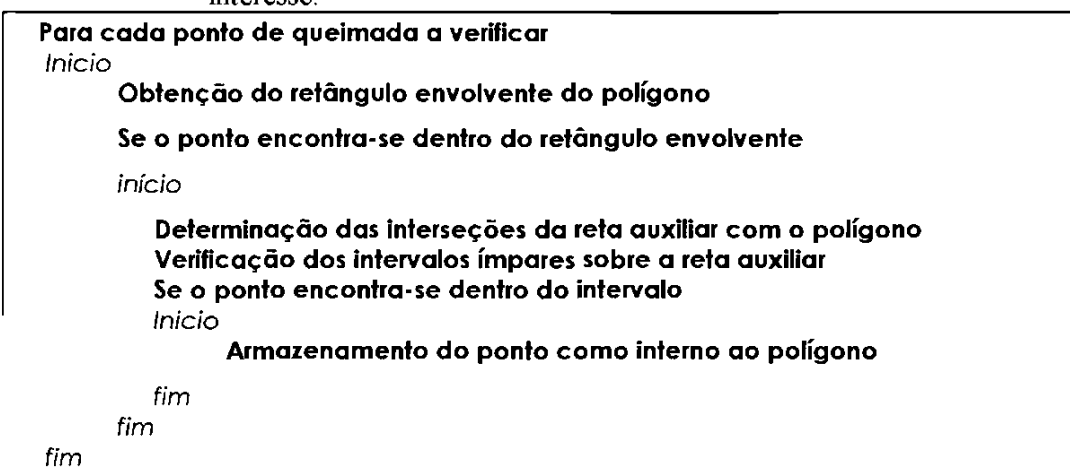
#	Nome	Escala	Categoria
1	mtc	1500000	MAPA POLIG.
2	ptos	1500000	MNT

No SGI o usuário organiza seu trabalho em projetos; cada projeto reúne os dados de interesse da região. Cada região compõe-se de diferentes planos de informação (PI). Cada PI reúne todas as representações de um mesmo dado geográfico, o que simplifica e muito o tratamento de distintos formatos pelo sistema (INPE, 1990).

Cada projeto utilizado neste trabalho possui um plano de informação (PI) com o nome de **ptos** no formato MNT (Modelo Numérico de Terreno). Isso se faz necessário para que as latitudes e longitudes dos focos de queimada sejam transformadas em coordenadas de projeção **x** e **y** do projeto correspondente e armazenadas nesse plano. Mediante adaptações, o sistema poderá receber dados digitalizados provenientes de outros SIGs.

É realizada uma análise com os dados da região digitalizada, e verificado no arquivo *Quegeral.txt* quais as coordenadas de pontos de queimada que se encontram dentro dessa região. No SGI/INPE essas regiões são denominadas polígonos. A função que localizará o polígono, que contém o ponto de queimada, considera a interseção do polígono com uma reta auxiliar passando pelo ponto. De acordo com o número de vezes que a reta intercepte o polígono poder-se-á verificar se o ponto se encontra interna ou externamente ao polígono. Abaixo é descrito o algoritmo para a verificação se um certa coordenada, dada por **x** e **y**, pertence ao polígono.

Algoritmo 3.3 - Verificação de pertinência de pontos de queimadas na região de interesse.



Na Figura 3.2 tem-se representado alguns polígonos para os quais será determinada a existência dos pontos de queimada no seu interior. Para isso utilizou-se o Algoritmo 3.3. A Figura 3.3 mostra uma ampliação de algumas áreas de interesse dos usuários com os pontos de queimada.

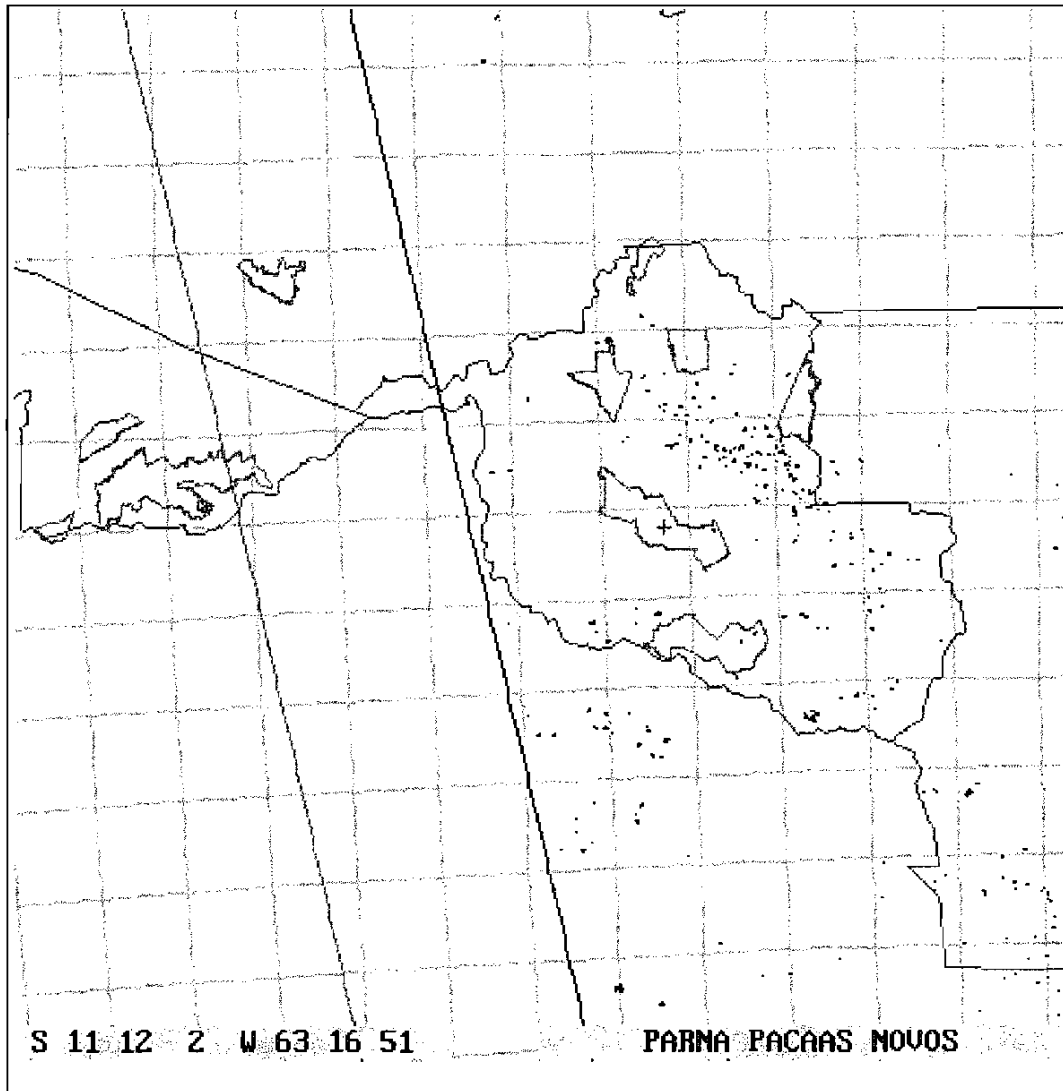


Fig. 3.3 - Ampliação da área de interesse do usuário com os pontos de queimada.

3.3.5 - Geração de Arquivos e Produtos para Usuários

Nesta fase tem-se os “pixels” da imagem que se caracterizam como pontos de queimada e se encontram dentro da área solicitada, devidamente ordenados. Na Figura 3.4 é mostrado um exemplo de arquivo, em formato ASCII (American

Standard Code for Information Interchange), obtido a partir dos polígonos (áreas de interesse) do projeto Brasil (br).

```

13091994 203746.723369 204812 303.262055 1 99.179253 101.966003 7224.393066 bmq42/94 NOAA-11 3579 2
R APA PIAÇABUCU - NI
SEM QUEIMADAS
R APA JERICOACOARA - NI
SEM QUEIMADAS
R REBIO GUAPORÉ - TI
L12S
248621628/256621710/310622628/315622616/321622604
Intensidade 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Total
Pontos 1 0 0 0 1 0 1 0 2 0 5
R REBIO JARU - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA C. DIAMANTINA - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA DAS EMAS - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA SERTÃO VEREDAS - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA SERRA CANASTRA - TI
L20S
151463810/154463898
Intensidade 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Total
Pontos 1 0 0 0 0 0 0 0 1 0 2
R PARNA C. GUIMARÃES - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA TIJUCA ILHA 3 - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA SERRA ÓRGÃOS - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA DO ITATIAIA - TI
SEM QUEIMADAS
R PARNA PACAAS NOVOS - TI
L11S
148624180/150624300/156624290
Intensidade 0 1 2 3 4 5 6 7 8 9 Total
Pontos 3 0 0 0 0 0 0 0 0 0 3
R FLONA BOM FUTURO - TI
SEM QUEIMADAS
R RESEX CHICO MENDES - NI
SEM QUEIMADAS
R RESEX RIO CAJARI - PI
SEM QUEIMADAS

```

Fig. 3.4 - Exemplo de formato de arquivo telex da região de interesse do usuário com pontos de queimada .

O sistema permite visualizar a área de interesse do usuário, tal como na Figura 3.2, e as regiões de interesse ampliadas para melhor identificação do local onde foi detectada a queimada na Figura 3.3. Esses produtos podem ser impressos em dispositivos de saída como uma “plotter” ou impressora a laser e transmitidos via FAX aos usuários.

Nesta fase os recursos de visualização, das regiões de interesse do usuário, facilita a interpretação dos dados de focos de queimada recebidos no formato ASCII.

Neste trabalho as rotinas de visualização dos arquivos contendo as coordenadas de pontos de queimada são realizadas pelo programa *Visu.c*. Este programa possui as seguintes opções: impressão e visualização da região solicitada pelo usuário, obtenção de coordenadas geográficas com a possibilidade de ampliação da área desejada.

Algoritmo 3.4 - Programa de visualização (programa Visu.c)

Leitura do projeto da área de interesse

Início

-Transformação das linhas armazenadas em disco para pontos a serem visualizados no vídeo

-Impressão da órbita da passagem do satélite

-Impressão dos pontos de queimada do arquivo Quegeral.txt

-Apresentação do cursor de navegação

fim

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - Introdução

Baseando-se no sistema proposto no Capítulo 3, desenvolveu-se e implementou-se um sistema computacional denominado SIDeQ (Sistema Integrado de Detecção de Queimadas). O SIDeQ contém os módulos necessários para o processamento das imagens AVHRR na detecção de queimadas. Esses módulos são: PARÂMETROS, AJUSTE, DETECÇÃO, USUÁRIOS e UTILITÁRIOS.

A Figura 4.1 esquematiza o fluxograma de processamento do SIDeQ. No fluxograma, o programa *Menuq.pas* é responsável pela execução de cada um dos módulos do sistema. O *Menuq.pas* fica em processo de “loop” executando o programa *Queimada.c*, este verifica qual o módulo escolhido pelo operador, através do mouse ou teclado, para a execução.

