

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA AGRÍCOLA

PROCESSAMENTO DE IMAGENS AVHRR/NOAA VISANDO O  
MONITORAMENTO DE ESTIAGEM

Dissertação submetida à banca examinadora  
para obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola na área de concentração  
em Planejamento e Desenvolvimento Rural  
Sustentável.

**WANDER JOSÉ PALLONE FILHO**  
**Orientador: Prof. Dr. JURANDIR ZULLO JÚNIOR**

CAMPINAS  
OUTUBRO DE 2003

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

P179p Pallone Filho, Wander José  
Processamento de imagens AVHRR/NOAA visando  
o monitoramento de estiagem / Wander José Pallone  
Filho. --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Jurandir Zullo Junior.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Agrícola.

1. Secas. 2. Meteorologia. 3. Sensoriamento remoto.  
4. Imagens multiespectrais. 5. Monitoramento vegetal.  
I. Zullo Junior, Jurandir. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia Agrícola. III.  
Título.

**Dedico** aos meus pais **Wander** e **Deise** por tudo o que sempre me deram e por mim fizeram com muito amor, destacando aqui o fato deles não terem medido esforços em me apoiar e garantir tudo o que foi preciso em minha saída de casa, em São Carlos, e vinda para Campinas estudar na Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, onde me formei Engenheiro Agrícola e me tornei Mestre em Engenharia Agrícola, oportunidades que me marcaram profundamente e influenciaram grande parte do que sou.

**Dedico** também à minha querida **Juliana**, meu eterno amor, com quem passei (já quase nove anos de namoro) e passarei os melhores momentos de minha vida. Agradeço pelo(a): sua presença, sua doçura, seu sorriso, suas palavras, seu olhar, sua alegria, seu carinho, sua beleza, sua confiança, sua sinceridade, sua cumplicidade, sua paciência, sua coragem, sua força e, para discontrair este romantismo agudo, principalmente pelos nossos muitos beijos e abraços.

**Ofereço** aos meus irmãos **Karen** e **Rodrigo**, aos meus sobrinhos **Diguinho**, **Lara** e **Gui** e aos meus avós **Pedro** e **Odila**, **Arnaldo** e **Therezinha**. Agradeço pelo apoio, apostas e amor motivadores de meus irmãos. Agradeço pela pureza e inocência de cada sorriso, palavra, movimento, brincadeira e peraltice de meus sobrinhos, revitalizantes e motivadores de constantes avaliações e revisões de conceitos e valores humanos. Agradeço aos meus avós por seu amor e torcida de sempre e por me darem meus pais.

## AGRADECIMENTOS

À **Deus** pela minha vida e por tudo o que Ele nela a mim oferece.

À todos os **Professores** e **Funcionários** da **FEAGRI/UNICAMP** que de alguma forma contribuíram para viabilizar o desenvolvimento deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Carlos Roberto Espíndola** e à **Profa. Dra. Adriana Cavalieri** pela oportunidade, amizade, dedicação, segurança, pelos conhecimentos e experiências compartilhadas, pelos incentivos e pela orientação durante o desenvolvimento de três Projetos de Iniciação Científica, determinantes em minha opção por cursar Pós-graduação e na complementação de minha formação.

Ao **CNPq** e à **CAPES** pela concessão das bolsas de estudos, o primeiro no primeiro ano e a segunda no segundo ano do Programa de Mestrado.

Ao orientador **Prof. Dr. Jurandir Zullo Júnior** pela atenciosidade, disposição, amizade, pelos estímulos e incentivos e também pelas opiniões e aconselhamentos tanto de natureza técnico-científica quanto pessoais, sempre carregados de experiência, conhecimento e confiança, indispensáveis ao desenvolvimento deste trabalho.

Ao **Prof. Dr. Hilton Silveira Pinto** (sobretudo, no Exame de Qualificação) e ao **Pesq. Dr. Eduardo Delgado Assad** pela valiosa colaboração nas fases de proposição e de desenvolvimento desta pesquisa.

Ao **Prof. Dr. Jansle Vieira Rocha** e ao **Pesq. Dr. Eduardo Delgado Assad** (de novo), pelo aceite para composição da banca examinadora, e principalmente, pelas críticas e sugestões que contribuíram para o enriquecimento deste trabalho.

Aos meus familiares **primos e primas, tios e tias** por apostarem e acreditarem em mim.

Às amigas **Ana Ávila, Gláucia e Val**, e aos amigos **Hermo, Vavá, Júlio, Renato, Evandro, Felipe, Mingau, Ivan, Dudu e AC** pela(o): amizade, apoio, torcida, conversas, conselhos, discussões, piadas, estórias, bom humor, estímulos e acompanhamento de muitas das etapas deste estudo.

Aos colegas do CEPAGRI: **Edilene, Claudir, Joaquim, Gustavo, Débora, Ângela e Rubens** pelo apoio e disposição em ajudar.

À **todos** que de alguma forma contribuíram na realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<b>RESUMO.....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>IX</b>
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. SOBRE A SECA .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. <i>Definições .....</i>	<i>3</i>
2.1.2. <i>Importância.....</i>	<i>3</i>
<b>2.2. INDICES AGROCLIMÁTICOS E BASEADOS EM SENSORES REMOTOS PARA MONITORAMENTO DA SECA ..</b>	<b>5</b>
<b>2.3. POTENCIAL DE DESENVOLVIMENTO DE UMA TÉCNICA PARA O MONITORAMENTO DE ESTIAGEM</b>	
<b>BASEADA EM DADOS DE SATÉLITES .....</b>	<b>7</b>
<b>2.4. O SISTEMA AVHRR/NOAA .....</b>	<b>11</b>
<b>2.5. O PROCESSAMENTO DIGITAL DAS IMAGENS .....</b>	<b>13</b>
2.5.1. <i>O georreferenciamento .....</i>	<i>13</i>
2.5.2. <i>Calibração Radiométrica do sensor AVHRR/NOAA .....</i>	<i>13</i>
2.5.3. <i>Correção Atmosférica dos canais termais Ch4 e Ch5 .....</i>	<i>16</i>
<b>3. MATERIAL E METODOLOGIA .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1. DA ESCOLHA DA ÁREA E PERÍODO DE ESTUDO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.2. DOS DADOS METEOROLÓGICOS.....</b>	<b>17</b>
<b>3.3. DAS IMAGENS .....</b>	<b>18</b>
3.3.1. <i>Processamento das imagens .....</i>	<i>18</i>
3.3.2. <i>O georreferenciamento das imagens .....</i>	<i>19</i>
3.3.3. <i>Obtenção dos índices de vegetação Ratio e NDVI.....</i>	<i>22</i>
3.3.4. <i>Obtenção da temperatura de superfície TS.....</i>	<i>23</i>
<b>3.4. DESENVOLVIMENTO DO PROGRAMA PARA PROCESSAMENTO DE IMAGENS AVHRR/NOAA - (PRIMA)</b>	
.....	23
<b>3.5. ESTUDO DE UM MÉTODO VISANDO O MONITORAMENTO DA ESTIAGEM .....</b>	<b>24</b>
<b>3.6. BREVE CARACTERIZAÇÃO DAS ESTAÇÕES SELECIONADAS PARA O ESTUDO DO MÉTODO.....</b>	<b>26</b>
3.6.1. <i>Estação de Buritma.....</i>	<i>26</i>
3.6.2. <i>Estação de Paraguaçu Paulista.....</i>	<i>26</i>
3.6.3. <i>Estação de Pedrinhas Paulista .....</i>	<i>26</i>
3.6.4. <i>Estação de Manduri.....</i>	<i>27</i>
3.6.5. <i>Estação de Taquarituba.....</i>	<i>27</i>
<b>4. RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>29</b>
<b>4.1. PROCESSAMENTO DAS IMAGENS.....</b>	<b>29</b>
4.1.1. <i>Georreferenciamento das imagens .....</i>	<i>29</i>
4.1.2. <i>Desenvolvimento do programa para processamento de imagens AVHRR/NOAA - (PRIMA).....</i>	<i>34</i>
<b>4.2. ESTUDO DE UM MÉTODO DE MONITORAMENTO DE ESTIAGEM.....</b>	<b>40</b>
4.2.1. <i>Plotagem dos registros de precipitação e dos dados espectrais.....</i>	<i>40</i>
<b>5. CONCLUSÕES.....</b>	<b>57</b>

<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>59</b>
<b>ANEXO I – LEVANTAMENTO DE IMAGENS AVHRR/NOAA-14 LIVRES DE COBERTURA POR NUVENS, NA POSIÇÃO DE 115 ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO.....</b>	<b>66</b>
<b>ANEXO II – PROGRAMA DE PROCESSAMENTO DE IMAGENS AVHRR/NOAA (PRIMA).....</b>	<b>69</b>

## RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi o desenvolvimento de um método visando o monitoramento de estiagem a partir da evolução dos índices de vegetação *NDVI* e *Ratio*, calculados com base em uma série temporal de imagens AVHRR/NOAA-14. Para viabilizar o desenvolvimento da metodologia proposta, foi elaborado o programa PRIMA, para operacionalizar o processamento de imagens AVHRR-NOAA. Com base no levantamento das estações meteorológicas localizadas em regiões livres de cobertura por nuvens em imagens diárias, correspondentes ao mês de fevereiro de 1999, foi possível selecionar cinco estações localizadas no Estado de São Paulo, as quais foram utilizadas na realização do presente trabalho. Para a comparação dos registros diários de precipitação com os índices de vegetação *Ratio* e *NDVI* derivados das imagens, considerou-se o valor desses índices como a média representativa de uma janela de 3x3 pixels centrada na posição de cada estação. Com isso, foram construídos gráficos que permitiram comparar a ocorrência da precipitação com a evolução dos índices utilizados, durante o período avaliado. O programa desenvolvido, a partir da correção geométrica e da calibração radiométrica de imagens AVHRR/NOAA no formato padrão Level-1B, gera imagens de *Ratio*, *NDVI*, temperaturas de brilho  $TB_4$  e  $TB_5$  e temperatura de superfície *TS*, abrangendo todo o Estado de São Paulo. Foi possível, para algumas estações estudadas, verificar um comportamento coerente na evolução dos índices *Ratio* e *NDVI*, condicionado pela ocorrência de precipitações. Já para outras estações, o comportamento desses índices foi aleatório às precipitações ocorridas. Os resultados obtidos também revelaram que o índice *Ratio* foi mais sensível à ocorrência das precipitações que o *NDVI*.

## **ABSTRACT**

A great part of the Brazilian territory is vulnerable to the occurrence of frequent intense dry periods since there is a difference between the precipitation and the annual potential evaporation during the year. Some methods have been proposed to assess and monitor the occurrence of a drought, such as that ones based on agroclimatic indexes calculated with ground weather station data. Unfortunately, the high spatial and temporal variability of the rainfall in tropical regions and the low density of ground weather stations make difficult the operational use of these methods. New remote sensing techniques have been developed in order to monitor and assess droughts based on satellite data, such as those from the AVHRR/NOAA. This paper compares the vegetation indexes based on AVHRR/NOAA images with rainfall data of four ground stations located in the State of São Paulo on February/1999. This comparison has the objective to assess the operational use of vegetation indexes based on satellite data to monitor the occurrence of drought. Six free-cloud images were used among 16 available to calculate the vegetation indexes such as the NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) and RATIO. These two indexes have responded quickly to the rainfalls registered on February/1999 showing potential to their use in methods of drought detection and monitoring. This kind of method seems to be more adequate to monitor the drought during the fall and winter in the South and Southeast regions of Brazil since the rainfalls are caused by cold fronts and the number of cloudless days is larger. It can be useful also to detect dry periods in the beginning or the end of rainy season.

## 1. INTRODUÇÃO

Os desastres naturais fazem parte do ambiente em que vivemos afetando a vida de um grande número de pessoas em todo o mundo. Em geral, suas principais implicações estão relacionadas a prejuízos materiais, econômicos e perdas de vidas humanas. Dentre todos os desastres naturais, aproximadamente 85% estão diretamente relacionados ou associados com adversidades climáticas, sendo a seca o fenômeno ambiental mais impactante (KOGAN, 1997). Somente na década passada, foram constatadas a ocorrência de secas intensas e em grande escala que afetaram milhões de pessoas em todos os continentes, causando, além de outros prejuízos, grandes perdas de produção agrícola.

No Brasil, as perdas de produção agrícola devidas à seca, até 1995, comprometiam drasticamente o abastecimento do mercado consumidor interno e o atendimento da demanda do mercado externo, pela baixa competitividade decorrente. Devido a isso, produtores rurais e o governo sofriam grande prejuízo econômico. Até então, 60% do total das perdas nas lavouras eram atribuídas à seca.

A determinação de informações, tais como início da seca, sua extensão, intensidade, duração e impactos causados, podem minimizar consideravelmente seus efeitos (KOGAN, 1997). Dados meteorológicos constituem uma boa fonte de informações para a caracterização da seca. Entretanto, a alta variabilidade espacial e temporal da chuva em regiões tropicais, associada à baixa densidade de estações das redes meteorológicas, muitas vezes impedem a determinação segura da ocorrência de estiagem pelos métodos convencionais de interpolação, envolvendo técnicas estatísticas.

Apesar disso, alguns pesquisadores propuseram índices agroclimáticos para acompanhar e monitorar a seca, baseados em séries temporais de precipitação e outras informações registradas por postos meteorológicos. A utilização desses índices é tão abrangente, do ponto de vista espacial, quanto maior for a densidade e distribuição das estações meteorológicas. Nos últimos anos, outros pesquisadores desenvolveram técnicas para o monitoramento da seca e de seus impactos sobre a cobertura vegetal, a partir do acompanhamento da evolução de índices derivados de informações espectrais de imagens de satélites.

Os resultados obtidos nesses trabalhos permitem estabelecer a seguinte hipótese: É possível avaliar os efeitos das precipitações a partir da evolução temporal dos índices *Ratio*

(obtido pela razão entre o fator de reflectância do infravermelho próximo e do vermelho) e *NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)*, calculados com base em imagens AVHRR/NOAA-14 seqüenciais e livres de nuvens. Neste sentido, o objetivo principal do presente trabalho foi estudar um método operacional para o monitoramento da estiagem no Estado de São Paulo, a partir de imagens seqüenciais do sensor AVHRR/NOAA-14, visando poder contribuir, principalmente, na redução de perdas de safras agrícolas devidas à seca.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1. Sobre a Seca**

#### **2.1.1. Definições**

VIAU et al. (2000) discutem as dificuldades envolvidas para se definir a seca universalmente, pois sua percepção depende do impacto causado pelo déficit de água. Conseqüentemente, afirmam que a definição de seca pode se dar em termos meteorológicos, hidrológicos, agrícolas ou sócio-econômicos.

Segundo CARVALHO (1988), o fenômeno da seca pode ser caracterizado pela ausência parcial ou total das chuvas ou sua má distribuição durante o período em que as precipitações deveriam ocorrer. Segundo o *National Drought Mitigation Center* (1995) são encontradas definições específicas relacionadas com o nível de gravidade em escala temporal e espacial. Na seca meteorológica ocorre uma queda na precipitação normal por um determinado período de tempo. Os critérios para que esse decréscimo seja caracterizado como seca variam nas diversas regiões do mundo, em função de suas características climáticas. A seca edáfica ou agrícola é tida como o segundo estágio de uma seca, quando a falta de umidade afeta o desenvolvimento e/ou a sobrevivência de culturas agrícolas, pastoris ou florestais. Já a seca hidrológica refere-se à deficiência no suprimento de água superficial ou subterrânea. Finalmente, a seca socioeconômica acontece quando ela afeta a produção de bens de consumo.

CARVALHO (1988) ainda classifica a estiagem em dois tipos: seca e verde. A estiagem seca corresponde à concepção “convencional” de seca da paisagem. Já a estiagem verde é caracterizada quando, apesar da paisagem verde e da ocorrência de chuva, não ocorre precipitação suficiente e as perdas da produção agrícola, decorrentes, variam de pelo menos 30% a 50% do que se esperava obter de produção.

#### **2.1.2. Importância**

VIAU et al. (2000) sugerem que a maior dificuldade relacionada à detecção e monitoramento da ocorrência da seca é a de que, diferentemente dos outros fenômenos meteorológicos, a seca é caracterizada pela “ausência” e não ocorrência ou presença de algo, ou seja, da precipitação. Todos os anos, mais de metade da superfície terrestre está susceptível

ao fenômeno da seca. Como a seca é um fenômeno cíclico e típico para a maioria das regiões do mundo, as áreas mais produtivas de todos os continentes podem ser afetadas anualmente implicando na perda de milhões de toneladas de produção agrícola. Como conseqüências imediatas da seca podem ser citadas: falta de suprimento de água, destruição de recursos ecológicos e perdas de safras agrícolas, o que acarreta em fome, sofrimento humano, mortes e abandono de regiões geográficas (KOGAN, 1997).

A diferença entre a precipitação e a evaporação potencial anuais caracteriza um balanço que deve ser interpretado da seguinte forma: em áreas onde essa diferença é negativa a vegetação está sujeita potencialmente aos efeitos da seca durante o ano. GOL'DSBERD (1972) propôs o mapa apresentado na Figura 1 com base no resultado desse balanço, tendo desconsiderado as áreas onde o déficit excede 800mm, correspondentes aos desertos quentes. Verifica-se que uma boa parte do território brasileiro é vulnerável à ocorrência de secas intensas frequentes, inclusive grande parte de Estado de São Paulo.

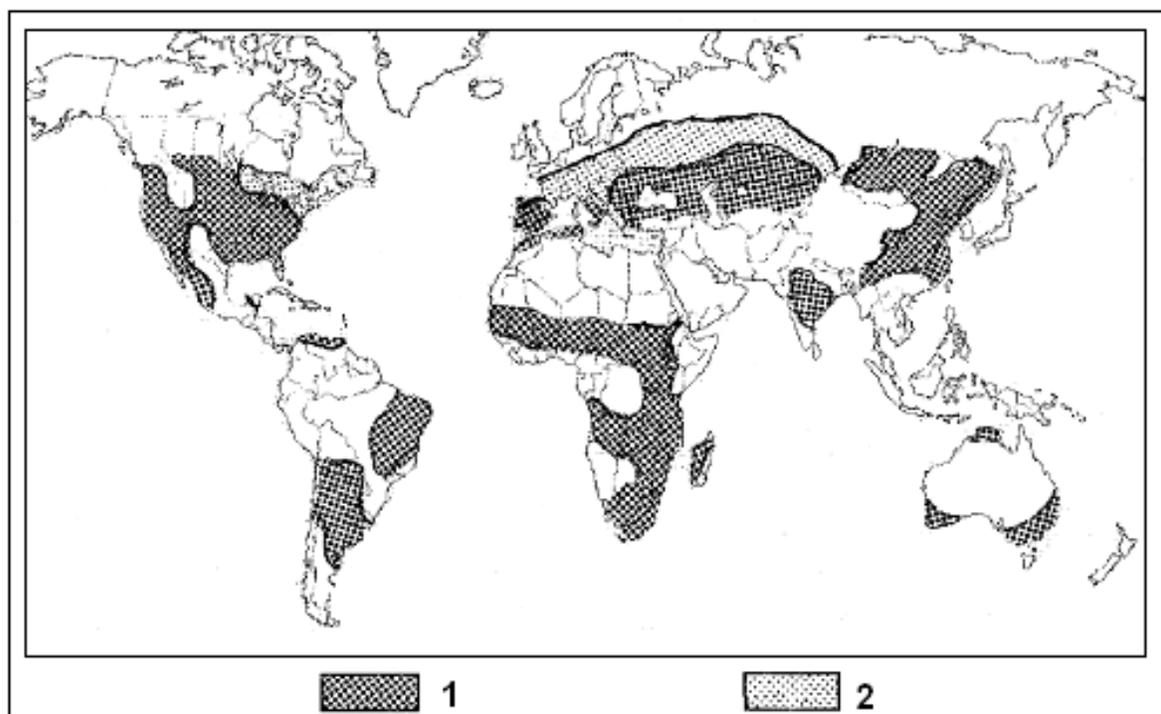


Figura 1: Vulnerabilidade de áreas à ocorrência de seca com base na diferença entre a precipitação e a evaporação potencial anuais (GOL'DSBERD, 1972); (1) indica ocorrência frequente de secas intensas (diferença  $-10\text{mm}$  a  $-500\text{mm}$ ); (2) indica ocorrência não frequente de secas não intensas (diferença  $0$  a  $200\text{mm}$ ).

Apenas nas regiões onde a precipitação excede a evaporação potencial por mais que 200mm, a ocorrência da seca é considerada extremamente rara. Desconsiderando as regiões não agrícolas como desertos, florestas tropicais e montanhas, além das regiões onde a ocorrência da seca é considerada rara, o restante das regiões que estão sujeitas à sua ocorrência totalizam aproximadamente 50% da área de todo o mundo. Essa constatação se torna mais alarmante pelo fato de quase todas as principais áreas agrícolas se localizarem nessas áreas (KOGAN, 1986).

## **2.2. Índices Agroclimáticos e baseados em Sensores Remotos para Monitoramento da Seca**

Diferentes métodos vêm sendo utilizados para detectar e monitorar a seca. Os critérios para determinação do mais adequado e eficiente para se adotar dependem: da definição de seca, da aplicação específica, da amplitude da área de interesse e da consistência dos dados básicos de entrada (VIAU et al., 2000). Dentre os principais índices existentes para quantificar e monitorar a seca estão: o Índice de Severidade de Palmer (PSDI), o Índice de Anomalia de Seca (RAI) e a relação ETR/ETP (BRUNINI et al., 2001).

O Índice Padronizado da Seca (SPI) foi desenvolvido principalmente para definir e monitorar a seca, permitindo determinar a raridade da precipitação em uma dada escala de tempo e espaço (HAYES et al, 1999). BRUNINI et al. (2001) estudaram o Índice Padronizado da Seca (SPI) para o monitoramento espacial e temporal da seca no Estado de São Paulo.

Estes índices são baseados em informações registradas por postos meteorológicos. KOGAN (1997) discute a importância da utilização dessas informações para a caracterização do fenômeno da seca, porém adverte que a utilização de dados meteorológicos para o monitoramento espacial da seca será tão abrangente quanto maior for a densidade de estações da rede meteorológica da área a ser monitorada. Sabe-se que para algumas regiões do Brasil a rede meteorológica é bastante falha, sendo composta por poucas estações que além disso, em alguns casos, são mal distribuídas. Devido à deficiência da rede meteorológica, o monitoramento da seca com base em dados daí derivados, envolvendo métodos de interpolação e técnicas estatísticas, é uma tarefa difícil (PALLONE FILHO, 2003).

Mais recentemente, têm surgido índices baseados em sensores remotos para o monitoramento do estado da cobertura vegetal. Esses indicadores baseiam-se na reflectância

da vegetação nas faixas espectrais do visível, infravermelho próximo e termal. Dentre esses índices podem ser citados o *NDVI* (*Normalized Difference Vegetation Index*) (ROUSE et al., 1974), o *Ratio* (JORDAN, 1969) e o *VCI* (Kogan, 1995) definidos a partir das Equações (1), (2) e (3).

$$NDVI = \frac{\rho_R - \rho_{IR}}{\rho_R + \rho_{IR}} \quad (1)$$

onde,  $\rho_R$  é o fator de reflectância no vermelho

$\rho_{IR}$  é o fator de reflectância no infravermelho próximo

e

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{MIN}}{NDVI_{MAX} - NDVI_{MIN}} \quad (2)$$

onde,  $NDVI_{MIN}$  é o valor absoluto mínimo do *NDVI* para um período específico, considerando-se vários anos,

$NDVI_{MAX}$  é o valor absoluto máximo do *NDVI* para um período específico, considerando-se vários anos e

*NDVI* é o valor “atual” correspondente ao período em que foram obtidos os valores máximos e mínimos.

$$Ratio = \frac{IV}{V} \quad (3)$$

Uma vantagem importante da utilização de índices baseados em satélites é que eles refletem o impacto do déficit de água na cobertura da vegetação em sua condição atual, contrariamente ao SPI, por exemplo, que é função da medida do montante de precipitação em um contexto climatológico (VIAU et al., 2000). Como vantagens da utilização de dados de satélites, especialmente dos satélites da série AVHRR/NOAA, em relação à utilização de

dados meteorológicos, KOGAN (1997) aponta: a regularidade e repetitividade na visualização de aproximadamente toda a superfície terrestre, a disponibilidade de informação extra visual (região espectral) e o registro permanente de dados.

### **2.3. Potencial de Desenvolvimento de uma Técnica para o Monitoramento de Estiagem baseada em Dados de Satélites**

O desenvolvimento de estimativas numéricas da seca, baseadas em dados de satélites meteorológicos como o AVHRR/NOAA, vem recebendo especial atenção nos últimos anos devido ao montante considerável de dados AVHRR/NOAA que tem sido acumulado (KOGAN, 1997) e o baixo custo associado a eles. Podem ser recebidas, atualmente, até dez imagens por dia, com 70MB, em média, cada uma.

VIAU et al. (2000) avaliaram o potencial de utilização dos índices *NDVI* e *VCI*, derivados dos sensores AVHRR/NOAA, para a detecção e monitoramento espacial e temporal da seca, pela comparação da utilização desses índices com a utilização do índice SPI. Dentre suas conclusões, atestaram como promissora a combinação de dados meteorológicos com dados derivados de satélites para o monitoramento e mapeamento das condições de seca. Com os resultados obtidos em seus estudos, demonstraram que o *VCI* pode ser utilizado para detectar as condições de estresse da vegetação.

CALLE, et al. (2000) desenvolveram um software objetivando o monitoramento agrícola e da seca em determinadas áreas de interesse no território da Espanha. Este software foi desenvolvido buscando a integração e tratamento dos dados disponíveis, no período de tempo mais curto possível, dados estes obtidos a partir das mais diversas fontes, inclusive, de imagens *NDVI*, derivadas do sensor AVHRR/NOAA.

Como o objetivo de buscar monitor a seca na Malásia, BOYD et al. (2002) estudaram as correlações entre dados de precipitação e imagens obtidas a partir do canal infravermelho médio e *NDVI*, derivadas do sensor AVHRR/NOAA. Seus resultados revelaram baixos coeficientes de correlação entre as precipitações e o *NDVI*, por outro lado, estes autores obtiveram altos e significativos coeficientes de correlação na comparação das precipitações e dados derivados do canal infravermelho médio.

