



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

**MAPEAMENTO DAS ESTIMATIVAS DO SALDO DE RADIAÇÃO E  
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM ÁREA DO ESTADO DE ALAGOAS  
COM BASE EM SENSORES REMOTOS**

**MARIA FÁTIMA BETTINI NOVAS**

Professor Orientador: **Dr. Frederico Tejo Di Pace**

MACEIÓ - AL  
OUTUBRO DE 2008



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**  
**COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

Nº de ordem: MET-UFAL-MS-53

**MAPEAMENTO DAS ESTIMATIVAS DO SALDO DE RADIAÇÃO E  
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM ÁREA DO ESTADO DE ALAGOAS  
COM BASE EM SENSORES REMOTOS**

**MARIA FÁTIMA BETTINI NOVAS**

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia.

MACEIÓ - AL  
OUTUBRO DE 2008

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca Central**  
**Divisão de Tratamento Técnico**  
**Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale**

N936m      Novas, Maria Fátima Bettini.  
                 Mapeamento das estimativas do saldo de radiação e índices de vegetação em área do estado de Alagoas com base em sensores remotos/ Maria Fátima Bettini Novas. – Maceió, 2008.  
                 158 f. : il., graf., tabs.

Orientador: Frederico Tejo Di Pace.  
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2008.

Bibliografia: f. 136-152.  
Anexos: f. 153-158.

1. Meteorologia. 2. Radiação solar – Medição. 3. Variabilidade espacial – Alagoas. 4. Geoestatística. I. Título.

CDU: 551.521.31



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO DE METEOROLOGIA

## CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

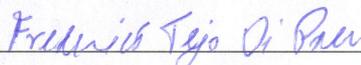
N.º de ordem: MET-UFAL-MS-053.

“MAPEAMENTO DAS ESTIMATIVAS DO SALDO DE RADIAÇÃO E  
ÍNDICES DE VEGETAÇÃO EM ÁREA DO ESTADO DE ALAGOAS  
COM BASE EM SENSORES REMOTOS”

MARIA FÁTIMA BETTINI NOVAS

Dissertação submetida ao colegiado do  
Curso de Pós-Graduação em Meteorologia  
da Universidade Federal de Alagoas –  
UFAL, como parte dos requisitos à  
obtenção do grau de Mestre em  
Meteorologia.

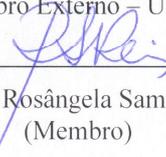
Aprovado pela Banca Examinadora composta por:



Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace  
(Orientador)



Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva  
(Membro Externo – UFCG)



Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Rosângela Sampaio Reis  
(Membro)

- Maceió – Al -

Outubro/2008

## DEDICATÓRIA

Dedico esta dissertação à memória de meu pai **Eulo**, pelo exemplo de força e coragem, bom humor, dignidade e sabedoria que nos deixou. Muitas saudades...

## **OFEREÇO**

Às minhas queridas filhas Laura e Lígia, pelo amor, incentivo e apoio de todas as horas. Amo vocês.

Ao meu marido Wagner, que esteve sempre ao meu lado, mesmo quando distante, pelo amor, apoio, compreensão, amizade, e colaboração em praticamente todas as fases desta dissertação.

## **AGRADECIMENTOS**

Ao Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace pela orientação, revisões, incentivos no desenvolvimento desta dissertação e apoio durante meu período acadêmico na UFAL.

Aos professores do Instituto de Ciências Atmosféricas (ICAT), durante o cumprimento das disciplinas do curso.

Aos amigos e colegas do Centro Federal de Educação Tecnológica de Alagoas, pelo estímulo e compreensão e à direção do mesmo pela minha liberação para realização desta dissertação.

Aos amigos, colegas e profissionais do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da UFAL.

Finalmente, desculpando-me por alguns esquecimentos, agradeço a todos que de alguma maneira, contribuíram para o término desta dissertação.

**NOVAS, Maria Fátima Bettini. Mapeamento das estimativas do saldo de radiação e índices de vegetação em área do estado de Alagoas com base em sensores remotos. Orientador: Frederico Tejo Di Pace, Dr. Maceió-AL, UFAL, 2008. Dissertação (Mestrado em Meteorologia).**

## **RESUMO**

O saldo de radiação à superfície é de grande importância em estudos relacionados com o fluxo de calor na atmosfera, particularmente em cultivos agrícolas e em áreas hidrográficas. Neste trabalho são mapeadas as componentes do balanço de radiação à superfície terrestre e índices de vegetação em área com a bacia do rio Pratagy, em Alagoas, por meio de dados de sensores remotos em dias de céu claro. Na estimativa das componentes do balanço de radiação foram utilizados dados do TM-Landsat 5 e o algoritmo SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land proposto por Bastiaanssen (1995). Foram analisadas as imagens dos dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003. O valor médio do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) foi de 0,633 em 11/06/1990, 0,607 em 21/09/1998 e 0,502 para 03/09/2003, evidenciando diminuição de vegetação na área em estudo de 1990 a 1998 e também de 1998 a 2003. A diminuição gradativa do IVDN que ocorreu entre os anos pesquisados, onde os valores baixos de 0 – 0,20 são encontrados mais na área urbanizada da área, pode ter resultado do processo de urbanização que se intensificou nestes anos. A imagem classificada da subtração do IVDN entre 1990 e 1998, no entanto, demonstrou que em 59,5% da área em estudo ocorreu pouca variação no índice. Já na imagem da subtração do IVDN entre 1998 a 2003 evidenciou que em quase 50% da área em estudo ocorreu perda de vegetação e distribuída espacialmente mais na parte central da mesma. O valor médio instantâneo do saldo de radiação à superfície ( $R_n$ ) aumentou de 1990 à 1998 e decresceu entre 1998 e 2003, com amplitudes de  $129,6\text{W/m}^2$  e de  $77,3\text{W/m}^2$  respectivamente. Na imagem classificada da subtração do  $R_n$  entre 1990 e 1998 constatou-se que o aumento ocorreu bem distribuído em 93,4% da área estudada. E na imagem da subtração do  $R_n$  entre 1998 e 2003 evidenciou que a diminuição do  $R_n$  foi também bem distribuída espacialmente em 82,5% da área estudada. O valor estimado médio instantâneo da temperatura da superfície ( $T_s$ ) entre 1990 e 1998 teve uma elevação na faixa de  $3,3^\circ\text{C}$ , enquanto de 1998 a 2003 ocorreu diminuição de  $2,7^\circ\text{C}$ . O aumento gradativo da  $T_s$  entre 1990 e 1998, onde os valores superiores a  $26^\circ\text{C}$  são encontrados mais em regiões urbanizadas da área em estudo pode ter sido devido à intensificação do processo de urbanização. A análise das áreas críticas em relação à ocorrência de perda da cobertura vegetal comprovou que o IVDN tem relação indireta com o albedo da superfície e com a  $T_s$ , enquanto com o  $R_n$  uma relação direta. A análise das áreas críticas de perda ou ganho de  $R_n$  comprovou que o albedo e a  $T_s$  quase sempre atuam inversamente com o  $R_n$  e os índices de vegetação diretamente. Ficou evidenciada a apropriada potencialidade do emprego do SEBAL em estudos de alterações na vegetação e uso da terra em escala de bacias hidrográficas, uma vez que a identificação em mudanças das espécies pode ocorrer pelo estudo dos mapas de saldo de radiação e de índices de vegetação.

**Palavras-chave:** Saldo de Radiação, Índices de Vegetação, Sensores Remotos.

**NOVAS, Maria Fátima Bettini. Mapping of the estimates of the balance of radiation and indices of vegetation in an area of the state of Alagoas, based on remote sensing. Orientador: Frederico Tejo Di Pace, Dr. Maceió-AL, UFAL, 2008. Dissertation (Master in Meteorology).**

### **ABSTRACT**

The balance of radiation at the surface is of great importance in studies related to the flow of heat in the atmosphere, particularly in agricultural crops in areas and basins. This work mapped the components of the radiation balance of the land surface and vegetation indices of the area with the river basin Pratagy in Alagoas, by means of remote sensing data in days of clear sky. In the estimation of the components of the balance of radiation were used data from TM-Landsat 5 and algorithm SEBAL - Surface Energy Balance Algorithm for Land is proposed by Bastiaanssen Land (1995). We analyzed the images of the day 06/11/1990, 09/21/1998 and 09/03/2003. The average value of the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) in 0.633 was 06/11/1990, 0.607 and 0.502 on 09/21/1998 to 09/03/2003, evidencing reduction of vegetation in the area in 1990 to study 1998 and also from 1998 to 2003. The gradual reduction of NDVI that occurred between the years studied, where the low values of 0 - 0.20 are found in more urbanized area, may have resulted from the urbanization process which intensified in these years. The classified image of the subtraction of NDVI between 1990 and 1998, however, demonstrated that in 59.5% of the area in study was little variation in the index. Once in the image of the subtraction of NDVI between 1998 the 2003 evidenced more that in almost 50% of the area in study was loss of vegetation and more spatially distributed in the central part of it. The instantaneous average value of the balance of radiation to the surface (Rn) increased from 1990 to 1998 and decreased between 1998 and 2003, with ranges of 129.6 W/m<sup>2</sup> and 77.3 W/m<sup>2</sup> respectively. In the classified image subtraction of Rn between 1990 and 1998 found that the increase was well distributed in 93.4% of the area. And the image of the subtraction of Rn between 1998 and 2003 showed that the decrease of Rn was also well distributed spatially in 82.5% of the area. The estimated average snapshot of the surface temperature (Ts) between 1990 and 1998 was an increase in the range of 3.3°C, while from 1998 to 2003 occurred decrease of 2.7°C. The gradual increase Ts between 1990 and 1998, where values above 26°C are found in more urbanized regions of the area under study may have been due to the intensification of the process of urbanization. The analysis of critical areas in relation to the occurrence of loss of vegetation cover has proved that the NDVI is related with the indirect the surface albedo and the Ts, while the Rn with a direct relationship. The analysis of the critical areas of loss or gain of Rn showed that the albedo and Ts almost always act inversely with the Rn and the rates of vegetation directly. It was evident to appropriate employment potential of SEBAL in studies of changes in vegetation and land use in watersheds of scale, since the identification of changes in species can occur by studying the maps of net radiation and rates of vegetation.

**Keyword:** Radiation Balance, vegetation indices, remote sensing.

## SUMÁRIO

DEDICATÓRIA .....	i
OFERECIMENTO .....	ii
AGRADECIMENTOS .....	iii
RESUMO .....	iv
ABSTRACT .....	v
LISTA DE SIGLAS .....	ix
LISTA DE SÍMBOLOS .....	xii
LISTA DE FIGURAS .....	xiv
LISTA DE TABELAS .....	xviii
LISTA DOS QUADROS .....	xx
LISTA DAS EQUAÇÕES .....	xxi
1 – INTRODUÇÃO .....	1
2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	4
2.1 – Sensoriamento Remoto (SR) .....	4
2.1.1 – Conceitos Básicos de SR .....	5
2.1.2 – Plataformas de SR .....	6
2.1.3 – Tipos de Dados .....	7
2.2 – Sensoriamento Remoto e a Meteorologia .....	9
2.3 – Sistemas de Satélites .....	11
2.3.1 – Série Landsat .....	11
2.3.2 – Sistema de Satélites NOAA – Sensor AVHRR .....	12
2.3.4 – Programa CBERS .....	14
2.3.5 – Satélite Terra – Sensores ASTER e MODIS .....	15
2.4 – Balanço de Radiação da Superfície Terrestre .....	17
2.5 – Albedo da Superfície .....	18
2.6 – Índices de Vegetação .....	19
2.7 – Temperatura da Superfície Terrestre .....	21
2.8 – Saldo de Radiação à Superfície .....	22
2.9 – SR e o uso em estimativas de fluxos energéticos .....	23
2.10 – SEBAL .....	26
2.10.1 – Histórico SEBAL .....	27
2.10.2 – Sebal e Imagens Landsat, Terra/ASTER e AVHRR .....	28

2.10.3 – Parametrização e validação do SEBAL .....	29
2.10.4 – SEBAL e Albedo da Superfície Terrestre.....	30
2.10.5 – SEBAL e índices de Vegetação.....	31
2.10.6 – SEBAL e a Temperatura da Superfície Terrestre .....	32
2.10.7 – SEBAL e o Saldo de Radiação à Superfície .....	34
2.10.8 – SEBAL e uso em Áreas hidrográficas.....	35
3 – MATERIAIS E MÉTODOS.....	39
3.1 – Materiais.....	39
3.1.1 – Área de Estudo .....	39
3.1.2 – Clima.....	41
3.1.3 – Uso e cobertura do Solo .....	44
3.1.4 – Dados Utilizados .....	46
3.1.5 – Softwares utilizados .....	49
3.2 – Metodologia.....	50
3.2.1 – Cálculo do Balanço de Radiação de Radiação à superfície .....	51
3.2.1.1 – Calibração radiométrica .....	51
3.2.1.2 – Refletividade.....	52
3.2.1.3 – Albedo no topo da atmosfera .....	53
3.2.1.4 – Albedo da superfície.....	53
3.2.1.5 – Índices de vegetação: IVDN, IVAS e IAF .....	54
3.2.1.6 – Emissividade da superfície.....	55
3.2.1.7 – Temperatura da superfície .....	56
3.2.1.8 – Radiação de onda longa emitida.....	56
3.2.1.9 – Radiação de onda curta incidente .....	56
3.2.1.10 – Radiação de onda longa incidente .....	57
3.2.1.11 – Saldo de radiação à superfície .....	57
3.2.2 – Álgebra das imagens .....	58
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	59
4.1 – Análise dos parâmetros estimados .....	64
4.1.1 – Albedo da superfície .....	65
4.1.2 – Transmissividade atmosférica e emissividade da superfície.....	68
4.1.3 – Índices de vegetação: IVDN, IVAS e IAF .....	71
4.1.3.1 – IVDN.....	71
4.1.3.2 – IVAS .....	74

4.1.3.3 – IAF.....	78
4.1.4 – Temperatura da superfície.....	81
4.1.5 – Radiação de onda longa emitida ( $R_{L\uparrow}$ ).....	86
4.1.6 – Radiação de onda curta e longa incidente ( $R_{S\downarrow}$ ) ( $R_{L\downarrow}$ ) .....	88
4.1.7 – Saldo de radiação à superfície.....	89
4.2 – Análise através de álgebra das imagens classificadas .....	93
4.2.1 – Análise da álgebra das imagens do albedo da superfície.....	94
4.2.2 – Análise da álgebra das imagens dos índices de vegetação – IVDN, IVAS e IAF.....	95
4.2.3 – Análise da álgebra das imagens da temperatura da superfície.....	101
4.2.4 – Análise da álgebra das imagens do saldo de radiação à superfície.....	104
4.2.5 – Análise das áreas mais críticas em relação IVDN e saldo de radiação .....	105
4.3 – Análise dos parâmetros estimados para alvos pré-selecionados.....	114
4.3.1 – Albedo da Superfície para os alvos pré-selecionados .....	117
4.3.2 – Índices de Vegetação para os alvos pré-selecionados .....	119
4.3.3 – Temperatura da Superfície para os alvos pré-estabelecidos... ..	126
4.3.4 – Saldo de Radiação à Superfície nos alvos pré-estabelecidos .	128
5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....	132
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	136
ANEXOS.....	153

## LISTA DE SIGLAS

APAR	Radiação fotossinteticamente ativa absorvida
ARVI	Índice de Vegetação com Resistência Atmosférica
ASTER	Advanced Spacebone Thermal Emission and Reflection Radiometer
AVHRR	Advanced Very High Resolution Radiometer
AVIRIS	Airborne Visible/ Infrared Imaging Spectrometer
BE	Balanço de Energia
BRDF	Distribuição bidirecional da reflectância
CAST	Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia
CASA	Carnegie Ames Stanford Approach
CBERS	China-Brazil Earth Resources Satellite
CCD	Câmara de Alta Resolução
CERES	Clouds and the Earth's Radiant Energy System
CHRIS	Formato de dados disponibilizado pela Guarda Costeira dos EUA
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EBT-BBT	ESUN Based Weighting and Broad-Band Transmittance
EEM	Espectro eletromagnético
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Agropecuária
EOS	Earth Observing System
ERS	European Remote Sensing Satellite
ERTS-1	Earth Resources Tecnology Satellite 1
ET	Evapotranspiração real
ET <sub>c</sub>	Evapotranspiração da cultura
ET <sub>0</sub>	Evapotranspiração de referência
ETM	Enhanced thematic mapper
ETM+	Enhanced thematic mapper plus
FAO	Food and Agriculture Organization of the United Nations
GOES	Geostationary Operational Environmental Satellite
IHS	Intensity-Hue-Saturation
HRC	Câmera Pancromática de Alta Resolução
HRV	High Resolution Visible
IAF	Índice de Área Foliar
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRMSS	Varredor Multiespectral Infravermelho
IRS	Indian Remote Sensing Satellite
IV	Resposta do pixel na banda do infravermelho próximo
IVAS	Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN	Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
IVM	Reflectância na faixa do infravermelho médio
JERS	Japanese Earth Resources Satellite
LAI	Leaf Area Index
LBA	Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia
MED	Modelo de Elevação Digital
METRIC	Mapping Evapotranspiration at High Resolution using Internalized Calibration
MODIS	Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
MODTRAN	MODerate resolution atmospheric TRANsmission
MOPITT	Measurements of Pollution in the Troposphere
MS	Multiespectral
MSRI	Multi-angle Imaging SpectroRadiometer
MSS	Multispectral scanner system
NASA	National Aeronautics and Space Administration
ND	Números Digitais
NDVI	Normalized Vegetation Difference Index
NEB	Nordeste Brasileiro
NESDIS	National Environmental Satellite and Information Service
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
ONU	Organização das Nações Unidas
PAN	Pancromático
PAR	Radiação Fotossinteticamente Ativa
PI	Planos de informação
PISNC	Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho
PROBA	Project for On-Board Autonomy
PROSPECT	Model of Leaf Optical Properties Spectra
RBV	Return Beam Vidicon
REM	Radiação eletromagnética
RGB	Red, Green, Blue

S-SEBI	Simplificate Surface Energy Balance Index
SAILH	Reflectance Model for a Leaf canopy layer including the hotspot-effect
SAVI	Soil-Adjusted Vegetation Index
SEBAL	Surface Energy Balance Algorithm for Land
SEBS	Surface Energy Balance System
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SITIM	Sistema de Tratamento Digital de Imagens
SMMR	Scanning Multi-channel Microwave Radiometer
SPRING	Sistema de Processamento de Imagens Georreferenciadas
SR	Sensoriamento Remoto
SRP	Saldo de Radiação Planetário
SRS	Saldo de Radiação na Superfície
SUDENE	Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste
TIROS	Television and Infrared Observation Satellite
TM	Thematic Mapper
TOA	Topo da Atmosfera
TST	Temperatura da superfície terrestre
VIS	Resposta espectral do pixel na banda do visível
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFCG	Universidade Federal de Campina Grande
UTM	Universo Transverso de Mercator
WFI	Imageador de Visada Larga