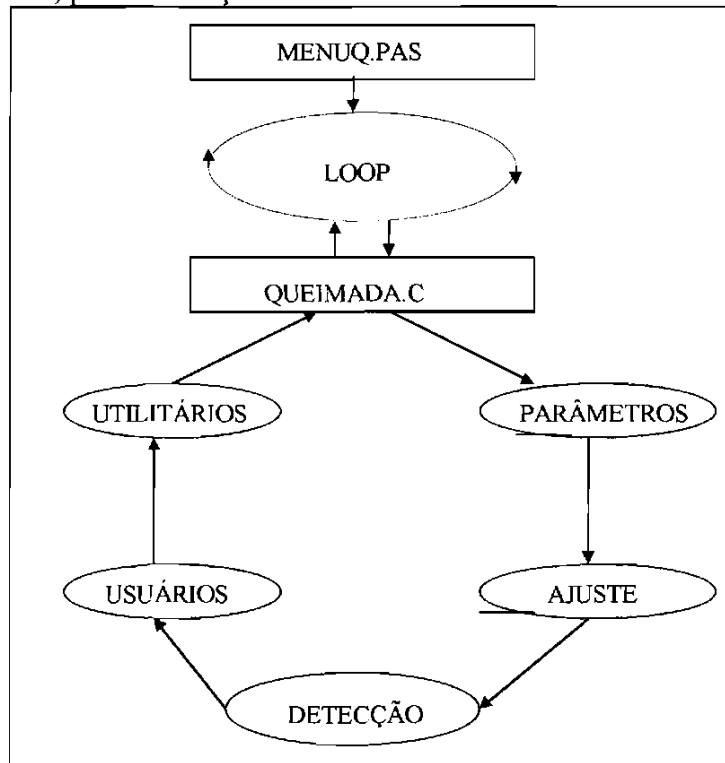


Fig. 4.1 - Fluxograma do sistema SIDeQ.

Uma vez acionado o módulo de interesse, o programa correspondente a esse módulo é executado na memória alocada. Ao término da execução do programa, a memória é liberada para a execução de outro módulo. Cada módulo do sistema SDeQ possui um texto de ajuda que pode ser utilizado acionando a tecla "F1".

4.2 - O Módulo "Parâmetros"

O módulo "Parâmetros" auxilia o operador na criação do arquivo de parâmetros Noa.p, descrito no Item 2.6. Esse módulo permite somente a entrada de dados que estejam dentro de uma faixa útil de cada parâmetro. Após o operador fornecer esses valores, os dados são armazenados em um banco de dados compatível com os arquivos DBFs (Data Base File). Os valores do arquivo de parâmetros também podem ser recuperados nesse módulo. A Figura 4.2 apresenta o menu de entrada dos dados relativos aos parâmetros orbitais do satélite NOAA-14, cuja data da passagem foi no dia 24 de outubro de 1995. Esses dados são os mesmos que foram discutidos na Tabela 2.2 do Capítulo 2.

INPE - INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS		
26-12-95	Queimadas	T I R O S
11:07:28		
<u>Parâmetros da Passagem</u>		
Satélite :	14	Data Passag. : 24-10-95
Nº Passag. :	2	T.C. Inicial: 17:49:40
T.C. Cruz. :	17:59:21	Long. Cruz. : 303.000000
Asc./Desc. :	9	Inclinação : 98.916790
Período :	102.072900	Raio : 7229.437000
Nº linhas :	2375	Identific. : veg005
F1 Help		
<Esc> p/ voltar ao menu		

Fig. 4.2 - Menu de apresentação do módulo "Parâmetros" do SDeQ.

4.3 - O Módulo "Ajuste"

o mapa e os pontos de controle são sobrepostos na imagem através da rotina de navegação *Ll_lc.c*, com base no arquivo de parâmetros que vai ser ajustado.

O módulo ajuste do SDeQ possui duas opções: o ajuste **manual** e o ajuste **automático**. Descreve-se abaixo esses dois métodos.

4.3.1 - O Ajuste Manual

No ajuste manual o operador tem uma importância fundamental ao fornecer o ponto de controle ao sistema.

Após o operador selecionar a imagem de interesse, o sistema recupera o arquivo de parâmetros orbitais relativo à imagem selecionada e visualiza a imagem no próprio monitor do microcomputador. O programa implementado nesse módulo é o *Ajuste.c*. Esse programa visualiza a imagem AVHRR reamostrada por um fator de cinco, isto é, a cada 5 “pixels” somente um é visualizado no monitor. Com esse recurso é possível ter-se uma visão sinóptica da imagem. Os pontos de controle do arquivo *Noaa.pc*, descritos na Tabela 3.1 do Capítulo 3, também são visualizados. Assim, o operador poderá obter diretamente o ponto de controle que estiver livre de nuvens ou de ruídos.

O operador, ao movimentar o mouse sobre a imagem, obtêm as seguintes informações: a linha e a coluna; a latitude e longitude do “pixel”, e, se o cursor do mouse estiver sobre algum ponto de controle, o nome desse ponto.

Ao apertar o botão direito do mouse sobre o ponto de controle desejado este será visualizado com “zoom”. Nesse processo, a imagem de referência também é visualizada com o ponto de controle destacado com a cor branca, para auxiliar o operador na localização do ponto na imagem a ser ajustada. A Figura 4.4 mostra a imagem com “zoom”, a imagem de referência e na área de mensagem do monitor os valores da similaridade, linha e coluna fornecida pelo algoritmo automático.

A rotina de localização automática de ponto de controle também esta implementada no modo manual.

O operador poderá comparar a localização definida por ele com a do algoritmo de correlação. Para isso é necessário que o operador movimente o mouse

até o ponto de controle e pressione a tecla “F3”, o valor da similaridade, o número da linha e da coluna serão apresentados na área de mensagem do monitor.

Após a identificação do ponto de controle de interesse e pressionado o botão central do mouse, é acionada a rotina de ajuste do arquivo de parâmetros orbitais. Automaticamente esse arquivo será ajustado e armazenado no banco de dados DBF. A rotina de ajuste é aquela discutida no Capítulo 2.

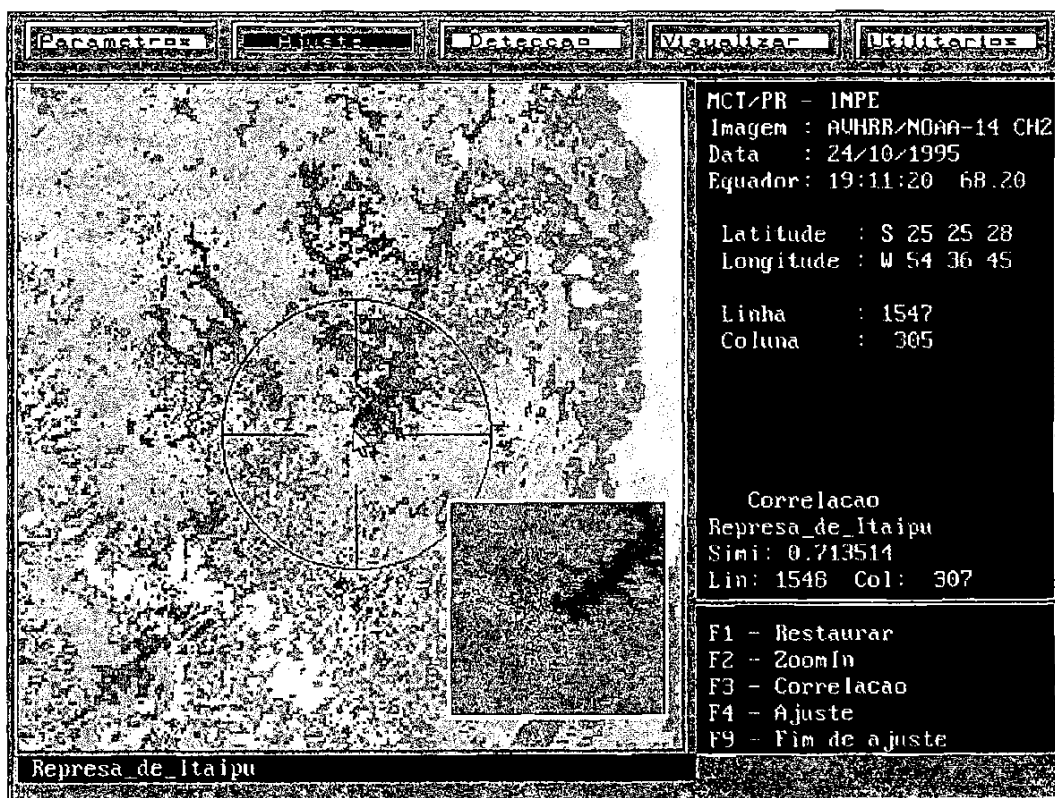


Fig. 4.4 - “Zoom” da imagem selecionada no módulo “Ajuste” com a imagem de referência e os valores da correlação no SIDEQ.

4.3.2 - O Ajuste Automático

No ajuste automático o operador somente escolhe a imagem relativa ao ponto de controle que será ajustado.

Após a escolha da imagem o sistema recupera o arquivo de parâmetros armazenado no banco de dados (DBF), visualiza a imagem e realiza o processo de correlação para cada ponto de controle localizado no arquivo Noaa.pc. O processo de correlação é aquele definido no Capítulo 3.

No algoritmo de localização automática de pontos de controle, o tamanho da janela de referência varia com os tamanhos 10, 20, 30, 40 e 50. Isso porque notou-se na implementação do algoritmo que o valor da correlação varia com o tamanho da janela de referência que depende do padrão da imagem relativo ao ponto de controle.

O maior valor de similaridade para cada tamanho da janela de referência e para cada ponto de controle é armazenado no sistema. No final, ao se processar todos os pontos de controle, o maior valor de correlação entre todos os pontos é definido como o que teve melhor semelhança e será escolhido para a realização do ajuste automático do arquivo de parâmetros.

Testes realizados com os operadores, que executam a tarefa de localizar os pontos de controle nas imagens AVHRR, indicam que valores de correlação abaixo do valor 0,7 tendem a se distanciar do valor “real”. A Tabela 4.1 mostra resultados da aplicação dos ajuste manual e automático para nove imagens AVHRR banda 2. A comparação entre os resultados obtidos mostra que, para a operação de ajuste automático, só serão aceitos pontos de controle cujos valores de correlação estiverem acima de 0,7. Se nenhum ponto de controle obtiver similaridade maior do que 0,7, uma mensagem de aviso é emitida para o usuário e o processo de ajuste automático não é realizado. Desta forma, o processo de ajuste deverá ser realizado, se possível, manualmente.

Após a realização do ajuste, seja no processo manual ou automático, o arquivo de parâmetros é armazenado automaticamente no banco de dados DBF com o nome, a linha e a coluna do ponto de controle utilizado.

4.3.3 - Comparações entre os Métodos Manual e Automático

O sistema SDeQ foi apresentado aos operadores do INPE de Cachoeira Paulista onde foram efetuados testes comparativos entre os métodos manual e automático do módulo “Ajuste”. Os testes foram realizados com um total de doze imagens, sendo nove imagens AVHRR/NOAA-14 banda 2 e três imagens AVHRR/NOAA 12 banda 3. Os resultados desses testes são apresentados nas Tabelas 4.1 (relativos aos dados da banda 2) e na Tabela 4.3 (relativos aos dados da banda 3).