MEDAL, et al. (1998) propuseram um Sistema de Informações para monitorar a condição da vegetação e avaliar o impacto dos riscos climáticos na produção agrícola e no meio ambiente. Dentre os riscos que o Sistema visava acompanhar, encontrava-se a seca. Para a avaliação do impacto dos riscos climáticos sobre a vegetação foram utilizados dados obtidos de satélites meteorológicos e de observações terrestres, entre outras. Na ocasião da publicação deste trabalho os autores ainda não haviam obtido resultados práticos, pois o Sistema de Informações proposto ainda não estava concluído.

Analisando a variação espacial e temporal do *NDVI* e da precipitação na região Nordeste do Brasil em anos de ocorrência do El Niño, BARBOSA e SETZER (1998), obtiveram como resultado de seu trabalho, um indicativo de que há potencial para uso de imagens *NDVI* para monitorar às ocorrências de seca em escala regional.

KOGAN (1997) obteve bons resultados na utilização do índice *VCI* para a detecção e monitoramento da seca, assim como, para o acompanhamento das condições de vegetação em várias regiões do mundo, inclusive na América Latina. Os resultados apresentados no trabalho mostraram o alto potencial que o *VCI* apresenta para ser utilizado no monitoramento da seca em escala global. A validação dos resultados indicaram claramente a utilidade do índice *VCI* como fonte de informação sobre o estresse da vegetação e, conseqüentemente, sobre a seca, a maior responsável pelo estresse. Pelos resultados do trabalho, esse índice também foi útil na determinação em tempo real do estado da vegetação e do impacto das condições de tempo sobre a vegetação.

O índice *NDVI* derivado do sensor AVHRR/NOAA foi utilizado por LIU e MASSAMBANI (1994) para estudar a evolução da seca na América do Sul. A resposta da vegetação à seca foi estudada pela avaliação da evolução temporal e espacial de mapas mensais de áreas secas, as quais foram delimitadas por valores de *NDVI* menores que 0,22. Os resultados do trabalho indicaram um alto potencial de uso de imagens *NDVI* para monitorar a ocorrência de seca, além de permitir o estudo da variabilidade climática em escala regional e continental.

Muitos dos métodos de estimativa baseados em imagens e dados de satélites propostos nos últimos anos voltaram-se a estimativas de precipitação. Apesar disso, dentre os métodos de estimativa de precipitação disponíveis na literatura, não há um método que, de maneira geral, possa ser utilizado produzindo resultados satisfatórios. Sendo assim, esses

métodos foram estudados visando-se utilizar os conhecimentos e avanços aí obtidos para o desenvolvimento de um método para estimativa da ausência, ou ainda, não ocorrência de precipitação.

BARRET e MARTIN (1981) apresentaram uma revisão e classificação de vários métodos de estimativa de precipitação. Em ARKIN e AUDANUY (1989) e CADET e GUILLOT (1991) podem ser encontradas revisões mais recentes. ADLER e NEGRI (1988) desenvolveram uma técnica para obtenção de precipitação de origem convectiva e estratiforme que utiliza apenas o canal infravermelho.

Para a estimativa da precipitação em imagens de satélites é necessário a discriminação entre nuvens precipitantes e não-precipitantes. CAVALCANTI et al. (1992) aplicaram a técnica CST (Convective Stratiform Technique), desenvolvida por ADLER e NEGRI (1988), para análise de “texturas” (nuvens precipitantes, nuvens não-precipitantes e superfície) em imagens METEOSAT, tendo conseguido definir situações entre extremos de “céu limpo” e “precipitação intensa” a partir de classes de temperaturas.

A análise da temperatura de brilho associada à textura de imagem para separação de núcleos precipitantes de não-precipitantes, conforme proposto por ADLER e NEGRI (1988), justifica-se uma vez que várias pesquisas apresentaram como dificultosa a filtragem de nuvens baseada em dados de apenas um canal de satélite, como LIOU et al. (1990) e PRABHAKARA et al. (1990). Porém, segundo ARNAUD et al. (1992) e SAKAMOTO (1990), a análise de textura não assegura, efetivamente, a identificação de núcleos precipitantes.

VICENTE et al. (1998), pela utilização de informações do satélite GOES e de Radar, desenvolveram uma técnica chamada “Auto-Estimator”, que foi adotada pelo *US National Weather Service* em 2000 para estimativa de precipitação, a qual também vem sendo utilizada para monitorar a estiagem. Um problema na adaptação dessa técnica para utilização em escala nacional, deve-se ao fato de que no Brasil não se dispões de cobertura de radar para a maior parte de seu território.

Visando contornar estas dificuldades quanto a discriminação entre nuvens precipitantes e não-precipitantes, o método proposto neste trabalho para o monitoramento de estiagem é fundamentado na análise de pixels livres de nuvens. A separação entre pixels livres e cobertos por nuvens nas imagens baseia-se na temperatura de brilho, devido aos resultados

promissores obtidos por CAVALCANTI et al. (1992), em análise semelhante porém utilizando imagens Meteosat.

ASSAD et al. (1986), trabalhando com duas imagens Meteosat correspondentes ao ano de 1979, obteve resultados que permitiram estabelecer uma relação inversa entre a temperatura de superfície ( $T_s$ ) e a precipitação ( $P$ ) para o Senegal. ASSAD et al. (1987), analisando 16 imagens Meteosat obtidas para essa mesma região no período chuvoso de 1984 e 1985, confirmou a relação entre a temperatura de superfície ( $T_s$ ) e a precipitação ( $P$ ) encontrada em trabalho anterior. Esse autor obteve altos coeficientes de correlação entre  $\Sigma T_s$  e  $\Sigma P$ , para alguns dias, nos dois anos estudados. E dada a grande similaridade entre as equações de regressão obtidas para cada ano, propôs uma única equação linear de precipitação em função da temperatura de superfície ( $T_s$ ). Dentre as conclusões deste trabalho, destaca-se a possibilidade de acompanhar o comportamento da precipitação pelo conhecimento da variação espacial da temperatura de superfície.

ASSAD et al. (1988), visando a realização de estimativas de precipitação para o Estado de Minas Gerais, analisou a relação entre a precipitação e o *NDVI*, utilizando imagens AVHRR/NOAA correspondentes ao período de setembro a março de 1982/83 e 1983/84. Seus resultados indicaram um bom coeficiente de correlação entre o total de precipitação e o *NDVI* médio para o período citado anteriormente.

SEGUIN et al. (1989) encontrou uma relação linear entre o *NDVI* e a precipitação de verão, evidenciando a sensibilidade deste índice para indicar a ocorrência de precipitação. Apresentou, dentre as conclusões desse trabalho, as seguintes:

(1) Dados compreendendo a região do infravermelho termal do espectro eletromagnético, em dias livres de nuvens, podem ser utilizados para estimativas de precipitação para longos períodos (1 mês). Acrescentou ainda que dados Meteosat e AVHRR/NOAA poderiam ser utilizados para monitorar a distribuição espacial da precipitação durante a estação chuvosa daquela região;

(2) A temperatura de superfície se figura como um parâmetro complementar ao *NDVI*, ressaltando que a análise conjunta desses dois parâmetros seria de grande interesse, especialmente em se tratando de dados AVHRR-NOAA, pois este satélite permite calcular esses dois tipos de dados.

ASSAD et al. (1996) estabeleceu correlações entre a precipitação e o *NDVI* também para os cerrados brasileiros. Trabalhando com imagens AVHRR/NOAA, para o período de agosto de 1981 a junho de 1991, concluiu que esse índice de vegetação evidencia a lógica espacial da distribuição pluviométrica daquela região estudada.

JACKSON et al. (1983), analisando diferentes índices de vegetação, verificou que os índices de vegetação *Ratio*, obtido pela razão entre o fator de reflectância do infravermelho próximo e do vermelho (conforme a Equação (3)) e o *NDVI* (obtido pela Equação (2)), são bastante sensíveis a variações de umidade da superfície, sendo o *NDVI* menos sensível à influência da turbidez atmosférica. Os resultados obtidos nesse trabalho indicaram a possibilidade de detecção da variação da umidade de superfície, pelo acompanhamento da evolução temporal desses índices.

#### **2.4. O Sistema AVHRR/NOAA**

Os satélites da série AVHRR/NOAA operam em órbita polar e heliossíncrona, tendo como campo de observação pontos da superfície da Terra compreendidos entre 78° de latitude Norte e 78° de latitude Sul. Possuem o período orbital de aproximadamente 102 minutos, produzindo 14,1 órbitas por dia e trabalham com um ângulo de varredura que vai de +55,4° a – 55,4°, cobrindo, a superfície, uma faixa de aproximadamente 2.700km de largura. Estas são características que garantem à imagem uma baixa resolução espacial e um volume considerável de dados (algo em torno de 70MB em média por imagem), que é bastante apreciável em trabalhos desenvolvidos em escalas regionais. O baixo custo e as aplicações operacionais dos dados produzidos pelo sensor AVHRR têm levado os usuários dos satélites NOAA a procurarem adquirir antenas de recepção e sistemas de processamento de imagens que permitam a aquisição de suas imagens em tempo real (ALMEIDA, 1996).

O sensor AVHRR possui duas bandas espectrais (canais 1 e 2) compreendendo as regiões do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho e ao infravermelho próximo, respectivamente. Além destes canais, a resolução espectral de alguns dos sensores AVHRR é dada por mais outras três bandas (canais 3, 4 e 5) conforme apresentado na Tabela 1.

TABELA 1 – Resolução espectral para cada um dos canais do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-14.

<b><u>Canal</u></b>	<b>Faixa espectral</b>	<b>Resolução (<math>\mu\text{m}</math>)</b>
1	Visível	0,58 – 0,68
2	Infravermelho próximo	0,725 – 1,10
3	Infravermelho médio	3,55 – 3,93
4	Infravermelho termal	10,3 – 11,3
5	Infravermelho termal	11,5 – 12,5

**Fonte:** KIDWELL (1995).

Cada plataforma NOAA em órbita está programada para realizar duas passagens diárias, uma diurna e uma noturna, sobre um mesmo ponto da superfície terrestre, o que lhes confere uma alta frequência de aquisição de imagens. Aliada às resoluções temporal e espectral do sensor AVHRR, a baixa resolução espacial de seus produtos torna as imagens geradas pelo sistema AVHRR/NOAA passíveis de serem utilizadas no monitoramento da superfície terrestre em escala regional, em tempo quase real, conforme a proposta do presente trabalho.

Os sensores AVHRR geram imagens que, uma vez convertidas para o formato Level-1B, passam a armazenar as seguintes informações: dados espectrais, coeficientes de calibração, ângulo zenital solar e informações de localização terrestre (LATITUDE e LONGITUDE), entre outras. As informações espectrais e geométricas das imagens contêm erros que devem ser corrigidos para que seja possível sua análise e utilização quantitativa. Sendo assim, o processamento é um pré-requisito para a utilização de imagens AVHRR (DI e RUNDQUIST, 1994).

Os dados AVHRR/NOAA têm três formatos diferentes: GAC, LAC e HRPT, os quais podem ser convertidos e armazenados no formato padrão Level-1B. Esses dados têm sido largamente utilizados para pesquisas ambientais em escalas globais e regionais (DI e RUNDQUIST, 1994). Dados GAC (cobertura de área global) permitem a cobertura de grande parte da superfície terrestre, uma vez que sua resolução espacial é  $16\text{km}^2$ . Já os dados LAC (cobertura de área local) e HRPT são do mesmo tipo, distinguindo-se apenas na forma de sua transmissão do satélite para a superfície. Os dados HRPT são enviados continuamente em

tempo real durante o imageamento. Já os dados LAC são seletivamente gravados a bordo do sensor para posterior transmissão para a superfície. A resolução espacial desses dados é 1,1km no Nadir e a resolução radiométrica de 10 bits. Devido à mais alta resolução radiométrica e espacial dos dados HRPT e LAC, eles são largamente utilizados em pesquisas ambientais, tanto em escala regional como em escala continental. Entretanto, os dados LAC são utilizados unicamente para estudar áreas geográficas onde não há estação de superfície (DI e RUNDQUIST, 1994).

## **2.5. O processamento digital das imagens**

### **2.5.1. O georreferenciamento**

Os dados de sensoriamento remoto, usualmente, contém erros sistemáticos e não sistemáticos. O objetivo da correção geométrica é remover esses erros e relacionar os dados digitais com uma projeção cartográfica, (DI e RUNDQUIST, 1994). Fatores como a baixa altitude de imageamento, grande ângulo de varredura e a movimentação do satélite em relação à Terra acarretam distorções na imagem, que dificultam a identificação das coordenadas geográficas terrestres representadas nas coordenadas da imagem (RICHARDS, 1986). Essa identificação é feita pelo uso de processos de correção geométrica ou georreferenciamento.

Um programa de georreferenciamento atua em cada pixel da imagem num processo analítico de determinação de parâmetros orbitais necessários para gerar uma transformação matemática entre o sistema de referência do satélite e o de coordenadas terrestres. Dessa forma, o programa realiza um processo que percorre a imagem, pixel a pixel, produzindo novas informações que promoverão uma mudança nas posições dos pixels da imagem no sentido de corrigi-las. Esse procedimento descreve a técnica de georreferenciamento por transformação baseada no modelo de geometria orbital (RICHARDS, 1986).

### **2.5.2. Calibração Radiométrica do sensor AVHRR/NOAA**

A radiância medida por qualquer sistema de sensoriamento remoto para um dado alvo é influenciada por diversos fatores, tais como: mudanças de iluminação da cena, condições atmosféricas, geometria da visada e características de respostas do instrumento. Sendo assim, para se comparar dados de uma mesma cena que tenham sido gerados pelo mesmo sensor, porém em momentos distintos, é necessário remover os erros relacionados aos fatores citados

anteriormente. O processo que permite remover esses erros é chamado correção atmosférica. Muitas aplicações de sensoriamento remoto são concebidas com base em propriedades básicas físicas dos alvos na superfície. A conversão de valores digitais das imagens para propriedades físicas é chamada de calibração dos dados (LILLESAND E KIEFER, 1987).

### 2.5.2.1. Obtenção dos Fatores de Reflectância Aparente $FR_1$ e $FR_2$

Os valores digitais dos canais 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14 podem ser convertidos para valores de fatores de reflectância aparente,  $FR_1$  e  $FR_2$ , respectivamente, pela fórmula de calibração revisada de RAO e CHEN (2002) apresentada na Equação 4.

$$FR(\%) = D_s^2 [SC_{10} + I] \quad (4)$$

onde,  $D_s^2$  é um de fator de correção da distância Terra-Sol,

$S$  é o coeficiente de Declinação, específico para cada canal,

$I$  é o coeficiente de Intercepto, específico para cada canal e

$C_{10}$  é o valor digital de cada pixel da imagem, codificado em 10 bits.

O fator de correção da distância Terra-Sol pode ser obtido pela Equação 5, conforme apresentado por PALTRIDGE e PLATT (1976).

$$\rho^2 = \frac{1}{[1,00011 + 0,034221 \times \cos \theta + 0,001280 \times \sin \theta + 0,000719 \times \cos 2\theta + 0,000077 \times \sin 2\theta]} \quad (5)$$

onde,  $\theta = 0,9863 \times n$ , sendo  $n$  o dia do ano devendo ser considerado variando de 0 para o primeiro dia do ano até 364 para o último.

Esse fator de correção corrige o sinal do sensor AVHRR da influência da variação sazonal da radiação solar incidente no topo da atmosfera.

Os coeficientes de Declinação  $S_1$  e  $S_2$  são obtidos em função do tempo de órbita do sensor, sendo expressos pelas Equações 6 e 7.

$$\text{Canal 1: } S_1 = 0.0000135d + 0.111 \quad (6)$$

$$\text{Canal 2: } S_2 = 0.0000133d + 0.134 \quad (7)$$

onde,  $d$  é o número de dias decorridos desde o lançamento do sensor.

Quanto aos coeficientes de Intercepto  $I_1$  e  $I_2$ , estes são obtidos pelo produto negativo entre os coeficientes  $S_1$  e  $S_2$ , respectivamente, e o valor  $C_0$  (*dark count*), que para o sensor AVHRR/NOAA-14 assume-se como sendo 41 (RAO e CHEN, 2002).

#### 2.5.2.2. Obtenção da Temperatura de Brilho TBCh4 e TBCh5

Os valores digitais dos canais 4 e 5 são convertidos em valores de radiância por meio de um processo de calibração baseada nos coeficientes de *Ganho* ( $G$ ) e *Intercepto* ( $I$ ) que podem estar presentes no formato Level-1B. Esses coeficientes são obtidos a partir de informações contidas no cabeçalho dos dados HRPT, para cada linha da imagem, conforme procedimento detalhado no *NOAA Technical Memorandum NESS 107* revisado (1988).

Os coeficientes de Ganho ( $G$ ) e Intercepto ( $I$ ) correspondentes a cada canal são utilizados para a obtenção de um valor de Radiância ( $R_{lin}$ ) medida pelo sensor em um processo de calibração linear, conforme estabelecido pela Equação 8.

$$R_{lin} = G \cdot C + I \quad (8)$$

onde,  $C$  é o valor digital correspondente a cada pixel da imagem, codificado em 10 bits.

O valor da Radiância linear obtida pela Equação 8 é utilizado para a obtenção de um valor de Radiância corrigido (RAD), a partir da Equação 9.

$$RAD = A_i \cdot R_{lin} + B_i \cdot R_{lin}^2 + C_i \quad (9)$$

onde,  $A_i, B_i$  e  $C_i$  são coeficientes de correção correspondentes a cada um dos canais termais do sensor.

A temperatura para cada canal é calculada em função das Radiâncias corrigidas (canais 4 e 5), a partir da Equação inversa da Radiação de Planck (KIDWELL, 1995):

$$T(RAD) = \frac{C_2 \nu}{\ln\left(1 + \frac{C_1 \nu^3}{RAD}\right)} \quad (10)$$

onde,  $C_1$  e  $C_2$  são constantes,

$T$  é a Temperatura de Brilho (K) e

$\nu$  é o número central do comprimento de onda ( $\text{cm}^{-1}$ )

( $\nu_4=929,3323$  e  $\nu_5=835,1647$  – disponíveis no site da NOAA).

### 2.5.3. Correção Atmosférica dos canais termais Ch4 e Ch5

A temperatura da superfície terrestre medida por sensores remotos é atenuada pela atmosfera terrestre. A atmosfera modifica a temperatura de brilho observada, aumentando ou diminuindo a radiação recebida pelo sensor. Os canais 4 e 5 do sensor AVHRR são designados para explorar janelas atmosféricas na região termal do espectro eletromagnético onde a atenuação atmosférica é relativamente pequena. Mesmo assim, esse efeito pode induzir erros significativos na temperatura de superfície derivada desses canais (DI e RUNDQUIST, 1994).

#### 2.5.3.1. Obtenção da Temperatura de Superfície

A taxa de atenuação atmosférica é diferente nos canais termais 4 e 5. Sendo assim, é possível utilizar a diferença na resposta espectral dessas janelas espectrais, para definir algoritmos para a correção da atenuação atmosférica. Vários modelos de correção da atenuação atmosférica SPLIT-WINDOW foram desenvolvidos, dentre os quais o de PRICE (1984), aceito como um dos possíveis de ser utilizado para a correção da atenuação atmosférica (DI e RUNDQUIST, 1994).

$$T_s(4,5) = 1,699(TBCh4) - 0,699(TBCh5) - 0,240 \quad (11)$$

onde,  $T_s$  é a temperatura de superfície corrigida dos efeitos atmosféricos,

$TB_4$  é a temperatura de brilho obtida para o canal 4 e

$TB_5$  é a temperatura de brilho obtida para o canal 5.

### **3. MATERIAL E METODOLOGIA**

#### **3.1. Da escolha da área e período de estudo**

Para o desenvolvimento de um método visando o monitoramento de estiagem escolheu-se o Estado de São Paulo, por possuir uma rede de estações meteorológicas relativamente densa e espacialmente bem distribuída.

O programa utilizado para conversão das imagens brutas para o formato padrão Level-1B não convertia adequadamente imagens geradas a partir de 2000, o que impossibilitou a utilização de imagens mais recentes para o desenvolvimento do presente trabalho.

#### **3.2. Dos dados meteorológicos**

No presente estudo trabalhou-se com os dados de precipitação de fevereiro de 1999 por se tratar do período (verão) mais recente com imagens AVHRR/NOAA-14 “disponíveis”, sendo que o sensor NOAA-14 é o único, até então, que dispõe de dados que possibilitam a calibração radiométrica dos canais 1 e 2.

Os registros diários de precipitação correspondentes às estações meteorológicas do Estado de São Paulo para o mês de fevereiro de 1999 foram obtidos junto ao Centro Integrado de Informações Agrometeorológicas (CIIAGRO) do Instituto Agrônomo (IAC). O CIIAGRO coleta e processa informações meteorológicas para aproximadamente 115 estações meteorológicas convencionais e automáticas, distribuídas pelo Estado de São Paulo, conforme ilustra a Figura 3.

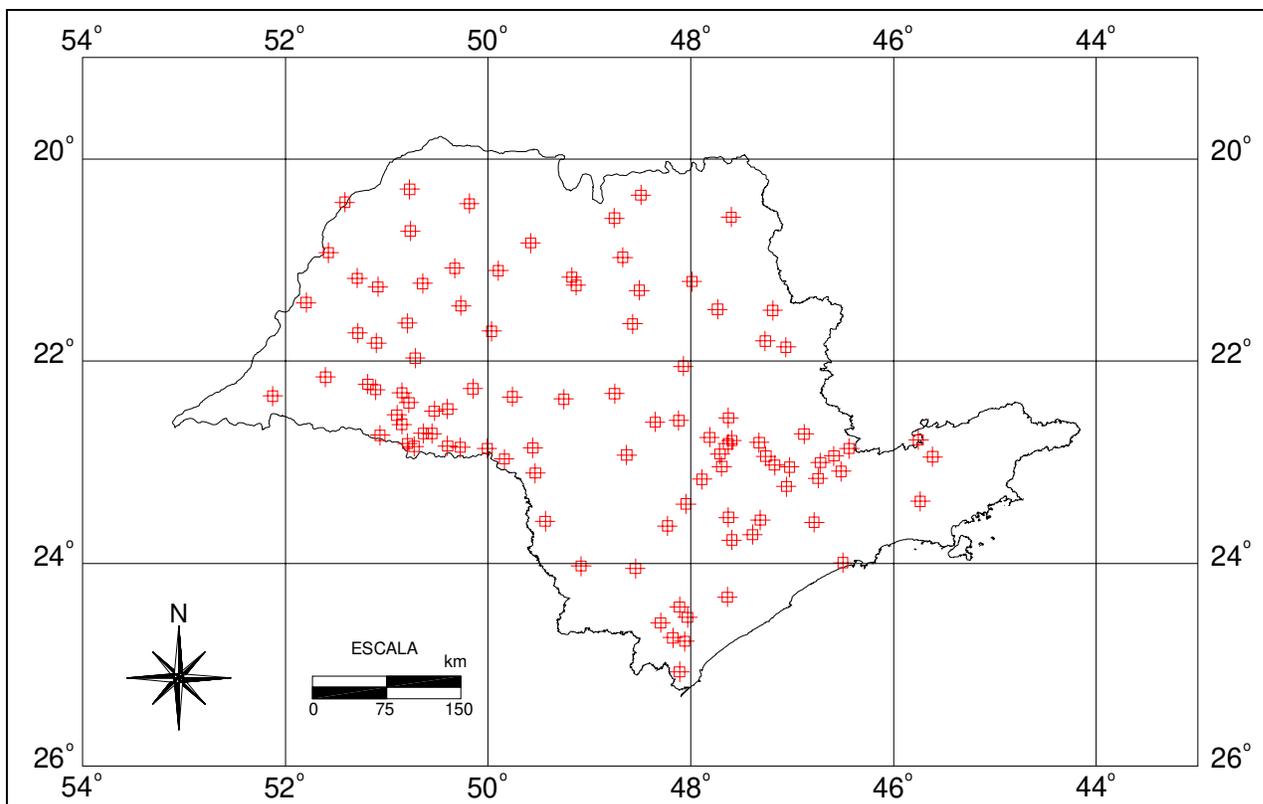


Figura 2: Localização das estações meteorológicas, para as quais o CIAGRO/IAC coleta e processa dados, no Estado de São Paulo.

### 3.3. Das imagens

Foram utilizadas imagens AVHRR/NOAA-14 diárias, segundo sua disponibilidade, para o mês de fevereiro de 1999. Essas imagens integram o banco de dados do Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura (CEPAGRI/UNICAMP). O CEPAGRI possui um sistema de recepção de imagens AVHRR/NOAA que está operando desde dezembro de 1994. Em seu banco de dados estão disponíveis imagens para todos os sensores que estiveram ou estão em operação a partir do mês de abril de 1995, gerando imagens que abrangem o Brasil e grande parte da América do Sul.

#### 3.3.1. Processamento das imagens

As imagens AVHRR/NOAA-14 foram convertidas do formato original HRPT para o formato padrão Level-1B a partir do programa de conversão “L1B1999” desenvolvido por Zullo Jr (2001) (versão atualizada e revisada em 2002-2003). O programa “L1B1999” foi

revisado e atualizado antes de sua utilização para a conversão em série das imagens do período de estudo. Essa atualização foi necessária em função de uma série de constatações, que foram verificadas durante a utilização desse programa, visando o atendimento das necessidades do presente trabalho, dentre essas especialmente o georreferenciamento das imagens.

Conforme comentado anteriormente o programa L1B1999 que se limitava a conversão de imagens geradas até 31/12/1999, por informações levantados e registradas durante o desenvolvimento deste trabalho, evoluiu para outras aperfeiçoadas desenvolvidas para conversão das imagens geradas a partir do ano de 2000.

Esse processo de conversão é imprescindível pois as imagens não podem ser processadas nem visualizadas por qualquer sistema de processamento de imagens normalmente disponíveis no mercado, estando no formato original de recepção. Maiores informações sobre os formatos das imagens AVHRR/NOAA podem ser encontradas no item 2.5.

Durante o processo de conversão, são agregadas informações de posição à estrutura de cada arquivo de imagem. Cada linha de uma imagem formato Level-1B permite o armazenamento de até 51 coordenadas geográficas, com valores de latitude e longitude. Essas informações auxiliam, em muito, o processo de georreferenciamento, pois possibilita sua realização de maneira semi-automática.