## LISTA DE SÍMBOLOS

$a$	Ângulo Azimutal	
$a_i$	Radiância Espectral mínima	[W/cm <sup>2</sup> .μm.sr]
$b_i$	Radiância Espectral máxima	[W/cm <sup>2</sup> .μm.sr]
$D$	Dia de ordem do ano	
$d_r$	Distância relativa Terra-Sol	[UA]
$d_{T-S}$	Distância Terra-Sol	[UA]
$G$	Fluxo de calor no solo	[W.m <sup>-2</sup> ]
$K_c$	índice de cultura	
$L_{máx}$	Radiância Espectral máxima	[W/cm <sup>2</sup> .μm.sr]
$L_{mín}$	Radiância Espectral mínima	[W/cm <sup>2</sup> .μm.sr]
$r_c$	Albedo da radiação de onda curta do dossel da cultura	
$r_i$	Albedo infravermelho próximo	
$r_p$	Albedo PAR	
$r_s$	Albedo de onda curta da superfície do solo	
$R_{L↑}$	Radiação de onda longa emitida pela superfície	[W.m <sup>-2</sup> ]
$R_{L↓}$	Radiação de onda longa incidente	[W.m <sup>-2</sup> ]
$R_n$	Saldo de Radiação	[W.m <sup>-2</sup> ]
$R_{S↑}$	Radiação de onda curta emitida pela superfície	[W.m <sup>-2</sup> ]
$R_{S↓}$	Radiação de onda curta incidente	[W.m <sup>-2</sup> ]
$S$	Constante Solar	[Wm <sup>-2</sup> ]
$T_o$	Temperatura da superfície terrestre	[°C]
$T_a$	Temperatura do ar próximo a superfície	[°C]
$T_b$	Temperatura de brilho	[°C]
$T_s$	Temperatura da superfície	[K]
$UA$	Unidades Astronômicas	
$Z$	Ângulo Zenital do Sol	[graus]
$z$	altitude de cada pixel	[m]
$\alpha$	Albedo da Superfície	
$\alpha_p$	Albedo Planetário	
$\alpha_{toa}$	Albedo no topo da atmosfera	
$\beta$	Ângulo de elevação solar	[graus]
$\delta$	Declinação do Sol	[graus]
$\phi$	Latitude	[graus]
$\varepsilon_a$	Emissividade atmosférica	
$\varepsilon_{NB}$	Emissividade da banda termal	
$\varepsilon_o$	Emissividade da superfície	
$k_{\lambda_i}$	Irradiância solar espectral de cada banda no TOA	[W/cm <sup>2</sup> .μm.sr]
$\gamma$	Ângulo de aspecto da superfície	[graus]

$\lambda$	Comprimento da onda	[graus]
$\theta$	Ângulo solar zenital	[radiano]
$\rho_{IV}$	Reflectividade do infravermelho próximo	
$\rho_V$	Reflectividade do vermelho	
$\sigma$	Constante de Stefan-Boltzman	[W m <sup>-2</sup> K <sup>-4</sup> ]
$\tau_{sw}$	Transmissividade atmosférica	
$\varpi_\lambda$	Coefficiente de regressão	[graus]
$\omega$	Ângulo horário	[graus]

## LISTA DAS FIGURAS

Figura 2.1	Informação x Tipo de Sensor usado.....	7
Figura 2.2	Áreas observadas por alguns satélites geostacionários	10
Figura 2.3	Saldo de radiação à superfície .....	23
Figura 3.1	Localização da bacia do rio Pratagy.....	39
Figura 3.2	Áreas delimitadas com a bacia do Rio Pratagy.....	40
Figura 3.3	Perfil longitudinal da bacia do rio Pratagy .....	41
Figura 3.4	Distribuição espacial da precipitação média anual das áreas do Litoral Norte de Alagoas, ressaltando Região Hidrográfica do Pratagy.....	42
Figura 3.5	Mapa das estações pluviométricas e fluviométricas da área em estudo .....	44
Figura 3.6	Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição falsa cor de 11/06/1990, realçando a bacia do Pratagy.....	47
Figura 3.7	Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição falsa cor de 21/09/1998, realçando a bacia do Pratagy.....	48
Figura 3.8	Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição falsa cor de 03/09/2003, realçando a bacia do Pratagy.....	48
Figura 3.9	Diagrama das etapas do processamento do balanço de radiação à superfície do algoritmo SEBAL.....	50
Figura 4.1	Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor com os três alvos pré-selecionados para análise do dia 11/06/1990 .....	62
Figura 4.2	Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor com os três alvos pré-selecionados para análise do dia 21/09/1998 .....	62
Figura 4.3	Recortes da imagem da área em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor com os quatro alvos pré-selecionados para análise do dia 03/09/2003 .....	63
Figuras 4.4	Histogramas de frequência do albedo da superfície (%) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).....	65
Figuras 4.5	Imagens classificadas do albedo da superfície estimado (%) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). ....	67

Figuras 4.6	Histogramas de frequência da emissividade da superfície estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	69
Figuras 4.7	Imagens classificadas da emissividade da superfície ( $\epsilon_0$ ) estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	70
Figuras 4.8	Histogramas de frequência do IVDN estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	72
Figuras 4.9	Imagens classificadas do IVDN estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	73
Figuras 4.10	Histogramas de frequência do IVAS estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	75
Figuras 4.11	Imagens classificadas do IVAS estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	76
Figuras 4.12	Histogramas de frequência do IAF estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	79
Figuras 4.13	Imagens classificadas do IAF estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	80
Figuras 4.14	Histogramas de frequência da temperatura da superfície instantânea estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	82
Figuras 4.15	Imagens classificadas da temperatura da superfície estimada ( $^{\circ}\text{C}$ ) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	83
Figuras 4.16	Histogramas de frequência da ROL emitida ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) instantânea estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	87
Figuras 4.17	Imagens classificadas da ROL emitida ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) instantânea estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	88
Figuras 4.18	Histogramas de frequência do saldo de radiação à superfície instantâneo estimado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	90
Figuras 4.19	Imagens classificadas do saldo de radiação à superfície instantâneo estimado ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c). .....	91
Figuras 4.20	Imagens da subtração do albedo da superfície estimado: (a) entre 11/06/1990 e 21/09/1998 e (b) entre 21/09/1998 e 03/09/2003 .....	94
Figuras 4.21	Histogramas de frequência das imagens de subtração do IVDN estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b). .....	96

Figuras 4.22	Imagens classificadas da subtração do IVDN estimado: (a) entre o dia 11/06/1990 e o de 21/09/1998 e (b) entre o de 21/09/1998 e o dia 03/09/2003.....	96
Figuras 4.23	Histogramas de frequência das imagens de subtração do IVAS estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).....	98
Figuras 4.24	Imagens classificadas da subtração do IVAS estimado: (a) entre 11/06/1990 e 21/09/1998 e (b) entre 21/09/1998 e 03/09/2003 ....	99
Figuras 4.25	Histogramas de frequência das imagens de subtração do IAF estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).....	99
Figuras 4.26	Imagens classificadas da subtração do IAF estimado: (a) entre o dia 11/06/1990 e o de 21/09/1998 e (b) entre o de 21/09/1998 e o dia 03/09/2003.....	100
Figuras 4.27	Histogramas de frequência das imagens de subtração da temperatura da superfície estimada entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).....	101
Figuras 4.28	Imagens classificadas da subtração da temperatura da superfície estimada: (a) entre o dia 11/06/190 e o de 21/09/1998 e (b) entre o de 21/09/1998 e o dia 03/09/2003.....	102
Figuras 4.29	Histogramas de frequência das imagens de subtração do saldo de radiação à superfície estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).....	103
Figuras 4.30	Imagens classificadas da subtração do saldo da radiação à superfície instantâneo estimado: (a) entre o dia 11/06/190 e o de 21/09/1998 e (b) entre o de 21/09/1998 e o dia 03/09/2003 .....	104
Figuras 4.31	Imagens classificadas da subtração do IVDN (a) entre o dia 21/09/1998 e 03/09/2003 e do Rn instantâneo estimado: (b) entre o dia 11/06/1990 e 21/09/1998 e (c) entre o de 21/09/1998 e 03/09/2003 .....	106
Figuras 4.32	Perfis do comportamento na imagem subtração de 1998-2003 do IVDN na área R1 em relação às imagens subtração de 1998-2003 do albedo da superfície (%) (a), da temperatura da superfície (°C) (b) e do saldo de radiação (W/m <sup>2</sup> ) (c).....	107
Figuras 4.33	Perfis do comportamento do Rn (W/m <sup>2</sup> ) da área R2 na imagem subtração de 1990-1998 em relação às imagens subtração de 1990-1998 do albedo da superfície (%) (a) e da temperatura da superfície (°C) (b).....	109.
Figuras 4.34	Perfis do comportamento do Rn (W/m <sup>2</sup> ) da área R2 na imagem subtração de 1990-1998 em relação às imagens subtração de 1990-1998 do IVDN (a), do IVAS (b) e do IAF (c) .....	110
Figuras 4.35	Perfis do comportamento do Rn (W/m <sup>2</sup> ) da área R3 na imagem subtração de 1998-2003 em relação às imagens de subtração de 1998-2003 do albedo da superfície (%) (a) e da temperatura da superfície (°C) (b).....	111

Figuras 4.36	Perfis do comportamento do $R_n$ ( $W/m^2$ ) da área R2 na imagem subtração de 1998-2003 em relação as imagens subtração de 1998-2003 do IVDN (a), do IVAS (b) e do IAF (c). .....	112
Figuras 4.37	Perfis do comportamento do albedo da superfície para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.....	118
Figuras 4.38	Perfis do comportamento do IVDN estimado para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados .....	120
Figuras 4.39	Perfis do comportamento do IVAS estimado para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados .....	122
Figuras 4.40	Perfis do comportamento do IAF estimado para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.....	125
Figuras 4.41	Perfis do comportamento da temperatura da superfície estimada para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados .....	127
Figuras 4.42	Perfis o comportamento do saldo de radiação à superfície instantâneo para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.....	129

## LISTA DAS TABELAS

Tabela 2.1	Albedo para alguns tipos de superfícies.....	18
Tabela 3.1	Normais Climatológicas da Estação Climatológica de Maceió – INMET .....	42
Tabela 3.2	Classes de uso da terra na bacia do rio Pratagy e suas respectivas áreas .....	45
Tabela 3.3	Bandas de imagens do Landsat TM 5 com os correspondentes coeficientes de calibração (radiância mínima – <b>a</b> máxima – <b>b</b> ) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA) .....	51
Tabela 3.4	Coeficientes de regressão ( $\omega_\lambda$ ) .....	53
Tabela 4.1	Valores do ângulo nadir, ângulo azimutal, ângulo de elevação solar, ângulo horário, ângulo zenital, a declinação solar, distância relativa Terra-Sol, tamanho do pixel das bandas não termais, pixel da banda termal e a temperatura do ar próximo à superfície na hora da passagem do satélite TM-Landsat 5 pela área de estudo .....	59
Tabela 4.2	Valores da temperatura e de precipitação médios mensais e decendiais obtidos pela estação do campus da Agrárias – UFAL, Rio Largo – AL .....	60
Tabela 4.3	Resultados dos valores estimados médios do cálculo de $R_n$ para os três dias analisados.....	64
Tabela 4.4	Valores estatísticos do albedo da superfície (mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão) da área em estudo, para os dias estudados .....	66
Tabela 4.5	Valores estatísticos da emissividade da superfície (mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão) para os dias estudados, da área em estudo .....	69
Tabela 4.6	Valores estatísticos do IVDN (mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão) da área em estudo, para os dias estudados .....	72
Tabela 4.7	Valores estatísticos do IVAS (mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão) para os dias estudados da área em estudo .....	75
Tabela 4.8	Valores estatísticos do IAF (mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão) para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003 da área em estudo.....	79
Tabela 4.9	Valores Estatísticos da temperatura da superfície, mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003.....	82
Tabela 4.10	Valores da temperatura medida pela estação do campus das Ciências Agrárias – UFAL, Rio Largo – AL e estimada para o pixel da estação .....	86

Tabela 4.11	Valores Estatísticos da radiação de onda longa emitida, mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão para os dias estudados.....	86
Tabela 4.12	Valores da radiação de onda curta e longa incidente para os dias estudados .....	89
Tabela 4.13	Valores Estatísticos do saldo de radiação à superfície, mínimo, máximo, médio, moda e o desvio padrão para os dias estudados.....	90
Tabela 4.14	Valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação para o dia 11/06/1990 nos alvos pré-selecionados da área em estudo .....	114
Tabela 4.15	Valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação para o dia 21/09/1998 nos alvos pré-selecionados da área em estudo .....	115
Tabela 4.16	Valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação para o dia 03/09/2003, nos alvos pré-selecionados da área em estudo .....	116

## LISTA DOS QUADROS

Quadro 2.1	Espectro eletromagnético associado à fonte de radiação e a propriedade medida .....	6
Quadro 2.2	Diferentes tipos de informações disponíveis em diferentes tipos de sensores.....	9
Quadro 2.3	Parâmetros do TM-Landsat 5.....	12
Quadro 2.4	Características das Bandas espectrais do TM/Landsat-5.....	12
Quadro 2.5	Bandas espectrais do sensor AVHRR .....	13
Quadro 2.6	As principais características dos satélites do programa CBERS ...	15
Quadro A.1	As principais características dos satélites do sistema Landsat ...	154
Quadro A.2	Bandas Espectrais do TM-Landsat 5 e suas aplicações.....	155
Quadro A.3	As principais características dos satélites do sistema NOAA .....	155
Quadro A.4	As principais características dos satélites do programa CBERS	156
Quadro A.5	As principais características do satélite TERRA .....	156
Quadro A.6	Bandas espectrais do satélite TERRA e suas resoluções .....	157

## LISTA DAS EQUAÇÕES

2.1	Índice de vegetação da diferença normalizada.....	20
2.2	Evapotranspiração de culturas .....	36
3.1	Calibração radiométrica .....	51
3.2	Refletividade monocromática de cada banda .....	52
3.3	Inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol .....	52
3.4	Albedo planetário .....	53
3.5	Coefficiente de regressão .....	53
3.6	Albedo da superfície .....	53
3.7	Transmissividade atmosférica .....	54
3.8	Índice de vegetação da diferença normalizada.....	54
3.9	Índice de vegetação ajustado para os efeitos do solo .....	55
3.10	Índice de área foliar .....	55
3.11	Emissividade termal.....	55
3.12	Emissividade da superfície .....	55
3.13	Temperatura da superfície .....	56
3.14	Radiação de onda longa emitida pela superfície .....	56
3.15	Radiação de onda curta incidente .....	56
3.16	Radiação de onda longa incidente.....	57
3.17	Emissividade atmosférica .....	57
3.18	Saldo de radiação à superfície .....	57

## 1 - INTRODUÇÃO

Técnicas de sensoriamento remoto podem ser utilizadas na estimativa de parâmetros hidrológicos e de suas influências na vegetação de áreas hidrográficas. O uso de imagens orbitais surge como uma opção a ser explorada, dado o seu caráter multiespectral, que possibilita uma análise aprofundada de componentes agrometeorológicos, como o albedo, índices de vegetação, temperatura da superfície, saldo de radiação, situação hídrica regional, etc. O problema está na maneira de interpretar os valores das bandas de radiação associados aos componentes agrometeorológicos. As várias transformações que atualmente ocorrem na superfície terrestre, como o desmatamento, a desertificação, a construção de barragens e a urbanização, podem afetar o microclima de diferentes modos; portanto, faz-se necessário distinguir e conhecer os processos básicos das superfícies continentais antes e após as alterações e, em particular, aqueles referentes à quantificação da radiação, principal fonte de aquecimento da superfície. Devido à escassez de dados, tornou-se indispensável à utilização de técnicas alternativas para auxiliar na complementação de informações meteorológicas sobre uma determinada localidade. E essas técnicas de sensoriamento remoto têm sido bastante utilizadas para obter informações de parâmetros de superfície e da atmosfera, que são importantes para o monitoramento de fluxos ou de parâmetros associados em escala regional e global, cujo nível de detalhamento é determinado pela resolução espacial dos sensores multiespectrais utilizados.

Nos últimos anos têm sido propostos alguns algoritmos para a estimativa dos componentes do balanço de energia à superfície levando em consideração a variabilidade espacial de muitas variáveis micrometeorológicas. Bastiaanssen (1995) propôs um modelo semi-empírico com abordagens intermediárias o algoritmo denominado balanço de energia para superfície continental. SEBAL, necessita de um número reduzido de dados de superfície. Foi proposto pelo pesquisador o

emprego de poucas relações e suposições empíricas que representam as questões do fluxo de calor no solo, da emissividade da superfície e dos parâmetros de rugosidade aerodinâmica para o transporte de momentum e calor (PAIVA, 2005). O SEBAL tem sido utilizado em diferentes países e tem proporcionado resultados satisfatórios no sentido de análise do uso racional dos recursos naturais, manejo da irrigação e gerenciamento de recursos hídricos (BASTIAANSSEN, 2000; ALLEN et al., 2003; MORSE et al., 2003b).

No Brasil, atualmente, o crescimento desordenado da atividade agrícola e da urbanização sem critérios básicos de planejamento ambiental, principalmente em áreas de áreas hidrográficas é um dos mais importantes problemas ambientais. Isto ocorre porque esse crescimento acontece sem ou com precárias práticas de uso e parcelamento do solo, podendo ocasionar fenômenos erosivos e conseqüentemente o assoreamento de cursos d'água e reservatórios.

A área do Rio Pratagy é responsável pelo sistema de abastecimento de água do município de Maceió, capital de Alagoas. Diante do processo acelerado de substituição da vegetação nativa na área investigada pela cultura de cana de açúcar e a urbanização crescente, o estudo através de imagens de satélite, objetiva a identificação das condições vegetacionais na área do rio Pratagy pela necessidade de exploração de seus recursos hídricos com garantia de disponibilidade de água potável em Maceió, além desta perspectiva também contribuir para o gerenciamento deste ambiente.