As Tabelas 4.1 e 4.3 contêm as seguintes informações: a data de aquisição da imagem que foi utilizada nos testes de localização de pontos de controle; os pontos de controle que visivelmente foram localizados nas imagens; as linhas e colunas que foram localizadas pelos operadores 1 e 2; o valor da similaridade obtido através do algoritmo de localização automática com linhas e colunas e; o padrão de qualidade da imagem considerando a presença de nuvem ou ruído. Nas Tabelas 4.2 e 4.4 são apresentados os valores da diferença na localização dos pontos de controle entre os operadores e entre cada operador e o algoritmo de localização automática.

Observando-se as tabelas pode-se verificar que, devido ao caráter subjetivo na localização dos pontos de controle, os dois operadores apresentaram uma diferença na localização de linhas e de colunas de um a dois “pixels”.

O algoritmo automático apresentou uma diferença predominante, em relação aos operadores, de um “pixel” nas imagens consideradas boas. Já nos locais onde havia cobertura de nuvem ou ruído o valor da similaridade apresentou baixos valores e conseqüentemente os valores de linha e coluna apresentaram, em média, uma diferença de dois a quatro “pixels” em relação aos fornecidos pelos operadores 1 e 2.

Foi realizado um teste comparativo entre os dados da banda 3 do AVHRR/NOAA-12 adquiridos à noite com os dados de referência utilizados pelo algoritmo de localização automática de pontos de controle da banda 2. O objetivo do teste foi verificar a possibilidade da localização de pontos de controle nas imagens adquiridas à noite.

TABELA 4.1 - COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO MANUAL E O AUTOMÁTICO NO MÓDULO "AJUSTE" UTILIZANDO A BANDA 2 (NOAA - 14) DO SIdEQ.

Ponto de Controle	Operador 2			
	Linha	coluna		
Cabo Frio	853	950	849	948
Salvador	1784	328	1783	327
Tocontine x Araguasia	2708	1272	2708	1271
Rio Grande x Paraná	1278	1775	1279	1775
Barragem de São Simão	1374	1731	1375	1732
Repressa Jupia	1210	1821	1212	1823
Sobradinho	2180	437	2182	438
Paraná x Paranaapanema	1275	337	1272	341
Repressa Capivara	1239	229	1240	230
Lagoa Rio Grande	326	490	318	500
Repressa Itaipu	1035	516	1035	518
Repressa Itaipu	899	798	899	797
Paraná x Paranaapanema	1142	562	1143	561
Repressa Capivara	1111	406	1111	407
Barragem Promissão	1214	271	1215	272
Repressa Jupia	1302	383	1302	384
Rio Grande x Paraná	1361	323	1362	323
Barragem São Simão	1453	272	1453	272
Rio Paraná	696	1235	696	1235
Lagoa Rio Grande	111	663	111	664
Paraná x Paranaapanema	1061	488	1060	490
Repressa Capivara	1029	347	1028	348
Repressa Jupia	1220	326	1220	327
Rio Grande x Paraná	1279	271	1280	271
Barragem de São Simão	1372	224	1371	226
Rio Paraná	692	1252	692	1252
Lagoa Rio Grande	106	685	106	685
Repressa Itaipu	814	732	814	733
Paraná x Paranaapanema	1058	509	1057	512
Repressa Capivara	1027	365	1026	366
Repressa Jupia	1217	344	1219	345
Rio Grande x Paraná	1277	288	1278	289
Barragem São Simão	1369	241	1369	242
Barragem Promissão	1130	240	1129	243
Salvador	1156	1146	1156	1142
Sobradinho	1548	1333	1546	1339
Rio Paraná	802	1236	802	1236
Repressa Itaipu	924	715	924	716
Lagoa Rio Grande	216	669	214	671
Paraná x Paranaapanema	1167	494	1166	497
Repressa Capivara	1136	352	1135	354
Repressa Jupia	1326	332	1327	333
Paraná x Paranaapanema	1186	774	1184	777
Repressa Jupia	1348	557	1347	559
Rio Grande x Paraná	1407	481	1406	482
Barragem Promissão	1262	410	1261	410
Salvador	1736	369	1738	367

TABELA 4.2 - DIFERENÇAS ENTRE O MÉTODO MANUAL E O AUTOMÁTICO NA LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE CONTROLE NA BANDA 2 (NOAA - 14) DO SIDEQ

Ponto de Controle	Operador 2 e Automático		Linha Coluna	
Cabo Frio	4	2	5	3
Salvador	1	1	2	0
Tocantins x Araguaia	0	1	1	2
Rio Grande x Paraná	1	0	1	0
Barragem de São Simão	1	1	1	1
Repress Jupiá	2	2	3	2
Sobradinho	2	1	1	1
Paraná x Paranapanema	3	4	6	3
Repress Capivara	1	1	0	2
Lagoa Rio Grande	8	10	7	10
Repress Itaipu	0	2	0	3
Repress Itaipu	0	1	0	0
Paraná x Paranapanema	1	1	1	0
Repress Capivara	0	1	0	1
Barragem Procelisó	1	1	0	0
Repress Jupiá	0	1	1	1
Rio Grande x Paraná	1	0	1	1
Barragem São Simão	0	0	0	1
Rio Paraná	0	0	1	1
Lagoa Rio Grande	0	1	1	1
Paraná x Paranapanema	1	2	0	1
Repress Capivara	1	1	1	2
Repress Jupiá	0	1	0	2
Rio Grande x Paraná	1	0	1	0
Barragem de São Simão	1	2	1	2
Rio Paraná	0	0	0	0
Lagoa Rio Grande	0	0	0	0
Repress Itaipu	0	1	1	1
Paraná x Paranapanema	1	3	1	3
Repress Capivara	1	1	1	2
Repress Jupiá	2	1	1	2
Rio Grande x Paraná	1	1	1	1
Barragem São Simão	0	1	1	1
Barragem Procelisó	1	3	1	2
Salvador	0	4	0	4
Sobradinho	2	6	3	5
Rio Paraná	0	0	0	2
Repress Itaipu	0	1	1	1
Lagoa Rio Grande	2	2	2	3
Paraná x Paranapanema	1	3	1	3
Repress Capivara	1	2	0	0
Repress Jupiá	1	1	1	2
Paraná x Paranapanema	2	3	1	3
Repress Jupiá	1	2	0	2
Rio Grande x Paraná	1	1	1	2
Barragem Procelisó	1	0	1	0
Salvador	2	2	3	2

TABELA 4.3 - COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO MANUAL E O AUTOMÁTICO NO MÓDULO “AJUSTE” UTILIZANDO A BANDA 3 (NOAA - 12) DO SDeQ.

Ponto de Controle	Algoritmo automático		Observação imagem:
	Simil	Linha Coluna	
Barragem de Promissão	0.8511		boa
Represa Apiaí	0.8606		boa
Rio Grande x Paraná	0.9182		boa
Barragem São Simão	0.8605		boa
Salvador	0.8563		boa
Tocantins x Araguaia	0.8993		boa

TABELA 4.4 - DIFERENÇAS ENTRE O MÉTODO MANUAL E O AUTOMÁTICO NA LOCALIZAÇÃO DO PONTO DE CONTROLE NA BANDA 3 (NOAA - 12) DO SDeQ

Ponto de Controle	Operador 1 e Automático		Observação imagem :
	Linha	Coluna	
Barragem de Promissão			boa
Represa Apiaí			boa
Rio Grande x Paraná			boa
Barragem São Simão			boa
Salvador			boa
Tocantins x Araguaia			boa

Os resultados dessa comparação estão apresentados na Tabela 4.3, onde nota-se que o algoritmo automático quando aplicado à banda 3 apresentam valores coincidentes com os do operador. Essa alta similaridade pode ser atribuída ao maior contraste dos dados adquiridos à noite observados na banda 3. Mostrando-se assim, a possibilidade da utilização do algoritmo automático também nas imagens obtidas à noite.

4.4 - O Módulo “Detecção”

O módulo “Detecção” do SDeQ é visualizado na Figura 4.5, onde na área de mensagem do monitor são apresentadas as seguintes informações: o nome do satélite; a banda da imagem; a data da imagem; o horário e a longitude de cruzamento do satélite com o equador, o número de focos detectados e os usuários cadastrados no sistema.

É neste módulo que serão detectados os focos de queimada nas imagens AVHRR/NOAA. O resultado da detecção são as coordenadas geográficas dos “pixels” que apresentarem níveis de cinza correspondente aos valores de fatiamento

definidos na Tabela 2.3. Neste módulo foram implementados os seguintes programas: *Fogo.c*, *Ordena.c* e *Filtro.c*.

Após ativado esse módulo e selecionada a imagem de interesse pelo operador, o programa *Fogo.c* carrega no monitor do micro o plano de informação **amst** do projeto América do Sul, a passagem da órbita do satélite, a data da imagem, o horário e longitude de cruzamento do satélite com o equador e os pontos de queimadas que foram encontrados na imagem.

À medida que os focos de queimadas são detectados eles vão sendo mostrados no mapa e o número total de queimadas é atualizado na área de mensagem do monitor.

Após serem detectados todos os pontos de queimadas, o programa *Fogo.c* aciona o programa *Ordena.c* que contém o algoritmo “quick-sort” para ordenar os pontos em ordem crescente de latitude. Esses pontos são armazenados no arquivo *Quegeral.txt* e apresentados na Tabela 3.2.

Ao término dessa operação, o programa *Filtro.c* é acionado para separar os pontos de queimadas de acordo com o interesse do usuário. A base desse programa é apresentada no Algoritmo 3.3.

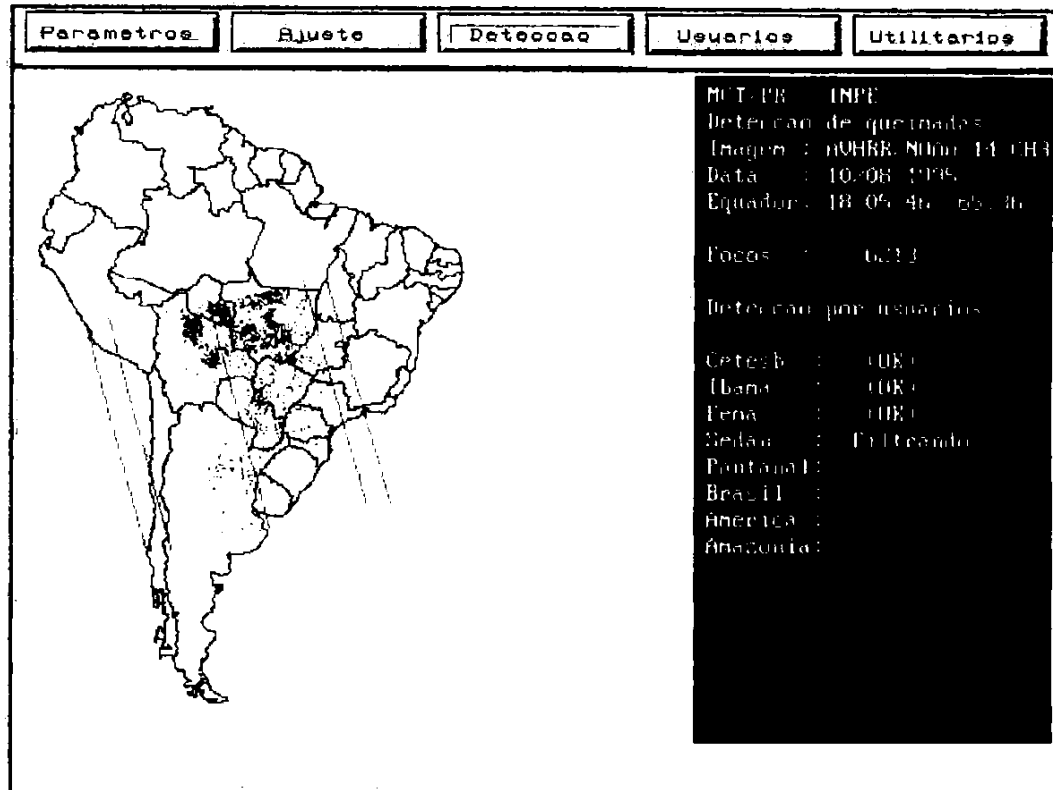


Fig. 4.5 - Tela do módulo “Detecção” do SDeQ em operação.