### **3.3.2. O georreferenciamento das imagens**

A menos da conversão de formatos pela utilização do programa L1B1999, as demais etapas do processamento das imagens foram realizadas no programa ENVI 3.5, principalmente por sua capacidade de tratamento das imagens AVHRR/NOAA no formato padrão Level-1B.

A qualidade do georreferenciamento é estratégica para um método como o proposto neste trabalho, por basear-se na análise temporal de pixels em posições geográficas pré-estabelecidas, coincidentes com a localização de estações meteorológicas de superfície. Avaliou-se várias alternativas de realização do georreferenciamento disponíveis no ENVI 3.5, principalmente os métodos de correção polinomial de diferentes graus e de triangulação.

O georreferenciamento foi realizado de maneira semi-automática com base nas coordenadas geográficas registradas nas formato Level-1B. Deve-se ressaltar que essa alternativa foi explorada e priorizada em função do interesse de operacionalizar o

processamento das imagens e o monitoramento da estiagem. Esse estudo baseou-se na comparação dos resultados produzidos, após a realização do georreferenciamento pela utilização dos diferentes métodos, com informações de “referência terrestre” (ou seja, pontos de controle no terreno) que foram obtidas em mapas e cartas de diferentes escalas.

Para a realização dos georreferenciamentos semi-automáticos das imagens foram necessários os seguintes parâmetros de entrada:

- 1-) Método de mapeamento: a) Polinomial e b) Triangulação de Delaunay;
- 2-) Número de pontos de controle: foram testadas várias combinações do número de pontos por linha e do número de linhas;
- 3-) Projeção: Latitude/Longitude;
- 4-) Datum: WGS-84;
- 5-) Limites geográficos: Envolvendo o Estado de São Paulo - ( $54^{\circ}00'00.00''\text{O}$ ,  $43^{\circ}00'00.00''\text{O}$ ,  $18^{\circ}00'00.00''\text{S}$ ,  $26^{\circ}00'00.00''\text{S}$ );
- 6-) Resolução espacial: 1.100m.

Validou-se, inicialmente, as informações de posição (ou seja, as coordenadas geográficas) intrínsecas às imagens, para assegurar a possibilidade de sua utilização. Foram determinados e selecionados oito pontos bem distribuídos espacialmente nas imagens (tais como entroncamentos, ramificações de rios e acidentes na costa litorânea), abrangendo o Estado de São Paulo, a partir da exploração de imagens brutas. Isto foi feito com base na facilidade e confiabilidade da obtenção de suas coordenadas, as quais foram possíveis a partir de cartas topográficas do IBGE (Escala 1:50.000). Esses pontos foram utilizados para o controle e análise dos resultados produzidos pela adoção dos diferentes métodos de georreferenciamento testados.

Em seguida, procedeu-se à exploração da base de dados AVHRR/NOAA-14 para o ano de 1999, procurando selecionar, no mínimo, uma imagem correspondente a cada mês desse ano que estivesse livre de nuvens, pelo menos na localização dos pontos de controle adotados ou na maioria deles. Isto garantiria a tomada de coordenadas nessas posições, após a realização do georreferenciamento.

Foram levantadas e selecionadas imagens referentes a cada mês aleatoriamente, tarefa que permitiu averiguar a grande dificuldade na obtenção de imagens livres de nuvens em grande parte do ano. Além do problema da contaminação por nuvens, destaca-se também o causado por elevados ângulos de inclinação do sensor durante o imageamento, o qual implica na geração de imagens com grandes distorções, inviabilizando sua utilização. Isto também contribui para a diminuição do índice de aproveitamento das imagens AVHRR/NOAA.

Pela utilização do módulo de Georreferenciamento de dados AVHRR do ENVI 3.5, foi possível a geração, baseada nas informações de posição contidas nas imagens, de arquivos-imagens de latitude e longitude denominados arquivos de geometria. De posse desses arquivos de geometria foi possível criar a seguinte composição RGB:

- ao canal vermelho atribuiu-se a banda da latitude;
- ao canal verde atribuiu-se a banda 2, correspondente à região do espectro eletromagnético do infravermelho próximo;
- ao canal azul atribuiu-se a banda de longitude.

Com isso, foi possível verificar e analisar a qualidade das informações das coordenadas calculadas, pois à medida que se percorre a composição gerada no Sistema ENVI 3.5, obtém-se o valor das coordenadas correspondentes à sua posição na imagem na janela de “Localização do Cursor/Valor”, conforme apresentado na Figura 3.

O Sistema ENVI 3.5 não comporta a realização de correções radiométricas e atmosféricas. Sendo assim, essas correções foram realizadas a partir de um programa, melhor detalhado no item 3.4, desenvolvido também durante a execução do presente trabalho.

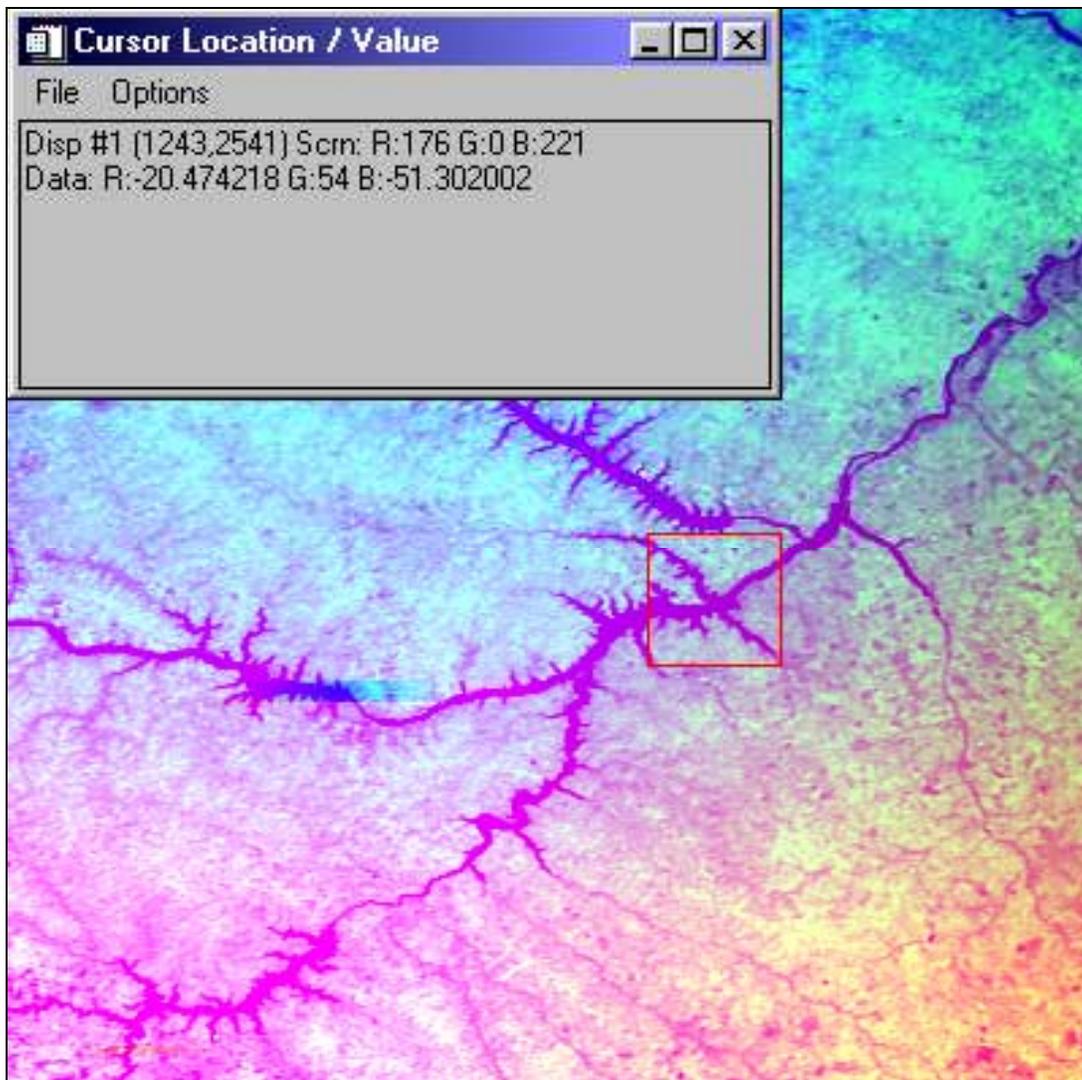


Figura 3: Composição colorida RGB e janela com informações de posição.

### 3.3.3. Obtenção dos índices de vegetação *Ratio* e *NDVI*

Os níveis de cinza dos canais 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14 foram convertidos para valores de fator de reflectância aparente, *FR1* e *FR2*, pelo método detalhado no item 2.5.2.1. A calibração dos canais 1 e 2 para valores de fatores de reflectância, *FR1* e *FR2*, foi requerida para que se pudesse obter os índices de vegetação *Ratio* e *NDVI*, pelas Equações 2.4. e 2.2., respectivamente. Esses índices foram obtidos para serem utilizados no estudo do método visando o monitoramento de estiagem.

O método para obtenção dos fatores de reflectância foi estudado além de pelos motivos apresentados anteriormente, também para sua utilização e implementação no programa PRIMA desenvolvido, permitindo a obtenção dos índices *Ratio* e *NDVI* pelo programa, a ser abordado posteriormente.

#### **3.3.4. Obtenção da temperatura de superfície TS**

Os níveis de cinza dos canais 4 e 5 do sensor AVHRR/NOAA-14, correspondentes às regiões espectrais do infravermelho termal do espectro eletromagnético, foram convertidos para valores de temperatura de brilho,  $TB_4$  e  $TB_5$ , pelo método detalhado no item 2.5.2.2. Os níveis de cinza dos canais 4 e 5 foram convertidos para valores de temperatura de brilho,  $TB_4$  e  $TB_5$ , para que fosse possível a obtenção da temperatura de superfície, conforme a Equação 2.5.3.1.

Tanto o método de conversão para temperaturas de brilho como a Equação para obtenção da temperatura de superfície ambos foram adotados visando sua utilização e implementação no programa PRIMA desenvolvido.

#### **3.4. Desenvolvimento do programa para processamento de imagens AVHRR/NOAA - (PRIMA)**

Para viabilizar a implementação do método proposto, desenvolveu-se um programa computacional para operacionalizar o processamento digital de imagens AVHRR/NOAA. Esse programa foi desenvolvido para realizar a correção geométrica e a calibração radiométrica dos canais 1, 2, 4 e 5, aumentando com isso, o potencial de utilização dessas imagens.

O programa PRIMA (Anexo I) foi elaborado em linguagem IDL 5.5 (Interactive Definition Language), que é um ambiente computacional para análise e visualização de dados que integra numerosas análises matemáticas e técnicas de visualização gráfica. Esse programa foi desenvolvido visando ampliar e explorar o potencial de utilização das imagens do AVHRR/NOAA. A partir do processamento das imagens do AVHRR/NOAA formato Level-1B, o programa desenvolvido gera informações corrigidas geometricamente e calibradas radiometricamente, aumentando e facilitando sobremaneira a possibilidade de realização de estudos baseados nessas informações. Além disso, o PRIMA também subsidia o

desenvolvimento e/ou a implementação operacional de aplicações já desenvolvidas, baseadas em imagens AVHRR/NOAA.

### **3.5. Estudo de um método visando o monitoramento da estiagem**

Conforme revelaram os resultados obtidos por ALMEIDA (1996), após o georreferenciamento das imagens AVHRR/NOAA-14, neste trabalho não foram encontradas distorções de posição maiores que 3 pixels em qualquer direção, sendo que em alguns casos foi obtido o deslocamento de apenas 1 pixel. Apesar disso, por segurança com a finalidade de comparar as informações de precipitação registradas nos postos meteorológicos com as informações espectrais derivadas das imagens, conforme ilustra o Fluxograma 1, foram geradas janelas de 3x3 pixels para extração de informações espectrais, centradas na posição das 115 estações meteorológicas do CIIAGRO/IAC.

Em seguida realizou-se um levantamento das estações com maior número de imagens, dentre as 16 imagens disponíveis compreendendo o período estudado, livres de nuvens nos pixels correspondentes às posições dessas estações. Com isso, foi possível selecionar cinco estações (Figura 4) para as quais se dispunha de pixels livres de nuvens em pelo menos seis imagens disponíveis, são elas: Buritama, Taquarituba, Pedrinhas Paulista, Paraguaçu Paulista e Manduri. Esse levantamento foi realizado visualmente para cada uma das 115 estações e cada uma das 16 imagens consideradas (conforme se verifica no anexo II). No próximo tópico é apresentada uma breve caracterização das estações estudadas, quanto ao tipo de solo (Fonte: Mapa Pedológico do Estado de São Paulo IAC/EMBRAPA, escala 1:500.000) e do uso e ocupação no período considerado, no entorno destas estações, considerando-se um raio de 3 km.

Não foi possível utilizar outro critério para a seleção de estações meteorológicas para a realização deste trabalho, já que o primeiro critério adotado (maior disponibilidade de pixels livres de nuvens sobre as estações – fevereiro de 1999) restringiu as estações disponíveis para apenas 5 dentre as 115 inicialmente consideradas. Com isso não se avaliou a representatividade destas estações no Estado de São Paulo, considerando-se sua localização, na análise dos resultados estas foram consideradas isoladamente.

Na posição de cada uma das cinco estações selecionadas foram extraídos pixels livres de nuvens, de acordo com sua disponibilidade, relativos aos canais 1 e 2 do sensor AVHRR/NOAA-14. A partir dos níveis de cinza extraídos, referentes aos canais 1 e 2, foram obtidos os valores de fator de reflectância aparente  $FR1$  e  $FR2$ , respectivamente, conforme o método detalhado no tópico 2.5.2.1. A partir dos valores  $FR1$  e  $FR2$  foram obtidos os índices

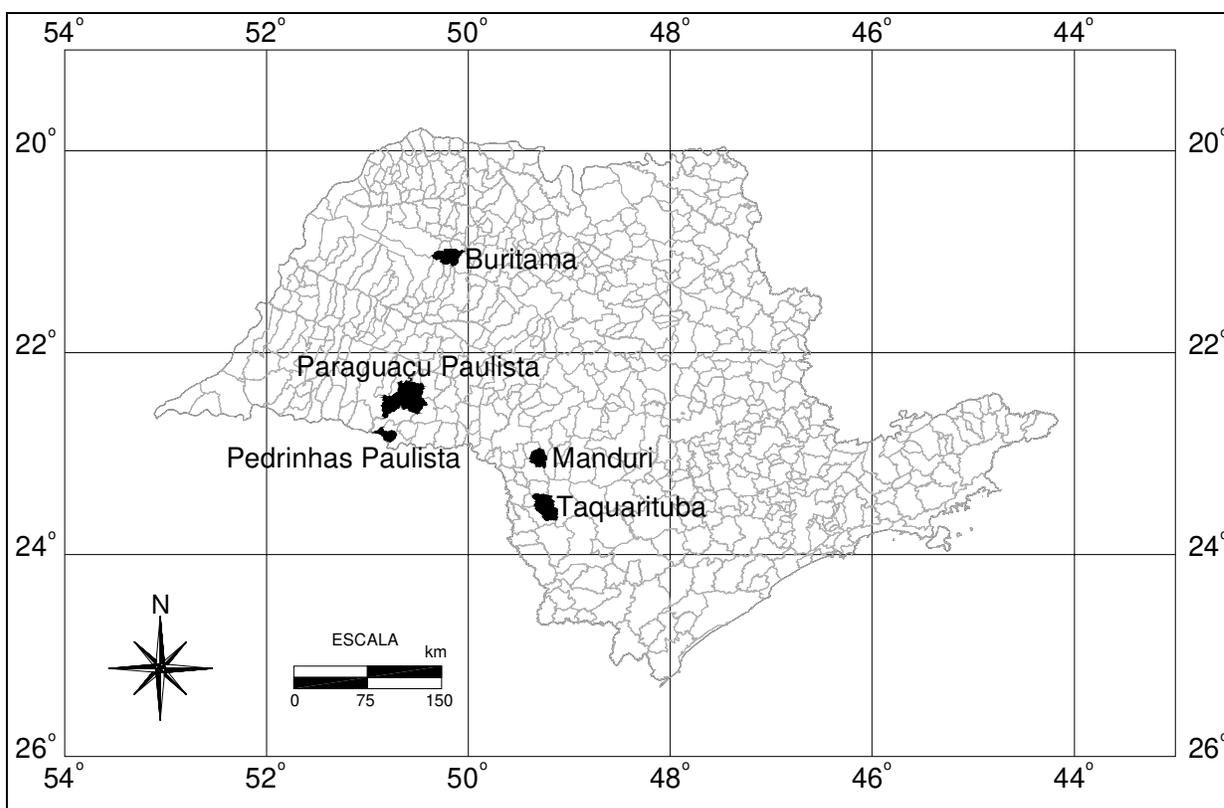


Figura 4: Localização das estações meteorológicas selecionadas para o desenvolvimento do método visando o monitoramento de Estiagem.

De posse da precipitação, dos fatores de reflectância e dos índices de vegetação (os dois últimos obtidos a partir de janelas de 3x3 pixels centradas na posição da estação de interesse) correspondentes a cada estação em questão para o período estudado, foi possível organizar e estruturar uma planilha relacionando todas essas informações. Foram gerados gráficos para as cinco estações selecionadas visando acompanhar a evolução das informações espectrais ao longo do período estudado e sua relação com a precipitação. Foram plotadas as

curvas correspondentes aos fatores de reflectâncias *FR1* e *FR2*, e os índices de vegetação *NDVI* e *Ratio* e a precipitação diária registrada durante esse período.

### **3.6. Breve caracterização das estações selecionadas para o estudo do método**

#### **3.6.1. Estação de Buritma**

##### **3.6.1.1. Tipo de Solo**

LV45 - Latossolos Vermelhos distróficos A moderado textura média relevo plano e suave ondulado.

##### **3.6.1.2. Uso e ocupação no mês de fevereiro de 1999**

No entorno desta estação, considerando-se um raio de 3 km, a área estava ocupada pelos cultivos de seringueira e citrus.

#### **3.6.2. Estação de Paraguaçu Paulista**

##### **3.6.2.1. Tipo de Solo**

LV78 - Latossolos Vermelhos distróficos A moderado textura média relevo plano + Argissolos Vermelhos-Amarelos e Vermelhos ambos eutróficos e distróficos A moderado textura arenosa/média e média relevo suave ondulado.

##### **3.6.2.2. Uso e ocupação no mês de fevereiro de 1999**

No entorno desta estação, considerando-se um raio de 3 km, a área estava ocupada pelos cultivos de cana e soja em final de ciclo.

#### **3.6.3. Estação de Pedrinhas Paulista**

##### **3.6.3.1. Tipo de Solo**

LV1 - Latossolos Vermelhos eutróficos e distroféricos A moderado textura argilosa relevo plano e suave ondulado.

##### **3.6.3.2. Uso e ocupação no mês de fevereiro de 1999**

No entorno desta estação, considerando-se um raio de 3 km, a área estava ocupada pelo cultivo de soja em final de ciclo.

### **3.6.4. Estação de Manduri**

#### **3.6.4.1. Tipo de Solo**

LV4 - Latossolos Vermelhos eutroféricos e distroféricos + Latossolos Vermelhos distróficos ambos A moderado textura argilosa relevo suave ondulado.

#### **3.6.4.2. Uso e ocupação no mês de fevereiro de 1999**

Indeterminado

### **3.6.5. Estação de Taquarituba**

#### **3.6.5.1. Tipo de Solo**

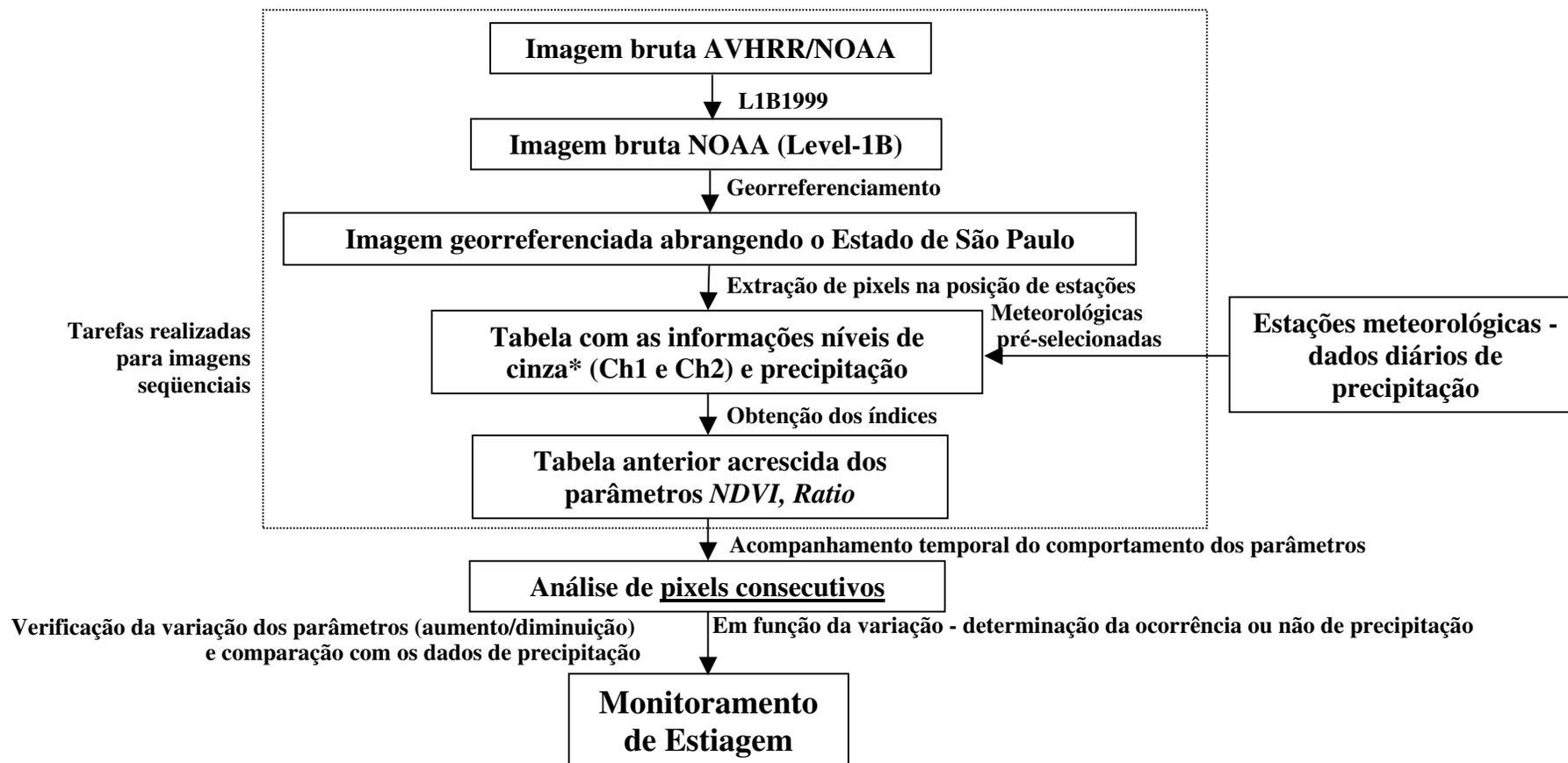
LV47 - Latossolos Vermelhos distróficos A moderado e A proeminente textura argilosa relevo suave ondulado e ondulado.

#### **3.6.5.2. Uso e ocupação no mês de fevereiro de 1999**

No entorno desta estação, considerando-se um raio de 3 km, a área havia sido recém-semeada com milho safrinha.

O Fluxograma 1 apresentado a seguir ilustra todas as etapas executadas visando o estudo de um método para o monitoramento de estiagem.

## Fluxograma 1 - Atividades para Estudo do Método visando o Monitoramento de Estiagem



\*Pixels livres de nuvens

## **4. RESULTADOS OBTIDOS**

### **4.1. Processamento das imagens**

Constatou-se, em muitas imagens do período utilizado, um grande percentual de cobertura por nuvens, havendo alguns dias com cobertura total sobre o Estado de São Paulo. Isso já era esperado pois esse estudo foi realizado durante o verão, período em que as precipitações no Brasil ocorrem, tipicamente, em consequência de nuvens formadas à tarde, quando também são geradas as imagens do NOAA-14. Nos casos de cobertura total, descartou-se as imagens correspondentes.

Apesar disso, esse período combina as características essenciais ao desenvolvimento do presente estudo: abundância de períodos com ocorrência de precipitação, seguidos de períodos com ausência de precipitação.

A excessiva presença de ruídos e as imagens muito distorcidas em função de grandes ângulos de visada do sensor durante o imageamento foram outros motivos que ocasionaram o descarte de imagens. Baseado nesses critérios, foram selecionadas 16 imagens correspondentes a 16 dias do mês de fevereiro de 1999 passíveis de serem utilizadas nesse trabalho.

Para operacionalizar a utilização de imagens NOAA em aplicações que requerem monitoramento em curto espaço de tempo, recomenda-se o uso de imagens oriundas de mais de um sensor da série NOAA, o que pode proporcionar um aumento do número de imagens disponíveis passíveis de serem utilizadas. Uma limitação desta estratégia se deve ao fato de que mesmo que corrigidas radiometricamente, a resposta espectral de imagens de sensores diferentes não é a mesma. Ou seja, para utilizar imagens de sensores diferentes para monitoramento, em que as informações derivadas de imagens de um sensor serão confrontadas com as derivadas de imagens geradas por outros sensores, se faz necessário um estudo visando calibrar as respostas espectrais desses diferentes sensores.

#### **4.1.1. Georreferenciamento das imagens**

Verificou-se, inicialmente, a precisão cartográfica do vetor de rios e limites costeiros do ENVI 3.5, visando sua utilização como referência para avaliação dos métodos de geoprocessamento. Comparou-se as coordenadas tomadas a partir do vetor, para alguns pontos

pré-selecionados distribuídos aleatoriamente pela área estudada, com as obtidas em cartas topográficas de variadas escalas. Encontrou-se coordenadas divergentes de no máximo 15 metros, mesmo na comparação com cartas do IBGE na escala 1:50.000. Isto viabilizou sua utilização no presente trabalho pois cada pixel de uma imagem AVHRR/NOAA possui dimensões de 1.100m x 1.100m.