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos em uma área hidrográfica necessitam da identificação dos agentes que atuam em sua área, no sentido de regular as demandas e a disponibilidade destes recursos. Está em fase de implantação o Plano Diretor da Região Hidrográfica (PDRH) do Pratagy e tem por objetivo geral, estabelecer as bases de um modelo de gestão de Recursos Hídricos para o Semi-árido Brasileiro, que equacione os conflitos relativos aos usos da água e reverta o processo de degradação ambiental em que se encontra a região, permitindo que as perspectivas de crescimento ocorram em sintonia com um processo de desenvolvimento sustentável (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

A união de imagens de satélites e do algoritmo SEBAL é importante para que pesquisas sejam desenvolvidas em áreas grandes como áreas ou micro-áreas hidrográficas para auxiliar na gestão das mesmas. De modo a avaliar a aplicabilidade da metodologia desenvolvida para estimar o saldo de radiação usando

imagens de satélites, foi proposto este estudo para uma localizada no estado de Alagoas, que contém a bacia do rio Pratygy em três períodos. No sentido de aperfeiçoar o procedimento de análise, o objetivo geral desse trabalho foi à elaboração de mapas do saldo de radiação solar à superfície e de índices de vegetação na área especificada em três períodos utilizando dados multiespectrais do TM-Landsat 5 e verificar o desempenho das estimativas. Para a execução deste objetivo geral, os objetivos específicos foram os seguintes:

- Estimativa e mapeamento do albedo da superfície, da emissividade, da temperatura de superfície, da radiação de onda curta e de onda longa utilizando imagens de satélites e elaboração dos mapas destas variáveis;
- Análise dos resultados através de álgebras de imagens dos dias estudados somente dos principais parâmetros estimados (albedo da superfície, índices de vegetação, temperatura da superfície e saldo de radiação à superfície) no intuito de analisar a variação da cobertura vegetal da área nos períodos estudados;
- Análise dos resultados estimados em alvos pré-estabelecidos com uso e ocupação de solos diferentes.

Essa Dissertação de Mestrado é constituída de cinco capítulos, acrescidos das referências bibliográficas e dos anexos. O primeiro capítulo faz uma introdução do trabalho, apresentando as questões sociais, ambientais e a técnica de abordagem utilizada para alcançar os objetivos. O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica que procura esclarecer alguns conceitos sobre sensoriamento remoto e o uso de suas técnicas e processamento de imagens digitais na análise de áreas hidrográficas quanto à metodologia utilizada para a geração de mapas dos parâmetros estimados e analisados nesta dissertação e noções gerais sobre eles. O terceiro capítulo caracteriza um contexto regional e local e aponta os principais aspectos dessa área hidrográfica e apresenta a metodologia usada para realização da estimação desses parâmetros. O quarto capítulo enumera os resultados apresentando as discussões dos diferentes produtos gerados. O quinto capítulo apresenta as conclusões do trabalho, baseado nos objetivos, a aplicabilidade da metodologia utilizada em áreas hidrográficas sugerindo algumas modificações para futuras pesquisas relacionadas ao tema. O último capítulo são as referências bibliográficas. Por fim, são apresentados os anexos contendo alguns quadros e resultados detalhados das análises.

## **2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Esta revisão bibliográfica traz em seu conteúdo, primeiramente, uma explanação sobre os principais conceitos ligados ao sensoriamento remoto, e o seu uso na estimativa de índices de vegetação e balanço de radiação em áreas hidrográficas. Em seguida são levantados os artigos ligados ao tema, no sentido de permitir identificar as linhas de pesquisa mais relacionadas à metodologia do estudo, com enfoque especial na literatura mais recente e aplicada aos recursos hídricos.

### **2.1 - Sensoriamento Remoto**

Praticamente toda a troca de energia entre a Terra e o resto do Universo ocorre por radiação, que é a única que pode atravessar o relativo vazio do espaço. O sistema Terra-atmosfera está constantemente absorvendo radiação solar e emitindo sua própria radiação para o espaço. A radiação eletromagnética (REM) é uma forma de propagação da energia entre dois sistemas e pode ser considerada como um conjunto de ondas (elétricas e magnéticas). As várias formas de radiação, caracterizadas pelo seu comprimento de onda e frequência, compõem o espectro eletromagnético (EEM).

Sensoriamento Remoto (SR) pode ser definido como a aquisição de informação sobre um objeto a partir de medidas feitas por um sensor que não se encontra em contato físico direto com ele. Existem na literatura diversas definições para SR:

- “Ciência de observação à distância” (BARRETT & CURTIS, 1992).
- “Ciência e arte de obter informações a respeito de um objeto, área ou fenômeno pela análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação” (LILLESAND & KIEFER, 1987).

As informações sobre o objeto medidas pelo sensor são derivadas a partir da detecção e mensuração das modificações que ele impõe sobre os campos de força que o cercam. Estes campos de força podem ser eletromagnéticos, acústicos ou potenciais (CENTENO, 2004). Apesar dessa definição mais ampla de SR incluir campos de força acústicos e potenciais, o termo SR é tipicamente utilizado apenas para sensores que medem alterações no campo eletromagnético. Atualmente, ao se referir à tecnologia de SR está se restringindo aos sensores e as metodologias voltadas à conversão de sinais derivados da interação entre a REM e corpos materiais. Radiação eletromagnética é radiação emitida pelo Sol e pode ser por ondas elétricas e magnéticas, segundo a teoria ondulatória. Utilizando a teoria das ondas para descrever sua propagação, a radiação eletromagnética pode ser descrita em termos de comprimento de onda ( $\lambda$ ), amplitude e frequência. Conhecendo como a radiação interage com as feições da Terra pode-se obter diversas informações das mesmas pela coleta e análise de dados de radiação (CENTENO, 2004). O uso universal da radiação eletromagnética para as atividades de sensoriamento remoto resulta do fato de que os demais campos de força, como o acústico e o gravitacional, dependem de um meio de propagação do sinal emitido pela fonte, enquanto que o campo eletromagnético se propaga no vácuo, o que tornou historicamente possível o desenvolvimento do SR espacial.

### **2.1.1 – Conceitos básicos de SR**

Ao interagir com os alvos da superfície terrestre a REM pode ser absorvida, refletida, transmitida e emitida por eles seletivamente. As proporções de cada uma dessas componentes da interação dependem dos fatores ambientais e os inerentes a cada alvo. A interação da REM com a matéria pode alterar as seguintes propriedades da radiação incidente: intensidade, direção, comprimento de onda, polarização e fase (CENTENO, 2004). A resposta que o alvo dá para cada comprimento de onda são as assinaturas espectrais, isto é, a reflexão para tal comprimento de onda, propriedades da refletância. As assinaturas espectrais dos diferentes alvos superficiais devem ser consideradas em todo EEM. A curva de refletância espectral descreve a variação da refletância de um determinado material em função do comprimento de onda (CENTENO, 2004). A refletância corresponde à percentagem da REM incidente, tipicamente radiação solar, que é refletida pelo

material. O Quadro 2.1 mostra a relação entre EEM e a fonte de radiação e a propriedade medida pelos sensores que utilizam as faixas da onda especificadas. Essas propriedades são mostradas pelas curvas de respostas de reflectância espectral de cada alvo. Essa curva fornece uma visão sobre o comportamento espectral dos diferentes alvos ao longo do EEM e serve para orientar a escolha de regiões ou intervalos de comprimento de onda a serem utilizados para determinadas aplicações de SR (CROSTA, 1993). Muitos destes trabalhos estão vinculados à compilação de assinaturas espectrais provenientes de dados multiespectrais e sua interpretação (BARRET & CURTIS, 1992).

Quadro 2.1 – Espectro eletromagnético associado à fonte de radiação e a propriedade medida (NOVO, 2002).

<b>Nome</b>	<b>Intervalo Espectral</b>	<b>Fonte de Radiação</b>	<b>Propriedade Medida</b>	<b>Fenômeno</b>
<b>Visível</b>	0,4 – 0,7	Sol	Reflectância	Absorções
<b>Infravermelho próximo</b>	0,7 – 1,1	Sol	Reflectância	Absorções/ Vibrações
<b>Infravermelho de onda curta</b>	1,1 – 1,35 1,4 – 1,8 2,0 – 2,5	Sol	Reflectância	Vibrações
<b>Infravermelho médio</b>	3,0 – 4,0	Sol	Reflectância	Vibrações
	4,5 – 5,0	Corpos terrestres/altas temperaturas	Temperatura	Emissão
<b>Infravermelho termal</b>	8,0 – 9,5 10 - 14	Terra	Temperatura	Emissão

### 2.1.2 - Plataformas de SR

Para que um produto de SR exista, seja ele primário ou secundário, há sempre a necessidade de que a propriedade de reflexão ou emissão do alvo seja medida, mensurada, por um sensor remoto. No contexto da captura das imagens têm-se os sensores remotos e as plataformas, fazendo parte do que se denomina “Sistemas de Sensoriamento Remoto”. Estes sistemas são os veículos e instrumentos necessários à coleta de dados para serem analisados pela comunidade científica e de usuários em geral (EPIPHANIO, 2005). O sistema sensor mede a radiação eletromagnética e gera o valor digital ou um produto analógico e a plataforma é o elemento de suporte usado pelo sensor e encarregado do seu transporte (CENTENO, 2004).

As plataformas de SR definem o nível de aquisição dos dados. Esses níveis podem ser orbitais (representados pelas plataformas espaciais, satélites), aéreos (representados pelas aeronaves e helicópteros) e terrestres (representados por torres e sistemas radiométricos de campo) (MOREIRA, 2005). Os satélites podem apresentar uma grande variação quanto ao padrão orbital em relação à Terra. Os que mais interessam para o SR são divididos em duas grandes categorias: os de órbita baixa (os de recursos naturais ou de observação da Terra) e os de órbita alta (os meteorológicos). Estes últimos são os geoestacionários e têm sua maior aplicação no campo da meteorologia.

### 2.1.3 - Tipos de dados

Os tipos de dados de SR a serem adquiridos dependem do tipo de informação necessária, do tamanho e da dinâmica dos objetos ou fenômenos estudados. Os sensores correspondentes e o papel que têm na aquisição dos diferentes tipos de informação encontram-se ilustrados na Figura 2.1.

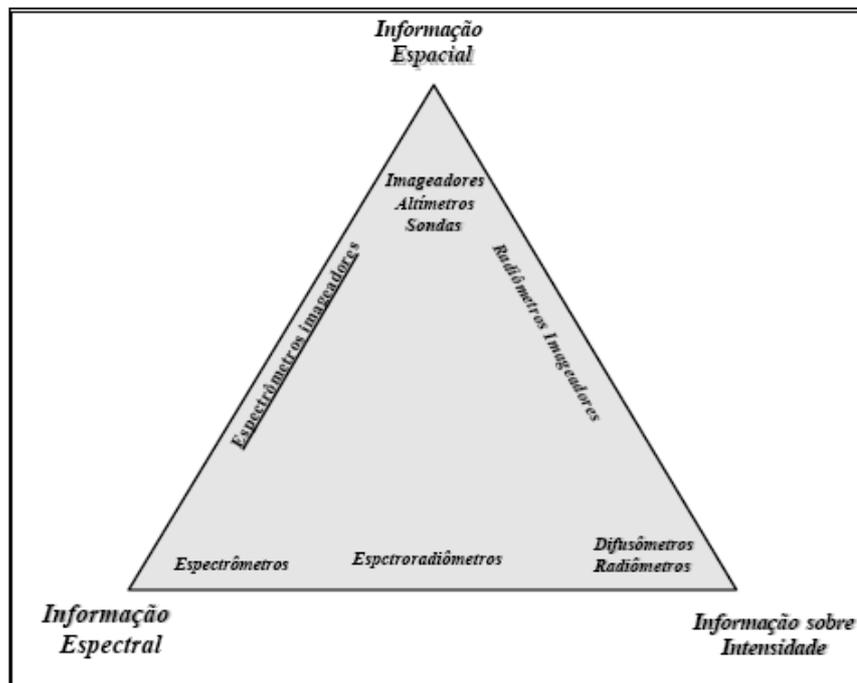


Figura 2.1 – Informação x Tipo de Sensor usado (adaptado de NOVO, 2008).

Em relação a esse tipo de informação e a periodicidade desejada, a escolha dos sensores em estudos é referenciada pelos tipos de resolução das imagens de satélites. As resoluções são:

- Espectral: define os intervalos da energia eletromagnética cobertos pelo sensor. Esta resolução está associada ao número de faixas e à largura das faixas espectrais nas quais a radiação eletromagnética é medida. Quanto maior o número de faixas e menor a largura delas, maior é a capacidade do sistema registrar diferenças espectrais entre os objetos (MOREIRA, 2005). No Sistema ETM-Landsat 7 esta resolução varia de 0,45 – 12,50  $\mu\text{m}$ , com 8 bandas. No Sistema NOAA para o sensor AVHRR/3 esta resolução varia de 0,58 – 12,50  $\mu\text{m}$ , com 5 bandas.
- Espacial: menor área que o sensor pode detectar. É uma função da geometria da tomada da imagem. A área correspondente a cada detector na superfície do terreno depende do ângulo de visão instantâneo de cada detector e da altura da plataforma. Quanto menor a distância entre a plataforma e o objeto, maior será a capacidade de distinguir os detalhes. Da mesma forma, o grau de detalhe da imagem aumenta na medida em que o ângulo de visão instantâneo de cada detector diminui. (CENTENO, 2004). No satélite TM-Landsat 5 a resolução espacial das bandas é de 30 metros x 30 metros no terreno, exceto da banda termal, que é de 120 metros x 120 metros. No Sistema NOAA cada pixel representa 1,1 km x 1,1 km no terreno.
- Radiométrica: é definida pelo número de níveis de cinza usados para expressar as variações da intensidade da energia coletada pelo sensor. Está associada à sensibilidade do sensor e refere-se ao número possível de dados para cada banda, ou seja, o número de bits (CENTENO, 2004). Por exemplo, em um dado de 8 bits os valores dos tons de cinza para cada pixel variam de 0 a 255. No caso do satélite TM-Landsat 5 a resolução radiométrica é de 8 bits e para o Sistema NOAA é de 10 bits.
- Temporal: refere-se à periodicidade em que determinada área é registrada pelo satélite num mesmo ângulo, ou o tempo de revisita do sensor no mesmo local da superfície terrestre (CENTENO, 2004). No caso do satélite TM-Landsat 5 a revisita ocorre a cada 16 dias e para o Sistema NOAA a periodicidade é diária.

Os métodos de SR permitem então integrar informações sobre os vários processos físicos e biológicos em diferentes escalas de tempo e espaço. O Quadro 2.2 apresenta relação de diferentes tipos de informação, comumente necessárias em estudos que envolvem a aplicação de técnicas de SR e os respectivos tipos de sensores empregados com alguns exemplos de equipamentos atualmente disponíveis.

Quadro 2.2 - Diferentes tipos de informações disponíveis em diferentes tipos de sensores (adaptado de MOREIRA, 2005).

<b>Tipo de Informação</b>	<b>Tipo de Sensor</b>	<b>Exemplo de Sistema</b>
Alta resolução e amplo recobrimento do terreno	Sensores imageadores e câmeras	Large Format Câmera, radar imageador do satélite JERS-1
Alta resolução espectral sobre áreas limitadas	Espectrômetros e espectro radiômetro	Shuttle Imaging Spectrometer
Resolução espectral limitada com alta resolução espacial	Mapeadores multiespectrais	TM/Landsat, HRV/Spot, Radarsat
Alta resolução espectral e alta resolução espacial	Espectrômetros imageadores	AVIRIS, MODIS, ASTER
Alta precisão de medidas de intensidade ao longo de linhas ou faixas	Radiômetros e Difusômetros	ERS-1 difusômetro
Alta precisão de medidas de intensidade com resolução espacial moderada	Radiômetros imageadores	SMMR/AVHRR
Alta precisão de localização e perfil	Altímetros e Sondas	Altímetro TOPEX/POSEIDON
Mapeamento tridimensional do terreno	Altímetros	Shuttle High Resolution Altimeter

## **2.2 - Sensoriamento Remoto e Meteorologia**

O primeiro satélite com aplicação exclusivamente meteorológica foi lançado em 1º de abril de 1960, o TIROS 1. Após o lançamento deste satélite, e com o avanço na área de eletrônica e informática, e com o desenvolvimento de novos sensores e softwares, os dados obtidos pelos satélites meteorológicos puderam então ser aplicados aos mais diversos campos de interesse da meteorologia. Os satélites meteorológicos podem ser classificados de acordo com sua órbita em três diferentes classes: Geoestacionários, Polares e Tropicais. Os satélites de órbita geoestacionária estão localizados a 36.000 km acima da superfície da Terra,

permitindo desta forma um monitoramento contínuo dos fenômenos atmosféricos que se desenvolvem na área de visada do satélite. A principal característica deste satélite é a obtenção de uma nova imagem a cada 30 ou 15 minutos. Outro fator importante associado a este tipo de satélites está relacionado com a área de cobertura, bem superior aos demais tipos de órbita acima mencionados, em razão da altitude em que está posicionado. Em função de esses satélites estarem colocados sobre a linha do equador as regiões polares não são monitoradas por eles. Na Figura 2.3 estão representadas as áreas observadas por alguns dos satélites geoestacionários que são utilizados no monitoramento dos principais fenômenos meteorológicos.

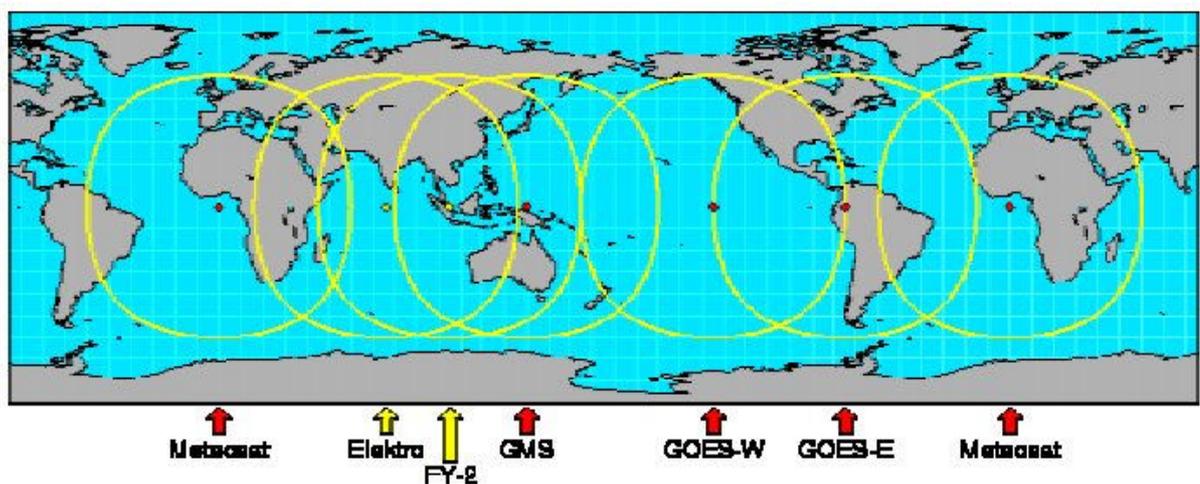


Figura 2.3 – Áreas observadas por alguns satélites geoestacionários (SOKOLIK, 2002).