4.5 - O Módulo “Usuários”

No módulo “Usuários” o operador poderá visualizar e imprimir os resultados relativos às imagens já processadas dos projetos definidos no Capítulo 3. A Figura 4.6 mostra o menu de opção desses projetos.

Após a seleção do projeto de interesse, o operador deverá escolher o arquivo referente à data da queimada, conforme apresentado nas Figuras 4.7 e 4.8. Assim, o usuário obtém de forma rápida a visualização dos pontos de queimada de sua área de interesse conforme pode ser visto na Figura 4.9.

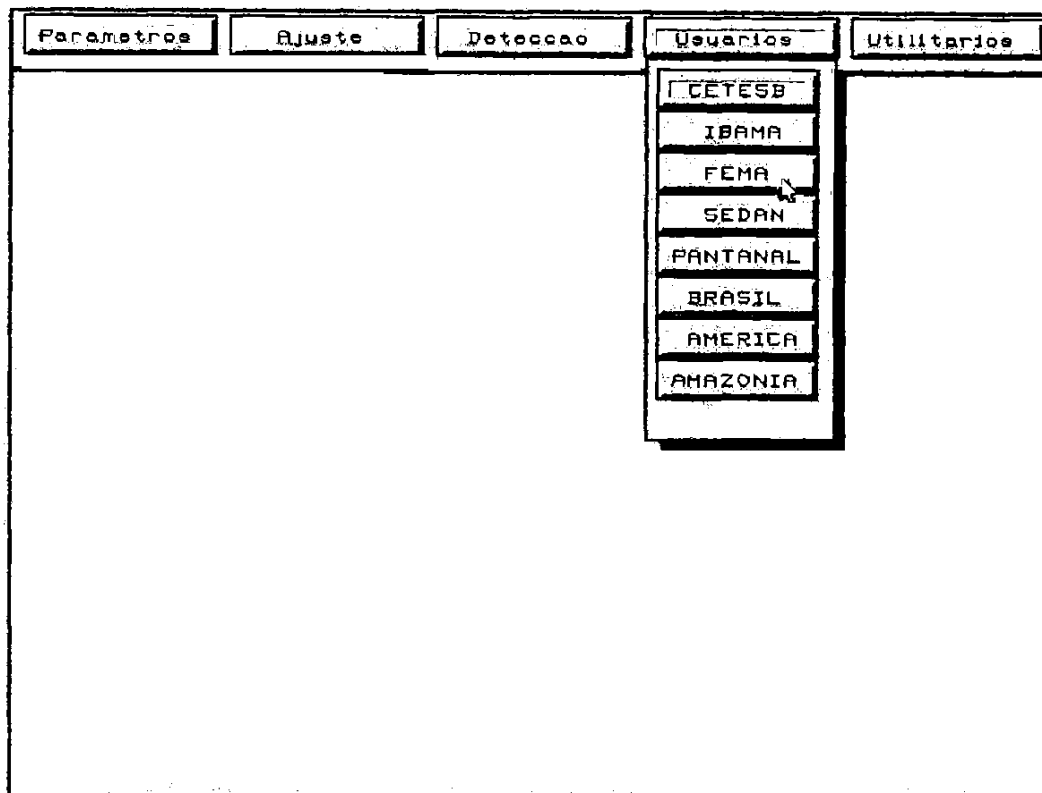


Fig. 4.6 - Tela do módulo "Usuários" do SDeQ.

As opções dos dados já processados são apresentados na Figura 4.7, onde a opção FOGO0809.MTE significa: arquivo de queimadas do mês de agosto de 1995 do projeto MTE (Mato Grosso). Esse arquivo se encontra no diretório corrente do projeto. Nesse diretório estão localizados entre outros: os arquivos digitalizados no SGI/INPE e o arquivo que descreve os nomes dos rótulos dos polígonos no projeto.

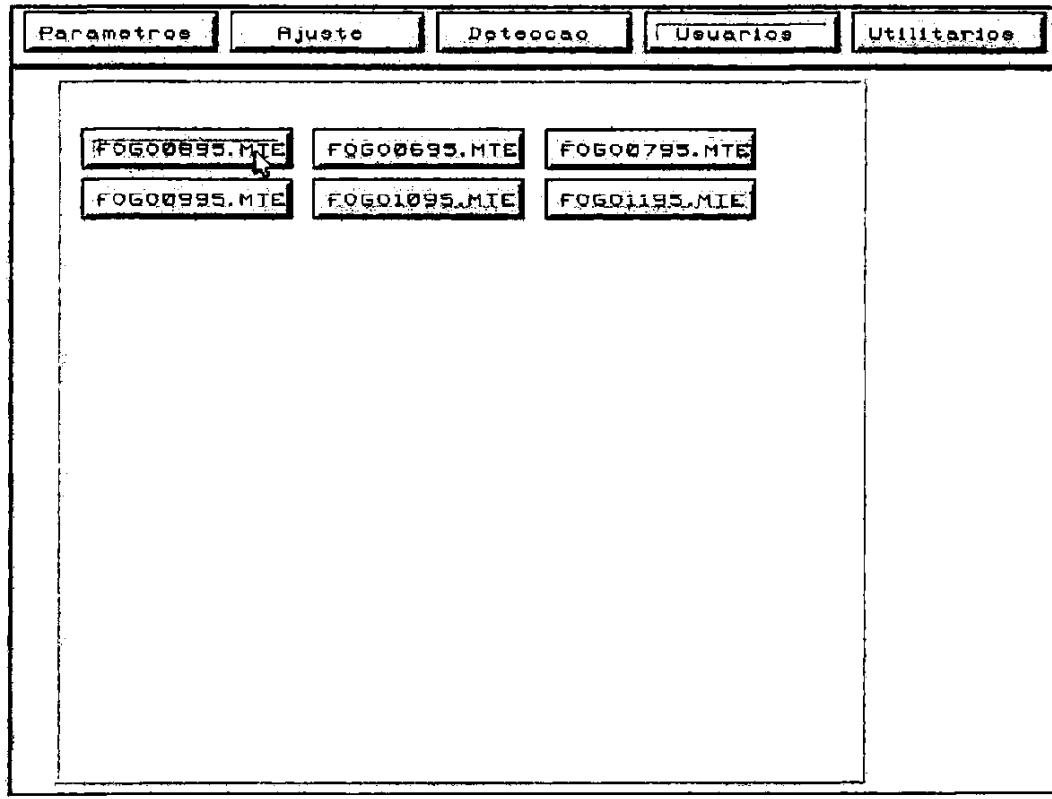


Fig. 4.7 - Tela do módulo “Usuários” do SDeQ para a escolha do mês

Após a escolha do arquivo mês, o usuário deve escolher o dia de interesse conforme mostrado na Figura 4.8. Os dias apresentados são os mesmos que foram processados no módulo “Detecção” do SDeQ.

Parâmetros	Ajuste	Deteção	Usuários	Utilitários
01/08/1995	02/08/1995	03/08/1995		
04/08/1995	05/08/1995	06/08/1995		
07/08/1995	08/08/1995	09/08/1995		
10/08/1995	11/08/1995	12/08/1995		
13/08/1995	14/08/1995	15/08/1995		
16/08/1995	17/08/1995	18/08/1995		
19/08/1995	20/08/1995	21/08/1995		
22/08/1995	23/08/1995	24/08/1995		
25/08/1995	26/08/1995	27/08/1995		
28/08/1995	29/08/1995	30/08/1995		
31/08/1995				

Fig. 4.8 - Tela do módulo “Usuários” do SIdEQ para a escolha do dia.

A Figura 4.9 apresenta o projeto selecionado pelo usuário com os focos de queimada da data de interesse. Com o mouse o usuário poderá “navegar” sobre o mapa visualizado e assim o sistema fornecerá a latitude e longitude da posição do mouse, o nome da região dessa posição e o número de queimadas que foram detectadas nessa data.

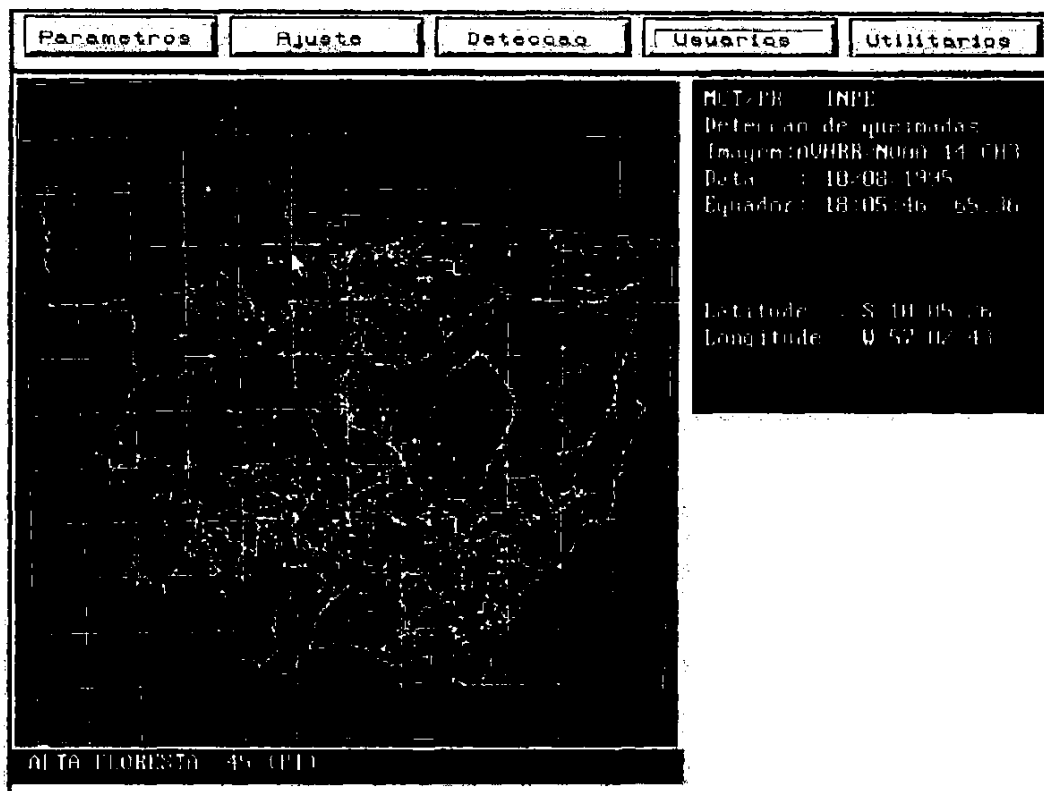


Fig. 4.9 - Tela do módulo “Usuários” do SDeQ visualizando o projeto e as queimadas da data de interesse.