Foram geradas composições RGB, conforme detalhado no item 3.2.2., para imagens correspondentes ao sensores NOAA-12 e NOAA-14. A análise comparativa dos resultados aí obtidos permitiu verificar que, qualitativamente, as informações de posição referentes ao sensor NOAA-14 apresentaram, menores erros em relação ao NOAA-12 (análise visual), ou seja, menores deslocamentos em relação a posição geográfica de referência (pontos de controle identificados em mapas e cartas). Portanto, na realização do presente trabalho foram utilizadas as imagens geradas pelo NOAA-14.

O primeiro método estudado para a realização do georreferenciamento das imagens consiste na criação de uma projeção com base nos arquivos de geometria (latitude e longitude), gerados conforme detalhado no item 3.2.2. Entretanto, não foi possível concretizar a operação requerida para a utilização desse método, em função de erros que interromperam o processamento das imagens após decorridos 45 minutos de execução do programa no ENVI 3.5. Este erros foram causados, possivelmente, pelo número excessivo de pontos de registro utilizados para tanto, ou seja, um ponto por pixel da imagem. Independentemente da qualidade dos resultados que teriam sido obtidos, caso fosse completada a operação correspondente a esse método, fatalmente o tempo de processamento requerido para tanto inviabilizaria sua utilização, considerando-se o caráter operacional dos objetivos deste trabalho.

Os resultados relativos ao método Polinomial não foram satisfatórios, independentemente do grau do polinômio utilizado, da quantidade de pontos de registro por linha e da quantidade de linhas adotadas para a realização das correções, conforme pode ser verificado na Figura 4. Algumas combinações utilizadas produziram resultados qualitativamente razoáveis, sem superar, entretanto, os obtidos pelo método de Triangulação. Os testes de qualidade foram realizados utilizando oito pontos de controle, selecionados com base em cartas topográficas, e o plano de rios e limite costeiro sobreposto às imagens, conforme apresentado na Figura 5.

Os resultados produzidos pelo método de Triangulação de Delaunay apresentaram melhora significativa em relação aos obtidos pelo método Polinomial. A utilização desse método permitiu identificar problemas na qualidade das informações de posição intrínsecas às imagens no formato Level-1B, problemas estes expressos pela formação de losangos com distorções de valores de pixels espalhados aleatoriamente pela imagem, conforme apresentados e sinalizados na Figura 5. Este problema foi solucionado pela reparação de um erro identificado no programa de conversão L1B1999.

Atribui-se o deslocamento sistemático de posição verificado nas imagens corrigidas semi-automaticamente, principalmente, à degradação dos relógios dos sensores AVHRR/NOAA e do equipamento de recepção. Durante o imageamento são geradas seis linhas por segundo, fazendo com que uma pequena defasagem entre os relógios do sensor e da estação de recepção possam acarretar em distorções consideráveis no georreferenciamento das imagens. Buscou-se amenizar esse problema pela atualização dos elementos orbitais na estrutura das imagens, as quais também influenciam o resultado do georreferenciamento.

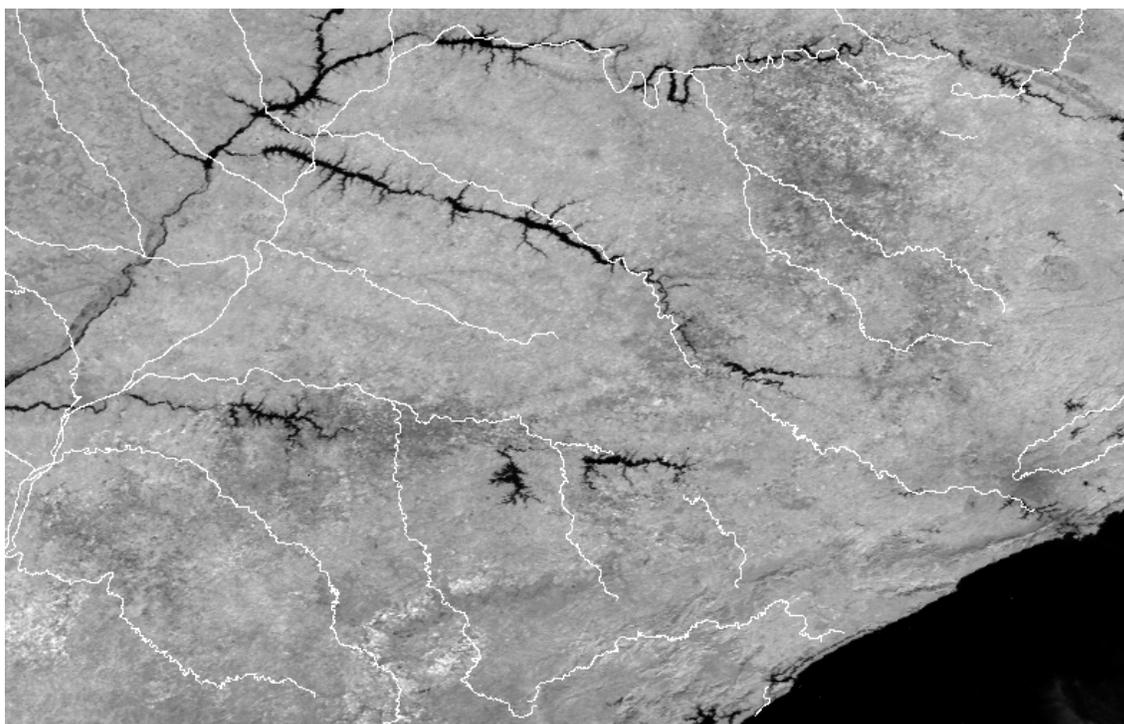


Figura 5: Imagem corrigida por função polinomial de grau 1 sobreposta pelo vetor de rios abrangendo principalmente o Estado de São Paulo.

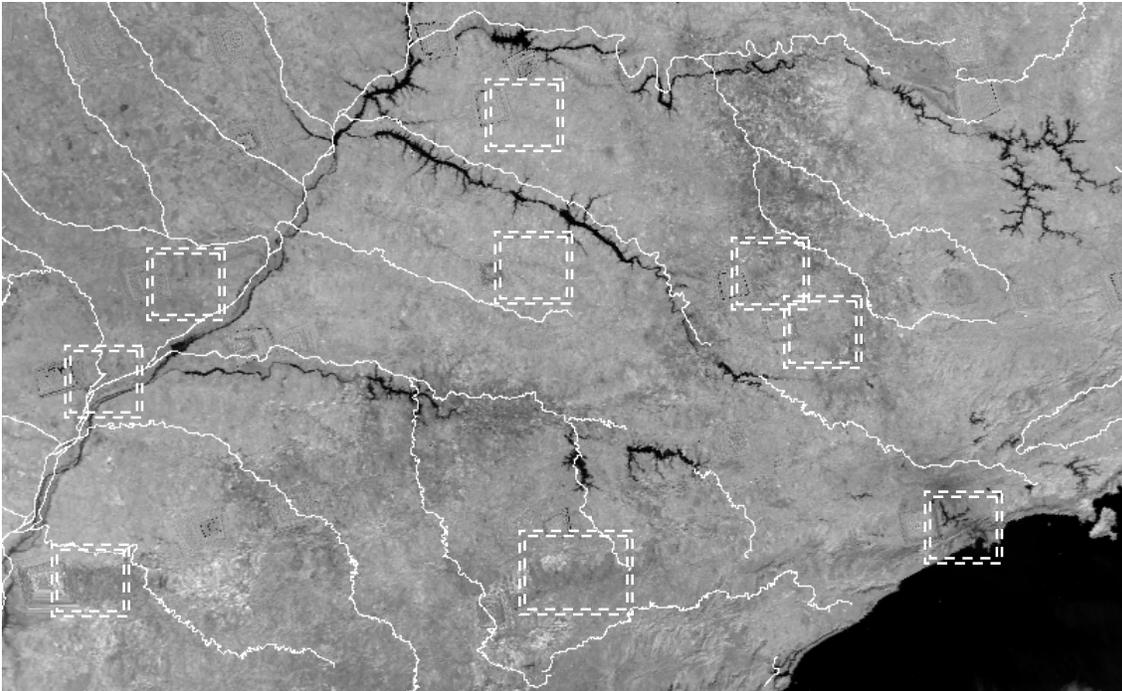


Figura 6: Imagem corrigida pelo método Triangulação de Delaunay sobreposta pelo vetor de rios abrangendo principalmente o Estado de São Paulo.

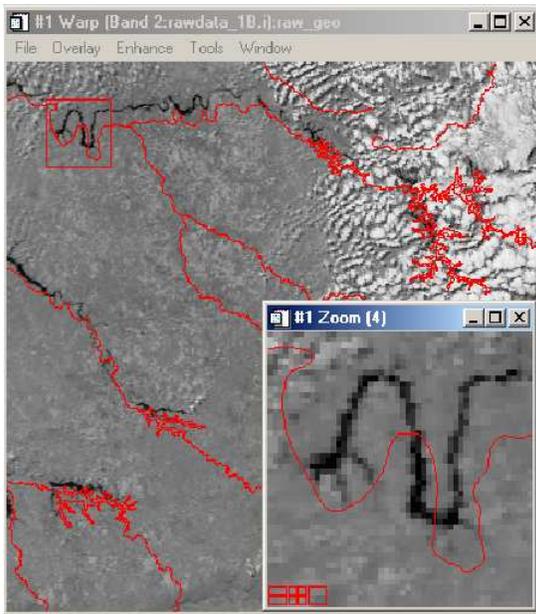
O resgate das informações orbitais atualizadas é feito a partir de um banco de dados, que foi estruturado e organizado composto por informações orbitais obtidas via internet no sítio da NOAA. Essas informações de posição são agregadas à estrutura das imagens durante a conversão destas para o formato padrão Level-1B.

Avaliou-se o efeito da alteração do horário registrado pela estação de recepção, para uma imagem selecionada aleatoriamente, nos resultados obtidos no processo de georreferenciamento dessa imagem. Os resultados obtidos nesse estudo são apresentados nas Figuras 6 e 7. Na Figura 6(b) observa-se que o acréscimo de um segundo ao horário originalmente registrado pela estação durante a recepção da imagem analisada, implicou no aumento do deslocamento de posição obtido originalmente (Figura 6(a)). Com relação à Figura 7(b) observa-se que o decréscimo de um segundo ao horário originalmente registrado pela estação durante a recepção da imagem analisada, acarretou na diminuição do deslocamento de posição originalmente observado Figura 7(a). Com base nos resultados apresentados nas Figuras 6 e 7 pode-se concluir que durante a recepção desta imagem, o horário da estação de recepção estava adiantado em relação ao horário registrado pelo sensor AVHRR/NOAA-14.

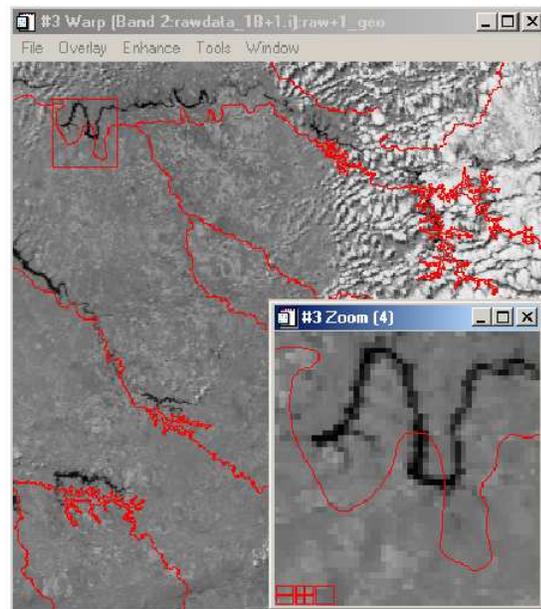
Apesar da grande melhora no resultado do georreferenciamento obtido pela aplicação do método de Triangulação, observa-se, na Figura 5, que ainda há um deslocamento “sistemático” da imagem corrigida quando comparada com a posição de referência representada pelo vetor de rios e limite costeiro.

Como a realização do georreferenciamento das imagens de maneira semi-automática, a partir dos diferentes métodos estudados, não gerou um resultado com a acurácia espacial requerida ao desenvolvimento metodológico do presente trabalho, que envolve a comparação de pixels em posições pré-estabelecidas em imagens consecutivas, foi necessária a realização de um segundo georreferenciamento nas imagens visando eliminar o deslocamento “sistemático” de posição destas apresentado após a realização do georreferenciamento semi-automático.

O segundo georreferenciamento das imagens foi realizado de forma controlada, baseado na seleção de pontos de controle identificáveis com segurança e confiabilidade, tanto nas imagens como no vetor de referência. Esse processo mostrou-se bastante eficiente, pois uma vez sobreposto o vetor às imagens georreferenciadas semi-automaticamente, foi possível, em muitos casos, a seleção de pontos de controle suficientes, em média oito por imagem, mesmo para imagens com elevado grau de cobertura por nuvens.

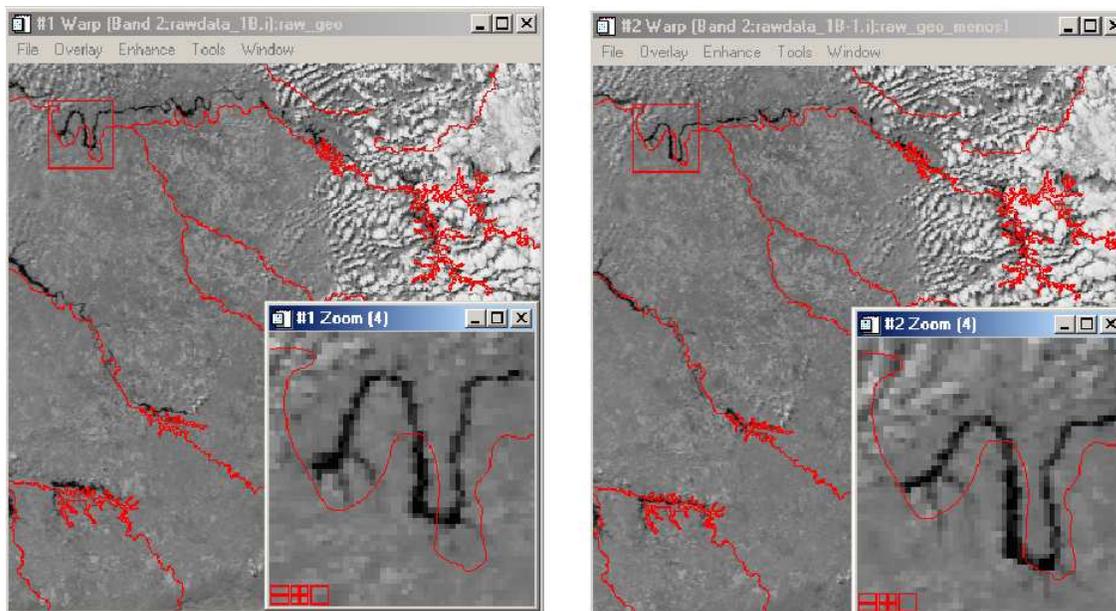


(a)



(b)

Figura 7: (a) Imagem georreferenciada sem alteração do horário original registrado pela estação durante a recepção da imagem; (b) Imagem georreferenciada após a adição de um segundo ao horário original registrado pela estação de recepção.



(a)

(b)

Figura 8: (a) Imagem georreferenciada sem alteração do horário original registrado pela estação durante a recepção da imagem; (b) Imagem georreferenciada após a subtração de um segundo do horário original registrado pela estação de recepção.

#### 4.1.2. Desenvolvimento do programa para processamento de imagens AVHRR/NOAA - (PRIMA)

O programa PRIMA desenvolvido em IDL (Interactive Definition Language) gera informações corrigidas geometricamente e calibradas radiometricamente a partir de imagens AVHRR/NOAA no formato Level-1B. O programa realiza as seguintes operações, conforme ilustra o Fluxograma 2:

- 1-) Georreferenciamento - método Triangulação de Delaunay;  
(O ideal é que se realize um segundo georreferenciamento supervisionado)
- 2-) Calibração radiométrica dos canais 1 e 2 – método detalhado no tópico 2.5.2.1.;
- 3-) Calibração radiométrica dos canais 4 e 5 – método detalhado no tópico 2.5.2.2.;
- 4-) Correção atmosférica a partir dos canais 4 e 5 – método detalhado no tópico 2.5.3.1.;

5-) Obtenção dos índices de vegetação *Ratio* e *NDVI* – conforme Equações descritas no tópico 2.2.

Para a utilização do programa PRIMA são requeridas as seguintes variáveis de entrada (vide Fluxograma 2 na página 35):

- a) Imagem AVHRR/NOAA formato Level-1B;
- b) Arquivo contendo os coeficientes Ganho e Intercepto, necessários à calibração radiométrica dos canais 4 e 5 (vide item 2.5.2.2.), gerado durante o processo de conversão das imagens para o formato Level-1B;
- c) Atualização dos coeficientes de Declinação e Intercepto no corpo de programa, necessários à calibração radiométrica dos canais 1 e 2 (vide item 2.5.2.1.), disponibilizados mensalmente na Internet no sítio da NOAA (*NOAASIS*) (<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/n14update.html>);
- d) Informar o dia do ano correspondente à imagem, informação necessária para a obtenção do fator de correção da distância Terra-Sol (vide item 2.5.2.1.), o qual é utilizado para a calibração radiométrica dos canais 1 e 2.

O programa PRIMA realiza as operações apresentadas anteriormente, tanto para uma imagem, apenas, assim como também para um série de imagens. Para tanto, o(s) arquivo(s) relativo(s) a essa(s), deve(m) ser organizado(s) e nomeado(s) em uma pasta/diretório criada, conforme instruções que são encontradas no início do corpo de programa.

Esse programa gera os seguintes resultados (vide Fluxograma 2):

Abrangendo a área coberta pela imagem Level-1B (variável de entrada):

- Imagem georreferenciada, contendo as bandas 1, 2, 4 e 5

Abrangendo o Estado de São Paulo:

- Imagem georreferenciada, contendo as bandas 1, 2, 4 e 5
- Imagens dos Fatores de Reflectância *FR1* e *FR2* aparente (relativas aos canais 1 e 2, respectivamente)
- Imagens das Temperaturas de Brilho *TB4* e *TB5* (relativas aos canais 4 e 5, respectivamente)
- Imagem da Temperatura de Superfície *TS* (com correção atmosférica a partir das imagens *TB4* e *TB5*)
- Imagem *Ratio*

- Imagem do *NDVI*
- Figuras das imagens citadas anteriormente no formato JPEG, abrangendo o Estado de São Paulo, contendo a sobreposição de Limite Político Estadual e de Grade Geográfica.

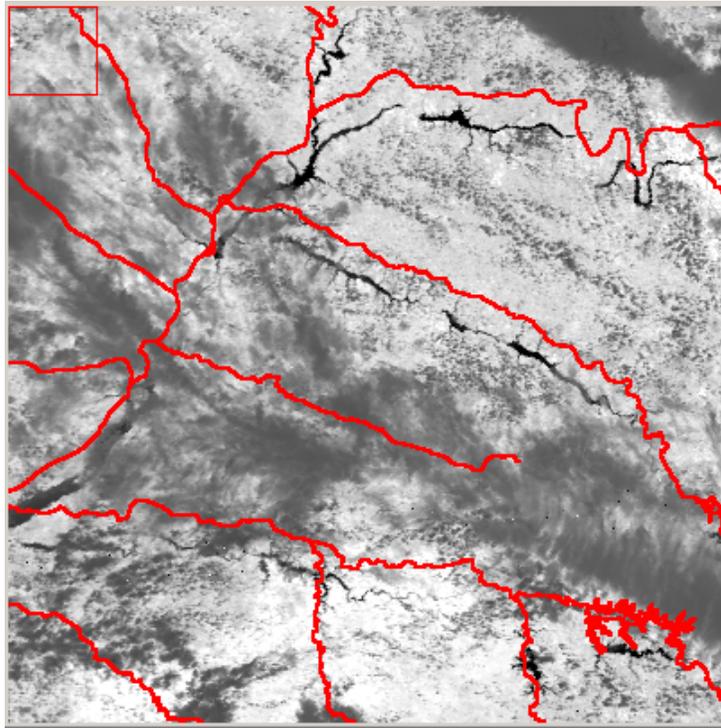


Figura 9: Parte da imagem do NDVI gerada pelo programa PRIMA com sobreposição de rios.

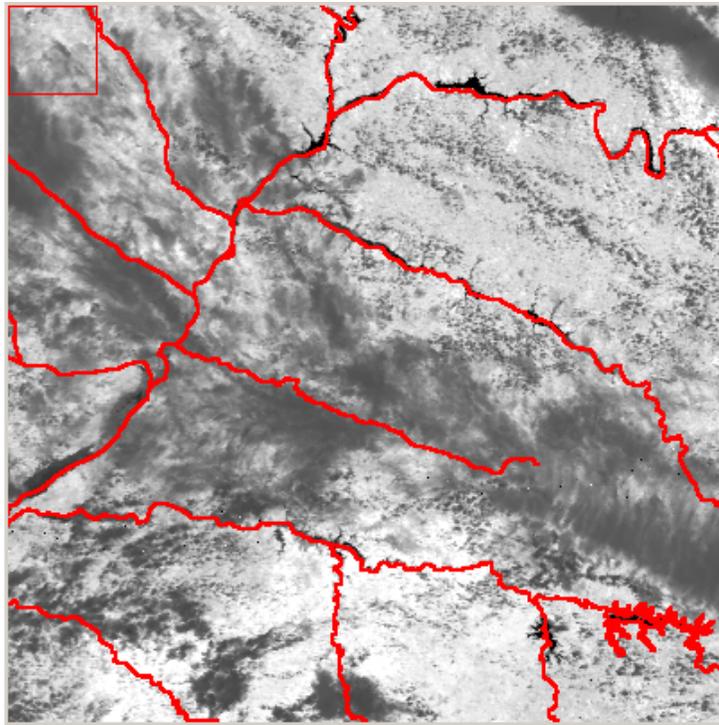


Figura 10: Parte da imagem do NDVI gerada pelo programa PRIMA, após segundo georreferenciamento com sobreposição de rios.

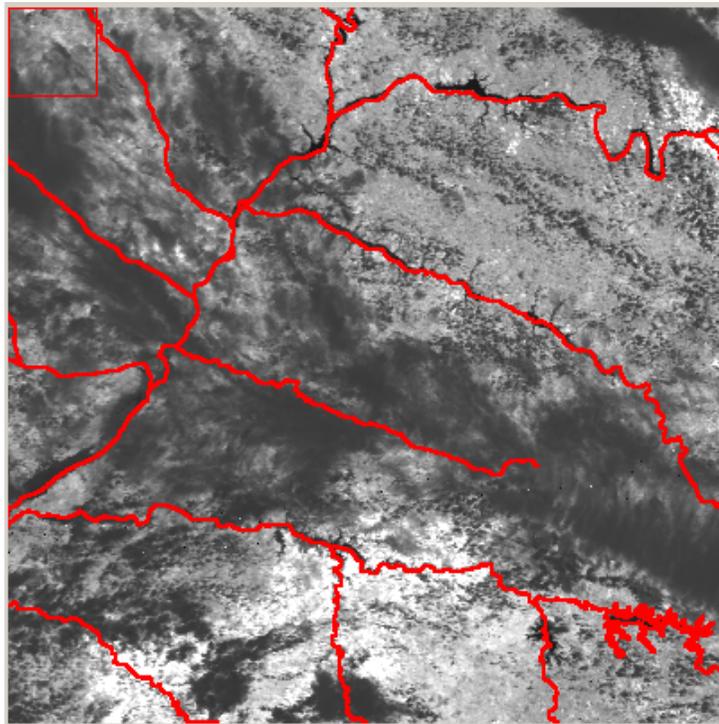


Figura 11: Parte da imagem do Ratio gerada pelo programa PRIMA, após segundo georreferenciamento com sobreposição de rios.