Os satélites de órbita polar estão posicionados geralmente entre 700 e 800 km acima da superfície terrestre. Tem em geral um período orbital de 98 a 102 minutos o que fornece um total de aproximadamente 14 órbitas por dia. Em função da sua altitude, estes satélites cobrem uma faixa bem estreita da Terra por onde estão se deslocando. A principal característica deste satélite é que as regiões polares têm um monitoramento mais detalhado.

A área de pesquisa que emprega SR tem crescido. Nesse sentido, o SR via satélite proporciona uma alternativa para quantificar os fluxos de energia entre a atmosfera e a superfície terrestre com um fornecimento quase contínuo de dados com alta resolução temporal e espacial, possibilitando assim considerável melhoria nos sistemas de assimilação dos modelos (PAIVA, 2005).

## **2.3 - Sistemas de Satélites**

Existe hoje um grande número de satélites em órbita ao redor da Terra. Eles obtêm imagens com características distintas que dependem tanto do satélite quanto do sensor. Neste item serão discutidos os principais sistemas de satélites com propriedade termal com possibilidade de uso da metodologia em estudo neste trabalho.

### **2.3.1 - Série Landsat**

O primeiro satélite da série Landsat (Land Remote Sensing Satellite) foi lançado no início dos anos 70 e atualmente, se encontra operando apenas o quinto da série. Esta série de satélites é a principal no campo do SR, não só por ser a de período de vida mais longo de fornecimento contínuo de dados, mas também pela notável facilidade de acesso e qualidade dos dados gerados. Existem duas gerações para a série Landsat, uma que compreende os três primeiros, e uma segunda, que compreende os quatro últimos. O de número 7, o último da série, apresentou um sensor que, embora muito semelhante aos três anteriores, tinha certas características que eram tidas como um avanço em relação a seus predecessores. O Landsat 7 trouxe uma série de benefícios em relação ao Landsat 5, com a substituição do sensor Mapeador Temático (Thematic Mapper - TM) pelo Mapeador Temático Avançado (Enhanced Thematic Mapper Plus - ETM). Dentre elas podemos elencar: banda 6, a termal, com uma resolução espacial de 60 m; uma banda pancromática com 15 metros de resolução espacial no espectro de 0,52 -0,90  $\mu\text{m}$ ; maior precisão radiométrica absoluta e geometria de imageamento significativa, permitindo um bom georreferenciamento. As principais características dos satélites Landsat estão resumidas no Quadro A.1 nos Anexos.

O Landsat 5, lançado em 1/03/1984 e ainda em atividade fornece uma série longa de dados, por isso as suas imagens foram escolhidas para objeto de estudo desta dissertação. O principal sensor a bordo é o TM. Este sensor é uma continuação do TM anteriormente a bordo do Landsat 4 e conta com sete bandas espectrais. As três primeiras bandas localizam-se na faixa do visível do espectro, duas no infravermelho próximo, uma no infravermelho médio e uma no infravermelho distante. Os principais parâmetros do sensor TM 5 são resumidos no Quadro 2.3.

Quadro 2.3 – Parâmetros do TM-Landsat 5 (Adaptada de EPHIFANIO, 2005).

<b>Tipo</b>	<b>Radiômetro de varredura mecânica tipo “wiskbroom”</b>
Bandas	3 Bandas no Visível, 1 no Infravermelho Próximo, 2 no Infravermelho Médio Refletido, 1 no Infravermelho Termal, 1 Pancromática
Função	cobertura global periódica da superfície terrestre
Faixa imageada no terreno	185km x 185km ( $\pm 7,5^\circ$ )
Massa	425 kg
Potência	590 W (imageando), 175 W (repouso)
Controle térmico	resfriador radiativo de 90 K
Dimensões físicas	radiômetro 196 x 114 x 66 cm eletrônica auxiliar 90 x 66 x 35 cm

O TM é baseado numa série de sensores arranjados para operar em estreitas faixas de comprimento de ondas (Quadro 2.4). O TM fornece uma imagem digital com uma visão sinótica, repetitiva, multiespectral e com alta resolução espacial da superfície terrestre.

Quadro 2.4 – Características das Bandas espectrais do TM-Landsat 5 (Adaptada de EPIPHANIO, 2005)

<b>Banda Espectral</b>	<b>Resolução Espectral (<math>\mu\text{m}</math>)</b>	<b>IFOV (<math>\mu\text{rad}</math>)</b>	<b>Resolução Espacial (m)</b>
1 (visível, azul)	0,45-0,52	42,6	30
2 (visível, verde)	0,52-0,60	42,6	30
3 (visível, vermelho)	0,63-0,69	42,6	30
4 (infravermelho próximo)	0,76-0,90	42,6	30
5 (infravermelho médio refletido)	1,55-1,75	42,6	30
6 (infravermelho termal)	10,42-12,50	81,5	120
7 (infravermelho médio distante)	2,08-2,35	42,6	30

No Quadro A.2 nos Anexos são relacionadas às principais características espectrais das bandas do sistema TM e suas aplicações.

### 2.3.2 - Sistema de Satélites NOAA - Sensor AVHRR

A família de satélites NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration), administrada pelo National Environmental Satellite and Information Service (NESDIS), foi iniciada em 1960 com os satélites da série TIROS e já foram lançados mais de uma dezena de satélites e diversos instrumentos operacionais (sondas e imageadores).

Esta série de satélites gera diariamente observações globais de padrões meteorológicos e condições ambientais na forma de dados quantitativos. Essas informações são usadas como base para estudos de monitoramento de queimadas, de acompanhamento da atividade fotossintética, de previsão meteorológica detalhada, de zoneamentos agroclimáticos, de estudos de comportamento térmico de paisagens, de mapeamento de secas e inundações, estimativas de fitomassa e análise da cobertura vegetal (EMBRAPA, 2007). No Quadro A.3 nos Anexos são mostradas as características do sistema NOAA.

O sensor AVHRR, que fornece imagens no visível e no infravermelho de dia e de noite. Constitui-se de um radiômetro multiespectral acoplado a um sistema de varredura transversal à trajetória do satélite que fornece imagens em vários canais no visível e no infravermelho, permitindo avaliações precisas do gelo, da massa de água, das condições das nuvens e temperaturas da superfície do mar.

O sensor AVHRR apresenta uma resolução espacial no nadir de aproximadamente 1,1km (Pixel = 1,1km x 1,1km). Os dados do canal 1, obtidos na faixa do visível (0,58 a 0,68 $\mu$ m) são empregados no mapeamento diurno de nuvens, gelo e neve. Um resumo das suas características é mostrado no Quadro 2.5.

Quadro 2.5 - Bandas espectrais do sensor AVHRR (adaptada de EMBRAPA, 2007).

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
AVHRR	1 Vermelho	0,58-0,68 $\mu$ m	1,1 km	Diária (no máximo)	2.400 km
	2 Infravermelho próximo	0,72-1,10 $\mu$ m			
	3 Infravermelho médio	3,55-3,93 $\mu$ m			
	4 Infravermelho termal	10,30-11,30 $\mu$ m			
	5 Infravermelho termal	11,30-12,50 $\mu$ m			
AVHRR/3	1 Vermelho	0,58-0,68 $\mu$ m	1,1 km	Diária (no máximo)	2.400 km
	2 Infravermelho próximo	0,72-1,10 $\mu$ m			
	3A Infravermelho próximo	1,58-1,64 $\mu$ m			
	3B Infravermelho médio	3,55-3,93 $\mu$ m			
	4 Infravermelho termal	10,30-11,30 $\mu$ m			
	5 Infravermelho termal	11,30-12,50 $\mu$ m			

### 2.3.3 - Programa CBERS

O programa CBERS (China-Brazil Earth Resources Satellite) ou Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres é uma missão conjunta entre o Brasil, através do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e a China, através da CAST (Agência Chinesa de Ciência e Tecnologia), e envolve a construção, lançamento e gerenciamento operacional de quatro satélites de SR (EPIPHANIO, 2005).

O Programa CBERS contemplou num primeiro momento apenas dois satélites de SR, CBERS-1 e 2. Ambos os governos decidiram expandir o acordo e incluir outros dois satélites da mesma categoria, os satélites CBERS-2B e os CBERS-3 e 4, como uma segunda etapa da parceria sino-brasileira. O CBERS-1 foi lançado pelo foguete chinês Longa Marcha 4B, do Centro de Lançamento de Tai Yuan em 14 de outubro de 1999, CBERS-2 foi lançado do mesmo Centro no dia 21 de outubro de 2003 e o CBERS-2B foi lançado em 17 de setembro de 2007 (INPE, 2007). Estes satélites são equipados com sensores de diferentes resoluções espaciais que podem cobrir o planeta em menos de 5 dias e, ao mesmo tempo, produzir informações mais detalhadas em uma visada mais estreita (ENGESAT, 2007). O Quadro A.4 nos Anexos apresenta as principais características dos satélites CBERS.

O CBERS carrega câmeras para observação óptica e um sistema de coleta de dados ambientais. É um sistema que mantém em órbita instrumentos sensores que combinam características especialmente adequadas às diversas escalas temporais e espaciais, necessárias ao monitoramento e à preservação do ecossistema. Até o CBERS 2 os três sistemas imageadores são a Câmera Imageadora de Alta Resolução (CCD - High Resolution Camera), o Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS - Infrared Multispectral Scanner) e o Imageador de Amplo Campo de Visada (WFI - Wide Field Imager).

A CCD é uma câmara de alta resolução, que pode ser apontada lateralmente e isto oferece a vantagem de poder diminuir a frequência das imagens que podem ser obtidas de um mesmo ponto. O sensor WFI foi desenvolvido para fornecer uma visão sinóptica de eventos que ocorrem na superfície terrestre, este sensor consegue cobrir o planeta em menos de 5 dias. O IRMSS tem uma banda termal de 160 m. O Quadro 2.6 mostra as características destes sensores.

Quadro 2.6 – Bandas espectrais dos sensores do programa CBERS (Adaptada de EMBRAPA, 2007 e EPHIFANIO, 2008).

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
Câmara CCD	Pan	0,51 - 0,73 $\mu$ m	20 m	26 dias (visada vertical) e 3 dias (visada lateral)	113 km
	Azul	0,45 - 0,52 $\mu$ m			
	Verde	0,52 - 0,59 $\mu$ m			
	Vermelho	0,63 - 0,69 $\mu$ m			
	Infravermelho Próximo	0,77 - 0,89 $\mu$ m			
IRMSS	Pan	0,50 - 1,10 $\mu$ m	80 m	26 dias	120 km
	Infravermelho Médio	1,55 - 1,75 $\mu$ m			
	Infravermelho Médio	2,08 - 2,35 $\mu$ m			
	Infravermelho Termal	10,40 - 12,50 $\mu$ m	160 m		
HRC	Vermelho	0,50 - 0,80 $\mu$ m	2,7 m	130 dias	27 km
WFI	Vermelho	0,63 - 0,69 $\mu$ m	260 metros	5 dias	890 km
	Infravermelho Próximo	0,77 - 0,89 $\mu$ m			

O satélite CBERS-2B é muito semelhante ao CBERS-2, mas teve algumas modificações que vale a pena mencionar. Substituiu-se o imageador IRMSS por uma Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC). Portanto, contará com três câmeras imageadoras: as tradicionais CCD e WFI, e a nova HRC. Esta câmera HRC fornecerá imagens com 2,7 m de resolução espacial, numa faixa de 27 km de largura. O modo operacional do CBERS-2B fará com que o ciclo de revisita desta câmera seja de 130 dias. Os novos satélites da família CBERS, o CBERS-3 e o CBERS-4 prevêem a substituição da atual câmara CCD por outra com resolução de 5 metros. A previsão de lançamento para o CBERS-3 é para 2009, e para o CBERS-4 em 2011 (INPE, 2007).

#### 2.3.4 - Satélite TERRA – Sensores ASTER e MODIS

A plataforma orbital TERRA foi lançada em 18 de dezembro de 1999 como parte do programa Earth Observing System (EOS) da NASA e tem por objetivo principal adquirir dados que possam aumentar nossos conhecimentos sobre a dinâmica atmosférica global, sobre a interação terra, oceano e atmosfera. A bordo do satélite TERRA estão os sensores MODIS, ASTER, CERES, MISR e MOPITT, e suas características são apresentadas no Quadro A.5 nos Anexos.

Os sensores ASTER e o MODIS fazem parte do programa mais ambicioso que existe no momento, chamado de Earth Science Enterprise, para estudar fenômenos físicos, químicos e biológicos do planeta Terra e da atmosfera, lançado pela NASA. As áreas de estudo principais incluem: nuvens, ciclo da água e energia; oceanos; química da atmosfera; uso da terra; processo da água e ecossistema; cobertura de gelo glacial e polar e a parte sólida da Terra (MOREIRA, 2007).

Nos Anexos é apresentado no Quadro A.6 as bandas espectrais do satélite Terra e suas resoluções. As imagens do ASTER são utilizadas para estudo da vegetação, temperatura, tipos de rochas e vulcões. Além disso, os dados são utilizados para: estudo da topografia da Terra, altura de nuvens e as propriedades e cobertura de nuvens. Atualmente, os dados termais do ASTER representam aqueles de maior resolução espacial adquiridos em nível orbital. Possui também alta resolução espectral e radiométrica, radiômetro de imagens de 14 bandas. O ASTER é o primeiro sensor orbital multiespectral termal e seu imageamento pode ocorrer tanto no período diurno quanto noturno. O instrumento ASTER opera por um tempo limitado em partes do dia e noite de uma órbita. Comparado ao TM-Landsat 5, ele apresenta a vantagem da melhor resolução espacial na faixa do infravermelho termal, 90 contra 120 m, maior quantidade de bandas (cinco) e um nível maior de discretização dos alvos, pois o sinal é quantizado em 12 bits, enquanto que os dados multiespectrais do sensor TM apresentam 8 bits. Os dados do sensor ASTER também podem ser utilizados em estudos topográficos devido à possibilidade da geração de modelos digitais de elevação com resolução de 15 m ou inferior (FUCKER, 2007).

As imagens do MODIS têm como objetivo fornecer dados: de temperatura da Terra e do oceano com 1 km de resolução espacial para o monitoramento de mudanças na temperatura e fornecer dados para modelagem climática, determinar a cor do oceano para monitorar mudanças na produtividade primária biológica. Além de imagens da vegetação e uso da terra com resolução espacial de 250 a 1000 m, cujo objetivo é monitorar mudanças de cobertura da Terra, condições e produtividade e também de cobertura de nuvem. O sensor MODIS possui 36 bandas, sendo 7 para monitoramento da cobertura, os dados georreferenciados, com correção atmosférica e resolução temporal diária, de 8 e 16 dias.

## 2.4 - Balanço de Radiação da Superfície Terrestre

Localização, topografia, bem como o intercâmbio de energia radiante entre a Terra e o Sol, em última análise, determina o clima. As radiações emitidas, absorvidas e refletidas são as forças motrizes, causando fluxos de calor, correntes oceânicas, vento, evaporação e que, por sua vez, forma a precipitação (MAURER, 2002). A transferência de energia entre o Sol, Terra e espaço permanece em constante equilíbrio em função da termodinâmica (ou seja, energia não pode ser criada ou destruída). A energia que entra neste sistema é fornecida pelo Sol, do qual 98% são no comprimento de onda na região de aproximadamente 0,3 - 3,0 $\mu$ m. A radiação solar, além disso, e apenas parcialmente absorvida pela Terra, enquanto o resto é imediatamente refletido de volta para o céu. A Terra mantém equilíbrio com a radiação absorvida pela emissão de radiação de onda longa que volta para o espaço.

O balanço de radiação da superfície terrestre é obtido pela contabilização da radiação de onda curta e onda longa que incide e que deixa a superfície. O saldo entre a quantidade de energia radiante incidente sobre a superfície terrestre e a quantidade de energia radiante emergente, representa a quantidade de energia disponível para os processos de aquecimento da atmosfera, do solo e da água e da evapotranspiração (FOLHES, 2007). Em resumo, o saldo de radiação à superfície é o resultado do balanço entre os fluxos radiativos de onda curta e onda longa. A radiação global pode ser medida em superfície ou estimada por parametrizações que considerem os efeitos do espalhamento, da reflexão e da absorção da atmosfera, na radiância registrada pelo satélite. Esses modelos semi-empíricos que utilizam enfoques intermediários são baseados em modelos de transferência radiativa (KUSTAS et al., 1994; BASTIAANSEN et al., 1998a; ALLEN et al., 2005a; TASUMI et al., 2005a). Algoritmos simplificados e mais ou menos empíricos têm sido desenvolvidos e testados (KUSTAS et al., 1990; DIAK et al., 1996). Metodologias de estimativa da radiação solar global são apresentadas por Courault et al. (1998), Roerink e Monenti (2000) e Wang et al. (2000) e Kandirmaz et al. (2004).

O saldo de radiação de onda curta é expresso em função da radiação solar global e do albedo da superfície. O albedo é um parâmetro fundamental na determinação do balanço de radiação a superfície. As diferenças encontradas nas diversas metodologias são basicamente referentes ao modo de obtenção do albedo

e da radiação solar global. O saldo de radiação de onda longa é também um componente de grande importância no balanço de energia. Contida na faixa de 4 a 100  $\mu\text{m}$ , a radiação de onda longa da atmosfera é seguramente o componente do balanço de radiação mais difícil de ser medido (CORREIA, 2000).

## 2.5 - Albedo da Superfície

Albedo é definido como a fração da radiação incidente que é refletida por uma superfície. Embora a reflexão seja definida como esta mesma fração de um único ângulo de incidência, o albedo, no entanto, é uma reflexão sobre a integração de todos os ângulos de visada (MAURER, 2002). Albedo é, portanto, dependente da função de distribuição bidirecional da reflectância (BRDF).

O albedo é obtido pela razão entre a irradiância refletida e a irradiância incidente, e que pode ser determinado para cada faixa espectral, tal como: global (0,3 a 3,0 $\mu\text{m}$ ), radiação fotossinteticamente ativa (PAR) (0,4 a 0,7 $\mu\text{m}$ ) e infravermelha (0,7 a 3,0 $\mu\text{m}$ ), o que implica nas determinações de albedo da radiação de onda curta do dossel da cultura ( $r_c$ ), albedo PAR ( $r_p$ ), albedo infravermelho próximo ( $r_i$ ) e albedo de onda curta da superfície do solo ( $r_s$ ).

O albedo varia com o tipo de alvo sobre o qual a radiação incide, com as condições das superfícies e do solo (textura arenosa, textura argilosa, seco, úmido, exposto ou com cobertura vegetativa), e nas áreas vegetadas, com a fase de desenvolvimento e o porte da vegetação. Na Tabela 2.1 são mostrados alguns valores médios do albedo de alguns alvos da superfície.