4.6 - O Módulo “Utilitários”

No sistema SDeQ alguns programas aplicativos foram desenvolvidos e implementados no módulo “Utilitários”. A Figura 4.10 apresenta a relação dos utilitários solicitados pela Universidade de São Paulo (USP), Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pelo Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA).

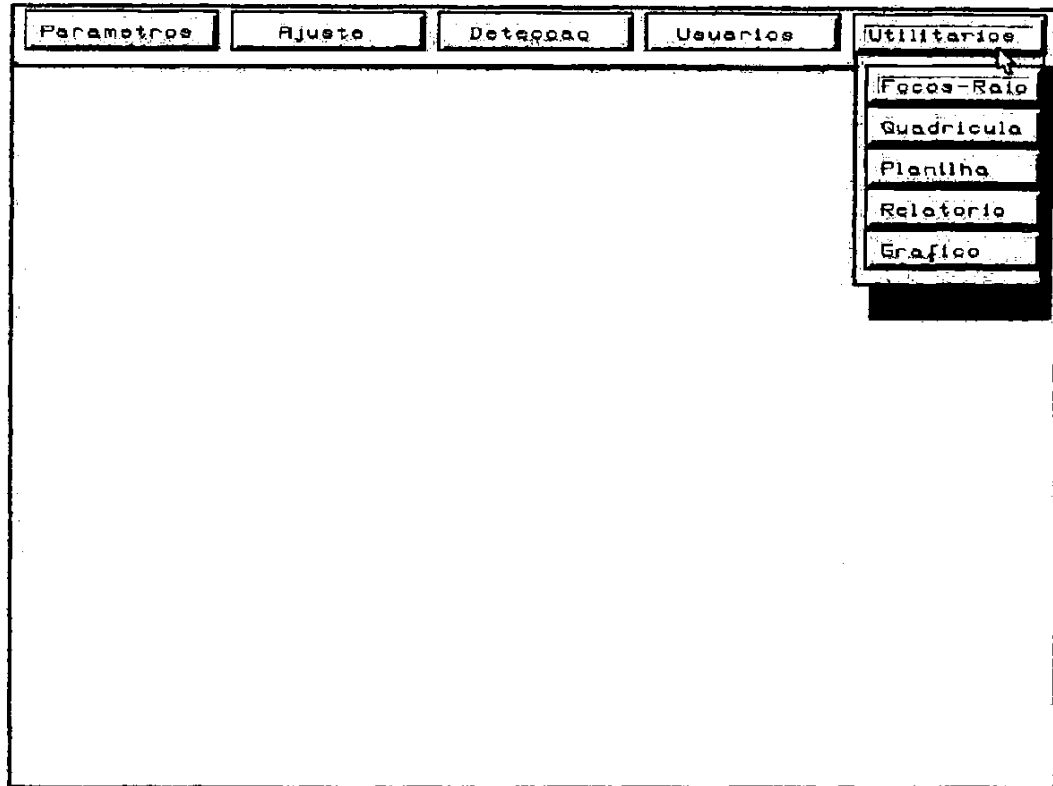


Fig. 4.10 - Tela do módulo “Utilitários” do SIDAQ.

4.6.1 - O Utilitário “Focos-Raio”

O utilitário “Focos-Raio” foi requisitado pelos pesquisadores do departamento de física da USP. O interesse principal desses pesquisadores é obter o valor do número de queimadas detectadas nos raios de 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35 e 40 Km a partir dos centros das coordenadas geográficas por eles fornecidas, em uma certa data de interesse. Nessas coordenadas geográficas estão instalados aparelhos que medem a concentração de carbono emitidos pelas queimadas na atmosfera.

O utilitário “Focos-Raio” auxilia na verificação desses dados com o posicionamento do mouse sobre a região visualizada no monitor ou através da leitura do arquivo que contenha as coordenadas geográficas dos aparelhos. Os valores em latitudes e longitudes dos focos de queimada, nos raios, são armazenados em um arquivo ASCII, cujo nome é definido pelo usuário.

As Figura 4.11 e 4.12 mostram exemplos desse utilitário quando aplicado ao projeto Rondônia. Nessas figuras constam: a imagem processada na data selecionada; a data; o horário e a longitude de cruzamento do satélite com o equador; a posição do mouse em coordenadas geográficas; e o número de queimadas nos raios definidos a partir do centro da coordenada geográfica.

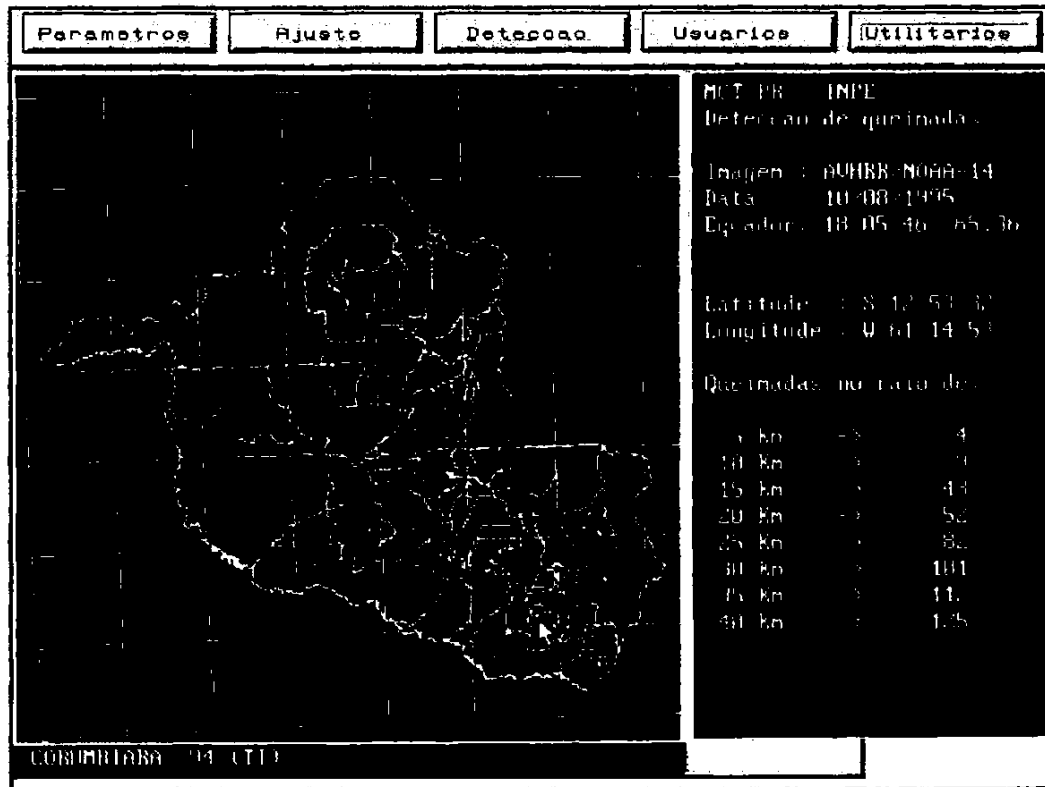


Fig. 4.11 - Tela do módulo "Utilitários" Focos-Raio aplicado ao projeto Rondônia.

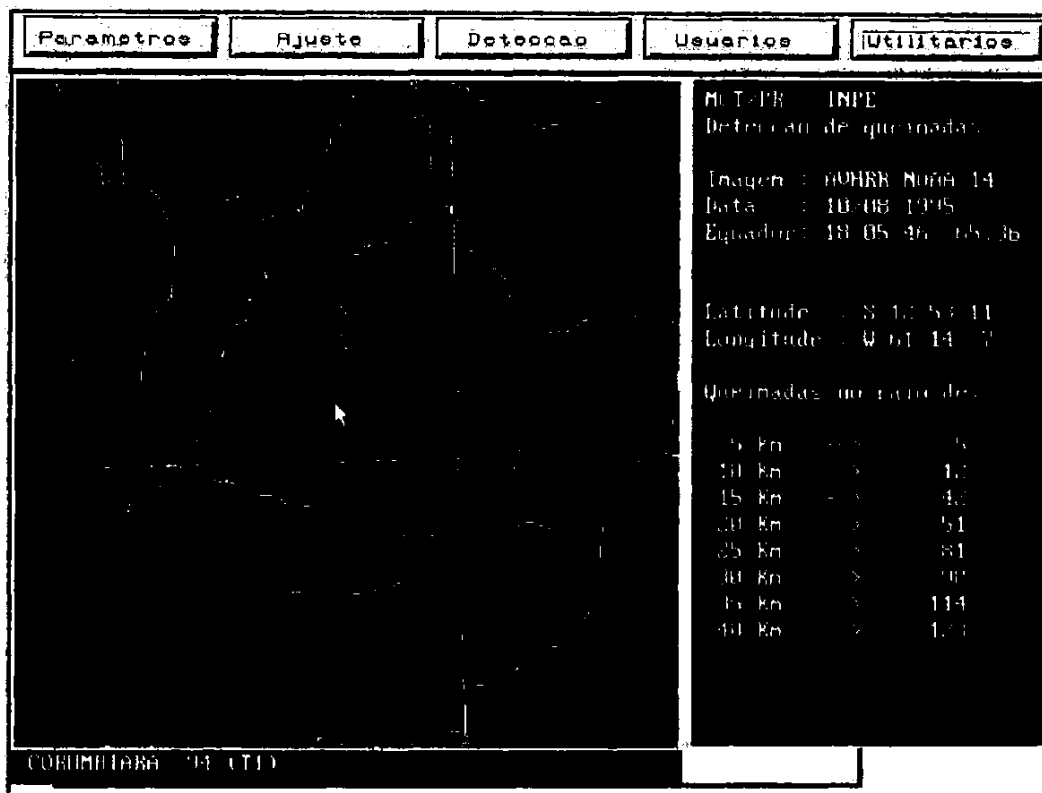


Fig. 4.12 - Tela do módulo “Utilitários” Focos-Raio aplicado ao projeto Rondônia com “zoom”.

4.6.2 - O Utilitário “Quadrícula”

No utilitário “Quadrícula”, o sistema gera três matrizes de pontos referentes às células de grade. Essas células são quadrículas (retângulos) de 0,5 grau de longitude por 0,5 grau de latitude, começando na coordenada 75° W com 7° N e finalizando em 34,5° W e 40° S.

Na primeira matriz, consta o total de queimadas detectadas no período em cada célula; na segunda, o número de vezes que a célula foi imageada; e na terceira, a razão das duas matrizes, com o número médio das queimadas detectadas.