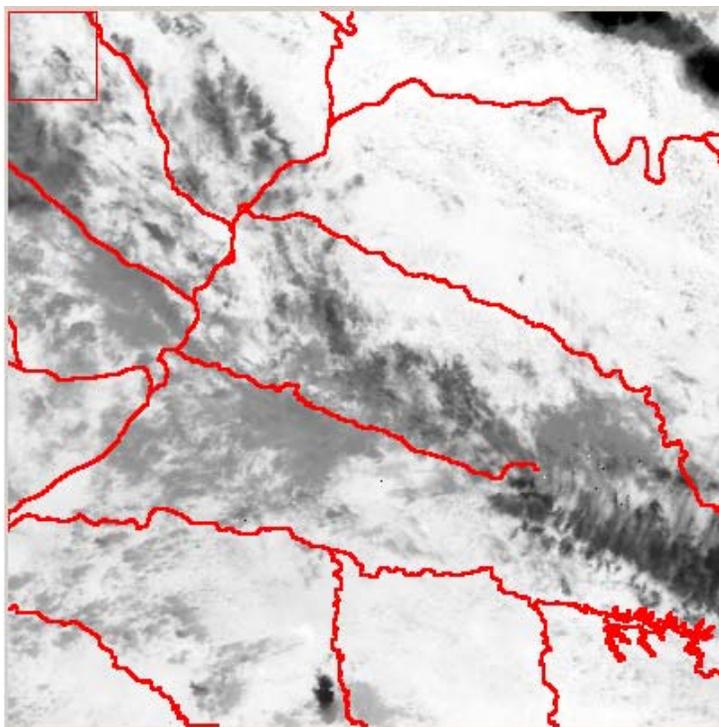
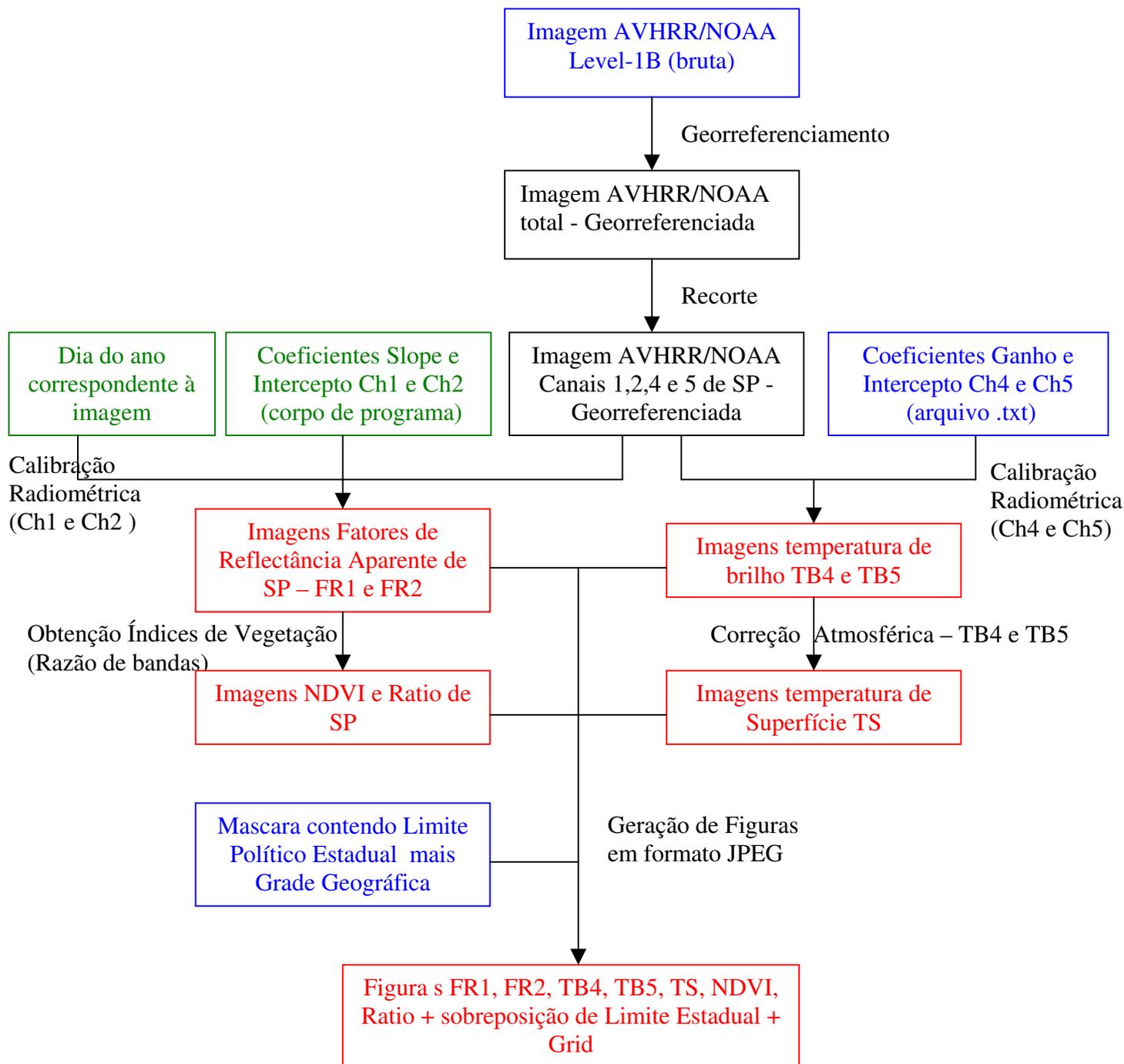


Figura 12: Parte da imagem Temperatura de Brilho (Ch4) gerada pelo programa PRIMA, após segundo georreferenciamento com sobreposição de rios.

Fluxograma 2: Etapas de execução do programa de processamento de imagens AVHRR/NOAA (PRIMA).



Variáveis de entrada informadas pelo usuário

Variáveis de entrada capturadas pelo programa (arquivos)

Resultados (arquivos) gerados pelo programa: imagens e Figuras

## 4.2. Estudo de um Método de Monitoramento de Estiagem

### 4.2.1. Plotagem dos registros de precipitação e dos dados espectrais

Nos gráficos das Figuras 13 a 32, representativos das estações meteorológicas de Buritama, Taquarituba, Pedrinhas Paulista, Paraguaçu Paulista e Manduri, pode se verificar o comportamento dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  e também dos índices  $NDVI$  e  $Ratio$ . Esses parâmetros foram obtidos a partir de imagens AVHRR/NOAA-14 de seis a nove datas durante o mês de fevereiro de 1999. Além dessa informação, são encontrados os registros diários de precipitação em mm.

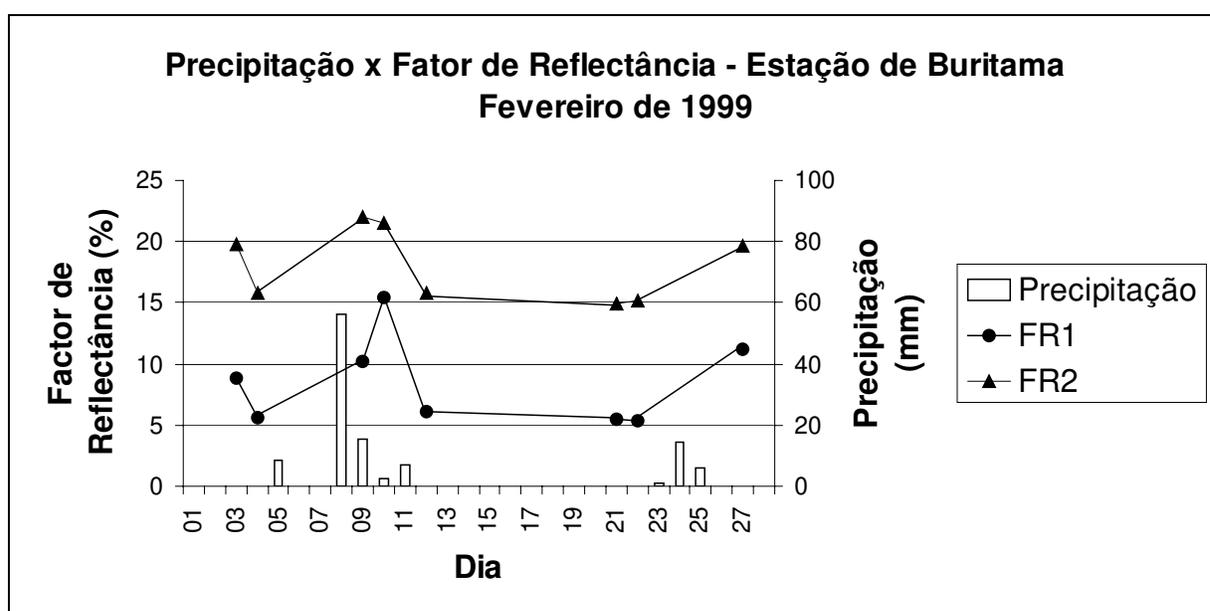


Figura 13: Precipitação e evolução dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Buritama.

Observa-se, na Figura 13, que as precipitações ocorridas nos dias 5, 8 e 9 foram acompanhadas pela elevação dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$ , verificada entre os dias 3 e 9, e também entre os dias 9 e 10. Assim também, as precipitações dos dias 24 e 25 foram acompanhadas pela elevação dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$ , verificada entre os dias 22 e 27. Entre os dias 12 ao 22, observa-se que não houve ocorrência de precipitações e que os fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  permaneceram praticamente inalterados.

A área ao redor da estação de Buritama, considerando-se um raio de 2km, estava ocupada pelos cultivos de seringueira e de citrus.

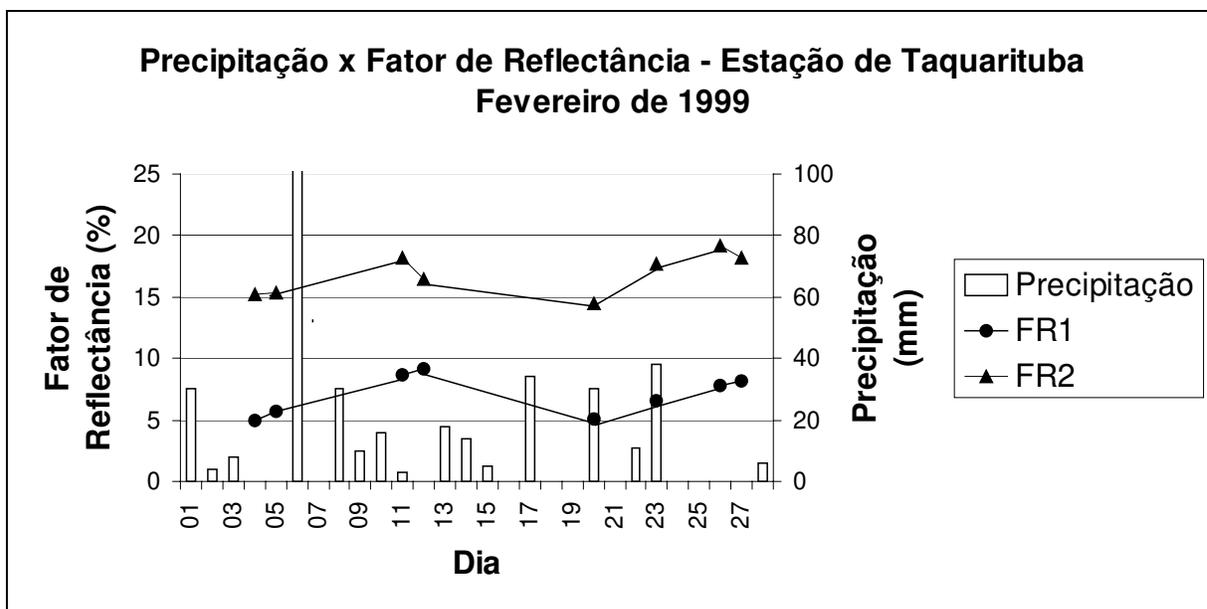


Figura 14: Precipitação e evolução dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Taquarituba.

Na Figura 14 verifica-se que as precipitações ocorridas nos dias 6, 8, 9 e 10 foram acompanhadas pela elevação nos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$ , verificada entre os dias 5 e 11, e também entre os dias 11 e 12. Desse mesmo modo, as precipitações dos dias 20, 22 e 23 foram acompanhadas pela elevação dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$ , verificada entre os dias 20 e 23, e também entre os dias 23 e 25. Por outro lado, as precipitações ocorridas nos dias 13, 14 e 17 foram acompanhadas pela diminuição dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  registrados entre os dias 12 e 20, contrariamente ao comportamento observado para a Estação de Buritama e também desta, entre os dias 5 e 12 e entre os dias 20 e 23.

A área ao redor da estação de Taquarituba, considerando-se um raio de 2km, havia sido recém-semeada com milho safrinha. Atribui-se o comportamento dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  verificado entre os dias 12 e 20 à precipitação registrada no dia 20. Supõe-se que essa precipitação tenha se distribuído de forma a proporcionar um grande aumento da umidade da superfície recém semeada com milho. Como a imagem do dia 20 foi gerada após a ocorrência da precipitação registrada nesse dia, os baixos valores dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  registrados refletem a presença da alta umidade superficial influenciados pelo comportamento espectral do solo úmido.

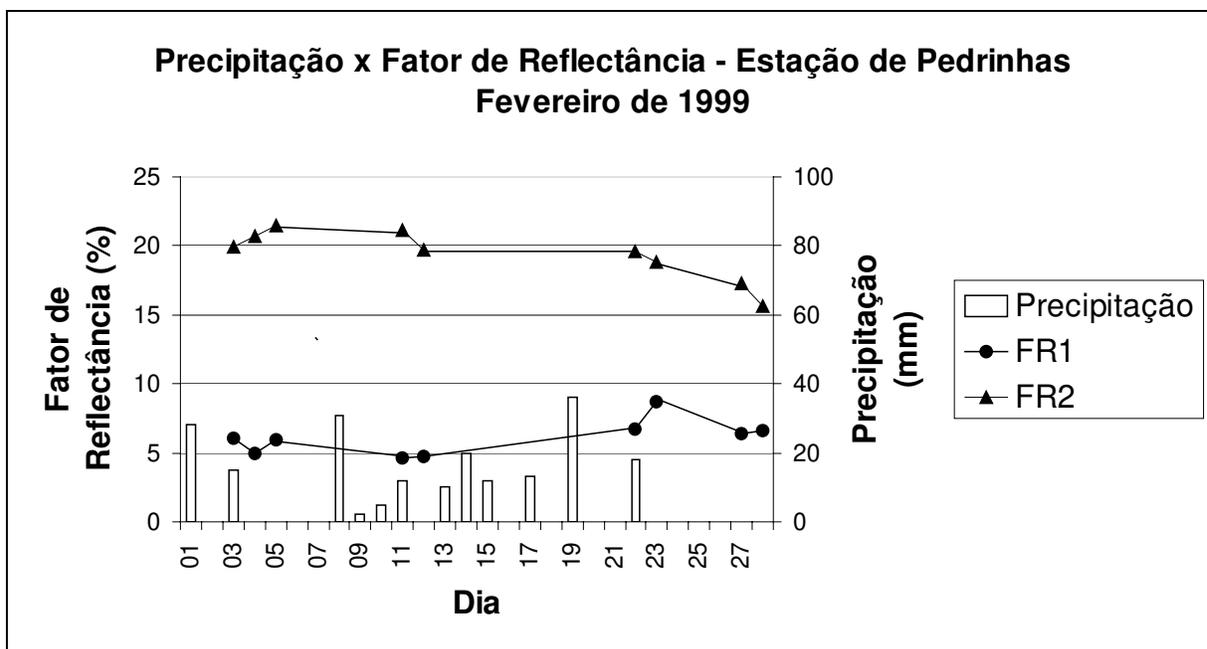


Figura 15: Precipitação e evolução dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Pedrinhas.

Observa-se na Figura 15 que as precipitações ocorridas nos dias 13, 14, 15, 17 e 19 foram acompanhadas pela elevação do fator de reflectância  $FR_1$  verificada entre os dias 12 e 22 e também entre os dias 22 e 23. O fator de reflectância  $FR_2$  não foi sensível à ocorrência dessas mesmas precipitações, diferentemente do que se observou anteriormente para as estações de Buritama e de Taquarituba (Figuras 13 e 14).

As precipitações ocorridas nos dias 8, 10 e 11 foram acompanhadas pelos fatores de reflectância entre os dias 5 e 11, da mesma forma que ocorreu para a Estação de Taquarituba entre os dias 12 e 20, e diferentemente do que se observou em todos os outros períodos estudados envolvendo as Estações de Buritama, de Taquarituba (exceto entre os dias 12 e 20), e também de Pedrinhas, exceto entre os dias 5 e 11. Ou seja, as precipitações citadas foram acompanhadas pela diminuição dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  observada entre os dias 5 e 11, sendo que o  $FR_2$  apresentou uma variação muito pequena nesse período, assim como também no período entre os dias 12 e 22.

A área ao redor da estação de Pedrinhas, considerando-se um raio de 2km, estava ocupada pelos cultivos de soja em final de ciclo. Em decorrência da precipitação registrada no dia 11, supõe-se que a diminuição dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$ , verificada entre os

dias 5 e 11, reflitam a alta umidade da superfície cultivada com soja em final de ciclo, influenciados pelo comportamento espectral do solo úmido.

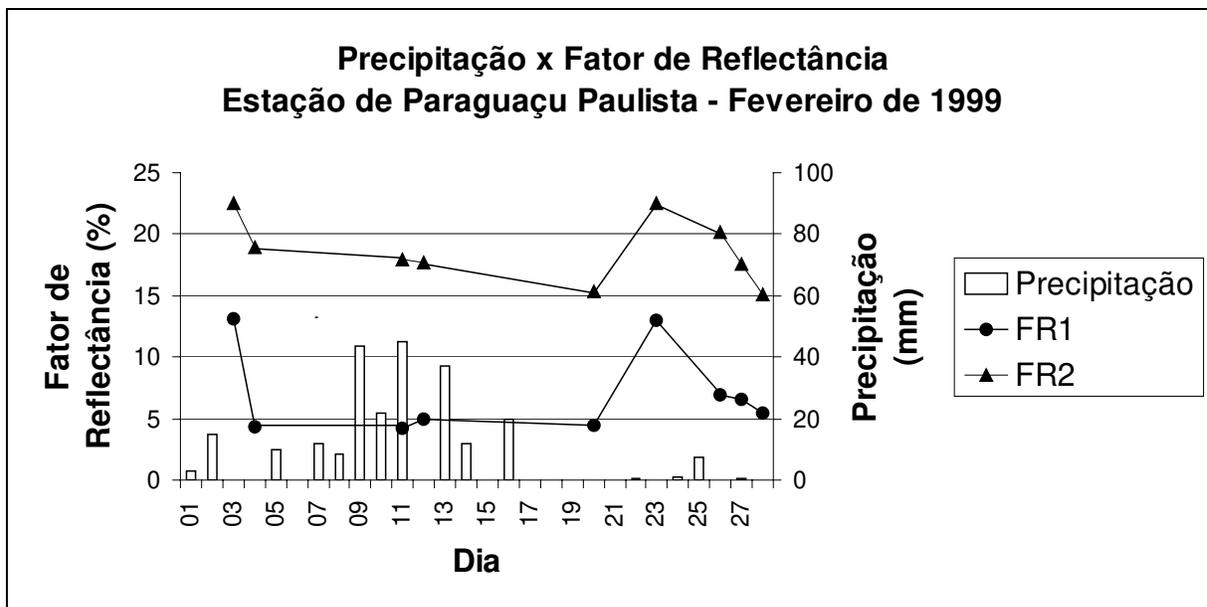


Figura 16: Precipitação e evolução dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Paraguaçu Paulista.

Na Figura 16, verifica-se que as precipitações ocorridas nos dias 5, 7, 8, 9 e 11 foram acompanhadas da diminuição do  $FR_1$  observada entre os dias 4 e 11, assim como as precipitações ocorridas nos dias 13, 14 e 16, foram acompanhadas da diminuição dos  $FR_1$  e  $FR_2$  observada entre os dias 12 e 20. Este comportamento é semelhante ao observado para a Estação de Taquarituba, entre os dias 12 e 20, e também para a Estação de Pedrinhas entre os dias 11 e 22. Para a Estação de Paraguaçu Paulista, o  $FR_1$  não foi sensível à ocorrência das precipitações registradas entre os dias 4 e 11. A área ao redor da estação de Paraguaçu Paulista, considerando-se um raio de 2km, estava ocupada pelos cultivos de cana e soja (final de ciclo) (BRUNINI, 2003). Atribui-se o comportamento observado à interferência da resposta espectral da superfície cultivada com cana em fase de alto vigor vegetativo, sensibilizando muito mais o fator de reflectância  $FR_2$  que o  $FR_1$ . A partir do dia 20, considerando a ocorrência apenas de pequenas precipitações registradas nos dias 24 e 25, os fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  oscilaram consideravelmente até o dia 28. Suspeita-se ter havido erro no registro de precipitação do dia 22, pois neste dia houve registro de ocorrência de uma

considerável precipitação na Estação de Pedrinhas localizada muito próxima da estação de Paraguaçu Paulista.

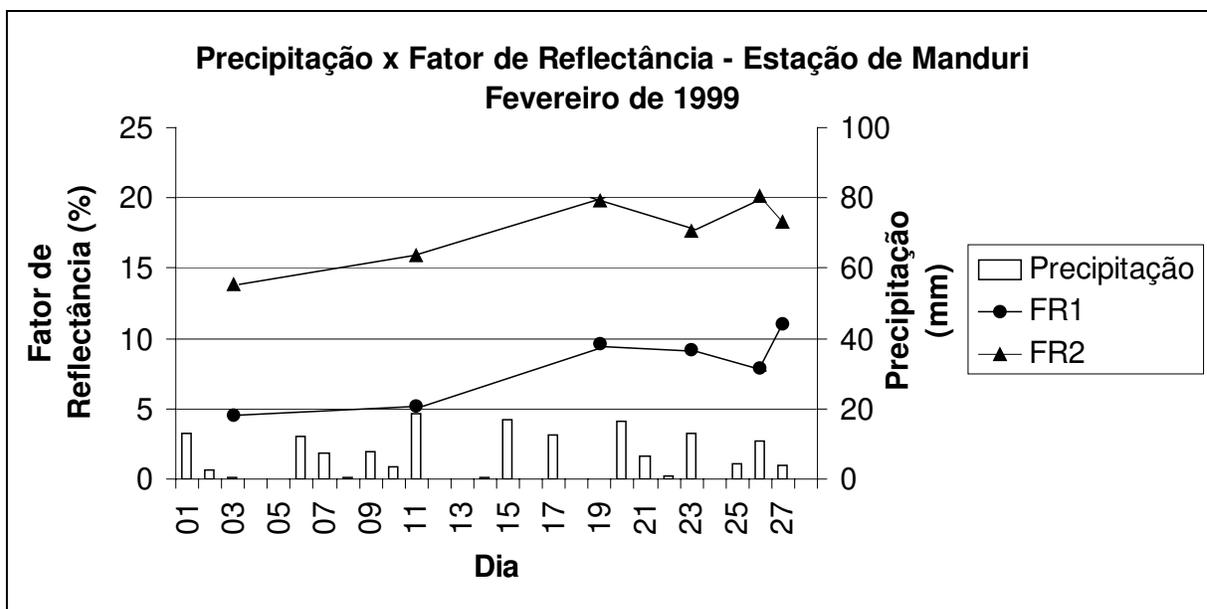


Figura 17: Precipitação e evolução dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Manduri.

Na Figura 17 pode ser verificado que as precipitações ocorridas nos dias 6, 7, 9, 10 e 11 foram acompanhadas pela elevação dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  observada entre os dias 3 e 11, assim como as precipitações ocorridas nos dias 15 e 17 foram acompanhadas da elevação de  $FR_1$  e  $FR_2$ , observada entre os dias 11 e 19. Por outro lado, as precipitações ocorridas entre os dias 19 e 23 foram acompanhadas da diminuição de  $FR_1$  e  $FR_2$ . Já, as precipitações registradas nos dias 23 e 26 foram acompanhadas da diminuição do  $FR_1$  e aumento do  $FR_2$ . As precipitações registradas entre os dias 26 e 27 foram acompanhadas do aumento do  $FR_1$  e diminuição do  $FR_2$ , contrariamente ao que ocorreu entre os dias 23 e 26. Infelizmente não se conseguiu informações acerca do tipo de cultivo da área ao redor da estação de Manduri, o que impediu uma discussão mais complexa das situações aí encontradas.

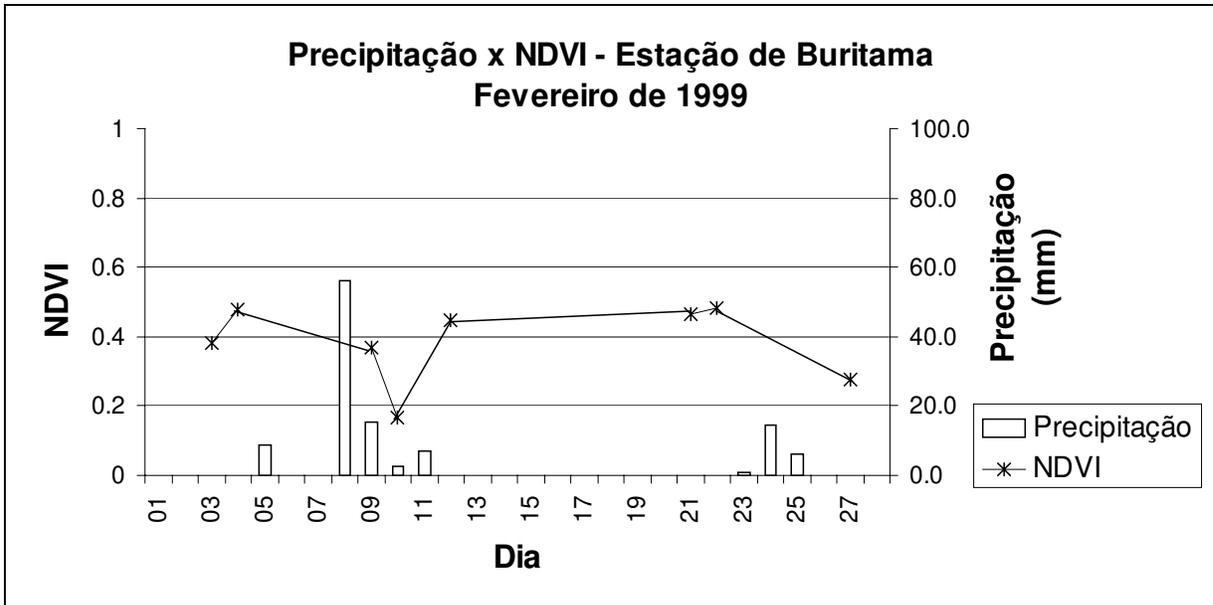


Figura 18: Precipitação e evolução do *NDVI*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Buritama.

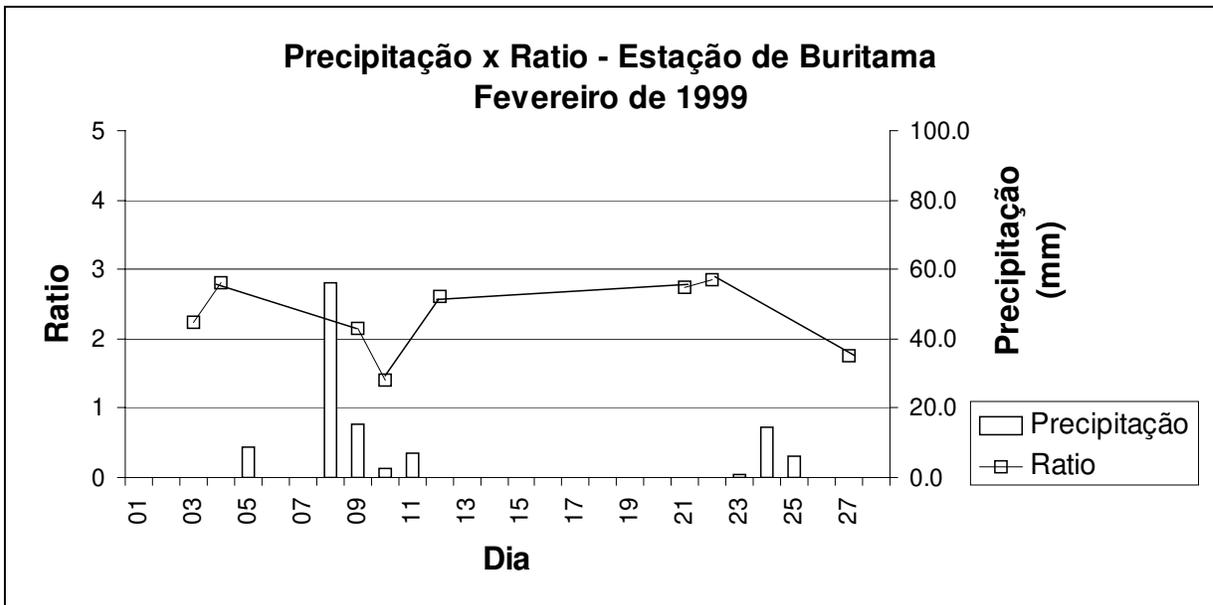


Figura 19: Precipitação e evolução do *NDVI* no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Buritama.