Tabela 2.1 – Albedo para alguns tipos de superfícies (adaptada de VIANELLO e ALVES, 2004; OLIVEIRA et al., 2001)

<b>Superfícies</b>	<b>Albedo (%)</b>
Areia branca	37
Solo claro	27
Solo Escuro	10
Pastagens verdes	10-20
Gramma	24
Água (elevação solar = 10)	34,8
Água (elevação solar = 30)	6
Água (elevação solar = 50)	2,5
Algodão	20-22
Cana-de-açúcar	(IAF alto) 20 (IAF baixo) 15
Milho	16-23
Florestas	10-20
Cerrado	(est. Chuvosa) 13 (est. Seca) 10

O albedo pode ser medido localmente ou obtido por sensoriamento remoto. Devido à sua cobertura global repetitiva, o SR fornece a informação mais promissora para estimar albedo regional e global, e já há muitos algoritmos utilizados operacionalmente para a recuperação do albedo da superfície através de dados de sensoriamento remoto. Os satélites medem a reflectância espectral, em bandas estreitas, no topo da atmosfera. A conversão de múltiplas reflectâncias em bandas estreitas em uma única banda é um procedimento em que a radiação solar espectral incidente, em cada banda, é ponderada por um fator de proporcionalidade. O albedo planetário é obtido pela integração dessas ponderações e o albedo da superfície é estimado em função do albedo planetário e da transmitância atmosférica de onda curta (BASTIAANSEN, 1998). Para fins de modelagem climática, os cientistas identificaram a necessidade de valores de albedo com exatidão de  $\pm 0,5\%$  (SELLERS e HUGHES, 1982). Apesar das dificuldades associadas com albedo recuperado a partir do espaço, a maioria dos atuais algoritmos de sensoriamento remoto está começando a cumprir esses requisitos de precisão (LIANG, 2003; STROEVE et al., 2004).

Estimativas do albedo da superfície por diferentes satélites são apresentadas por Liang (2000), Jacob et al. (2002), Leeuwen e Roujean (2002), Davidson e Wang (2004) e Fang et al. (2004).

Tasumi et al. (2008), usando o mesmo princípio de Bastiaanssen et al. (1998a) obtiveram o albedo da superfície pelos sensores TM-Landsat 5 e MODIS. Na estimativa do albedo usa-se a correção atmosférica com funções desenvolvidas para exigir apenas os dados gerais de umidade e um modelo digital de elevação, principalmente para uso com imagens Landsat, que não tem um produto albedo. No entanto, o procedimento é igualmente aplicável às imagens MODIS que tem um produto oficial do albedo em escala 1 km, mas para as situações em que banda larga completa de albedo com 500m de resolução é necessário.

## **2.6 - Índices de vegetação**

A aplicação do sensoriamento remoto no monitoramento da cobertura vegetal tem respaldo na constante necessidade de avaliação e de acompanhamento dos recursos vegetais necessários à vida no planeta. Diversos índices de vegetação têm sido propostos na literatura com o objetivo de explorar a assinatura espectral da

vegetação, especialmente nas regiões do visível e do infravermelho. Inúmeros trabalhos têm utilizado índices de vegetação em diversas pesquisas: Huete (1988), Huete e Tucker (1991), Moreira (2000), Rosembach (2005) e Weligepolage (2005). Genericamente, esses índices são combinações de dados espectrais de duas ou mais bandas, normalmente do vermelho (V) e do infravermelho próximo (IVP), cuja operação matemática resulta em um valor adimensional. Estes índices são relacionados a parâmetros biofísicos da cobertura vegetal, como biomassa e o índice de área foliar (HUETE, 1988).

Na composição das imagens são utilizados diferentes critérios em função da aplicação que será dada aos dados. O critério mais amplamente utilizado é do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) (Normalized Vegetation Difference Index – NDVI). O IVDN tem uma relação inversa com a temperatura, onde tem se verificado que para IVDN próximos de 1 a temperatura tende a ser menor e para IVDN próximo de zero a temperatura tende a ser maior. Em superfícies como solo, asfalto e cimento, o valor de IVDN aproxima-se de zero. As superfícies vegetativas têm maior valor de IVDN, em função da maior absorção da banda 1, pela clorofila, nas folhas verdes e, da alta refletância da banda 2, em face da turgidez das folhas saudáveis (LUI, 2003). O IVDN é um indicativo das condições da vegetação (vigor, densidade e porte) e é obtido da seguinte forma:

$$IVDN = (IV - V) / (IV + V) \quad (2.1)$$

Onde:

IV = refletância do pixel na banda do infravermelho próximo

V = refletância do pixel na banda do vermelho.

O Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo – IVAS (Soil-Adjusted Vegetation Index - SAVI) busca amenizar os efeitos do “background” do solo, ou seja, o impacto que o solo causa na refletividade do pixel e isto é amenizado por este índice (HUETE, 1988).

A estrutura e distribuição de uma cobertura vegetal têm uma relação direta com as condições climáticas regionais. O Índice de Área Foliar – IAF (Leaf Area Index - LAI) é um dos resultados destas condições, onde tem uma importância de influenciar nas trocas de massa e energia no sistema solo-planta-atmosfera. Os métodos diretos para determinar o IAF não são facilmente utilizados, pois necessitam de um trabalho dispendioso e da destruição de uma grande quantidade de vegetação, como o experimento em floresta reportado por McWilliam et al.

(1993). Neste sentido, os métodos indiretos, que são caracterizados em medidas da radiação total que penetram no interior da cobertura vegetal, são atualmente os mais utilizados. Na determinação do IAF, estes métodos indiretos de radiação apresentam uma forma muito mais prática de obtenção dos dados, além de produzir resultados próximos aos dos métodos diretos em outros experimentos (ROBERTS et al., 1996). O IAF representa a razão entre a área total de todas as folhas contidas em dado pixel, pela área do pixel.

Elvidge e Chen (1995) concluíram que os erros na estimativa do IAF a partir de índices de vegetação obtidos de dados de sensores orbitais, assim como a influência do solo nesses índices, decrescem gradualmente com a diminuição da largura de banda.

Huete et al. (1997) utilizaram medidas no solo e dados obtidos por aeronaves e satélites Spot e Landsat para saber se o sensoriamento remoto caracterizava a umidade do solo e a influência no IVDN. A água do solo foi determinada gravimetricamente e as medidas remotas (radiômetros) indicaram que a vegetação com solo exposto escuro e molhado apresentou IVDN maiores, para a mesma quantidade de vegetação, do que em solos lisos e secos. Os menores valores de IVDN foram encontrados em solos arenosos e de albedo elevado. Uma correlação negativa foi encontrada entre a temperatura de superfície (emissividade igual a 0,98) e IVDN. Os autores concluíram que uma cobertura parcial de vegetação em açude pode ter o mesmo IVDN que em solos secos com cobertura total de vegetação. A rugosidade do solo, aração e gradeamento também alteraram as propriedades ópticas do solo.

Carruzo e Rocha (2003) processaram estimativas de valores de IAF para regiões de agrossistema e floresta no Sul do estado de Rondônia, no Experimento AMC/LBA (Large Scale Biosphere Atmosphere Experiment in Amazônia) em janeiro e fevereiro de 1999. Foi utilizado um método indireto de obtenção do IAF, realizando a integração hemisférica de imagens digitalizadas do interior do dossel, sendo estas obtidas por um imageador com lente tipo olho-de-peixe (abertura de 150°). Para as medidas de IAF obtidas na região de pastagem, assim como para as áreas de florestas, os valores absolutos ficaram muito próximos daqueles obtidos em outros experimentos (ROBERTS et al., 1996; WANDELLI e MARQUES FILHO, 1999).

## **2.7 - Temperatura da Superfície Terrestre**

A temperatura do ar, dentre os elementos climáticos, é o que promove maiores efeitos diretos e significativos sobre muitos processos fisiológicos que ocorrem em plantas e animais, sendo importante o seu conhecimento em estudos de planejamento agrícola. Em zoneamentos de aptidão climática das culturas, as informações das condições térmicas regionais são elementos fundamentais e sua falta em grandes áreas limita estudos suficientemente detalhados sobre o planejamento agrícola, como é o caso da região Nordeste do Brasil (SEDIYAMA et al., 2001). A estimativa da temperatura da superfície terrestre (TST) através de imagens termais, obtidas por sensoriamento remoto, é de considerável importância para muitas aplicações em oceanografia, estudos de mudanças climáticas, geologia, hidrologia e monitoramento da vegetação (SOBRINO et al., 1996). Com relação às componentes do balanço de energia, a temperatura da superfície é importante para a determinação do balanço de onda longa. Ao se utilizar o sensoriamento remoto para obter temperatura da superfície terrestre, há que se considerarem os problemas resultantes dos efeitos de absorção atmosférica e da emissividade da superfície, para cada pixel da imagem. A correção atmosférica é necessária para eliminar a contaminação proveniente principalmente da absorção e emissão de radiação, causada pelos constituintes da atmosfera, na radiação emitida pela superfície que alcança o sensor do satélite, devido principalmente à absorção do vapor de água (PAIVA, 2005).

## **2.8 - Saldo de Radiação à Superfície**

A radiação solar que incide sobre a superfície terrestre é absorvida e armazenada pela mesma, posteriormente devolvida para a atmosfera, aquecendo-a. Essa transferência de energia é uma das mais importantes interações entre a biosfera e a atmosfera que será utilizada nos processos de aquecimento do ar e do solo, na fotossíntese e como calor latente. A distribuição da radiação solar é que determina a maioria dos fenômenos do sistema atmosfera-terra. O balanço de radiação das áreas naturais e agrícolas é de extrema importância nos estudos de energia regionais que ajudarão na produção e produtividade da vegetação (SOUZA e ESCOBEDO, 1997). A quantidade de energia disponível na superfície da Terra,

Saldo de Radiação ( $R_n$ ) é o resultado da diferença entre os fluxos de radiação incidentes, refletidos e/ou emitidos, incluindo ambas as radiações de onda longa e de onda curta à superfície da Terra (ALBUQUERQUE et al., 2003) (Figura 2.3).

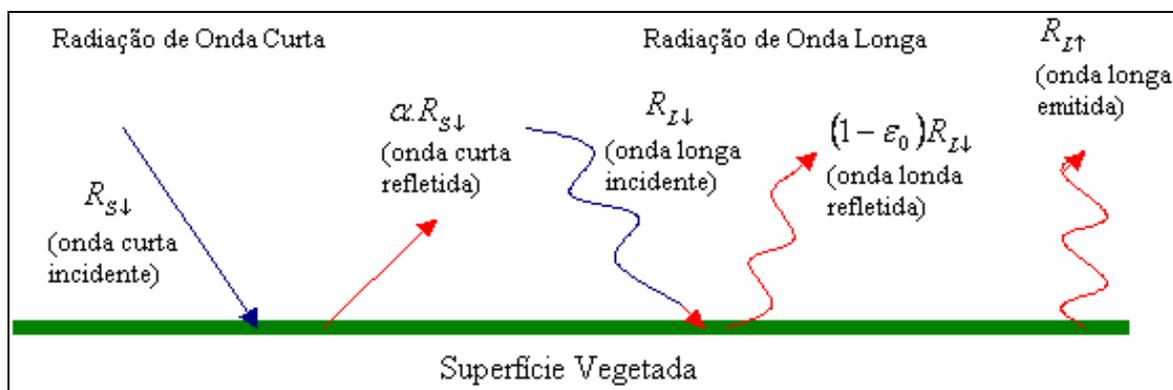


Figura 2.3 – Saldo de radiação à superfície. Fonte: <http://www.waterwatch.nl/>

No entanto, os dados de radiação solar para o Brasil não são bem distribuídos espacialmente, devido às dificuldades de manutenção e processamento dos dados de estações e ao custo para mantê-las em funcionamento. As imagens de sensoriamento remoto têm sido uma ferramenta utilizada, possibilitando o desenvolvimento de trabalhos com o objetivo de estimar os componentes dos balanços de radiação e de energia da superfície, tentando assim preencher a lacuna deixada pelas estações (SILVA, 2002).

## 2.9 - SR e o uso em estimativas de fluxos energéticos

As técnicas de SR têm sido bastante utilizadas para obter informações de parâmetros de superfície e da atmosfera, que são importantes para o monitoramento de fluxos ou de parâmetros associados em escala regional e global. Essas técnicas têm sido utilizadas principalmente nas estimativas da temperatura da superfície, do albedo, saldo de radiação, evapotranspiração entre outros (BASTIAANSEN et al., 1996; BASTIAANSEN, 1998; TREZZA, 2002; RIVAS e CASELLES, 2004; TASUMI et al., 2005a; BEZERRA, 2005; ATHÁIDE, 2006 e FOLHES, 2007). A utilização destas informações via SR ocorre devido à escassez de dados locais, tornando indispensável à utilização de técnicas alternativas para complementação de informações meteorológicas sobre uma determinada localidade. A utilização de

dados de sensores espaciais a bordo de satélites ambientais é interessante, quando se deseja obter informações de extensas áreas (PAIVA, 2005).

Dados de radiação eletromagnética observados por sensores remotos de satélites, aeronaves e de campo/laboratório, em janelas atmosféricas do infravermelho termal (8 – 12  $\mu\text{m}$ ), têm sido utilizados como fontes de pesquisa e aplicação de estudos térmicos da superfície terrestre. O crescimento dos sistemas sensores orbitais e aerotransportáveis viabilizou, nas últimas décadas, a realização de levantamentos à distância das variações térmicas da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas. As imagens térmicas de sensores orbitais, devido às características específicas do espectro de emissão da Terra, apresentam-se com baixas resoluções, o que favorece a integração de radiâncias de alvos distintos e dificulta a discriminação de unidades em áreas heterogêneas. A evolução crescente nos últimos anos dos sistemas sensores orbital pode ser observada, tanto no aspecto espacial quanto no espectral. Isto pode ser observado no satélite ETM-Landsat 7 que reduziu para 60 metros a resolução espacial na banda 6, que era de 120 metros no TM-Landsat 5. O satélite ASTER, mais recente, apresenta-se com cinco bandas na faixa de 10 a 12 $\mu\text{m}$ , o que propicia uma melhor análise de imagens espectrais. A resolução temporal diária do satélite NOAA tem favorecido os estudos de monitoramentos da superfície terrestre em escalas globais e regionais (PACHÊCO, 2001).

Diversos trabalhos envolvendo a estimativa de fluxos em superfície usando sensoriamento remoto podem ser encontrados na literatura, tais como: Kustas et al. (1994), Diak et al. (1994), Bastiaanssen et al. (1998a), Bastiaanssen et al. (1998b), Bastiaanssen (2000), Roerink et al. (2000), Allen et al. (2002), Mohamed et al. (2004), Paiva, (2005) e Mendonça, (2007).

Alguns dos algoritmos usados na obtenção de fluxos energéticos com dados de sensoriamento remoto são ainda insatisfatórios devido aos seguintes problemas (PAIVA, 2005):

- os modelos de obtenção de fluxos de energia por sensoriamento remoto precisam de alguns dados da superfície que são disponíveis apenas durante estudos experimentais de campo específicos (DIAK et al., 2004);
- utilização de relações empíricas, que dificultam o uso de tais algoritmos para diferentes classes de uso do solo, sendo viáveis somente se monitoradas por calibrações locais (BLYTH e DOLMAN, 1995);

- a simplificação em considerar a igualdade da temperatura da fonte de calor com a temperatura radiativa da superfície, provocando erros significativos na estimativa dos fluxos em superfície (BASTIAANSEN, 1995; DIAK et al., 2004).

Roerink et al. (2000), num estudo na região rural da Toscana na Itália, para agosto de 1997, estimaram o balanço de radiação e de energia por diversas técnicas. Usando uma imagem TM-LANDSAT 5 de 23 de agosto de 1997 da mesma área, estes dados foram interagidos em escala regional. Um novo método de cálculo dos fluxos de energia da superfície de sensoriamento remoto, o chamado S-SEBI (Simplified Surface Energy Balance Index), foi desenvolvido, testado e validado com os dados medidos. Se as condições atmosféricas sobre a área forem consideradas constantes, ocorrerá reflexão na mesma e também suficientes variações nas condições hidrológicas, permitindo assim que o fluxo possa ser calculado sem quaisquer outras informações que senão a imagem de satélite. Os resultados deste estudo mostraram que com o algoritmo simplificado S-SEBI, os parâmetros do balanço de energia da superfície podem ser estimados com uma alta precisão. A energia medida e estimada da fração de evaporação tem valores com diferença máxima de 8%.

Segundo Hafeez et al. (2002), a utilização da técnica de SR para estimativas da evapotranspiração com larga cobertura espacial é utilizada desde 1990. Desde então, diferentes métodos para o cômputo dos componentes do balanço de energia e, por conseguinte, da evapotranspiração têm sido desenvolvidos, baseados em relações físicas e/ou empíricas.

Courault et al. (2003) classificam estes métodos em três categorias principais: os métodos empíricos diretos, onde os dados de SR são introduzidos nos modelos semi-empíricos para estimar evapotranspiração de maneira direta, os métodos indiretos, que usam modelos mais complexos que simulam os diferentes termos do balanço de energia e os métodos residuais do balanço de energia, que fazem estimativas da evapotranspiração como resíduo da equação do balanço de energia, sendo os mais utilizados (SEBAL, S-SEBI, SEBS, dentre outros) (BEZERRA, 2006).

Zhao et al. (2007), em um estudo na área do rio Hanjiang, no Sudoeste da China, utilizaram o algoritmo S-SEBI, para estimar a fração evaporativa e calcular a diferença entre a temperatura do ar próximo da superfície, a temperatura da superfície e a reflectância, no sentido de determinar a informação espacial da

evapotranspiração a montante da área. Os resultados sugerem que a distribuição espacial da evapotranspiração diária pode ser derivada com precisão usando esse algoritmo, que assume a heterogeneidade espacial da temperatura do ar próximo da superfície em consideração.

Bisht et al. (2005) propuseram um modelo senoidal para estimar o saldo de radiação para grandes áreas heterogêneas em dias de céu claro, sem nebulosidade, para todo período diurno a partir de produtos de dados gerados apenas com uma observação do sensor MODIS a bordo do satélite Terra. Foram utilizados cinco produtos MODIS e nenhuma observação feita em superfície. Os resultados preliminares obtidos utilizando os dados ao longo Grandes Planícies Austral, na região centro norte de Oklahoma revelaram boa concordância com observações. Ataíde (2006) realizou um estudo usando também imagens MODIS e o mesmo modelo em projetos de irrigação, em Quixeré (CE), com intuito de eliminar ao máximo a necessidade de dados de superfície assim como a contribuição de dados gerados por modelos. Foi possível observar que os valores estimados mostraram comportamento semelhante aos valores medidos em superfície, porém os valores obtidos pelo satélite AQUA foram superestimados para todo período diurno.