Essas células representam um produto com distribuição temporal de densidades de queimadas em unidades de grade para acoplamento com modelos de emissão de poluentes, modelos climáticos, e modelos biogeoquímicos (Setzer et al., 1992).

Na Figura 4.13 está representada a matriz de queimadas do mês de agosto de 1995, na área de mensagem do monitor aparece a legenda utilizada para cada faixa de queimada e o número total de queimadas do mês.

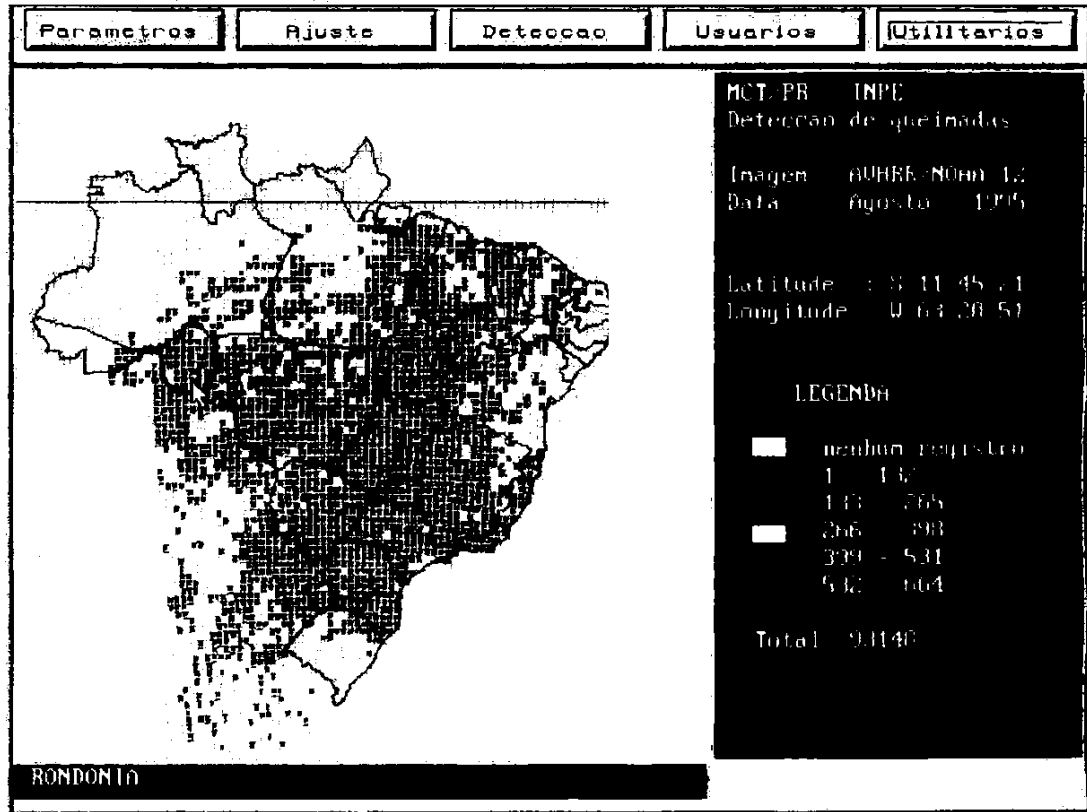


Fig. 4.13 - Utilitário "Quadrícula" aplicado ao projeto Brasil.

A Figura 4.14 representa a mesma Figura 4.13, só que aqui foi utilizado o recurso do “zoom”. No utilitário “Quadrícula” o usuário também poderá “navegar” no monitor, obtendo as coordenadas geográficas do mapa e o nome da região em que o mouse se encontra.

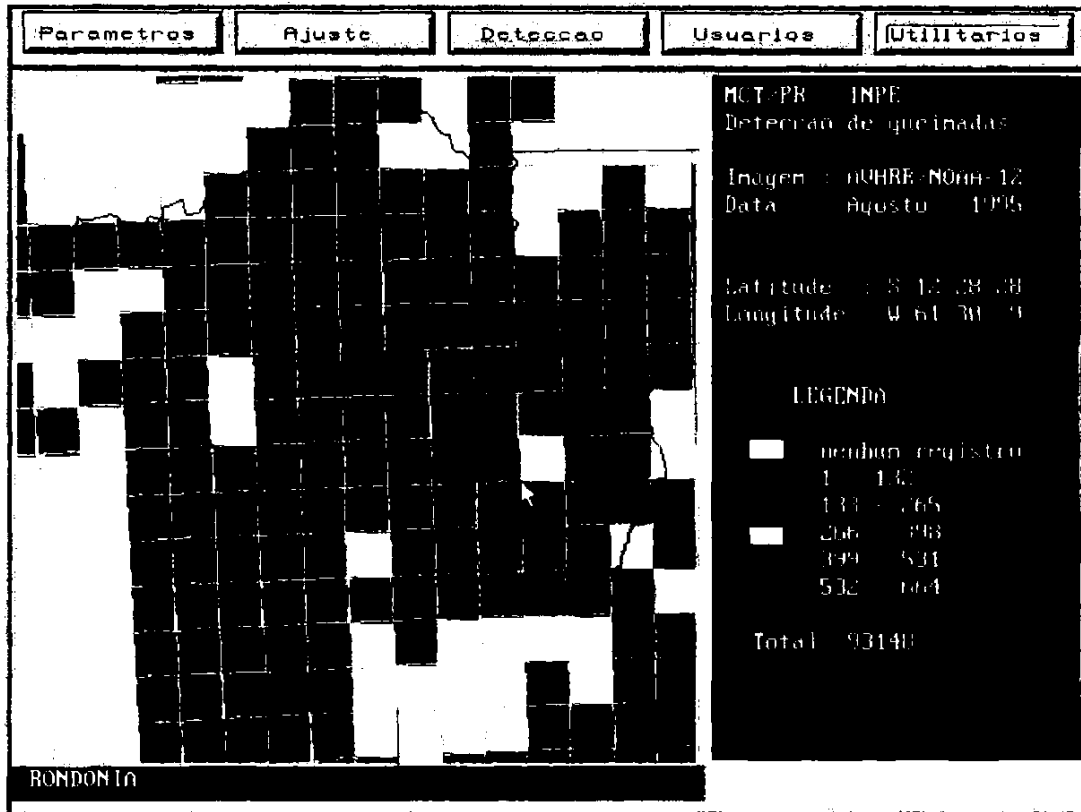


Fig. 4.14 - Utilitário “Quadrícula” aplicado ao projeto Brasil com “zoom”.

4.6.3 - O Utilitário “Planilha”

O utilitário “Planilha” foi requisitado pelos técnicos do IBAMA. Esse utilitário gera um arquivo mensal do número de queimadas por região. O nome do arquivo é definido pelo próprio usuário. Esse arquivo se encontra no formato texto, onde as colunas são separadas por vírgulas, e pode ser importado pelas planilhas QuattroPro e Excell. Essas planilhas contêm banco de dados e ferramentas que podem gerar gráficos e tabelas sofisticadas.

Nesse utilitário o usuário deverá escolher o mês, o ano e o projeto em que ele quer criar o arquivo planilha. Para a utilização das planilhas QuattroPro e Excell o usuário deverá sair do SIDeQ, carregar a planilha desejada e importar o arquivo gerado pelo utilitário.

4.6.4 - O Utilitário “Relatório”

O utilitário “Relatório” também foi solicitado pelos técnicos do IBAMA. Esse utilitário visualiza o arquivo de queimada mensal no monitor e, caso seja necessário, imprime os dados na impressora.

A Figura 4.15 mostra o arquivo mensal de queimada do utilitário “Relatório” quando aplicado ao projeto Brasil. A representação desse arquivo é a seguinte:

1° e 2° linhas : *10081995NOAA-14 2610 2* --> Arquivo de parâmetros
Noa.p

3° linha : *R* -> indica região,
ESPIRITO SANTO -> a região,
NI -> região Não Imageada pelo satélite.

4° linha : *SEM QUEIMADAS* -> não houve queimadas na região.

5° linha : *R* -> indica a região,
GOLIAS -> a região,
PI -> região Parcialmente Imageada pelo satélite.

6° linha : *L14S* -> Latitude 14 graus Sul
408505929 -> 40,8 minutos de latitude,
50 graus de longitude,
59,2 graus de minutos
9 -> a intensidade da queimada.

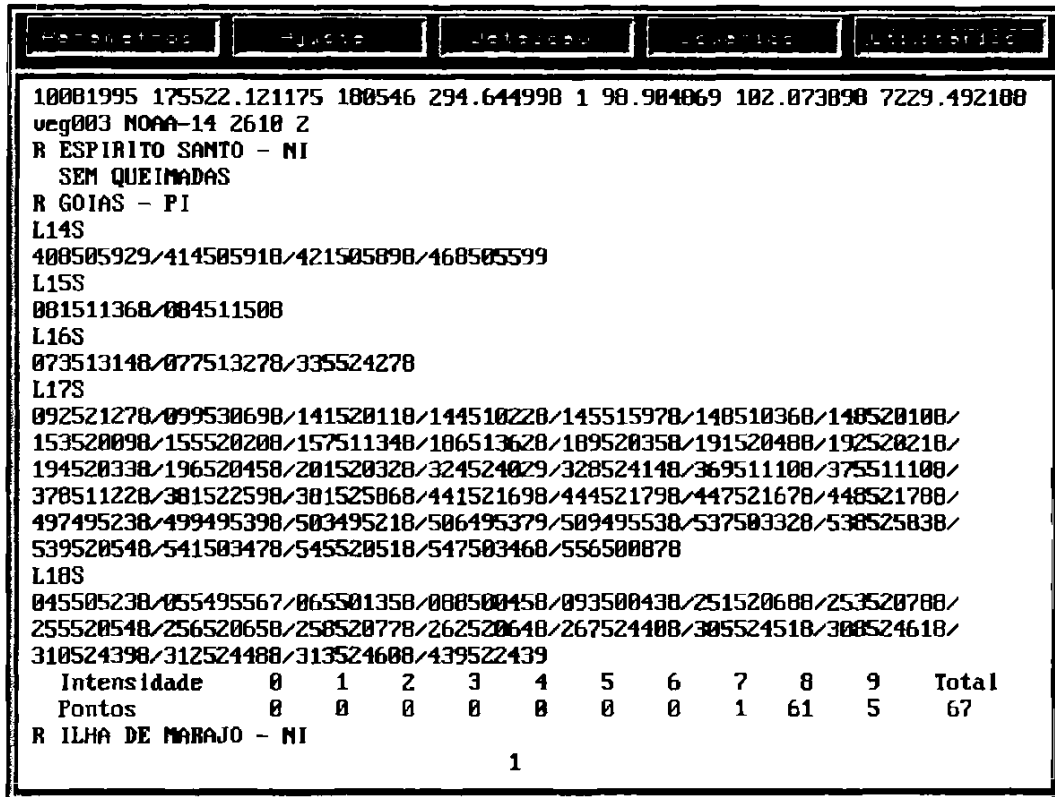


Fig. 4.15 - Tela do utilitário "Relatório"

4.6.5 - O Utilitário "Gráfico"

O utilitário "Gráfico" é um aplicativo que mostra o arquivo de queimadas no monitor e também imprime os dados na impressora. A Figura 4.16 mostra um exemplo da aplicação desse utilitário onde o número total de queimada para cada dia do mês escolhido é apresentado no monitor juntamente com o total mensal.