Como consequência do que se observou para os fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  nas Figuras 18 e 19, a ocorrência de precipitações nos dias 5, 8 e 9 foram acompanhadas da diminuição dos valores dos índices *NDVI* e *Ratio*, verificada entre os dias 3 e 9 e também entre os dias 9 e 10. Assim também, as precipitações ocorridas nos dias 24 e 25 foram

acompanhadas da diminuição desses índices verificada entre os dias 22 e 27. Entre os dias 12 e 22 houve ausência de precipitações e os índices *NDVI* e *Ratio* permaneceram praticamente inalterados.

Considerando-se um valor de *Ratio* de 3 e um valor de *NDVI* de 0,5 verifica-se que a ocorrência das precipitações provocou uma rápida diminuição no valor destes índices e um retorno, também rápido, a tais valores limites. Ou seja, o *NDVI* e o *Ratio* responderam rapidamente à precipitação ocorrida, principalmente as de maior quantidade, registradas nos dias 8 e 9, mas retornaram rapidamente aos valores anteriores aos das precipitações.

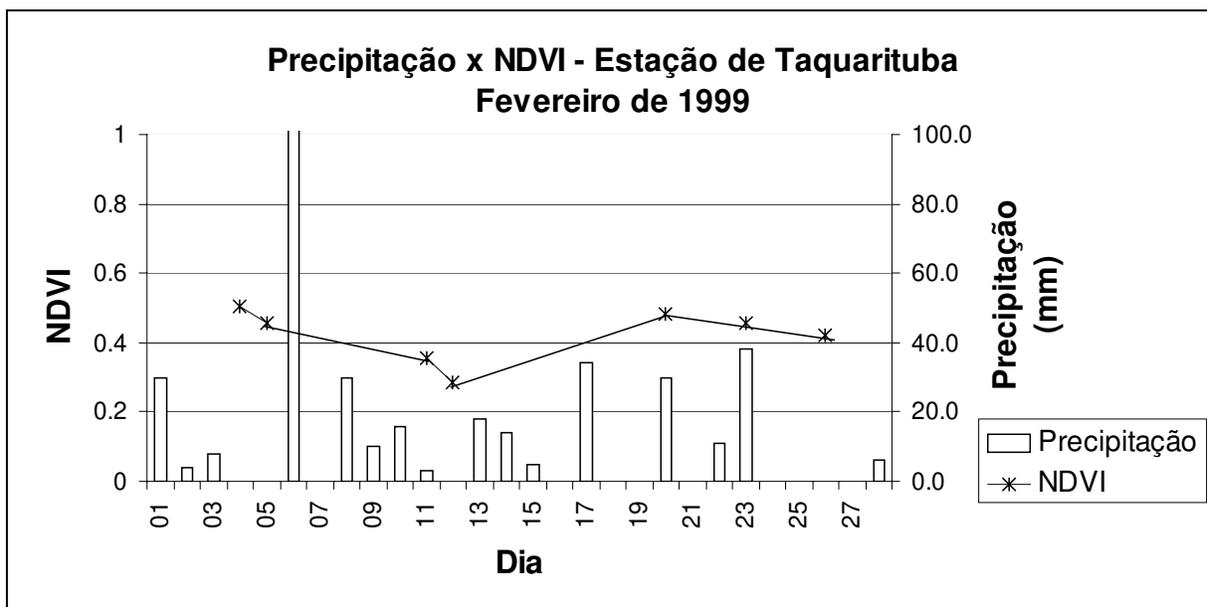


Figura 20: Precipitação e evolução do *NDVI* no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Taquarituba.

No caso das Figuras 20 e 21, pode ser observado que a ocorrência de precipitações nos dias 6, 8, 9 e 10 foram acompanhadas da diminuição dos índices *NDVI* e *Ratio* verificada entre os dias 5 e 11, e também entre os dias 11 e 12. Do mesmo modo, as precipitações registradas nos dias 20, 22 e 23 foram acompanhadas da diminuição desses índices obtidos nos dias 20 e 23, e também entre os dias 23 e 26. No caso das precipitações ocorridas nos dias 13, 14, 15 e 17 não é possível fazer uma análise mais detalhada, pois não havia pelo menos uma imagem adequada no período.

Entretanto, o valor do *NDVI* e do *Ratio* no dia 20 indica que a resposta destes índices à precipitação deve ser rápida. Observou-se uma diminuição no valor dos fatores de

reflectância *FRI* e *FR2* obtidos a partir da imagem do dia 20 em relação às imagens do dia anterior (12) e posterior (23) a ela. Atribui-se este decréscimo à precipitação registrada no dia 20 que foi anterior ao horário de aquisição da imagem pelo NOAA-14 e que devido ao aumento da umidade superficial alterou o comportamento espectral da área de interesse. Sabe-se que a área ao redor da estação de Taquarituba, considerando-se um raio de 2km, havia sido recém-semeada com milho.

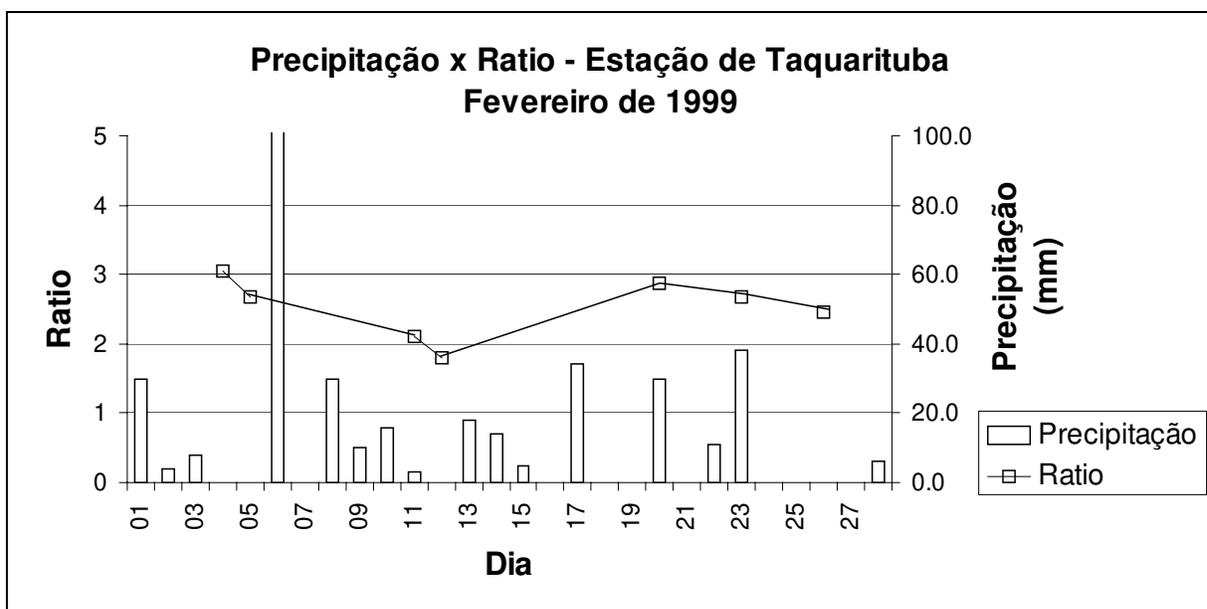


Figura 21: Precipitação e evolução do *Ratio* no mês de fevereiro de 1999 para a estação de Taquarituba.

Já nas Figuras 22 e 23, verifica-se que as precipitações ocorridas nos dias 13, 14, 15, 17 e 19 foram acompanhadas da diminuição dos índices *NDVI* e *Ratio* verificada entre os dias 12 e 22. Como consequência do que se observou para os fatores de reflectância, as precipitações ocorridas nos dias 8, 10 e 11 foram acompanhadas por alterações nos índices *NDVI* (Figura 20) e *Ratio* (Figura 21) entre os dias 5 e 11, da mesma forma que ocorreu para a Estação de Taquarituba entre os dias 12 e 20, e diferentemente do que se observou em todos os outros períodos estudados envolvendo as Estações de Buritama, Taquarituba (exceto entre os dias 12 e 20) e Pedrinhas (exceto entre os dias 5 e 11). Ou seja, as precipitações citadas foram acompanhadas da elevação desses índices observada entre os dias 5 e 11. Além disso, a partir do dia 22, observa-se que os índices *NDVI* e *Ratio* variaram entre os dias 23 e 27, apesar da ausência de precipitações. Atribui-se esse comportamento à elevação da umidade superficial,

em decorrência da precipitação registrada no dia 11. Essa precipitação foi acompanhada da diminuição maior do fator de reflectância  $FR_1$  em relação ao  $FR_2$ , influenciado pelo comportamento espectral do solo, acarretando no aumento dos índices *Ratio* e *NDVI*, conforme verificado no período.

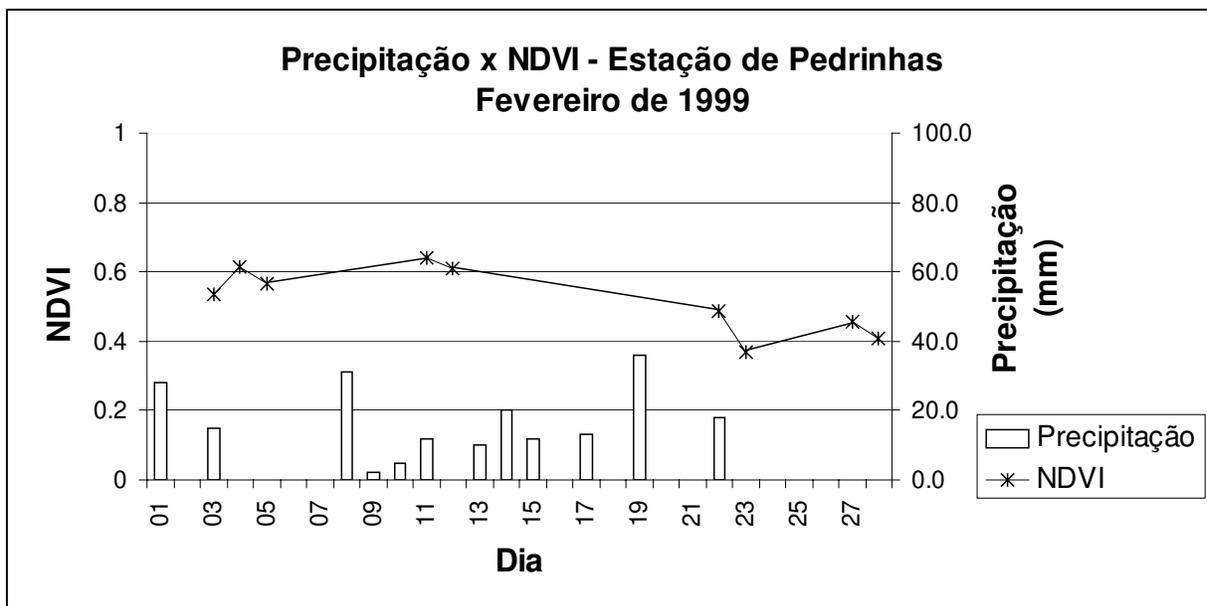


Figura 22: Precipitação e evolução do *NDVI*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Pedrinhas.

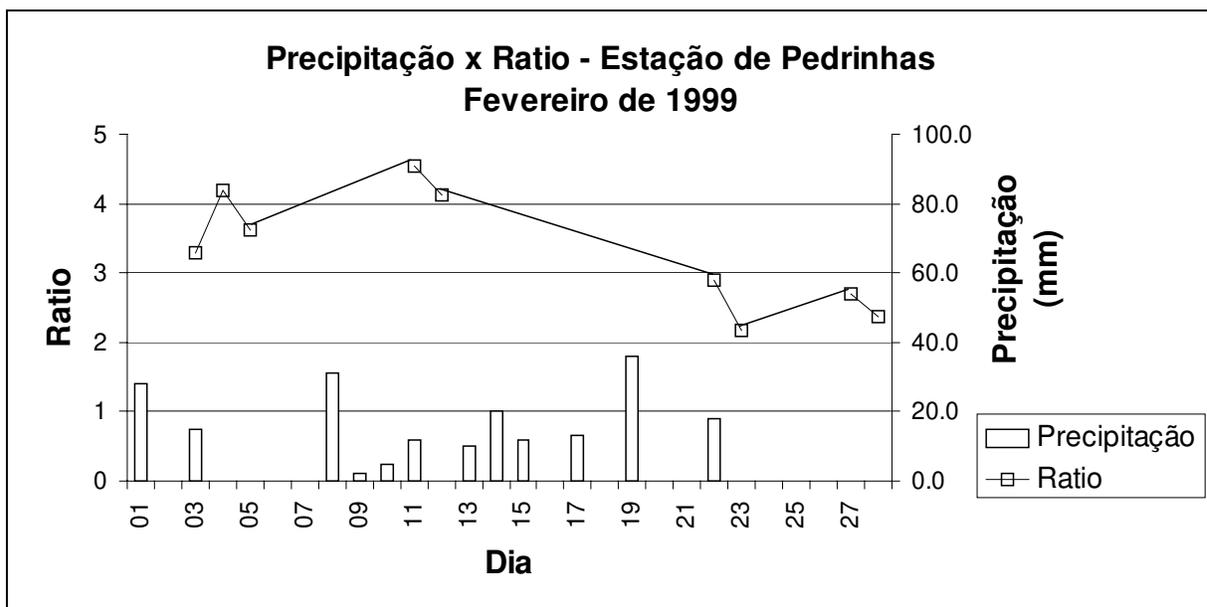


Figura 23: Precipitação e evolução do *Ratio*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Pedrinhas.

Analisando-se as Figuras 8 e 9, verifica-se que as precipitações ocorridas nos dias 13, 14, 15, 17 e 19 foram acompanhadas da diminuição dos índices *NDVI* e *Ratio* obtidos nos dias 12 e 22. A ausência de chuvas após o dia 22 é acompanhada por uma recuperação nos valores dos índices considerados. Os índices não responderam às chuvas registradas entre os dias 8 e 11. Observou-se uma oscilação maior dos valores dos índices que nas duas estações anteriores analisadas. A área ao redor da estação de Pedrinhas Paulista, considerando-se um raio de 2km, estava ocupada por cultivos de soja em final de ciclo.

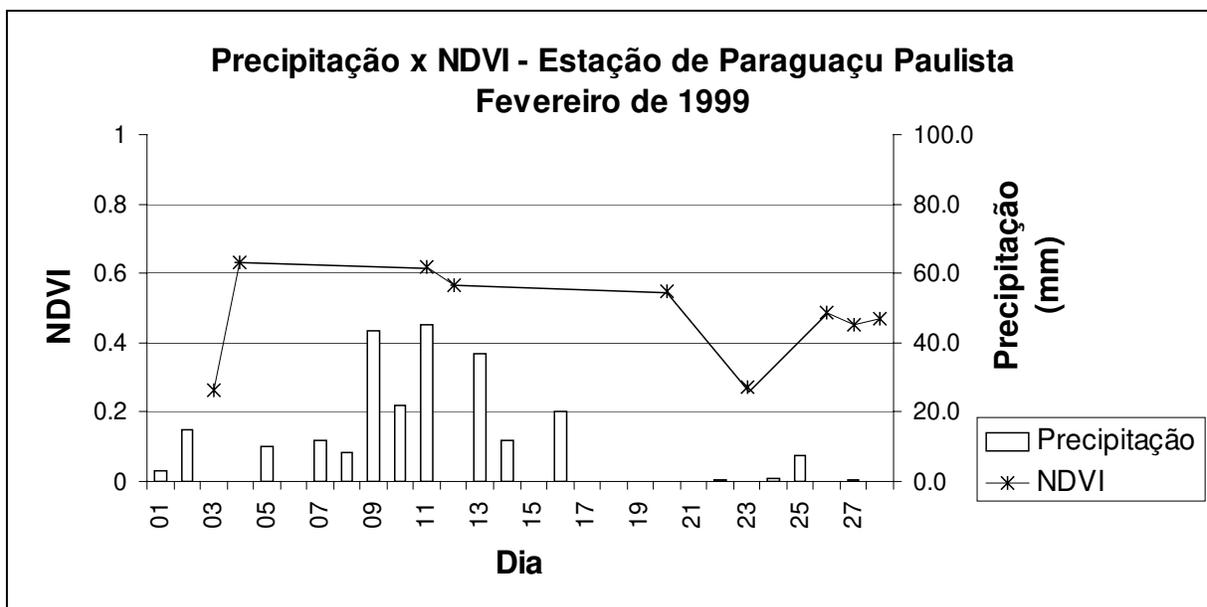


Figura 24: Precipitação e evolução do *NDVI*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Paraguaçu Paulista.

Além disso, a partir do dia 20 até o dia 28, apesar do registro de pequenas precipitações nos dias 24 e 25, os índices *NDVI* e *Ratio* oscilaram consideravelmente, refletindo o que foi observado para os *FR1* e *FR2* (Figura 25) nesse mesmo período.

Como consequência da variação bastante similar dos *FR1* e *FR2* entre os dias 3 e 11, como se observa na Figura 29, verifica-se, nas Figuras 30 e 31, que as precipitações registradas nesse período não sensibilizaram os índices *Ratio* e *NDVI*, os quais permaneceram inalterados. Por outro lado, as precipitações registradas entre os dias 11 e 19 foram acompanhadas da diminuição dos índices nesse período, assim como as precipitações ocorridas entre os dias 19 e 23 foram acompanhadas da diminuição dos índices entre esses dias. Já as precipitações ocorridas entre os dias 23 e 26 foram acompanhadas do aumento dos índices nesse período, e as precipitações ocorridas entre os dias 26 e 27 foram acompanhadas

da diminuição do *NDVI* e do *Ratio*, refletindo o comportamento dos  $FR_1$  e  $FR_2$  observado nesses períodos.

Observa-se uma tendência de decréscimo constante dos índices considerados com intensificação após a ocorrência de chuvas, como no dia 12 e 27, por exemplo. Este decréscimo deve estar associado ao tipo de ocupação ao redor da estação que era de soja em final de ciclo e cana-de-açúcar. O decréscimo observado no dia 23 pode estar associado a chuvas ocorridas no dia 19, pois embora não haja registro de precipitações na estação de Paraguaçu Paulista, houve registro em Pedrinhas Paulista que está localizada próximo a ela.

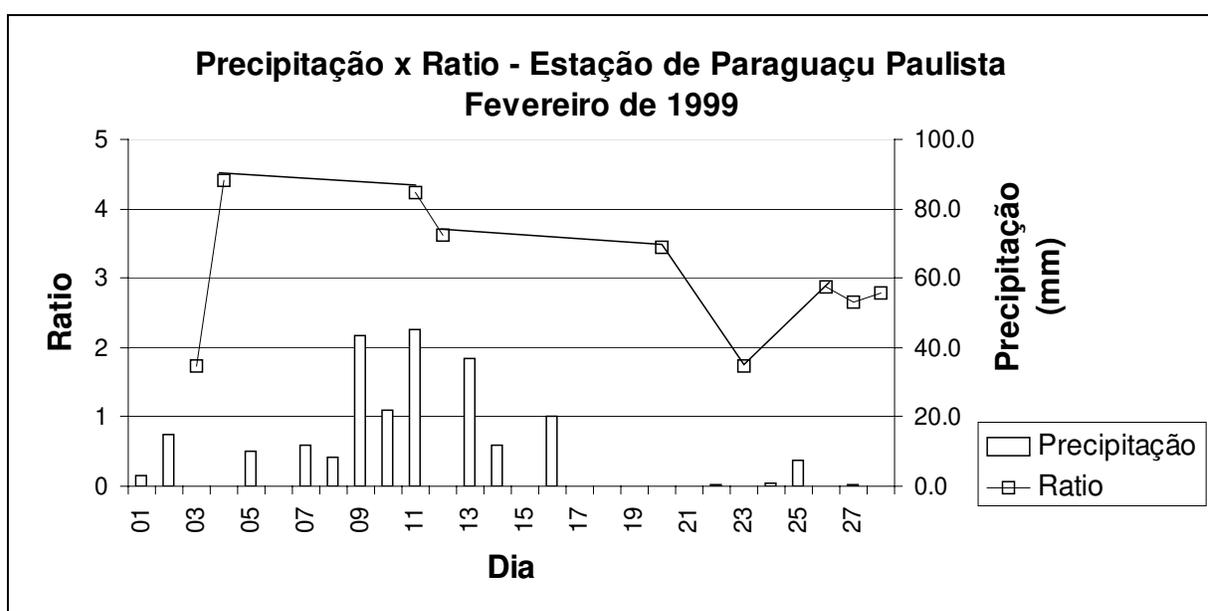


Figura 25: Precipitação e evolução do *Ratio*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Paraguaçu Paulista.

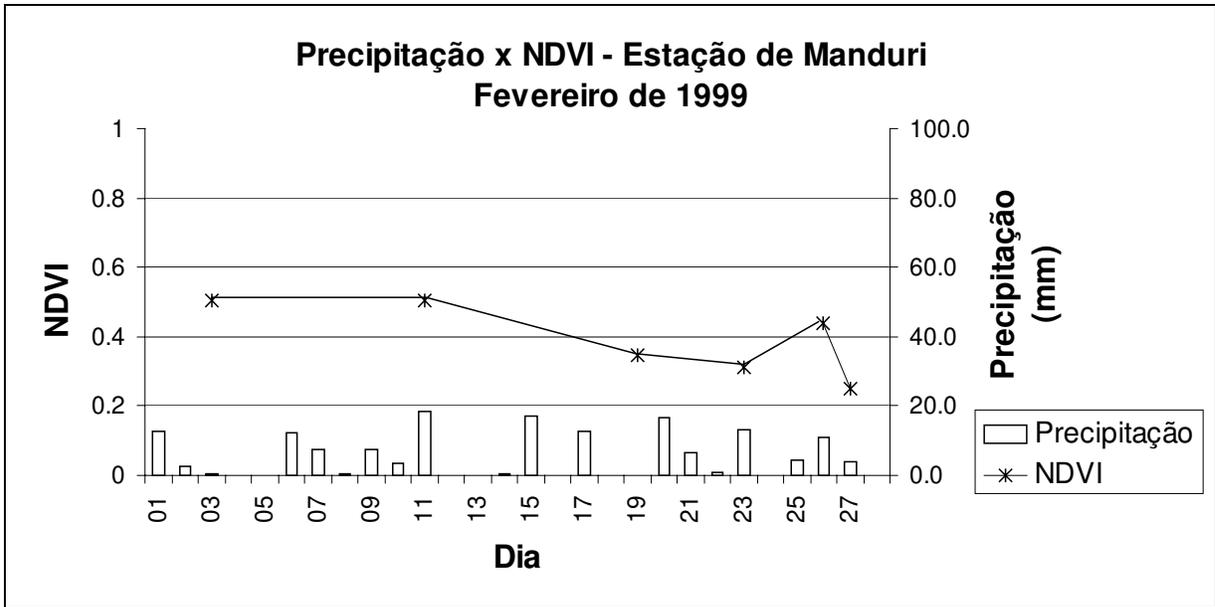


Figura 26: Precipitação e evolução do *NDVI*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Manduri.

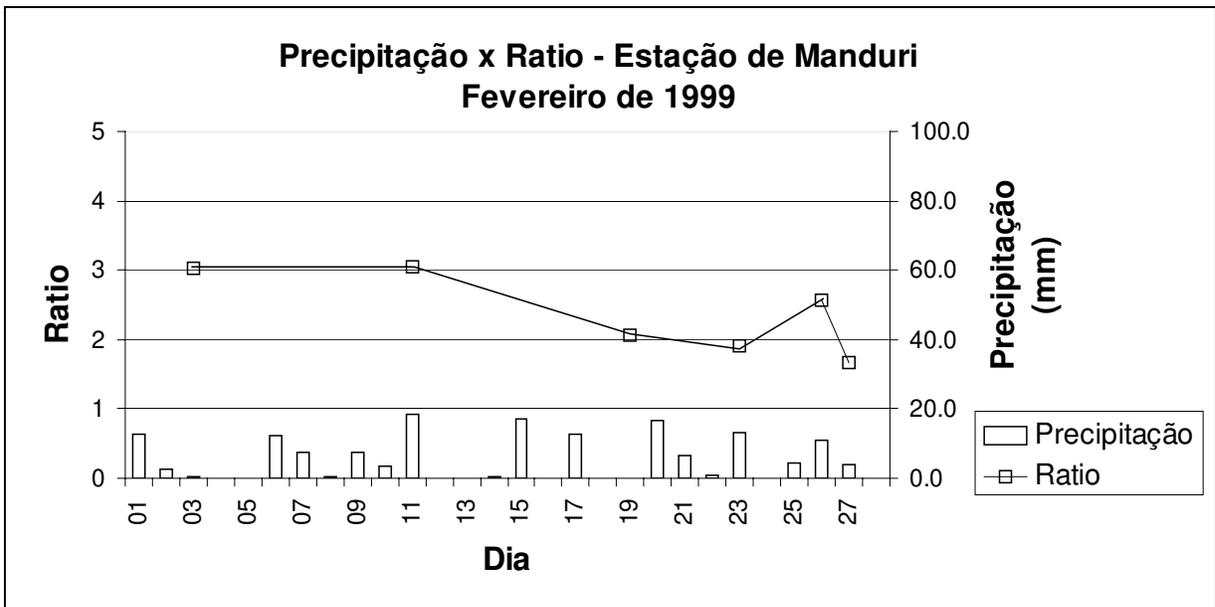


Figura 27: Precipitação e evolução do *Ratio*, no mês de fevereiro de 1999, para a estação de Manduri.