## **2.10 - SEBAL**

O modelo SEBAL criado por Bastiaanssen (1995) calcula o saldo de radiação combinado com os fluxos de calor no solo e é também capaz de estimar a evapotranspiração. A formulação do algoritmo SEBAL teve como objetivo principal suprir a carência de algoritmos para esta aplicação, em escala regional. Pois, de acordo com Bastiaanssen et al. (1998a), os algoritmos clássicos de SR até então existentes e que eram baseados em medidas de temperatura de superfície em combinação com outros parâmetros hidrometeorológicos espacialmente constantes, eram satisfatórios para avaliar os fluxos de superfície em micro escala, mas para macro escala, os mesmos se mostravam ineficientes. Estes pesquisadores propuseram este algoritmo, que necessita de um número reduzido de dados de superfície, tais como: albedo (ou radiação solar global ou transmitância atmosférica de onda curta), velocidade do vento e temperatura do ar. Daí, ainda segundo Bastiaanssen et al. (1998a), há necessidade de algoritmos mais avançados para aplicação em terrenos com diferentes ocupações (solo exposto, vegetação nativa e

cultura irrigada) a uma escala maior com paisagens fisiograficamente diferentes. O algoritmo apresenta algumas desvantagens, tais como (BASTIAANSSEN, 1995):

- Necessita de dados de sensoriamento remoto em condições de céu sem nuvens;
- Necessita da presença de áreas secas e úmidas nas imagens de satélite utilizadas;
- A rugosidade da superfície é fracamente analisada;
- Sua utilização foi idealizada para superfícies planas, mas hoje apresenta uma modificação para regiões montanhosas (ALLEN et al., 2002).

Entretanto, o modelo SEBAL permite solucionar a questão da temperatura da fonte de calor sem substituí-la pela temperatura radiométrica da superfície, sendo esse, na verdade, um dos seus pontos altos.

### **2.10.1 - Histórico SEBAL**

Segundo site oficial do SEBAL (SEBAL, 2007), o mesmo é o resultado de 15 anos de pesquisa e validação completa e hoje tem aplicações muito úteis em diversos estudos ambientais como na gestão de recursos hídricos de áreas hidrográficas, na avaliação e administração de lâminas de irrigação e na modelagem hidrológica, só para citar alguns estudos no Brasil (SILVA, 2005, BEZERRA, 2006, MENDONÇA, 2006 e FOLHES, 2007).

Bastiaanssen (1995) desenvolveu o SEBAL e o aplicou na Espanha e no Egito usando imagens do TM-Landsat 5. O pesquisador publicou os primeiros resultados da validação desse algoritmo. Para testar essa nova parametrização, que relaciona as densidades de fluxo em superfície continental com dados de sensoriamento remoto, era necessário dispor de observações das propriedades radiativas da superfície, de dados hidrometeorológicos e de medidas de fluxo em superfície (BASTIAANSSEN, 1995). Tais informações foram obtidas em experimentos realizados no noroeste do deserto do Egito, no nordeste do delta do Nilo e em Castilha La Mancha na Espanha. Os dados de campo coletados no deserto do Egito, entre 1986 e 1989, foram utilizados principalmente para a elaboração e avaliação dos procedimentos de correção atmosférica e das parametrizações das grandezas hidrometeorológicas.

Allen (2000) estimou a evapotranspiração real diária para fins de quantificação do consumo de água de culturas para manejo de sistemas de irrigação na Turquia. As estimativas do SEBAL foram comparadas com os valores encontrados pelo método de Penman-Monteith, modificado pela Organização das Nações Unidas (ONU) para Agricultura e Alimento (Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO).

O SEBAL foi aprimorado para aplicações em solo montanhoso e foi incorporada uma calibração interna baseada no Modelo Digital do Terreno e no cálculo da evapotranspiração de referência pelo pesquisador Rick Allen, da Universidade de Idaho, USA (MORSE et al., 2001, 2003b, ALLEN et al., 2002).

Allen et al. (2002) publicaram um manual e um relatório final como base para o treinamento para utilização do modelo SEBAL em áreas hidrográficas de Idaho nos Estados Unidos.

O método METRIC (Mapping Evapotranspiration at High Resolution using Internalized Calibration) representa uma variação do SEBAL e pode ser considerado como parametrizado, as funções de transferência radiativa são definidas através de simulações com código de transferência radiativa e dados da própria imagem (SOUZA, 2008). A principal diferença entre os dois modelos está associada ao cômputo da densidade de fluxo de calor sensível (FOLHES, 2007).

### **2.10.2 - Sebal e Imagens Landsat, Terra/ASTER e AVHRR**

Inicialmente, o SEBAL foi proposto para aplicações das imagens do sensor TM, a bordo do satélite Landsat 5 e depois adaptado para o sensor ETM+ do Landsat 7 (BASTIAANSSEN et al., 1998b; BASTIAANSSEN, 2000; HAFEEZ et al., 2002; BASTIAANSSEN e CHANDRAPALA, 2003; LOPES, 2003; DI PACE, 2004; BEZERRA, 2004; FRENCH et al., 2005; SILVA et al., 2005, ARAÚJO, 2006 e BEZERRA, 2006). Atualmente, o mesmo também tem sido aplicado em dados de outros sensores como o NOAA/AVHRR (TIMMERMANS E MEIJERINK, 1999; BASTIAANSSEN e ALI, 2003; HEMAKUMARA et al., 2003; PAIVA, 2005 e FEITOSA, 2005), Terra/MODIS (HAFEEZ et al., 2002; ATAÍDE, 2006 e SOUZA, 2008), Terra/ASTER, (HAFEEZ et al., 2002; WANG et al., 2005; FRENCH et al., 2005, WELIGEPOLAGE, 2005 e LEIVAS et al., 2007) e CBERS/IRMSS (SILVA e SANTOS, 2007).

Os dados do radiômetro AVHRR vêm sendo utilizados há mais de duas décadas, para fins de monitoramento de forma operacional de elementos, como: nuvens, albedo, neve, temperatura da superfície do mar e do estado da vegetação. Nos últimos anos vêm sendo desenvolvidas pesquisas para estender a utilização dos dados AVHRR na obtenção de parâmetros importantes no contexto do programa internacional de mudanças climáticas globais. As pesquisas estão sendo direcionadas para obtenção dos seguintes parâmetros: fluxos do balanço de energia (BASTIAANSSEN, 1998; DIAK et al., 2004; RIVAS e CASELLES, 2004), e temperatura da superfície terrestre (FRANÇA, 1994; CASELLES et al., 1997; SOBRINO e KHARRAZ, 2003; SOBRINO et al., 2004, PAIVA, 2005).

### **2.10.3 - Parametrização e validação do SEBAL**

O SEBAL é um algoritmo de parâmetros de fluxos de calor na superfície, baseado em medidas espectrais de satélite, e tem sido utilizado para derivar os componentes do balanço de energia a partir de imagens do Landsat, do Terra, do CBERS e do AVHRR quase sempre sobre áreas irrigadas em várias regiões, sendo capaz de estimar o saldo de radiação e a evapotranspiração (MOHAMED et al., 2004). O método usando apenas as radiâncias espectrais registradas em sensores de satélites e de um conjunto mínimo de dados meteorológicos de superfície que incluem a temperatura do ar e a velocidade do vento faz o cálculo do balanço de energia à superfície da terra (COURAULT et al., 2002). Bastiaanssen (1995) propõe o emprego de poucas relações e suposições empíricas que representam as questões do fluxo de calor no solo, da emissividade da superfície e dos parâmetros de rugosidade aerodinâmica para o transporte de momentum e calor. O fluxo de calor no solo é determinado em função do índice de vegetação de diferença normalizada - IVDN, da radiação líquida, da temperatura e albedo da superfície. A estimativa da variação espacial do saldo de radiação e conseqüentemente a evapotranspiração é fundamental para muitas aplicações em recursos hídricos e modelagem climática. A evaporação é uma variável chave não somente em determinações do balanço hídrico, mas também para estimar as interações entre solo, planta e atmosfera (ATHÁIDE, 2006).

O algoritmo SEBAL é construído em módulos, o que permite modificações parciais, podendo ser utilizado com dados de radiômetros com diferentes resoluções

temporais e espaciais. O modelo SEBAL tem sido largamente testado. Allen et al. (2001) aplicaram o SEBAL em uma aplicação para a área do rio Bear, a sudeste de Idaho, E.U.A., onde a ET foi computada como uma componente da superfície com um balanço energético de pixel a pixel; Hafeez et al. (2002) aplicaram o SEBAL com dados de diferentes sensores orbitais para estimar a evapotranspiração real nas Filipinas; e Morse e Allen (2004) analisam o uso do SEBAL e do METRIC na estimativa da ET em áreas hidrográficas em Boise Valley – Idaho (EUA). Tasumi et al. (2005) no Oeste dos EUA também comparam a estimativa da ET pelos algoritmos SEBAL e METRIC.

No Brasil, algumas universidades e centros de pesquisas realizam estudos com o modelo SEBAL, entre eles a EMBRAPA do Semi-Árido (PE), a Universidade Federal do Rio de Janeiro (PAIVA et al., 2004), a Universidade Federal de Campina Grande (SILVA E BEZERRA, 2004; ATAÍDE, 2006 e SOUZA, 2008) e no INPE (FOLHES, 2007). Na UFAL também estão sendo desenvolvidas pesquisas usando o SEBAL, entre elas: Di Pace (2004), Araújo (2006) e Novas et. al (2007 e 2008).

Os resultados obtidos com o SEBAL têm sido validados em diferentes regiões, visando dar segurança à suas aplicações em estudos. Bastiaanssen et al. (1998b) fizeram a validação do SEBAL em área de deserto-oásis em julho de 1991, na área do rio Heihe, na China, chegando a resultados do BE, bastante satisfatórios do ponto de vista de precisão. Já Feitosa (2005), também fez validação do SEBAL em estudo sobre o Vale do São Francisco, e os dois estudos, encontraram resultados dos componentes do BE, muito próximos dos medidos. Em ambos os trabalhos, os componentes do BE que apresentou o pior resultado foi o fluxo de calor no solo (G). O pesquisador no São Francisco encontrou uma diferença de 25% entre o G medido e o estimado pelo SEBAL.

#### **2.10.4 - SEBAL e Albedo da Superfície Terrestre**

Estudos apresentados na Assembléia Geral da ONU (ONU, 2001) relatam a utilidade no uso de dados de satélite para estimar albedo da superfície, emissividade da superfície, temperatura da superfície e parâmetros físicos relacionados. Algoritmos têm sido usados para estimar o albedo da superfície por utilização eficaz de dados de informações de satélite. Segundo Robinove et al. (1981) imagens albedo podem ser derivadas diretamente de imagens digital do Landsat e uma

seqüência de imagens albedo pode ser usada para mostrar mudanças na superfície. Mudanças podem ser mapeadas em um nível de porcentagem selecionada, para mostrar a localização, o padrão, quantidade, e direção (aumento ou diminuição) na mudança do albedo.

Tasumi et al. (2005b), em estudo realizado em área do Centro Sul de Idaho (USA), comparando dados de albedo de superfície medidos por lísimetro com estimados pelo SEBAL e METRIC, observaram que o albedo de superfície estimado pelo SEBAL foi significativamente superestimado em relação ao do METRIC. A estimativa foi mais alta em áreas com características de IVDN altos, vegetação de campos agrícolas, e foi mais baixa em superfícies brilhantes e secas como solo exposto e em algumas áreas brilhantes em cidades. A diferença na precisão da estimativa de albedo de solo é causada pela diferença na assinatura espectral para a reflectância da superfície. Comparado as muitas superfícies naturais que têm relativamente uniformes suas assinaturas espectrais, a vegetação tem uma assinatura relativamente sem igual onde a reflectância é muito mais alta em faixas do infravermelho-próximo que em faixas visíveis. O algoritmo SEBAL calculou o albedo para superfícies com vegetação e solo escuro com alta precisão, mas com baixa precisão em superfícies de solo luminoso.

Entre estudos realizados no Nordeste brasileiro podem-se citar o de Lopes et. al (2005) que usando imagens Landsat e o algoritmo SEBAL estimaram o albedo da superfície terrestre da Área do Rio Brígida, no sertão do Pernambuco para o ano 1987 e 2001. No ano de 2001 o maior valor do albedo foi de 0,33 e menor de 0,087 (para vegetação tipo SE4), em 1987 o maior valor foi 0,28 e menor de 0,082.

### **2.10.5 - SEBAL e Índices de Vegetação**

Várias técnicas para a obtenção de Índices de Vegetação, derivados com os dados de refletâncias espectrais, foram desenvolvidas para indicar o grau de verde de vegetação da superfície terrestre. O SEBAL é uma dessas que vem sendo largamente utilizada em estudos de monitoramento da variação da vegetação, principalmente pelo IVDN que sua variação anual indica o estresse ambiental causado pelo impacto climático regional (PAIVA, 2005).

Romero (2000), em seu estudo investigou a influência do posicionamento e da largura das bandas do Vermelho (V - 600 a 700 nm) e do Infravermelho próximo

(IVP - 750 a 1100 nm), assim como a influência da atmosfera, na determinação dos índices de vegetação (IVs) IVDN, IVAS e ARVI, obtidos a partir de dados hiperespectrais do sensor Airborne Visible/InfraRed Imaging Spectrometer (AVIRIS). Observou também que os sensores AVHRR/NOAA 14 e MSS/Landsat 5 em relação aos sensores MOMS, TM, ASTER, MODIS, HRVIR apresentaram o pior contraste entre VV e os demais membros de referência. Embora os resultados da correlação entre os índices e a fração-VV não foram inteiramente concordantes com os do experimento radiométrico de campo, eles revelaram a tendência do par de bandas V-IVP de melhor contraste espectral produzir também melhores estimativas dos parâmetros da vegetação.

Oliveira (2005) mapeou o IVDN e a temperatura da superfície terrestre da mesorregião leste do estado Alagoas, mediante dados de imagens multiespectrais do TM-Landsat 5 e obteve valores médios de 0,659. De acordo com a análise verificou-se que a região possui cobertura vegetal em quase que toda sua extensão.

Novas et al. (2007) avaliaram a variação de cobertura vegetal em parte da área rural do município de Maceió, no período de 1990 a 1998 usando os índices de vegetação IVDN e IVAS. Os índices foram calculados através de etapas do SEBAL, mediante dados de imagens do TM Landsat 5. O IVDN obteve valores médios de 0,71 e máximo em 0,86 para 1990 e para 1998 de 0,67 e o máximo em 0,88. O IVAS obteve valores médios de 0,34 e o máximo em 0,55 para 1990 e para 1998 de 0,41 e o máximo em 0,63. Os resultados mostraram que ocorreu uma variação na cobertura vegetal da região em estudo, no sentido de diminuição da densidade e biomassa da mesma. A variação da densidade foi mais acentuada na parte Noroeste, sendo aproximadamente de 33,6km<sup>2</sup> da região (faixa de 13%) de 1990 a 1998, já para a variação da biomassa e volume foi de 155,7 km<sup>2</sup> (faixa de 61%).

Já nos EUA, Allen et al. (2003) avaliaram a variação da cobertura vegetal da área Snake Plain a Leste de Idaho, usando o SEBAL para analisar a variação do IVDN em relação ao Kc em campos de batatas, além de analisaram varias pesquisas usando o SEBAL para mesma região.

#### **2.10.6 - SEBAL e Temperatura da Superfície Terrestre**

Segundo Paiva (2005) o modelo SEBAL apresenta uma simplificação na metodologia que determina a TST que pode originar erros significantes. Existem dois

problemas fundamentais na determinação da TST via sensoriamento remoto. O primeiro está relacionado a emissividade da superfície e o segundo diz respeito à presença da atmosfera, que interage com a radiação emitida pela superfície. A acurácia da TST depende da metodologia de correção atmosférica usada e do conhecimento exato da emissividade da superfície. A pesquisadora afirma que o SEBAL foi extensivamente testado em aplicações relativas ao manejo de irrigação, onde o foco de interesse é a evapotranspiração total diária (24 horas). Por outro lado, suas estimativas instantâneas não receberam a mesma atenção, sendo ainda muito pouco relatados estudos que consideram os erros instantâneos. Há também uma carência muito grande de estudos para o hemisfério sul, principalmente para as regiões tropicais.

Segundo Timmermans e Meijerink (1999), o SEBAL inclui soluções para a rugosidade da superfície e para a diferença entre a temperatura do ar e aquela próxima à superfície (temperatura da fonte de calor), que não envolvem a temperatura radiométrica da superfície. Tenalem (2003) ressalta que as parametrizações do SEBAL mostraram-se de grande importância na demonstração da diferença espacial da evapotranspiração em condições de escassez de dados.

Paiva (2005) realizou um estudo, em Dourados (MT), para estimar a temperatura da superfície terrestre (TST) e o balanço de energia via sensoriamento remoto, utilizando dados do sensor AVHRR a bordo do satélite NOAA-14. A TST foi estimada pelos algoritmos propostos por Sobrino et al. (1991) e França (1994) e seus resultados foram comparados com dados de campo e com as estimativas da TST obtida pelo modelo SEBAL. Os melhores resultados foram obtidos pelas metodologias de França (1994) e do modelo SEBAL que apresentaram erros médios de estimativa iguais a 0,2°C e 0,6°C, respectivamente. Segundo a autora, os resultados da modelagem geraram erros de estimativa inferiores a 10% quando comparados com as medidas de campo.

Esta metodologia é de grande aplicabilidade devido à facilidade de obtenção dos dados necessários para seu processamento, que envolve apenas a emissividade da superfície em função do IVDN, ou seja, em função de dados de satélite somente (PAIVA, 2005).

### 2.10.7 - SEBAL e o Saldo de Radiação à Superfície

Visando à obtenção do saldo de radiação à superfície em diversas partes do mundo e no Brasil, inúmeros estudos utilizando o SEBAL e dados radiométricos de sensoriamento remoto orbital já foram realizados.

Moran et al. (1989), usando dados do TM – Landsat 5 estimaram a intensidade do fluxo de calor latente e do saldo de radiação e compararam com estimativas da razão de Bowen em áreas cultivadas de algodão maduro, alfafa e trigo e observaram uma boa correlação.

Bastiaanssen (2000), utilizando duas imagens Landsat 5-TM em estudo na Turquia, obteve valores instantâneos, para o momento da passagem do satélite, de  $374\text{W/m}^2$ , para cultura de algodão para o dia 26 de junho de 1998 e  $273\text{W/m}^2$  também para algodão no dia 29 de agosto do mesmo ano. No mesmo estudo ainda foram obtidos valores médios diários de  $193\text{W/m}^2$  e  $142\text{W/m}^2$  para 26 de junho e 29 de agosto de 1998, respectivamente.

No Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC) no Nordeste do Brasil, Lopes (2003) utilizando a técnica SEBAL e imagens do TM-LandSat 5 dos anos 2000 e 2001 estudou o balanço de radiação à superfície. Constatou-se que, em linhas gerais e levando em conta de que as imagens sejam em datas distintas, o balanço de radiação não apresentou mudanças muito significativas de um ano para outro, muito embora os valores de  $R_n$  no ano de 2000 foram maiores que do de 2001. Obteve um valor médio de  $615\text{W/m}^2$ , para 04 de dezembro de 2000 e  $584\text{W/m}^2$ , para 04 de outubro de 2001. Ainda no mesmo estudo Lopes (2003) obteve um valor instantâneo de  $650\text{W/m}^2$  para uma área irrigada e  $420\text{W/m}^2$  para solo exposto, sendo todos valores instantâneos referentes ao instante de passagem do satélite naquelas áreas.