Após essa operação é apresentado, na Figura 4.17, um gráfico do número de queimadas do mês pelo número de dias. Esse gráfico serve para uma consulta sobre o que ocorreu no mês.

Parâmetros		Ajuda		Detalhes		Usuário		Sistema	
Queimadas mensais									
Data	01/08/1995	Focos:	1569	Data	18/08/1995	Focos:	641		
Data	02/08/1995	Focos:	1950	Data	19/08/1995	Focos:	181		
Data	03/08/1995	Focos:	2566	Data	20/08/1995	Focos:	512		
Data	04/08/1995	Focos:	3039	Data	21/08/1995	Focos:	1100		
Data	05/08/1995	Focos:	4087	Data	22/08/1995	Focos:	709		
Data	06/08/1995	Focos:	2008	Data	23/08/1995	Focos:	455		
Data	07/08/1995	Focos:	2094	Data	24/08/1995	Focos:	1330		
Data	08/08/1995	Focos:	1343	Data	25/08/1995	Focos:	2094		
Data	09/08/1995	Focos:	1020	Data	26/08/1995	Focos:	1782		
Data	10/08/1995	Focos:	3365	Data	27/08/1995	Focos:	858		
Data	11/08/1995	Focos:	5736	Data	28/08/1995	Focos:	301		
Data	12/08/1995	Focos:	10922	Data	29/08/1995	Focos:	1244		
Data	13/08/1995	Focos:	18459	Data	30/08/1995	Focos:	1414		
Data	14/08/1995	Focos:	3107	Data	31/08/1995	Focos:	58		
Data	15/08/1995	Focos:	878						
Data	16/08/1995	Focos:	1132						
Data	17/08/1995	Focos:	1174						
Total		77128							
TECLE ENTER PARA GRAFICO									

Fig. 4.16 - Tela do utilitário "Gráfico" do SIdEQ com os dias do mês.

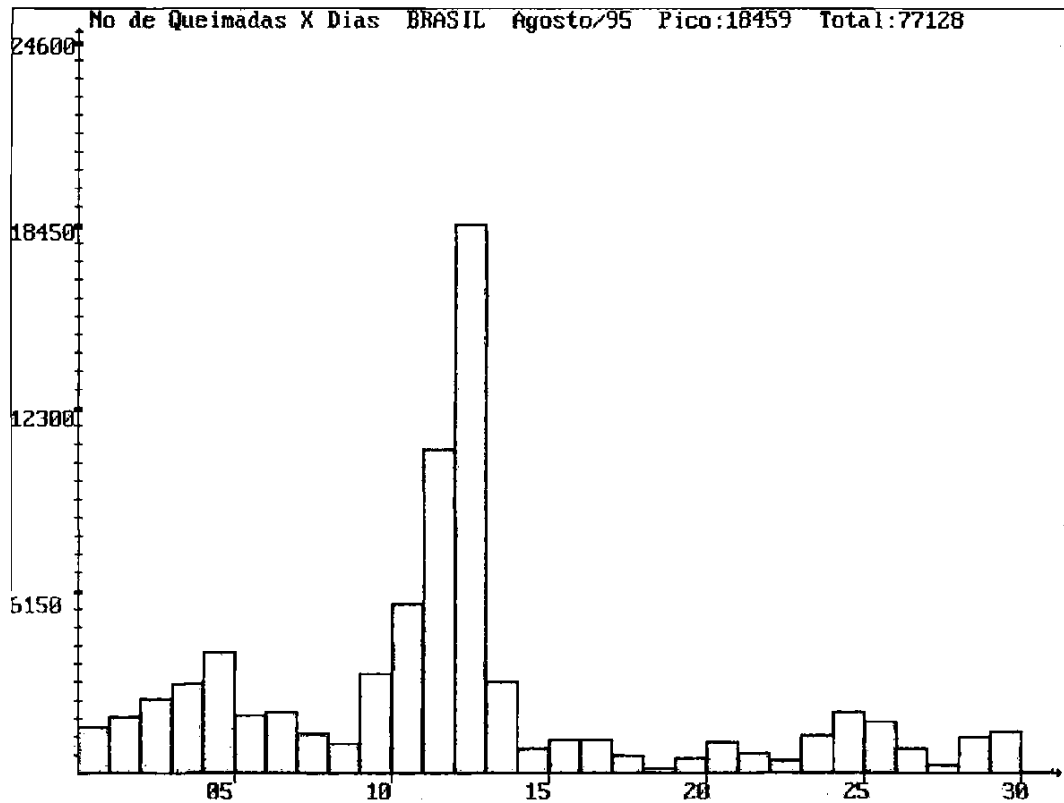


Fig. 4.17 - Tela do utilitário “Gráfico” do SIDeQ.

4.7 - Os Benefícios e as Limitações do Sistema SIDeQ

A seguir são apresentadas as conclusões referentes a benefícios e limitações do SIDeQ, bem como as necessidades atuais do sistema.

4.7.1 - Benefícios e Limitações

O sistema SIDeQ possui os módulos básicos necessários para a detecção de queimadas. Esses módulos permitem os seguintes benefícios: metodologia uniforme de detecção; localização de focos de queimadas para efeito de monitoramento e combate; rapidez na obtenção e disseminação de informações; atendimento das necessidades específicas de determinados usuários; envio simples rápido e diversificado de produtos; e custo baixo de produtos para usuários.

Considerando que o sistema foi desenvolvido tendo como dados de entrada a imagem AVHRR/NOAA alguns benefícios são incorporados, tais como: acesso irrestrito e sem custo às imagens, disponibilidade de até quatro detecções diárias e cobertura de regiões de poucos a milhões de Km². Porém, essas imagens apresentam limitações que impossibilitam a detecção de queimadas, tais como: presença de nuvens sobre a região imageada; queimadas não ativas nos horários de passagem do satélite; frentes de fogo menores que 50 - 100 metros; fogo que não atinge dossel da vegetação e reflexão solar em alguns casos.

4.7.2 - Necessidades Atuais

As necessidades atuais do sistema decorrem das limitações de ordem operacional, tais como: recepção e processamento de mais de uma imagem por dia (para que queimadas iniciadas em outros horários possam ser detectadas); instalação de uma estação AVHRR/NOAA no norte de País (para que a Amazônia legal possa ser completamente imageada).

CAPÍTULO 5

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O autor espera, com a implementação das técnicas apresentadas, ter contribuído para vários aspectos do processamento de imagens AVHRR, abrangendo desde o processo de obtenção de coordenadas geográficas de pontos de queimada até a utilização final desses dados pelos usuários.

Uma das principais metas alcançadas neste trabalho consistiu na localização, tanto manual quanto automática, dos pontos de controle das imagens AVHRR. Esses pontos são de fundamental importância no ajuste do arquivo de parâmetros orbitais dos satélites NOAA, para que as coordenadas dos “pixels” de pontos de queimada possam ser obtidas com uma boa precisão.

Para as imagens utilizadas neste trabalho, o algoritmo de localização automática de pontos de controle apresentou resultados muito próximos aos fornecidos manualmente pelo operador. Com a criação de uma biblioteca de pontos de controle mais abrangente que contenha um número maior de pontos de controle distribuídos pelo Brasil e países vizinhos poderá se obter uma avaliação da precisão da localização do algoritmo automático.

O sistema desenvolvido está sendo testado pelos técnicos do INPE - Cachoeira Paulista que numa avaliação preliminar o consideraram eficiente na localização de pontos de controle.

O sistema desenvolvido visa atender a usuários que dispõem de microcomputador com a configuração básica descrita no Item 3.1.3.1. Essa configuração é a mais simples e econômica encontrada no mercado. A interação do usuário com o sistema e com as saídas gráficas são realizadas diretamente no monitor padrão que acompanha o microcomputador.

Trabalhos realizados no INPE atestam a utilização das imagens AVHRR/NOAA, não só para a detecção de queimadas mas também para os estudos já citados anteriormente. As técnicas aqui apresentadas serão úteis nessas aplicações, já que também fazem uso das rotinas de navegação para a obtenção das coordenadas de “pixels”. Essa metodologia permitirá que as coordenadas sejam obtidas de forma rápida e

com valores mais exatos e sendo ainda compatível com os softwares SGI e SITIM do INPE.

Evoluções imediatas do sistema SIDeQ afim de se obter maior “facilidade” de programação no desenvolvimento, melhor interação com o usuário e melhor resolução na visualização das imagens e gráficos, seria a migração desse software para ambientes de janelas tais como “Windows” para microcomputador e “Unix” para estações de trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amaral, S. **Imagens do sistema sensor AVHRR/NOAA na detecção e avaliação de desmatamentos na floresta amazônica - relações com dados do sistema TM/Landsat.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1992. 195 p. (INPE-5501-TDL/5116).
- Crósta, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto.** Campinas, Unicamp, 1992.
- Erthal, G.J. **Registro translacional de imagens: métodos seqüenciais e correlacionais.** (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1984. 76 p. (INPE-3456-TDL/189).
- Felgueiras, C.A.; Câmara Neto, G.C. Sistema de informações geográficas do INPE. In: Assad, E.D.; Sano, E. E. **Sistema de informações geográficas: aplicações na Agricultura.** Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Brasília, EMBRAPA, 1993, cap. 2, p.41-59.
- Figueiredo, D.C. **Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1990. 107 p. (INPE-5068-TDL/407).
- Flannigan, M.D. Vonder Haar, T.H. Forest fire monitoring using NOAA satellite AVHRR. **Canadian Journal of Forest Research**, 16 (5): 975 – 982, 1995.
- Ii, F. A. M. **Uma biblioteca de pontos de controle para imagens MSS/Landsat.** (Dissertação de Mestrado em Computação Aplicada) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1985. 77p. (INPE-3591-TDL/195).
- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). **Manual de usuário do SGI.** São José dos Campos, 1990. Iv.
- Justice, C. O. Editorial. **International Journal of Remote Sensing**, 7(11):1385-1390, 1986.
- Kennedy, P.J.; Belward, A.S.; Gregoire, J.M. An improved approach to fire monitoring in West Africa using AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, 15 (11):2235 – 2258, July 1994.