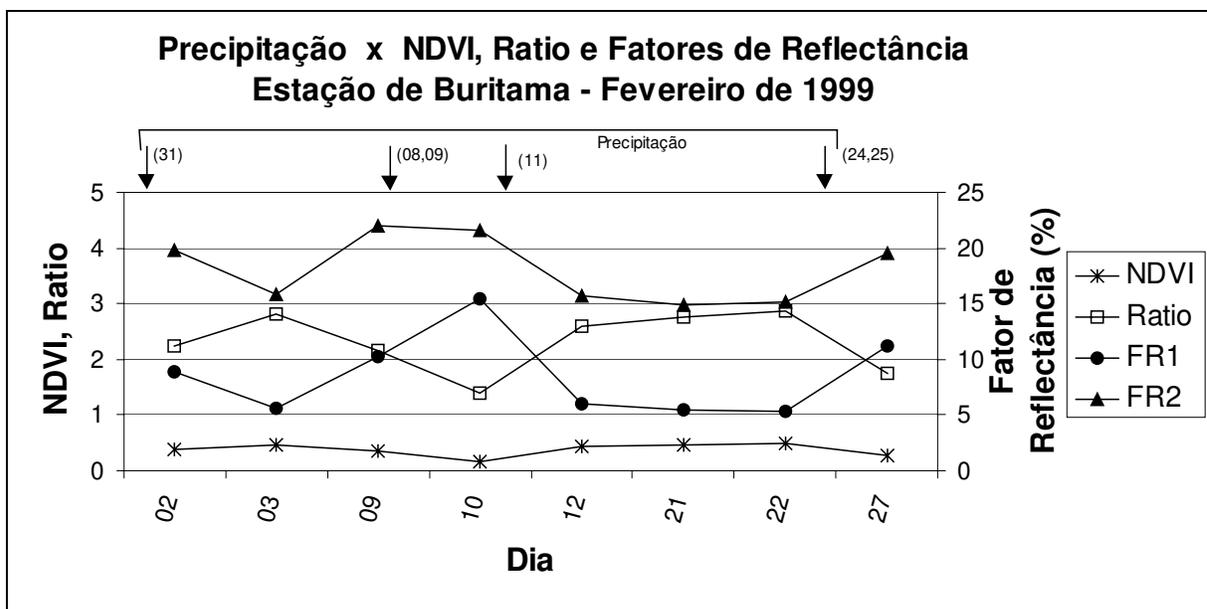


Figura 28: Sensibilidade dos índices *NDVI* e *Ratio*, e também dos fatores de reflectância *FR<sub>1</sub>* e *FR<sub>2</sub>*, no acompanhamento da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Buritama.

Verifica-se na Figura 28, pela evolução dos fatores de reflectância *FR<sub>1</sub>* e *FR<sub>2</sub>* ao longo do período estudado, que a banda 1 mostrou-se mais sensível às precipitações ocorridas que a banda 2. Quanto aos índices *NDVI* e *Ratio*, uma vez considerados na mesma escala conforme a Figura 28, o *Ratio* mostrou-se mais sensível às precipitações ocorridas.

As conclusões anteriores acerca da sensibilidade das bandas e dos índices podem ser atestadas analisando as alterações registradas entre os dias 9 e 10 devidas às precipitações ocorridas nos dias 8 e 9, com aumento no caso das bandas, maior para a banda 1 que para a 2 e diminuição no caso dos índices, maior para o *Ratio* do que para o *NDVI*. Assim também, analisando as alterações registradas entre os dias 22 e 27 devidas às precipitações ocorridas nos dias 24 e 25, teve-se aumento no caso das bandas, maior para a banda 1 do que para a 2, e diminuição no caso dos índices, maior para o *Ratio* do que para o *NDVI*.

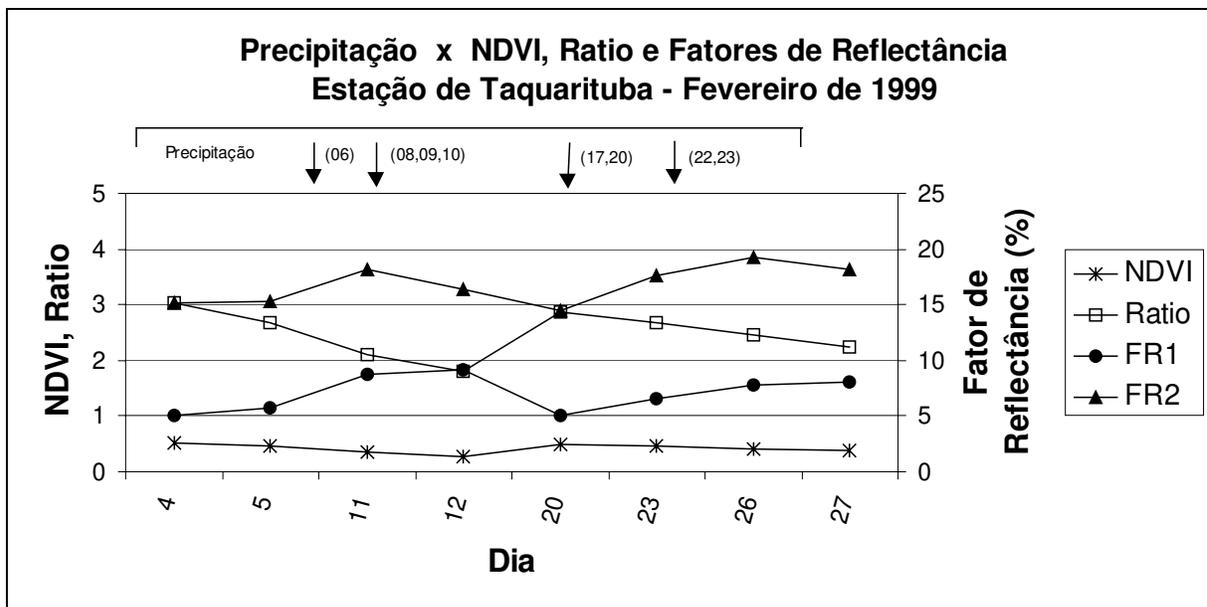


Figura 29: Sensibilidade dos índices *NDVI* e *Ratio* e dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  no acompanhamento da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Taquarituba.

Já na Figura 29, verifica-se um comportamento em parte diferente no que se refere às das bandas das situações estudadas para a estação de Buritama. Nesse caso, os registros das bandas entre os dias 23 e 26 indicaram que a banda 2 mostrou-se ligeiramente mais sensível às precipitações ocorridas nos dias 22 e 23, assim como os registros das bandas entre os dias 11 e 12 também indicaram que a banda 2 se mostrou ligeiramente mais sensível às precipitações ocorridas nos dias 8, 9 e 10. Porém, os registros das bandas entre os dias 5 e 11, acompanhando as precipitações ocorridas nos dias 6, 8, 9 e 10, indicaram a banda 1, ainda que ligeiramente, como mais sensível a influência dessas precipitações, da mesma forma do que se observou para as situações da estação de Buritama.

Quanto aos índices, o comportamento para as duas estações foi similar, ou seja, o índice *Ratio* mostrou-se mais sensível à ocorrência das precipitações que o *NDVI*. Isto pode ser atestado analisando-se as alterações registradas entre os dias 5 e 11, e também entre os dias 11 e 12, devidas às precipitações ocorridas nos dias 6, 8, 9 e 10. Do mesmo modo, analisando as alterações registradas entre os dias 23 e 26 devidas às precipitações ocorridas nos dias 22 e 23.

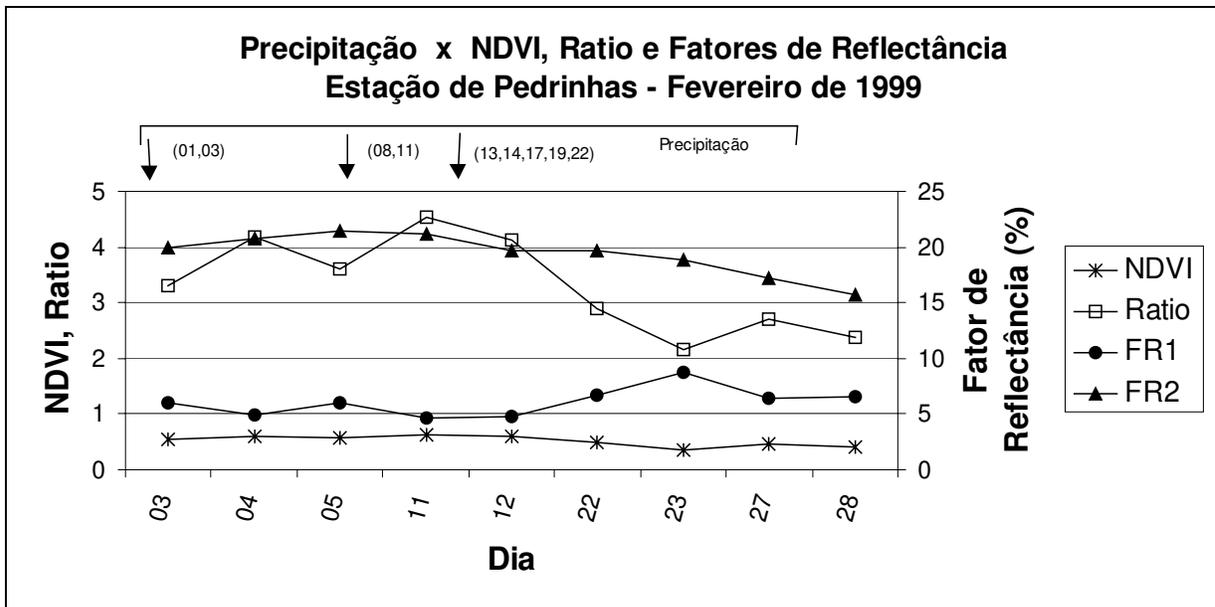


Figura 30: Sensibilidade dos índices *NDVI* e *Ratio* e dos fatores de reflectância *FR<sub>1</sub>* e *FR<sub>2</sub>* no acompanhamento da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Pedrinhas.

Da mesma forma que para as estações de Buritama e Taquarituba, o índice *Ratio* foi mais sensível à influência das precipitações ocorridas entre os dias 5 e 11 e entre os dias 12 e 22 que o *NDVI*. Conforme observado nas Figura 21 e 24, verifica-se que o *FR<sub>1</sub>* foi mais sensível que o *FR<sub>2</sub>* para as precipitações ocorridas nos períodos entre os dias 5 e 11 e entre os dias 12 e 22.

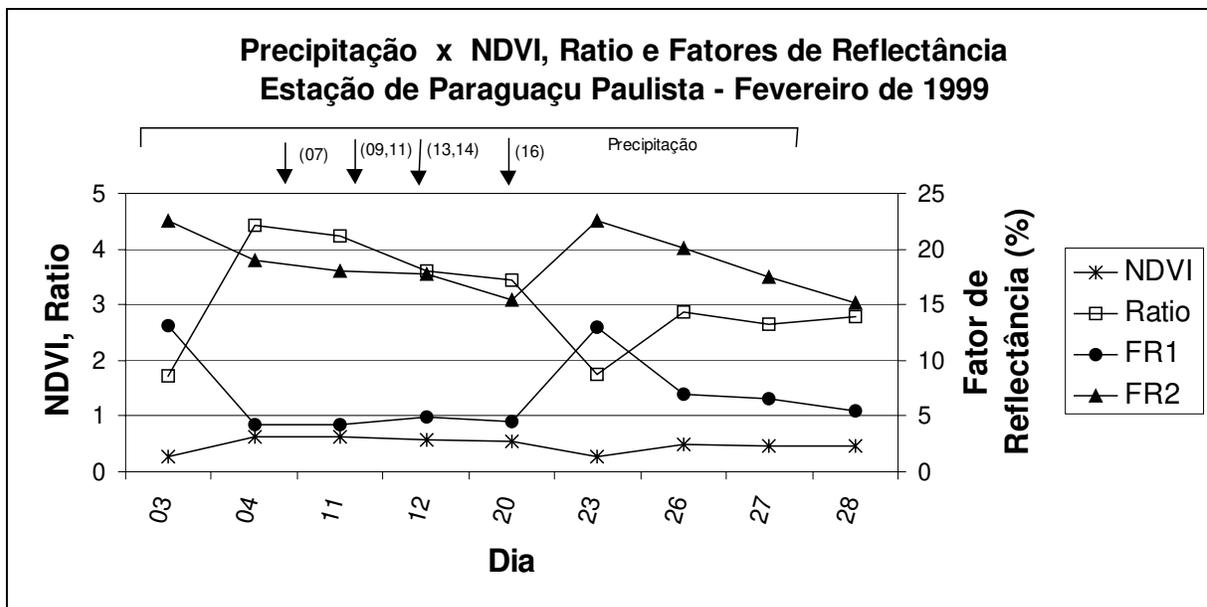


Figura 31: Sensibilidade dos índices *NDVI* e *Ratio* e dos fatores de reflectância *FR<sub>1</sub>* e *FR<sub>2</sub>* à influência da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Paraguaçu Paulista.

Na Figura 31 pode se verificar, assim como se observou para a estação de Taqaritiba (Figura 18), que o *FR<sub>2</sub>* mostrou-se mais sensível que o *FR<sub>1</sub>* à ocorrência das precipitações. O *FR<sub>2</sub>* mostrou-se mais sensível, também, às precipitações ocorridas entre os dias 12 e 20. O índice *Ratio*, em relação ao *NDVI*, mostrou-se mais sensível tanto às precipitações ocorridas entre os dias 4 e 12, às quais o *NDVI* não foi sensível, como também às precipitações ocorridas entre os dias 12 e 20. Este comportamento também foi observado nas outras situações estudadas envolvendo outras estações.

Pode ser observado na Figura 32 que o *FR<sub>1</sub>* foi mais sensível, em relação do *FR<sub>2</sub>*, às precipitações ocorridas entre os dias 11 e 19 e entre os dias 26 e 27. Por outro lado o *FR<sub>2</sub>* mostrou-se mais sensível que o *FR<sub>1</sub>* às precipitações ocorridas entre os dias 11 e 19, 19 e 23 e entre os dias 23 e 26. Na Figura 32 ainda pode se verificar que o índice *Ratio* mostrou-se mais sensível que o *NDVI* à ocorrência das precipitações registradas entre os dias 11 e 19, 19 e 23, 23 e 26 e também entre os dias 26 e 27.

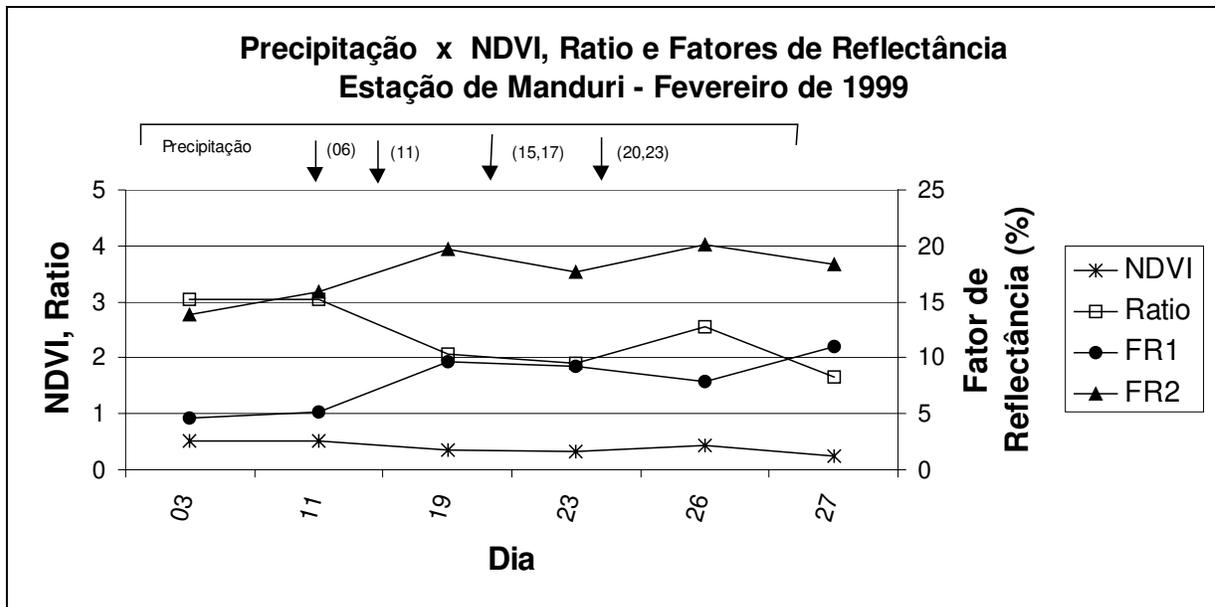


Figura 32: Sensibilidade dos índices *NDVI* e *Ratio* e dos fatores de reflectância  $FR_1$  e  $FR_2$  à influência da precipitação, no mês de fevereiro de 1999, para a estação meteorológica de Manduri.

## 5. CONCLUSÕES

O método de Triangulação de Delaunay foi o que proporcionou a obtenção dos resultados mais precisos, dentre os métodos estudados, para a realização do georreferenciamento das imagens AVHRR/NOAA-14. Independentemente do método utilizado para a realização do georreferenciamento, as imagens georreferenciadas geradas apresentaram deslocamento de posição de pixels em relação à posição geográfica correta, o que pode ser atribuído à defasagem entre os relógios do sensor e da estação de recepção das imagens.

O esforço dedicado ao georreferenciamento preciso das imagens foi importante para o desenvolvimento de um método automático atualmente disponível no CEPAGRI/UNICAMP.

O programa desenvolvido para processamento de imagens AVHRR/NOAA, denominado PRIMA, aumenta, sobremaneira, o potencial de utilização dessas imagens e conseqüentemente, do banco de imagens AVHRR/NOAA do CEPAGRI/UNICAMP. Isto deve-se ao fato que ele gera, a partir do processamento de imagens no formato padrão Level-1B, imagens corrigidas geometricamente e radiometricamente (canais 1 e 2) e corrigidas radiometricamente e dos efeitos atmosféricos (canais 4 e 5), úteis no desenvolvimento de aplicações nelas baseadas, conforme o método visando o monitoramento de estiagem estudado no presente trabalho.

As imagens geradas pelo programa PRIMA (*NDVI*, *Ratio*, temperaturas de brilho  $TB_4$  e  $TB_5$  e temperatura de superfície  $TS$ ) viabilizam a operacionalização de aplicações baseadas nessas imagens, tais como: filtragem de pixels contaminados por nuvens a partir de imagens de temperatura de brilho ( $TB_4$ ), determinação do potencial de incêndios em áreas vegetais, estimativa de temperatura de superfície cultivada com trigo e cana-de-açúcar. Destaca-se, também, que o programa PRIMA desenvolvido vêm sendo utilizado em outros trabalhos de iniciação científica, mestrado e doutorado em desenvolvimento na Faculdade de Engenharia Agrícola.

Foi possível, a partir de imagens AVHRR/NOAA-14 seqüenciais, acompanhar a evolução temporal dos fatores de reflectância aparente  $FR_1$  e  $FR_2$ , correspondentes aos canais 1 e 2 desse sensor, e, conseqüentemente, dos índices *Ratio* e *NDVI*, derivados a partir desses canais. Desse modo, buscou-se estudar os reflexos da ocorrência de precipitações nessa evolução. Na maior parte das situações analisadas verificou-se que o canal 1 mostrou-se mais

sensível que o canal 2 acompanhando às precipitações ocorridas no período estudado. Para todas as situações analisadas, verificou-se que o índice *Ratio* mostrou-se mais sensível que o *NDVI* no acompanhamento das precipitações ocorridas no período estudado.

No caso das estações de Buritama e Taquarituba que eram circundadas por superfícies com tendência de menor variação radiométrica, tais como seringueira, citrus e milho recém plantado, observou-se uma resposta dos índices considerados às precipitações ocorridas, assim como o retorno a um valor limite ou assintótico de 3 para o *Ratio* e 0,5 para o *NDVI* na ausência das chuvas.

Para as estações de Pedrinhas Paulista e Paraguaçu Paulista, que eram cercadas por superfícies de soja em final de ciclo e, portanto, com tendência de decréscimo dos índices considerados, registrou-se também sensibilidade às chuvas registradas. Na maioria das situações, observou-se uma resposta rápida do *NDVI* e do *Ratio* às chuvas, assim como um pronto retorno a valores anteriores a ela.

A evolução do *NDVI* e do *Ratio*, calculados a partir de pontos sem nuvens extraídos das imagens AVHRR, mostrou potencial para ser utilizada como parte de um método de monitoramento de estiagem. As datas com nuvens podem ser utilizadas para indicar a possível ocorrência de chuvas entre duas datas sem nuvens. Neste caso, recomenda-se a utilização de datas sem nuvens mais próximas possível de datas com nuvens.

Acredita-se que este tipo de método seja adequado, por exemplo, para acompanhar a estiagem nos plantios de inverno no Sul do Brasil e safrinha no Sul e Sudeste, pois as chuvas são provocadas predominantemente por frentes frias e o número de dias sem nuvens é bem mais elevado que durante a primavera e o verão. Na época de chuvas, pode ser útil para acompanhar os veranicos e o início e fim da estação quando as condições são mais favoráveis para a obtenção de imagens.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADLER, Robert F.; NEGRI, ANDREW. J. A satellite Infrared Technique to Estimate Tropical Convective and Stratiform Rainfall. **Journal of Climate Applied Meteorology**, 27(1): 30-51, feb. 1988.

ALMEIDA, Carlos Alberto Soares. **Estimativa da temperatura de superfície cultivada com trigo (*Triticum aestivum* L.) usando dados NOAA-14/AVHRR**. 101p. Dissertação (Mestrado em Água e Solo). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1996.

ALMEIDA, Carlos Alberto Soares. **Estimativa da temperatura do dossel da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) como subsídio à determinação da emissividade usando dados NOAA/AVHRR**. 147p. Tese (Doutorado em Água e Solo). Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2001.

ARNAUD, Y.; DESBOIS, M.; MAIZI, J. Automatic Tracking and Characterization of African Convective Systems on METEOSAT Pictures. **Journal of Applied Meteorology**, 31(5):443-453, 1992.

ARKIN, P. A.; AUDANUY, P. E. Estimating Climatic-Scale Precipitation from Space: A Review. **Journal of Climate Applied Meteorology**, 2:1229-1238, 1989.

ASSAD, Eduardo Delgado. **Sensoriamento Remoto e agrometeorologia: possibilidades de aplicação dos satélites meteorológicos na agricultura**. EMBRAPA – CPAC, Brasília (Apostila).

ASSAD, Eduardo Delgado; SEGUIN, B.; KERR, Y. et al. Approche Quantitative de La Pluviometrie au Senegal a L'aide D'images Infra-Rouge Thermique du Satellite METEOSAT. **Veille Climatique Satellitaire**. (13):21-29, 1986.

ASSAD, Eduardo Delgado; SEGUIN, B.; KERR, Y. et al. The Possible Applications of METEOSAT for Monitoring the Rain Season in the Sahel Zone: The Case of Senegal. **Advances in Space Research**. (3):67-71, 1987.

ASSAD, Eduardo Delgado; SETZER, Alberto; MOREIRA, Lucimar. Estimativa da Precipitação Através dos Índices de Vegetação do Satélite NOAA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 5, 1988, Natal-RN. **Anais...** Natal-RN, v.2, p.425-429, 1988.

ASSAD, Eduardo Delgado; CASTRO, Luiz Hernan Rodrigues; ALMEIDA, Sérgio Alberto de Oliveira. Análise Exploratória da Variação Espaço Temporal do Índice de Vegetação NOAA/AVHRR e Pluviometria: Caso dos Cerrados Brasileiros. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 8, 1996, Salvador-BA. **Anais...** CD-ROM. Salvador-BA, 1996.

BARBOSA, Humberto A.; SETZER, Alberto W. Spatial-temporal analysis of NOAA/AVHRR vegetation index and rainfall in the Northeast region of Brazil in 1982-85. In: Conference on Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, 1998, **Anais...** Barcelona, Spain: SPIE, p. 176-186, 1998.

BARRETT, E. C.; MARTIN, D. W. **The use of Satellite Data in Rainfall Monitoring**. New York: Academic Press, 1981.

BOYD, D.S; PHIPPS, P.C.; FOODY, G.M.; WALSH, R.P.D. Exploring the utility of NOAA AVHRR middle infrared reflectance to monitor the impacts of ENSO-induced drought stress on Sabah rainforests. **International Journal of Remote Sensing**, 23(23): 5141-5147, 2002.

BRUNINI, Orivaldo; PINTO, Hilton Silveira; ZULLO Jr., Jurandir et al. Uso do SPI para Avaliação dos Períodos de Seca no Estado de São Paulo. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 12, 2001, Fortaleza-CE. **Anais...** Fortaleza-CE, v.1, p.251-252, 2001.

CADET, D. L. ; GUILLOT, B. **EPSAT: Estimation des Précipitations par Satellite**. Programme de Recherche, 1991.

CALLE, A.; CASANOVA, J. L.; GONZALEZ-ALONSO, F. A software for agricultural and drought monitoring using NOAA-AVHRR images. In: Environmental Studies, Development and Application of Computer Techniques to Environmental Studies, 8, 2000, Bilbao, Spain. **Anais...** v. 4, p. 429-438, 2000.

CARVALHO, O. **A civilização da seca**. Rio de Janeiro : Ed. Campus, 1988.

CAVALCANTI, Enilson Palmeira; CEBALLOS, Juan Carlos; VALADÃO, Cati Elisa de Avila. Análise de Textura em Imagens METEOSAT Visando Aplicação da Técnica CST. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 7, 1992, São Paulo. **Anais...** São Paulo, v.1, p.117-121, 1992.

DI, LIPING; RUNDQUIST, Donald C. A One-Step Algorithm for Correction and Calibration of AVHRR Level 1b Data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. 60(2): 165-171, 1994.

EHRlich, D.; ESTES, J. E.; SINGH, A. Application of NOAA-AVHRR 1 km data for environmental monitoring. **Journal of Remote Sensing**, 15(1): 145-161, Feb. 1994.

FIGUEIRÊDO, D. C. **Sistema de obtenção de índice de vegetação para a América do Sul por processamento digital de imagens NOAA/AVHRR**. 84p. Dissertação (Mestrado) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

GOL' DSBERG, I., **Agroclimatic Atlas of the World**. Hydrometizdat, 1972.