Bisht et al. (2005) propuseram um modelo simples para estimar o saldo de radiação instantâneo sobre grandes áreas heterogêneas em dias de céu claro usando somente produtos de observações de sensoriamento remoto. Para isso, foram utilizados dados disponíveis dos produtos MODIS/Terra.

Silva et al. (2005) em trabalho nas mesmas áreas irrigadas PISNC, parte do Lago de Sobradinho, áreas de vegetação nativa e parte da área urbana dos municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, usando também o TM do Landsat 5, obtiveram o saldo de radiação para o ano de 2000 o valor médio no horário da

passagem do satélite igual a  $615,0 \text{ W/m}^2$ , foi maior que em 2001, com  $R_n$  médio de  $583,9 \text{ W/m}^2$ . Isso pode ter sido consequência da ocorrência de chuvas na área estudada em dezembro de 2000, o que afetaria mais diretamente o albedo e a temperatura da superfície das áreas não irrigadas

Em estudo, na cidade de Campos dos Goytacazes (RJ), Mendonça et al. (2007) para comparar o saldo de radiação estimado pelo algoritmo SEBAL utilizando os valores de albedo de superfície estimados, pela metodologia proposta por Tasumi et al. (2003) e pelo produto MOD43B1-16 dias, concluíram que os valores do saldo de radiação medidos e estimados com uso das duas metodologias avaliadas apresentaram uma excelente correlação permitindo o uso operacional de qualquer uma das duas, preferencialmente a de maior facilidade operacional.

Ataide (2006) com objetivo de utilizar a metodologia proposta por Bisht et al. (2005) realizou um estudo para estimar, não somente o saldo de radiação e a radiação global em superfície no instante da passagem do satélite, mas também a distribuição temporal e espacial sobre grandes áreas heterogêneas em dias de céu claro. O estudo foi no estado do Ceará para cinco dias de céu claro, utilizando um total de nove imagens (4 MODIS/Aqua e 5 MODIS/Terra) e validado com dados observados em 9 estações apresentando resultados satisfatórios uma vez que se utilizaram somente produtos gerados por interpretação das imagens de satélite. A radiação global instantânea foi superestimada, mas apresentou precisão de 83,4% e 86,9% pelo MODIS/Terra e pelo MODIS/Aqua respectivamente.

Menezes et al. (2007) realizaram um estudo para estimar os componentes do balanço de radiação e de energia a superfície e determinar a evapotranspiração/evaporação horária na região de Santa Bárbara (MG) por meio do uso do algoritmo SEBAL, considerando as condições de relevo montanhoso e plano. Observou-se um maior saldo de radiação para a condição de relevo montanhoso em quatro de tipos de uso e ocupação do solo. Nesta condição, tem-se que a energia incidente não é totalmente homogênea ao se considerar a área totalmente plana, tendo áreas de maior incidência de radiação (áreas expostas aos raios).

#### **2.10.8 - SEBAL e uso em áreas hidrográficas**

A utilidade do SEBAL na gestão de recursos hídricos, segundo informações do site oficial do próprio SEBAL (SEBAL, 2008), é que o mesmo é capaz de

quantificar as perdas reais de água de uma área com alta distribuição espacial e temporal, o que é extremamente necessário em modelagem hidrológica e possibilita uma gestão mais racional de uma área hidrográfica. São exemplos de aplicações do SEBAL em estudos de áreas hidrográficas: Kramber et al. (2002), em Idaho, nos Estados Unidos, Mohamed et al. (2003), no Egito, Ayenew (2003), na Etiópia, Bastiaanssen e Ali (2003) no Paquistão, Meireles (2007), na área do rio Acaraú (CE) e Folhes (2007) na sub-área hidrográfica do Baixo Jaguaribe, PE.

Bastiaanssen et al. (1998a) observaram outras limitações apresentadas pelos algoritmos que se destinavam a estimativa dos fluxos de balanço de energia utilizando-se de dados de sensoriamento remoto existente até então, é que os mesmos se mostravam insatisfatórios para lidar com estudos hidrológicos práticos, principalmente em áreas bastante heterogêneas, devido ao seu alto grau de dependência de dados obtidos em superfície. Esses algoritmos apresentam alguns problemas comuns, dentre os quais se podem mencionar: resultado das variações espaciais do uso do solo, o seu tipo de cobertura, as propriedades físicas do solo e de parâmetros hidrometeorológicos que nem sempre são possíveis de se dispor devido ao limitado número de observações sinóticas; a restrição da disponibilidade de medidas de radiação solar, temperatura do ar, umidade relativa e velocidade do vento, no momento da passagem do satélite, haja vista que alguns algoritmos requerem medidas de referência de fluxos à superfície que só são medidos durante estudos de campo (BEZERRA, 2006).

Em um estudo sobre a área do Rio Heihe (China), Bastiaanssen (1998) utilizou o SEBAL para estimar o saldo de radiação em áreas de deserto e oásis e comparou seus resultados com medidas realizadas em superfície. Verificou que os valores do saldo de radiação estimados pelos dados de satélite foram superiores aos medidos no campo, para as duas áreas estudadas.

Bastiaanssen (2000), utilizando duas imagens Landsat 5-TM em estudo na área Gediz (Turquia), usando o SEBAL obteve valores instantâneos, para o momento da passagem do satélite, de  $374 \text{ W/m}^2$ , para cultura de algodão para o dia 26 de junho de 1998 e  $273 \text{ W/m}^2$  também para algodão no dia 29 de agosto do mesmo ano. No mesmo estudo ainda foram obtidos valores médios diários de  $193 \text{ W/m}^2$  e  $142 \text{ W/m}^2$  para 26 de junho e 29 de agosto de 1998, respectivamente.

Bastiaanssen e Chandrapala (2003) aplicaram o SEBAL para estimar o balanço hídrico em 103 áreas hidrográficas no Sri Lanka e os resultados mostraram

que o setor de irrigação não usa mais de 7% do influxo líquido da água. O total da água em uso agrícola e em sistemas ambientais utilizado é de 15 e 51%, respectivamente. As taxas de evaporação nas áreas agrícola e na vegetação diversa são semelhantes, de modo que a baixa produtividade nas faixas de solo pode ser transformada em ganho de precipitação na agricultura, sem efeitos negativos sobre a disponibilidade da água para os produtores a jusante. Logo existe margem para uma maior evolução do uso da água no Sri Lanka.

Bastiaanssen e Ali (2003) aplicaram o SEBAL para estimar o crescimento de culturas irrigadas na área hidrográfica Indus no Paquistão. Os pesquisadores relatam que os resultados, utilizando dados do sensor AVHRR, foram razoáveis para a cultura de trigo nessa região. No Sri Lanka, Bastiaanssen e Chandrapala (2003) utilizaram o SEBAL para estimar a variabilidade anual do balanço hídrico, usando estimativas da evapotranspiração real pelo sensor AVHRR para avaliação do uso da água no ambiente e na agricultura.

O modelo SEBAL também foi usado com o propósito de contribuir com o gerenciamento do consumo da água na área agrícola irrigada, na região da área do rio Bear, que envolve três estados americanos: Idaho, Utah e Wyoming (ALLEN et al., 2003). Para isso, foram processadas 4 imagens dos sensores TM e ETM+, referentes aos meses de julho a outubro do ano agrícola de 1985, de forma que os resultados de ETc gerados pelo modelo pudessem ser comparados com medidas lisimétricas disponíveis para o mesmo período.

Também nos EUA, Tasumi et al. (2003) avaliaram o desempenho do SEBAL em duas áreas hidrográficas, entre elas, às áreas dos rios Bear no Sudeste de Idaho e Snake Plain a Leste de Idaho e a avaliação da precisão da estimativa da ETc para toda a área da área do rio Bear, foi considerada boa para a aplicação contemplada.

Mohamed et al. (2004) mencionam que a utilização do SEBAL em áreas hidrográficas pode promover uma otimização no manejo dos recursos hídricos. As características do modelo SEBAL fazem dele uma opção promissora para a estimativa das componentes do balanço de energia por sensoriamento remoto.

Meireles (2007) usou o SEBAL para identificar o balanço de energia na superfície, bem como estimar as taxas evapométricas horária e diária da região que abrange o Perímetro de Irrigação Araras Norte e os quatro principais reservatórios (Jaibaras, Paulo Sarasate, Edson Queiroz e Forquilha) da área do Acaraú (CE). Ficou evidenciado o emprego, com alta potencialidade, do SEBAL em estudos de

desertificação, alterações na vegetação e uso da terra em escala de áreas hidrográficas, uma vez que a identificação em mudanças das espécies pode ocorrer pelo estudo das cartas de calor latente ou evapotranspiração.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 – Materiais

##### 3.1.1 - Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde a uma região do estado de Alagoas que contém a bacia do Rio Pratagy conforme Figura 3.1. A área em estudo tem 694,9km<sup>2</sup> e a bacia do Rio Pratagy tem uma superfície de aproximadamente 194,49 km<sup>2</sup>. A bacia abrange parte dos municípios de Maceió, Rio Largo e Messias. O rio Pratagy, curso d'água principal, tem suas nascentes na Zona da Mata alagoana, nas proximidades da sede urbana de Messias, a uma altitude de aproximadamente 150m.

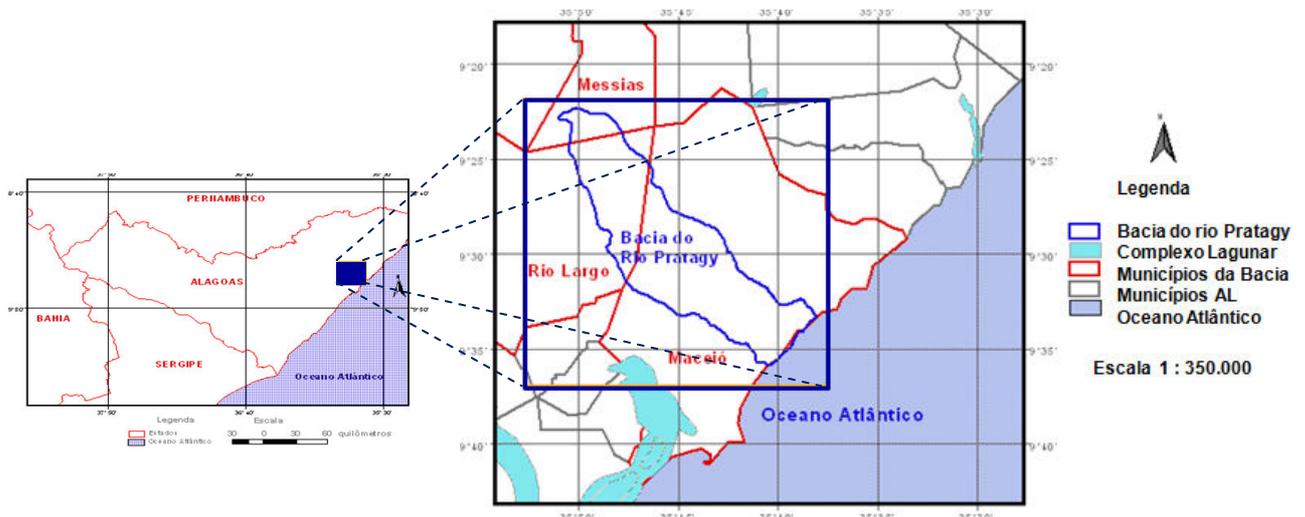


Figura 3.1 – Localização da área em estudo (autoria própria).

A bacia do rio Pratagy está situada na região hidrográfica do Pratagy, e esta tem uma área de 762,8km<sup>2</sup> (Figura 3.2). A região hidrográfica abrange uma série de pequenas áreas hidrográficas contíguas cujos cursos d'água deságuam diretamente

no Oceano Atlântico, e tem como principal problema, por conta da proximidade da região metropolitana de Maceió, o uso e a ocupação desordenada do solo e com impactos nos recursos hídricos (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

As áreas que fazem parte dessa Região Hidrográfica Pratagy são: as dos rios Reginaldo, Jacarecica, Pratagy, Meirim e Sapucaí.

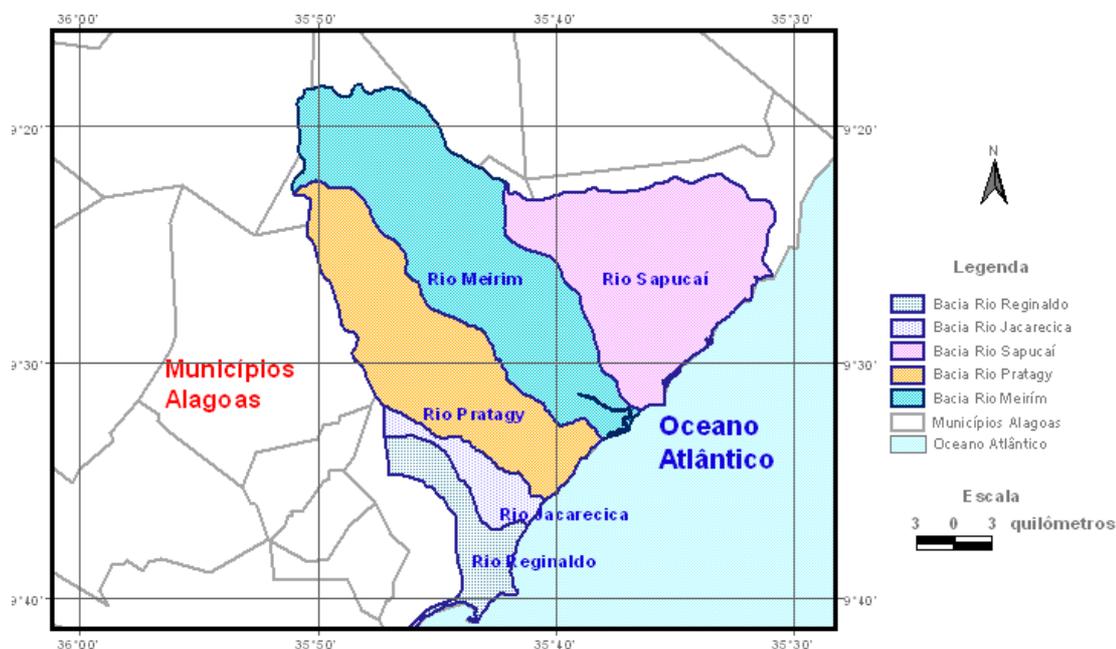


Figura 3.2 – Áreas delimitadas com a bacia do Rio Pratagy (autoria própria).

O rio Pratagy é um rio de domínio estadual, pois toda a sua bacia é inserida no território do Estado. A sua área hidrográfica está localizada na parte Nordeste do Estado, sendo delimitada pelas coordenadas geográficas 9°23' e 9°36' de latitude Sul e 35°37' e 35°51' de longitude Oeste. A área em estudo é limitada ao Norte e ao Leste com a área do rio Meirim; a Oeste com o município de Rio Largo e a Sudoeste com a área Metropolitana do rio Jacarecica e do rio Reginaldo e ao Sudeste com Oceano Atlântico (Figura 3.2) (SEMARHN/COHIDRO, 2006). O principal acesso à área é feito da cidade de Maceió, através da rodovia estadual pavimentada AL-101, que cruza a parte Leste da área no sentido Norte/Sul.

O curso d'água do rio Pratagy corre no sentido Sudeste, percorrendo uma extensão de 31,45km, até desaguar no Oceano Atlântico. O sistema hidrográfico do Rio Pratagy é constituído pelo curso d'água principal, o rio que dá o nome a mesma, e por diversos afluentes de pequeno porte, na sua maioria intermitente. Seu principal afluente, localizado na sua margem direita, é o rio Messias ou do Meio. As

declividades mais acentuadas ocorrem no trecho inicial com um desnível de 100m em 6km de extensão. A Figura 3.3 ilustra este perfil (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

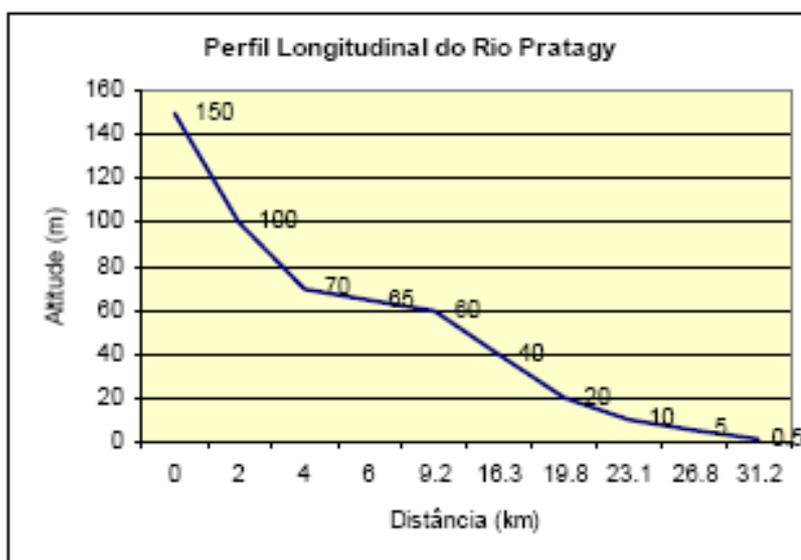


Figura 3.3 – Perfil longitudinal da bacia do rio Pratagy (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

### 3.1.2 – Clima

A área do rio Pratagy apresenta um clima tropical quente e úmido do tipo As', com ocorrência de chuvas no outono e inverno, segundo a classificação de Köppen. Este clima apresenta as seguintes características: estação seca na primavera-verão com chuvas e eventuais trovoadas oriundas de Norte e Noroeste, e às vezes de Nordeste; estação chuvosa do outono ao inverno, com chuvas de março, vindas do Norte, e chuvas do principal período (de abril-maio até junho-julho) vindas de Sudeste, com interrupções. Segundo a classificação de Thornthwaite, a Região Hidrográfica Pratagy apresenta um clima micro-térmico do tipo sub-úmido variando para o clima úmido quando mais próximo do litoral (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

A caracterização do clima da região em estudo apresentada na Tabela 3.1 foi feita com base nas Normais Climatológicas dos dados observados na estação do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET (nº 82994 – Maceió) – situada no campus principal da Universidade Federal de Alagoas, na vizinhança da região, referentes ao período de: 1961 a 1990 (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

Tabela 3.1 – Normais Climatológicas da Estação Climatológica de Maceió – INMET – 1961 - 1990. (SEMARHN/COHIDRO, 2006, adaptada pela autora).