- Kidwell, K. B. **NOAA polar orbiter data (TIROS-N, NOAA-6, NOAA-7, NOAA-8, NOAA-9, NOAA-10, NOAA-11 and NOAA-12): user guide.** Washington, DC, NOAA, 1993. 1v.
- Mantovani, A. C. Di M. **Deteccão de desmatamentos na floresta Amazônica através de imagens AVHRR/NOAA e do sistema de informações geográficas SGI: metodologia e teste de um sistema potencial de alerta.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1994. 114 p. (INPE-5580-TDI/543).
- Mather, P.M. **Computer Processing of Remotely-Sensed Images.** England, John Wiley & Sons, 1987.
- Matson, M.; Schneider, S.R.; Aldridge, B.; Satchwell, B. **Fire detection using the NOAA/NESS.** Washington, 1984, D.C. 34 p. (NOAA-TR-NESDIS-7).
- Medeiros, V.; Tanaka, K.; Yamazaki, Y. **Sistema de navegação dos dados AVHRR dos satélites da série NOAA.** In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, 1., São José dos Campos, 1986, INPE, p. 464-471.
- Moik, J.G. **Digital processing of remotely sensed images.** Washington, DC, Goddard Space Flight Center, NASA, 1980.
- Novo, E.M.L.M. **Sensoriamento remoto princípios e aplicações.** 2.ed. São Paulo, SP, Editora Edgard Blucher, 1989. 308 p.
- Pereira Jr, A.C. **Monitoramento de queimadas na região dos cerrados utilizando dados AVHRR/NOAA corrigidos por dados TM/Landsat.** (Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1992. 187 p. (INPE-5490-TDL/507).
- Pereira, M. C. **Deteccão, monitoramento e análise de alguns efeitos ambientais de queimadas na Amazônia através da utilização de imagens dos satélites NOAA e LANDSAT, e dados de aeronave.** São José dos Campos, SP, INPE/CNPq, 1988. 268p. (INPE-4503-TDL/326).
- Richards, J.A. **Remote sensing digital image analysis.** Germany, Springer-Verlag, 1986. 281p.
- Schildt, H. **C avançado, guia do usuário.** 2.ed. São Paulo, SP, Editora McGraw-Hill, 1989. 335p.
- Schowengerdt, R.A. **Techniques for image processing and classification in remote sensing.** London, Academic, 1983. 245p.

Setzer, A. W.; Pereira, M. C.; Pereira Jr, A.C. **O uso do satélite NOAA na detecção de queimadas no Brasil.** *Climanálise*, 7 (8): 41-53, 1992.

APÊNDICE A

PROGRAMAS DE COMPUTADOR

```

/* Programa principal para o cálculo da correlação */

void main()
{
    /* para cada ponto de controle */
    for( npc=0; npc < #P.C.; npc++)
    {
        /* preencher buffer da janela de busca */
        preenche_bus(ima_bus,banda_bus,buff_bus,janbus);

        /* varia o # de linhas e colunas no CHIP de REFERENCIA */
        for(T_REF=10; T_REF<70; T_REF+=10)
        {
            /* preencher vetor de referencia com valores de cinza */
            preenche_referencia(T_REF,ima_ref,janref,buff_ref);

            /* calculo do valor de mi da referencia */
            calcula_mi_referencia(T_REF,buff_ref,&mi_referencia);

            /* calcula valor da esperança da imagem na referencia */
            calcula_sigma_referencia(T_REF,buff_ref,mi_referencia,&sigma_referencia);

            /* define as posicoes de deslocamento na imagem de busca */
            for( dlin=0; dlin < n_dlin; dlin++)
            {
                for( dcol=0; dcol < n_dcol; dcol++)
                {
                    /* calcula valor de "mi" da imagem de busca */
                    calcula_mi_busca(T_REF,buff_bus,dlin,dcol,&mi_busca);

                    /* calcula valor da esperança da imagem no disco */
                    calcula_sigma_busca(T_REF,buff_bus,dlin,dcol,mi_busca,&sigma_busca);

                    /* calculo da correlacao referencia - busca */
                    corr_referencia_busca(T_REF,buff_bus,buff_ref,dlin,dcol,&correlacao);

                    /* calculo da covariancia cov(x,y)=E[x,y]-mix*miy; */
                    covariancia = correlacao - (mi_referencia * mi_busca);

                    /* similaridade sim= cov(x,y)/(sigmax*sigmay) */
                    similaridade=covariancia/(sigma_referencia*sigma_busca);

                    /* obtem a maior similaridade */
                    if( similaridade > simi_maior)
                    {
                        simi_maior=similaridade;
                        dlm=dlin;
                        dcm=dcol;
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```



```

/* calculo do valor de mi da janela de referência */
calcula_mi_referencia(T_REF, buff_ref, mi_referencia)
int    T_REF;
unsigned
char   buff_ref[BUF_MAX][BUF_MAX];
double *mi_referencia;
{
    int    i,j;
    double aux;

    aux=0.0;

    /* para cada pixel da janela */
    for(i=0; i<T_REF; i++)
    {
        for(j=0; j<T_REF; j++)
            aux+=(double)buff_ref[i][j];
    }

    /* valor do mi da referência */
    *mi_referencia=aux/((double)T_REF*(double)T_REF);
}

/* calculo do valor de mi da janela de busca */
calcula_mi_busca(T_REF, buff_bus, dlin, dcol, mi_busca)
int    T_REF;
unsigned
char   buff_bus[BUF_MAX][BUF_MAX];
int    dlin,dcol;
double *mi_busca;
{
    int    i,j;
    double aux;

    aux = 0.0;

    /* dlin e dcol corresponde ao deslocamento da linha e coluna na imagem busca */
    for(i=dlin; i < (T_REF+dlin); i++)
    {
        for(j=dcol; j<(T_REF+dcol); j++)
            aux+=(double)buff_bus[i][j];
    }

    /* valor do mi da janela de busca */
    *mi_busca = aux/((double)T_REF*(double)T_REF);
}

```

```

/*****
sigma2 = E[(x-mix)2] = E[x2]-E2[x] = (1/N2)*Σ(xi-mix)2 = (1/N)*Σ(x2) - mix
*****/
calcula_sigma_referencia(T_REF, buff_ref, mi_referencia, sigma_referencia)
int    T_REF;
unsigned
char   buff_ref[BUF_MAX||BUF_MAX];
double mi_referencia,
       *sigma_referencia;
{
int    i,j;
double res, aux=0.0;

    /* para cada pixel da janela de referência */
    for(i=0; i<T_REF; i++)
    {
        for(j=0; j<T_REF; j++)
        {
            res = ((double)buff_ref[i][j])-mi_referencia;
            aux += (res * res);
        }
    }

    *sigma_referencia=aux/((double)T_REF*(double)T_REF);
    *sigma_referencia = sqrt(*sigma_referencia);
}

/* calcula sigma da janela de busca */
calcula_sigma_busca(T_REF, buff_bus, dlin, dcol, mi_busca, sigma_busca)
int    T_REF;
unsigned char   buff_bus[BUF_MAX||BUF_MAX];
int    dlin, dcol;
double mi_busca, *sigma_busca;
{
int    i,j;
double res, aux=0.0;

    for(i=dlin; i<T_REF+dlin; i++)
    {
        for(j=dcol; j<T_REF+dcol; j++)
        {
            res = ((double)buff_bus[i][j])-mi_busca;
            aux += (res * res);
        }
    }

    *sigma_busca=aux/((double)T_REF*(double)T_REF);
    *sigma_busca = sqrt(*sigma_busca);
}

```

```
/* calcula correlação da janela de referência com janela de busca */
corr_referencia_busca(T_REF, buff_bus, buff_ref, dlin, dcol, correlacao)
int    T_REF;
unsigned
char   buff_bus[BUF_MAX][BUF_MAX],
       buff_ref[BUF_MAX][BUF_MAX];
int    dlin, dcol;
double *correlacao;
{
    int    i, j;

    double aux;

    aux=0.0;

    for( i=dlin; i<T_REF+dlin; i++)
        for( j=dcol; j<T_REF+dcol; j++)
            aux+=((double)buff_ref[i-dlin][j-dcol]*((double)buff_bus[i][j]));

    *correlacao=aux/((double)T_REF*((double)T_REF));
}
}
```

```

/* ajuste dos parâmetros orbitais do satélite NOAA (arquivo noa.p) */
ajusta_pc(st_main, stpes)
struct parametros st_main;
struct pc_correla stpcs[2];      /* estrutura de pontos de controle */
{
double latptc,          /* latitude do P.C. */
longptc,              /* longitude do P.C. */
diflat=1.0,          /* diferença entre lat calculada e fornecida */
diflong=1.0,         /* diferença entre long calculada e fornecida */
difkm,               /* diferença encontrada em km */
difseg,             /* diferença encontrada em segundos */
latnoaa,            /* latitude de um ponto, recebido da navegação */
longnoaa;          /* longitude de um ponto recebido da navegação */
struct parametros stl; /* estrutura parametros local `a rotina */
struct p_noaa_ascii stp; /* estrutura parametros local `a rotina ASCII */

latptc=stpcs[0].lat;   longptc=stpcs[0].lon;

/* Transforma longitude do ponto de controle para radianos Leste */
longptc = (longptc + 360.0) * RADIANOS;

/* enquanto diferenças de lat. e long. forem "altas" e iterações for menor que 20 */
while( ((fabs(diflat) > ERRO_LAT) || (fabs(diflong) > ERRO_LON)) && (stl.iteracoes < 20) )
{
/* Navegação */
stl.linha_noaa=(double)stpcs[0].linha;
stl.coluna_noaa=(double)stpcs[0].coluna;

/* navegação Linha e Coluna para obter Latitude e Longitude */
lc_ll(&stl);

/* transforma latitude navegada em radianos para graus */
latnoaa=stl.lat_noaa * GRAUS;

/* ajuste do tempo inicial em funcao da diferença em latitude */
diflat = latptc - latnoaa;

difkm = (diflat * (DOIS_PI*R)/360.0)/(stl.scninc);
difseg= difkm * stl.per_orbital/(R*DOIS_PI);

/* altera tempo de inicio da gravacao da imagem */
stl.tinicio = stl.tinicio + difseg * stl.sentido;

/* navegação Linha e Coluna para obter Latitude e Longitude */
lc_ll(&stl);

/* ajuste da longitude de cruz c/equador em funcao da diferença em longitude */
diflong = (longptc - stl.lon_noaa);
stl.longcruz= stl.longcruz + diflong;

/* incrementa # de iterações */
stl.iteracoes++;
}
}

```

APÊNDICE B

DESCRIÇÃO DOS PROGRAMAS E ARQUIVOS UTILIZADOS NO SISTEMA
SDeQ

PROGRAMAS FONTES	DESCRIÇÃO
Ajuste.c	Realiza o ajuste do arquivo de parâmetros Noa.p.
Correlação.c	Localiza, através de correlações, o ponto de controle na imagem de busca tendo como base a imagem de referência.
Filtro.c	Separa as coordenadas geográficas dos focos de incêndio em municípios, estados, países, etc.
Fogo.c	Detecta os focos de incêndio na imagem AVHRR banda 3.
Lc_ll.c	Retorna as coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um pixel na imagem, dado por sua localização em linha e em coluna.
Ll_lc.c	Retorna a localização do pixel (linha e coluna) na imagem, dado pelas suas coordenadas geográfica em latitude e longitude.
Ordena.c	Realiza a ordenação dos focos de queimadas por ordem crescente de latitude (coordenadas Norte para coordenadas Sul).
Queimada.c	Verifica qual o módulo acionado pelo usuário e executa o programa correspondente.
Visu.c	Visualiza o projeto do SGI selecionado pelo usuário juntamente com os focos de incêndio.
ARQUIVOS	DESCRIÇÃO
Noa.p	Arquivo que contém os parâmetros da órbita da passagem do satélite NOAA.
Noaa.pc	Arquivo que contém a biblioteca dos pontos de controle.