HAYES, M. J.; SVOBODA, M.; WILHITE, D et al. Monitoring the 1996 drought using the standarized precipitation index (SPI). **Bulletin of American Meteorology Society**. 80(3): 429-438, 1999.

JACKSON, R. D.; SLATER, P. N.; PINTER JR, P. J. Discrimination of Growth and Water Stress in Wheat by Various Vegetation Indices Through Clear and Turbid Atmospheres. **Remote Sensing of Environment**, New York, NY, 13: 187-208, 1983.

JORDAN, C.F. Derivation of leaf-area index from quality of light on the forest floor. **Ecology**. v. 50, p. 663-666, 1969.

KIDWELL, K. B. NOAA polar orbiter data. **Users Guide**. Washington, D.C., USA: NOAA/NESDIS/OSDPD, 1995. 287p.

KOGAN, Felix N. Global Drought Watch from Space. **Bulletin of American Meteorology Society**, Camp Springs, MD, 78(4): 621-636, 1997.

KOGAN, F. N. Application of vegetation index and brightness temperature for drought detection. **Advances in Space Research**, 15, 91–100, 1995.

KOGAN, Felix N. Climate Constraints and Trends in Global Grain Production. **Journal Agricultural Forest Meteorological**, 37: 89-107, 1986.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote Sensing and Image Interpretation**, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1987.

LIOU, K. N.; OU, S.C.; TAKANO, Y. et al. Remote Sounding of the Tropical Cirrus Cloud Temperature and Optical Depth Using 6.5 and 10.5  $\mu\text{m}$  Radiometers During STEP. **Journal of Climate Applied Meteorology**, 29(8): 716-726, 1990.

LIU, William T. H.; MASSAMBANI, Oswaldo. Satellite Recorded Vegetation Response to Drought in Brazil. **International Journal of Climatology**, 14:343-354, 1994.

MEDAL, Dominique; STAKENBORG, Jacques; RUSSELL, Graham; BIARD, Frederic; AIFANTOPOULOU, Dorothea; PALACIOS, Marino; RIGLET, Jean Pierre; TOULIOS, Leonidas; SOLER, Miguel Angel; MASSON, J. Information system for monitoring and evaluating meteorological disasters for agriculture. In: Conference on Remote Sensing for Agriculture, Ecosystems, and Hydrology, 1998, **Anais...** Barcelona, Spain: SPIE, p. 307-314, 1998.

NATIONAL DROUGHT MITIGATION CENTER. <<http://www.mma.gov.br/port/redesert/seca.html>>, 01/04/2002.

NOAA TECHNICAL MEMORANDUM NESS 107 – REV. 1. <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/aboutn14vis.html> >, 02/05/2002.

MEDEIROS, V. M.; TANAKA, K.; YAMAZAKI, Y. Sistema de Navegação dos Dados AVHRR do satélites da Série NOAA. In: Simpósio Latino Americano de Sensoriamento Remoto, 4, 1986, Gramado, RS, **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 464-471, 1986.

PALLONE FILHO, Wander José; ZULLO Jr., Jurandir; ASSAD, Eduardo Delgado et al. Monitoramento de Estiagem Durante o Verão de Regiões Tropicais Utilizando Imagens AVHRR/NOAA-14. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11, 2003, Belo Horizonte, MG, **Anais...** CD-ROM, São José dos Campos, SP.

PALTRIDGE, G. W.; PLATT, C. M. R. Radiative Processes in Meteorology e Climatology. **Elsevier Scientific Publishing company**, New York, 1976.

PRABHAKARA, C.; YOO, J. M.; DAW, G. et al. Deep Optically Thin Cirrus Clouds in the Polar Regions. Part I: Infrared Extinction Characteristics. **Journal of Climate Applied Meteorology**. 29 (12): 1313-1329, 1990.

PRICE, J. C. Land Surface Temperature Measurements from The Split-window Channels of NOAA 7 Advanced Very High Resolution Radiometer, **Journal of Geophysical Resource**, 89: 7231-7237, 1984.

RAO, C. R. Nagaraja; CHEN, Jianhua. **Revised post-launch calibration of channels 1 and 2 of the Advanced Very High Resolution Radiometer on board the NOAA-14 spacecraft.** <<http://noaasis.noaa.gov/NOAASIS/ml/aboutn14vis.html> >, 03/08/2002.

RICHARDS, John Alan. **Remote sensing digital image analysis: An introduction.** Berlin: Springer-Verlag, 1986.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A. et al. Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation. **Nasa/GSFC TYPE III**, Final Report, Greenbelt, MD, 1974.

SAKAMOTO, C. M. Applications of Meteorological Satellite to Operational Drought Early Warming in Africa. In: Seminário Internacional sobre Estimativa da Biomassa Terrestre e da Produção Agrícola Via Satélite, 1990. **Anais...** São Paulo, p.75-93, 1990.

SEGARRA, D. Introducción al Tratamiento Digital de Imágenes. In: Gandía, S. e Meliá, J. La teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables : agricultura. Curso de Postgrado. València, España : Universitat de València, 1991.p.217-240.

SEGUIN, B.; ASSAD, E. D.; FRETEAUD, J. P. et al. Use of meteorological satellites for water balance monitoring in Sahelian regions. **Int. J. Remote Sensing**. 10(6): 1101-1117, 1989.

SMITH, J. A. Matter-Energy Interaction in the Optical Region. **Manual of Remote Sensing**. 2.ed. Falls Church, Virginia, USA: American Society of Photogrammetry, 1: 61-113, 1983.

VICENTE, Gilberto; SCOFIELD, R.; MENZEL, W. P. The operational GOES infrared estimation technique Bull. **American Meteorological Socite**, 79: 1883-1898, 1998.

VIAU, A. A.; VOGT, J. V.; BEAUDIN, I. Comparison of a Satellite-Based and Precipitation-Based Drought Index. **Canadian Journal of Remote Sensing**. 26(6):580-583, 2000.

VOLPATO, Margarete Marin Lordelo. **Imagens AVHRR-NOAA e Determinação do Potencial de Incêndios em Pastagens**. Tese (Doutorado em Água e Solo) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 2002.

ZULLO JR., Jurandir. Comunicação Pessoal, 2001.

**Anexo I – Levantamento de Imagens AVHRR/NOAA-14 livres de cobertura por nuvens,  
na posição de 115 estações meteorológicas do Estado de São Paulo**

Estação Meteorológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1																												
2				X						X									X				X					
3				X								X							X	X	X	X						
4			X						X											X		X						
5																			X	X						X	X	
6					X														X				X			X	X	X
7												X									X							
8			X									X									X		X			X		
9				X								X								X						X	X	
10				X				X	X			X									X		X					
11										X												X						
12				X																	X					X		
13				X						X													X				X	
14				X							X									X	X	X	X				X	X
15																												X
16												X							X									X
17		X	X					X	X			X									X	X					X	
18				X															X	X			X			X	X	X
19												X																
20																												
21				X							X																X	X
22																					X					X		X
23				X																			X				X	
24				X	X														X				X				X	X
25			X																									
26				X																			X					
27				X																							X	
28																												
29				X								X							X				X					X
30																			X	X			X					
31									X			X															X	X
32										X												X						
33		X	X	X								X							X		X							
34												X									X					X	X	X
35				X	X														X							X	X	X
36												X	X											X				X
37				X	X															X		X	X			X	X	X
38				X					X			X							X		X	X						
39				X	X							X								X			X			X	X	
40				X								X															X	
41				X							X																	
42			X	X																	X						X	X
43				X																	X					X		X
44												X												X				
45												X																
46																												
47		X	X	X								X										X						
48																												
49																							X				X	
50				X																								X
51																												
52																								X				
53		X																										
54												X														X		X
55			X								X									X			X			X	X	
56				X								X								X						X	X	

Estação Meteorológica	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
57			X						X														X					
58		X	X																X									
59									X	X													X					
60				X																X								
61											X									X						X		X
62											X										X							
63				X	X														X									
64												X												X				
65				X	X														X	X			X					
66				X	X						X								X	X						X	X	X
67				X	X														X							X	X	X
68									X										X							X		
69			X	X							X	X								X			X			X	X	X
70				X															X	X								
71				X															X		X		X					X
72			X	X	X							X																X
73				X								X												X				
74																												
75			X	X	X						X	X										X	X				X	X
76									X														X	X				
77				X	X														X	X			X					
78											X																	
79			X	X							X										X							
80			X		X														X				X					
81											X								X									
82																												
83					X															X							X	
84				X								X								X							X	
85										X										X						X	X	
86																												
87			X	X							X																	
88				X																								
89					X														X			X	X			X		
90																												
91											X																	
92																												
93																												
94												X																
95			X		X																							
96												X																
97			X																									X
98				X	X																		X	X			X	X
99											X	X							X				X					
100												X															X	
101												X																X
102											X	X							X									
103				X	X						X	X								X			X			X	X	
104				X	X						X												X				X	
105				X							X																	
106			X								X																	
107					X							X																X
108												X																
109				X							X								X	X	X	X	X					
110					X						X								X	X			X			X	X	X
111																												
112												X																
113																				X			X				X	
114												X							X									
115			X																		X	X						

**Anexo II – Programa de processamento de imagens AVHRR/NOAA (PRIMA)**

```

pro geo
compile_opt STRICTARR

;Os coeficientes de calibração radiométrica slope e intercepto para os canais AVHRR/NOAA 1 e 2
;devem ser atualizados no corpo deste programa, na seção ";obtenção dos fatores de reflectância
;(aparente) ch1 e ch2 (calibração radiométrica)", em função da data da imagem (disponíveis
;em intervalos mensais via internet)

;Para se utilizar este programa, anteriormente a sua execução,
;deve-se criar uma pasta localizada em C:/NOAA14 contendo os seguintes arquivos:
;
;- nome_imagem.txt (arquivo "gainint.txt" renomeado - que é gerado junto com a imagem Level-1B -
;durante o processo de conversão de formatos)
;
;- nome_imagem.i (Imagem formato Level-1B - que é gerada pelo processo
;de conversão de formatos)

;Este programa gera como resultado:

;- dois arquivos imagem georreferenciados (formato envi) contendo as bandas 1,2,4
;e 5 AVHRR/NOAA, uma referente ao Estado de SP, com a terminação "_spo", e outra referente a
;imagem total receptada pela antena NOAA com a terminação "_tot"

;- um arquivo imagem (formato envi) contendo as imagens NDVI*, Ratio*,
;TempBrilho CH4 e TempBrilho CH5 com a terminação "_temp_ratio_ndvi"
;(*calculados com base nos fatores de reflectância aparente (topo da atmosfera))

;- um arquivo formato "jpeg" chamado "banda2_mascara.jpg" contendo a banda2 AVHRR/NOAA,
;com uma mascara de rios, linhas costeiras e grid sobrepostos
;
;Obs1: a imagem com terminação "_spo" gerada pelo presente programa apresenta um
;deslocamento de pixels em relação a posição geográfica correta, portanto os demais arquivos
;gerados, por se basearem nessa imagem, também apresentarão esse "problema"
;
;Obs2: Sugere-se que para nome_imagem seja atribuído a data da imagem na sequencia (ddmmaaaa)
;
;Obs3: Pode-se entrar com um conjunto de arquivos ( .txt, .i), pois nesse caso este
;programa gerará arquivos de saída baseados nos nomes de entrada acrescidos da
;terminação "_temp_ratio_ndvi". Realizar esse procedimento envolvendo um conjunto de imagens
;de um único mês e seguindo a sugestão da Obs2.

;operando em batch mode
envi, /restore_base_save_files
envi_batch_init, log_file='C:/NOAA14/batch.log'

; Open a data file

;FOR i = 0,var-1 DO BEGIN
fname = FINDFILE('C:/NOAA14/*.'i', count=var)
;Print, fname[i], var

FOR n = 0,var-1 DO BEGIN
envi_open_data_file, fname[n], /avhrr, r_fid=fid
if (fid eq -1) then return

;Tomando informações do cabeçalho

envi_file_query, fid, ns=ns, nl=nl, nb=nb
dims = [-1, 0, ns-1, 0, nl-1]
pos = [0,1,3,4]

out_name = $
STRMID(fname[n], 0,STRPOS(fname[n],"/reverse_search))+ "_tot"

envi_check_save, /avhrr
units = envi_proj_units_translate('Degrees')
proj = envi_proj_create(/geographic, unit=units)
ps = [0.01146,0.01146]

```

```

;Georreferenciamento

nlr=(nl/10)
envi_avhrr_warp_doit, fid=fid, $
  avhrr_fid=fid, dims=dims, pos=pos, $
  out_name=out_name, method=6,degree=0, $
  background=0, grid=[51,nlr], proj=proj, $
  pixel_size=ps, r_fid=fidg

envi_open_data_file, out_name, /envi,$
r_fid=fidg
if (fidg eq -1) then return

envi_file_query, fidg, ns=nsg, nl=nlg, $
nb=nbng, XSTART=XSTART, YSTART=YSTART
print, nsg,nlg,nbg, XSTART, YSTART

imagem = ENVI_GET_DATA(FID = fidg, $
DIMS = [-1l, 0, nsg-1, 0, nlg-1], pos=[0])

proj = envi_get_projection(fid=fidg)
print, proj

xf_min=imagem[0,0]
yf_min=imagem[0,0]

ENVI_CONVERT_FILE_COORDINATES, fidg, xf_min, yf_min, $
XMap_min, YMap_min, /to_map

print, out_name
print, XMap_min, YMap_min

XMap_max=XMap_min+(nsg-1)*0.01146
YMap_max=YMap_min-(nlg-1)*0.01146

print, XMap_max, YMap_max

coluna = FLTARR (nsg)
coluna[0]=XMap_min

a=0
b=0

for k=1,nsg-1 do begin
coluna[k]=XMap_min+k*0.01146
  If (coluna[k] LE -54.00) and (coluna[k]+0.01146 GE -54.00) THEN $
    a=k else continue
endfor

coluna=XMap_min+a*0.01146

if (a EQ 0) then $
print, 'a coluna é', a else $
print, 'a coluna é', a, 'a longitude é', coluna

linha = FLTARR (nlg)
linha[0]=YMap_min

for j=0,nlg-1 do begin
linha[j]=YMap_min-j*0.01146
  If (linha[j] GE -18.00) and (linha[j]-0.01146 LE -18.00) THEN $
    b=j ELSE continue
endfor

linha=YMap_min-b*0.01146

if (b EQ 0) then $
print, 'a linha é', b else $
print, 'a linha é', b, 'a latitude é', linha

```

```

;Tomando informações do cabeçalho

if (a+959 GE nsg-1) then $
c=nsg-1 else $
c=a+959

colunaf=XMap_min+c*0.01146

if (b+698 GE nlg-1) then $
l=nlg-1 else $
l=b+698

linhaf=YMap_min-l*0.01146

envi_file_query, fidg, ns=nsg, nl=nlg, nb=nbg
dims = [-1, a, c, b, l]
pos=[0,1,3,4]

out_name_sp = $
STRMID(fname[n], 0,STRPOS(fname[n],"/reverse_search))+ "_spo"

possp=[0,1,2,3]

envi_doit, 'resize_doit', $
fid=fidg, pos=possp, dims=dims, $
interp=0, rfact=[1,1], $
out_name=out_name_sp, r_fid=fidsp
close, 1

print, 'linhaGlf', l

close, 1

;abrir arquivo para descobrir número de linhas
lin_entrada=dblarr(5)
nlinhas=0

fnametxt = FINDFILE('C:/NOAA14/*.txt')
;for n2=0,var-1 do begin

openr,1,fnametxt[n]

;leitura do arquivo todo
while not EOF(1) do begin
readf,1,lin_entrada
nlinhas=nlinhas+1
endwhile

close, 1

print, nlinhas

;abrir arquivo para leitura em forma de matriz
openr,1,fnametxt[n]

mat=dblarr(5,nlinhas)

readf,1,mat

;fechamento arquivo
close,1

;descarte de coeficientes ganho com valores ruins - ch4
nula=0
for i=0,nlinhas-2 do begin
if (mat[1,i] GE -.3) AND (mat[1,i] LE -.1) then $
continue else $
mat[1,i]=mat[1,i+1]
nula=nula+1
endfor

```

;obtenção do coeficiente de ganho médio - ch4

```
result4 = MOMENT(mat[1,*])
G4=result4[0]
PRINT, 'Ganho CH4 é: ', G4

for i=0,nlinhas-2 do begin
    if ((b GE mat[0,i]) and (b LE mat[0,i+1])) then $
        bsp=i else continue
endfor
print, 'linha_spi', bsp
G4i=mat[1,bsp]
print, 'G4i', ",G4i

for i=0,nlinhas-2 do begin
    if ((l GE mat[0,i]) AND (l LE mat[0,i+1])) then $
        lsp=i else continue
endfor
print, 'linha_spf', ",lsp
G4f=mat[1,lsp]
print, 'g4f',"g4f

result4n = MOMENT(mat[1,bsp:lsp])
G4me_sp=result4n[0]

print, 'G4me_sp', ", G4me_sp
```

;descarte de coeficientes ganho com valores ruins - ch5

```
nula=0
for i=0,nlinhas-2 do begin
    if (mat[3,i] GE -.3) AND (mat[3,i] LE -.1) then $
        continue else $
        mat[3,i]=mat[3,i+1]
        nula=nula+1
endfor
```

;obtenção do coeficiente de ganho médio - ch5

```
result5 = MOMENT(mat[3,*])
G5=result5[0]
PRINT, 'Ganho CH5 é: ', G5

G5i=mat[3,bsp]
print, 'G5i', ",G5i

G5f=mat[3,lsp]
print, 'g5f',"g5f

result5n = MOMENT(mat[3,bsp:lsp])
G5me_sp=result5n[0]

print, 'G5me_sp', ", G5me_sp
```

;descarte de coeficientes intercepto valores ruins - ch4

```
nula=0
for i=0,nlinhas-2 do begin
    if (mat[2,i] GE 50) AND (mat[2,i] LE 300) then $
        continue else $
        mat[2,i]=mat[2,i+1]
        nula=nula+1
endfor
```

;obtenção do coeficiente de intercepto médio - ch4

```
resulti4 = MOMENT(mat[2,*])
I4=resulti4[0]
PRINT, 'Intercepto CH4 é: ', I4
```

```

l4i=mat[2,bsp]
print, 'l4i', "", l4i

l4f=mat[2,isp]
print, 'l4f', "", l4f

result4ni = MOMENT(mat[2,bsp:isp])
l4me_sp=result4ni[0]

print, 'l4me_sp', "", l4me_sp

;descarte de coeficientes intercepto com valores ruins - ch5
nula=0
for i=0,nlinhas-2 do begin
if (mat[4,i] GE 50) AND (mat[4,i] LE 300) then $
continue else $
mat[4,i]=mat[4,i+1]
nula=nula+1
endfor

;obtenção do coeficiente de intercepto médio - ch5
resulti5 = MOMENT(mat[4,*])
l5=resulti5[0]
PRINT, 'Intercepto CH5 é: ', l5

l5i=mat[4,b]
print, 'l5i', "", l5i

l5f=mat[4,isp]
print, 'l5f', "", l5f

result5ni = MOMENT(mat[4,bsp:isp])
l5me_sp=result5ni[0]

print, 'l5me_sp', "", l5me_sp

;Abrindo o arquivo georreferenciado
fname=findfile('C:/NOAA14/*_spo')

envi_open_data_file, fname[n], /envi,$
r_fid=fidg
if (fidg eq -1) then return

;Tomando informações do cabeçalho
envi_file_query, fidg, ns=nsg, nl=nlg, $
nb=nbg, XSTART=XSTART, YSTART=YSTART
print, nsg,nlg,nbg, XSTART, YSTART

;Leitura da imagem ch4
ch4 = ENVI_GET_DATA(FID = fidg, $
DIMS = [-1l, 0, nsg-1, 0, nlg-1], pos=[2])

;Leitura da imagem ch5
ch5 = ENVI_GET_DATA(FID = fidg, $
DIMS = [-1l, 0, nsg-1, 0, nlg-1], pos=[3])

;Tomando a projeção
proj = envi_get_projection(fid=fidg)
print, proj

;obtenção da radiância linear

;coeficientes para obtenção da radiância corrigida
A4=0.92378000
B4=0.00038220
D4=3.72000000

A5=0.96194000
B5=0.00017420
D5=2.00000000

```

```

Rlin4=G4me_sp*ch4+l4me_sp
Rlin5=G5me_sp*ch5+l5me_sp

;obtenção da radiância corrigida
Rad4=A4*Rlin4+B4*Rlin4^2+D4
Rad5=A5*Rlin5+B5*Rlin5^2+D5

C1=1.1910659E-5
C2=1.43883300
Vc4=929.3323
Vc5=835.1647

Temp4=((C2*Vc4)/alog(1+((C1*(Vc4^3))/Rad4)))
Temp5=((C2*Vc5)/alog(1+((C1*(Vc5^3))/Rad5)))

TBch4=float(Temp4)
TBch5=float(Temp5)

;close, 1
;Abrindo o arquivo georreferenciado
;fnamesp=findfile('C:/NOAA14/*_spo', count=var)

;envi_open_data_file, fnamesp[n], /envi,$
;r_fid=fidg
; if (fidg eq -1) then return

;Tomando informações do cabeçalho
;envi_file_query, fidg, ns=nsg, nl=nlg, $
;nb=nbg, XSTART=XSTART, YSTART=YSTART
;print, nsg,nlg,nbg, XSTART, YSTART

;Leitura da imagem ch1
ch1 = ENVI_GET_DATA(FID = fidg, $
DIMS = [-1l, 0, nsg-1, 0, nlg-1], pos=[0])

;Leitura da imagem ch2
ch2 = ENVI_GET_DATA(FID = fidg, $
DIMS = [-1l, 0, nsg-1, 0, nlg-1], pos=[1])

;obtenção dos fatores de reflectância (aparente) ch1 e ch2 (calibração radiométrica)

;*****coeficientes canais 1 e 2 para o mes de setembro de 2000 (disponíveis na internet)
slope1=0.1391
slope2=0.1617
int1=-5.7039
int2=-6.6299
;*****

;Print, 'Entre com o coeficiente slope (função da data da imagem), para calibração do ch1'
;read, slope1

;Print, 'Entre com o coeficiente intercepto (função da data da imagem) para calibração do ch1'
;read, int1

;Print, 'Entre com o coeficiente slope (função da data da imagem) para calibração do ch2'
;read, slope2

;Print, 'Entre com o coeficiente intercepto (função da data da imagem) para calibração do ch2'
;read, int2
;goto, jump5

Print, 'Entre com o dia do ano'
Print, '(01 de Janeiro=> dia do ano=0, 31 de dezembro=> dia do ano=364)'
Read, n1

ro2=1/(1.00011+0.034221*COS((0.9863*n1)/180*!PI)+ $
0.00128*SIN((0.9863*n1)/180*!PI)+0.000719* $
COS(2*((0.9863*n1)/180*!PI))+ $
0.000077*SIN(2*((0.9863*n1)/180*!PI)))

```

```

fref1=ro2*(slope1*ch1+int1)
fref2=ro2*(slope2*ch2+int2)

;Cálculo do NDVI
ndvi=(fref2-fref1)/(fref2+fref1)
i_ndvi=float(ndvi)

ratio=fref2/fref1
i_ratio=float(ratio)

;gerando imagem final
imagem_final=(TBCh4),(TBCh5),(i_ndvi),(i_ratio)

close, 1
fnamefinal = $
STRMID(fnamesp[n], 0,STRPOS(fnamesp[n],"_spo",/reverse_search))+ "_temp_ratio_ndvi"

openw, unit, fnamefinal, /get_lun
writeu, unit, imagem_final
free_lun, unit

;Adicionando ENVI header

ps = [0.01146, 0.01146]
mc = [0D, 0, coluna, linha]
datum = 'WGS-84/Brazil'

bnam = ['TBCh4', 'TBCh5', 'NDVI', 'Ratio']

; Create the map information

map_info = envi_map_info_create(/geographic, DATUM=datum,$
mc=mc, ps=ps)

ENVI_SETUP_HEAD, fname=fnamefinal, $
ns=nsg, nl=nlg, nb=4, bnames=bnam, map_info=map_info, $
interleave=1, data_type=4, $
offset=0, file_type=0, $
sensor_type=6, /write

Print, 'Lista de imagens utilizadas e geradas'
print, 'Imagem Total', fname[n]
print, 'Imagem Total', outname
print, 'Arquivo gainint.txt', fmetxt[n]
print, 'Imagem Geo_sp', outnamesp
print, bnam

endfor

print, coluna, colunaf, linha, linhaf

; abrindo a mascara

fmem = 'C:/NOAA14/mascara1.img'

envi_open_file, fmem, r_fid=fidm
if (fidm eq -1) then return

;Tomando informações do cabeçalho
envi_file_query, fidm, ns=nsm, nl=nlm, nb=nbm

;Leitura da imagem
imagemm = ENVI_GET_DATA(FID = fidm, $
DIMS = [-1l, 0, nsm-1, 0, nlm-1], pos=[0])

```

```

; Open a data file

;Abrindo o arquivo georreferenciado

colunam = fltarr(nsm)
colunam[0]=-54.

for i=1,nsm-1 do begin
  colunam[i]=colunam[0]+0.01146*i
endfor

ima=0
for i=0,nsm-1 do begin
  if colunam GE colunam[i] then $
    ima=ima+1 else continue
endfor

linham = fltarr(nlm)
linham[0]=-18.
for j=1,nlm-1 do begin
  linham[j]=linham[0]-0.01146*j
endfor

jma=0
for j=0,nlm-1 do begin
  if linham LE linham[j] then $
    jma=jma+1 else continue
endfor

print, 'ima', ", ", ima, ", ", 'jma', ", ", jma
for i=0,nsm-(1+ima) do begin
  for j=0, nlg-(1+jma) do begin

    if (imagemm[i+ima,j+jma] eq 255) then $
      imagemb2[i,j]=imagemm[i+ima,j+jma] else continue

  endfor
endfor

fnamef1='C:/NOAA14/banda2_mascara.jpg'

WRITE_JPEG, fnamef1, imagemb2, QUALITY=100, $
order=1

print, 'fim do programa'
; Exit ENVI
envi_batch_exit

end

```