Meteoros	jan	fev	mar	abr	mai	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
Precipit. Mm	74,8	111,0	191,0	312,6	340,7	298,3	325,1	179,0	148,4	72,7	51,9	62,1
Temp. Méd. °C	26,2	26,3	25,3	25,9	25,1	24,3	23,7	23,5	23,9	24,1	24,4	24,8
Temp. Máx. °C	30,2	30,4	30,2	29,6	28,5	27,6	27,0	27,1	27,8	29,0	29,9	30,0
Temp. Mín. °C	22,4	22,6	22,7	22,5	22,0	21,3	20,5	20,2	20,7	21,2	21,6	22,0
Umidade %	75,4	76,6	78,3	81,5	82,6	79,6	82,1	79,5	77,2	76,0	74,7	75,8
Insolação h	254,2	225,7	203,0	179,4	191,8	178,6	176,0	205,2	204,6	252,4	274,7	264,2

A seguir são relatadas as principais variáveis meteorológicas e a rede meteorológica da área em estudo conforme apresentadas no Plano Diretor da Região Hidrográfica do Pratagy (SEMARHN/COHIDRO, 2006):

### Precipitação

A região, por sua proximidade com o oceano, recebendo a alimentação constante de umidade carregada pelos ventos alísios, é caracterizada por índices de precipitação média anual variando entre 1.800 a 1950 mm, aumentando no sentido sudeste, como ilustrado na Figura 3.4. A figura representa a distribuição espacial das médias anuais elaborada em estudo para as bacias hidrográficas do Litoral Norte de Alagoas, segundo a série de dados da SUDENE (1990) para o período de 1961-1990, fornecido da UFCG (2006) via Internet no formato texto. O trimestre mais chuvoso corresponde aos meses de maio, junho e julho, enquanto o mais seco aos meses de outubro, novembro e dezembro.

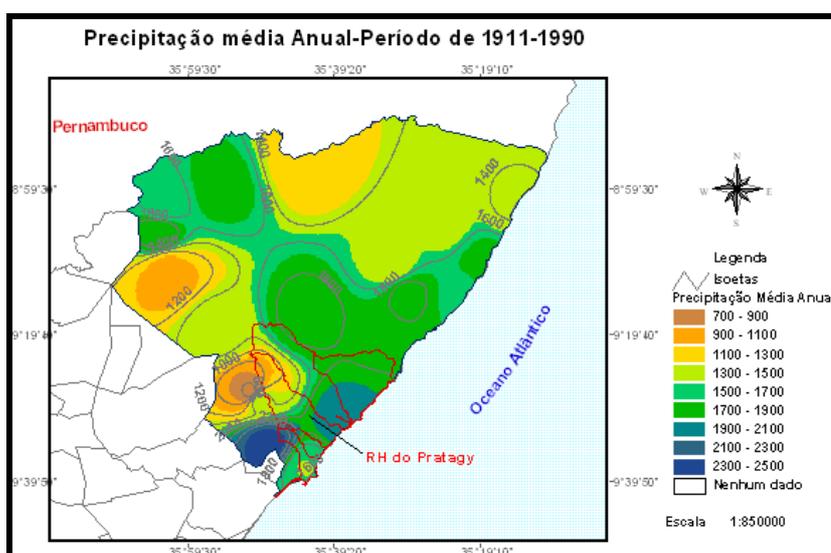


Figura 3.4 – Distribuição espacial da precipitação média anual das áreas do Litoral Norte de Alagoas, ressaltando a Região Hidrográfica do Pratagy (autoria própria).

## **Temperatura**

A bacia do rio Pratagy apresenta um clima de temperaturas elevadas, com pequena amplitude térmica e temperaturas médias anuais sempre superiores a 20°C. As temperaturas variam de 21 a 30° C. As menores temperaturas são observadas no segundo semestre do ano, principalmente nos meses de julho a agosto, enquanto as temperaturas mais elevadas acontecem no início do ano, entre janeiro e março.

## **Pressão Atmosférica**

A pressão atmosférica apresenta pequenas variações ao longo do ano, observa-se um aumento da pressão atmosférica do verão para o inverno, principalmente associada à diminuição da temperatura.

## **Umidade Relativa do Ar**

A umidade relativa do ar apresenta valores médios mensais variando entre 74,7 e 82,6%, com a média anual de 78,3%. Os menores registros de umidade relativa ocorrem nos meses de novembro a janeiro, quando os valores oscilam em torno dos 75%, enquanto as maiores umidades relativas são observadas nos meses de abril, maio e julho, superiores a 80%.

## **Rede Meteorológica na Área**

Na região da bacia do rio Pratagy não foram encontrados estações climatológicas em operação com dados considerados confiáveis. A região da bacia do rio Pratagy possui uma rede hidrometeorológica pequena, não permitindo uma realização de observações sistemáticas do seu regime climático e fluvial. Na Figura 3.5 são mostradas as localizações das estações pluviométricas e fluviométricas segundo Agência Nacional de Águas (ANA) para o ano de 2004 em relação à área em estudo. São as seguintes estações:

- Maceió (Base Experimental Peixe Boi R. Doce- BEPB);
- Maceió (SLUM Jacarecica - antiga COBEL);
- Maceió (Usina Cachoeira);
- Rio Largo;
- Rio Largo (Usina Utinga Leão).

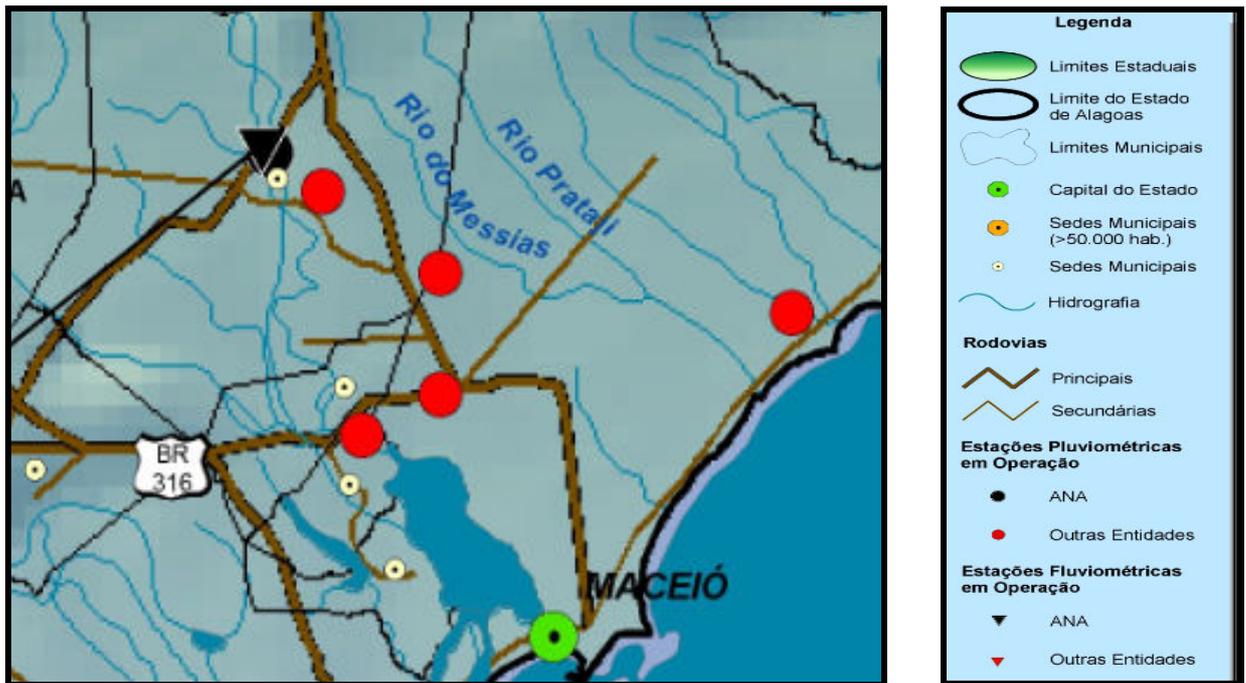


Figura 3.5 - Mapa das estações pluviométricas e fluviométricas da área em estudo. (Fonte: <[http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasredehidro/rede\\_al\\_2004.jpg](http://www.ana.gov.br/GestaoRecHidricos/InfoHidrologicas/mapasredehidro/rede_al_2004.jpg)>.

### 3.1.3 – Uso e Cobertura do Solo

A interferência humana avançada mesmo contribuindo largamente na descaracterização geral das condições originais da bacia do rio Pratygy, ainda se permite uma razoável descrição dos seus traços físico-ambientais. A bacia do rio Pratygy apresenta-se, em grande parte, ocupada por áreas plantadas com cana-de-açúcar e ainda com ampla e crescente expansão urbana, recebendo em seus cursos d'água os efluentes dessas atividades.

O clima tropical quente úmido, que ocorre na parte Leste da região, permite o desenvolvimento e a ocorrência de Florestas Ombrófilas; enquanto o clima tropical quente sub-úmido, característico da parte Oeste da região, permite a ocorrência de Floresta Estacional Semi-decidual, nos trechos compreendidos pela maioria das nascentes dos rios e riachos que compõem a rede hidrográfica local. No caso das florestas descritas acima, essa vegetação é entremeada por: Cerrados, em manchas disseminadas pelos platôs dos tabuleiros e pelas planícies sedimentares das restingas litorâneas; por Vegetação Pioneira, representada pelos manguezais, pelas várzeas fluviais e pelas campinas arenosas marginais a região litorânea; e, pelas faixas de Transição Fitoecológica entre as Florestas e o Cerrado. Apesar do grande

avanço dos desmatamentos, principalmente para os usos dos cultivos pelos canaviais e pelos coqueirais, pelas atividades pecuárias e pelas expansões urbanas a partir da capital Maceió, no interior de cada uma dessas formações ainda são encontrados alguns remanescentes dessas coberturas vegetais com uma grande variedade de espécies nativas, algumas raras (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

Em relação ao uso e ocupação do solo observa-se que as classes predominantes, em termos espaciais, são representadas pelos canaviais, pelos fragmentos florestais, pela urbanização e pelas pastagens. A exceção dos fragmentos florestais, essas classes apresentam-se relativamente concentradas.

A Tabela 3.2 apresenta as classes de uso da terra com suas respectivas áreas.

Tabela 3.2 – Classes de uso da terra na bacia do rio Pratagy e suas respectivas áreas (SEMARHN/COHIDRO, 2006, adaptada pela autora).

Classes de uso da terra	Área	
	Km	%
Área urbana	18,50	9,51
Cana-de-açúcar	113,78	58,50
Coqueirais	3,95	2,03
Corpos de água	2,14	1,10
Fragmento Florestal	31,78	16,34
Mangue	2,74	1,41
Solo exposto	6,09	3,13
Pastagem	15,52	7,98
<b>Total</b>	<b>194,50</b>	<b>100,00</b>

A cultura da cana-de-açúcar atualmente encontra-se distribuída na bacia do rio Pratagy com uma área de 113,78 km<sup>2</sup>, ocupando aproximadamente 58,5% da área. As áreas cultivadas com a cana-de-açúcar são contínuas, ainda que entremeadas por vários núcleos utilizados pelas pastagens, em sua maioria e, em menor escala, pelos remanescentes de vegetação original. Sua distribuição se inicia a partir da extremidade Noroeste da cidade de Maceió, até as cabeceiras das áreas dos rios Pratagy e Meirim. Compreende as parcelas do terreno mais aplainadas, favoráveis à mecanização, daí porque a sua preferência para os plantios da cana-de-açúcar. Na faixa de 15,01% destas culturas são em áreas irrigadas.

As áreas urbanizadas, em extensão territorial, encontram-se colocadas na terceira posição, logo acima da classe: pastagens. Sua distribuição acompanha o alinhamento do litoral, com interrupções sofridas pelo cultivo de coqueirais e por pequenas manchas de manguezais nos encontros dos rios com o oceano. Todavia, a concentração das áreas urbanizadas dá-se na extremidade Sul da área, onde está o bairro de Pescaria e Ipióca da cidade de Maceió. A sua direção Noroeste a partir da praia resulta da expansão urbana pelas superfícies aplainadas dos tabuleiros que, por dispensar os custos altos das escavações e dos aterros, tem prioridade nas construções. A expansão, nesse sentido, está fazendo recuar os canaviais, o que diferencia do avanço no sentido Nordeste, onde prevalece o relevo bastante colinoso com drenagem dendrítica e encostas circulares muito íngremes, dificultando as construções (SEMARHN/COHIDRO, 2006).

Para as demais classes de uso (15,65%), mesmo que a extensão da área seja expressiva, a exemplo da classe fragmento florestal que ocupa o segundo lugar com 16,34%, a distribuição das mesmas não é concentrada, mas, dispersa por todos os quadrantes da área, em pequenas dimensões. A disposição dessas pequenas áreas no espaço, além de desconcentradas, ocupa as partes mais íngremes do relevo, ou ao redor das colinas nas suas encostas com declives mais acentuados, ou ao longo dos desníveis quase verticais dos platôs dos tabuleiros limítrofes com os vales dos rios que os entalham. Estas são as parcelas que, impróprias para outros usos, vêm garantindo a manutenção da perenidade dos rios e a guarida de algumas espécies raras, tanto da flora quanto da fauna dos particularizados ecossistemas biogeográficos alagoanos. A concentração de área urbana se encontra nas áreas litorâneas ocupando quase 9,50% do uso do solo na área.

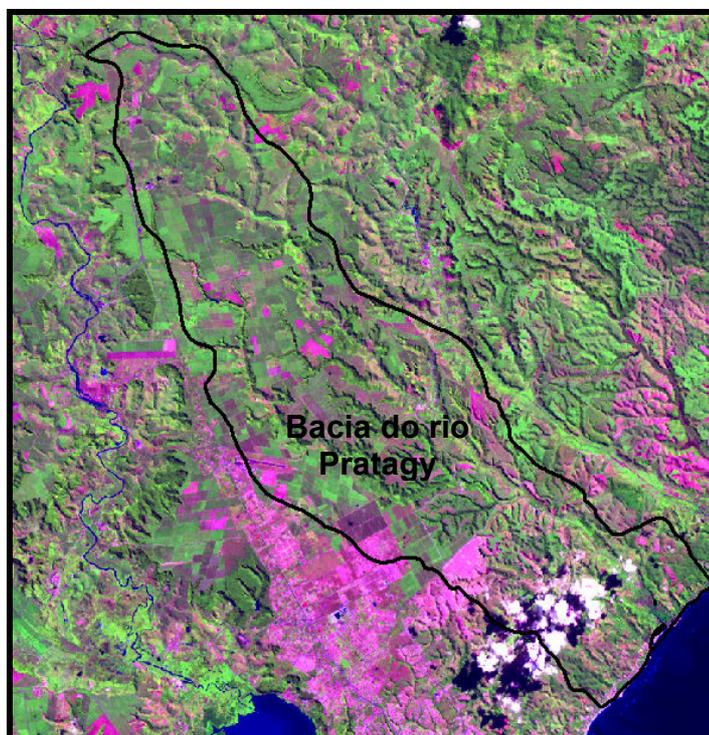
#### **3.1.4 – Dados Utilizados**

As análises efetuadas neste trabalho foram elaboradas em três cenas do mapeador TM-Landsat 5, órbita 214 e ponto 67 em formato digital, para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, adquiridas pela Coordenação de Pós-graduação em Meteorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal de Alagoas – UFAL junto ao INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Estas imagens correspondem à passagem do TM – Landsat 5 sobre a área de estudo às 11:49:49.354" (tempo no meridiano de Greenwich - TMG) do dia

11 de junho de 1990 (dia juliano = 162), às 12:08:27.399" (TMG) de 21 de setembro de 1998 (dia juliano = 264) e às 12:07:09.503" (TMG) de 03 de setembro de 2003 (dia juliano = 246).

Usando o software ERDAS Imagine 9.1 a banda termal foi reamostrada, para 30m para deixar todas as bandas com a mesma resolução. As sete bandas da imagem foram empilhadas, e em seguida, recortadas, que resultaram nos retângulos das imagens de 11/06/1990 (Figura 3.6), de 21/09/1998 (Figura 3.7) e de 03/09/2003 (Figura 3.8) referentes à região de estudo com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (longitude 35°52'44.45"W e latitude 9°21'50.75"S) e canto inferior esquerdo (longitude 35°52'44.45"W e latitude 9°36'58"S), canto superior direito (longitude 35°37'30"W e latitude 9°21'50.75"S) e canto inferior direito (longitude 35°37'30"W e latitude 9°36'58"S). As imagens são georreferenciadas em sistema de projeção cartográfica Universal de Transversa de Mercator (UTM) com fuso 25 Sul (Meridiano Central 33°), sendo o datum e elipsóide do sistema geodésico mundial World Geodetic System de 1984 (WGS-84). Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da ferramenta Model Maker do ERDAS Imagine 9.1.

**35°52'44"W**  
**9°21'50"S**



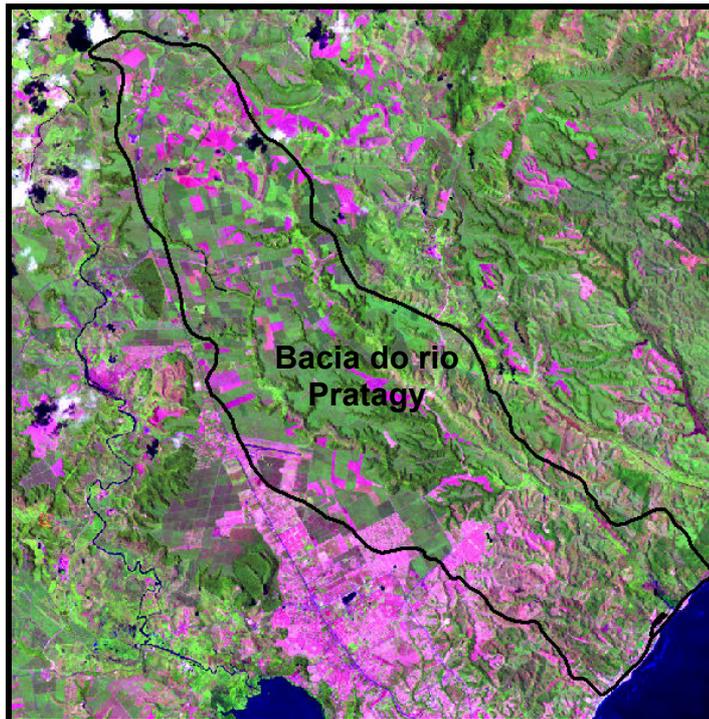
**35°37'30"W**  
**9°21'50"S**

**35°52'44"W**  
**9°36'58"S**

**35°37'30"W**  
**9°36'58"S**

Figura 3.6 – Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas 5, 4, 3/RGB em composição falsa cor para o dia 11/06/1990, realçando a bacia do Pratygy.

35°52'44''W  
9°21'50''S



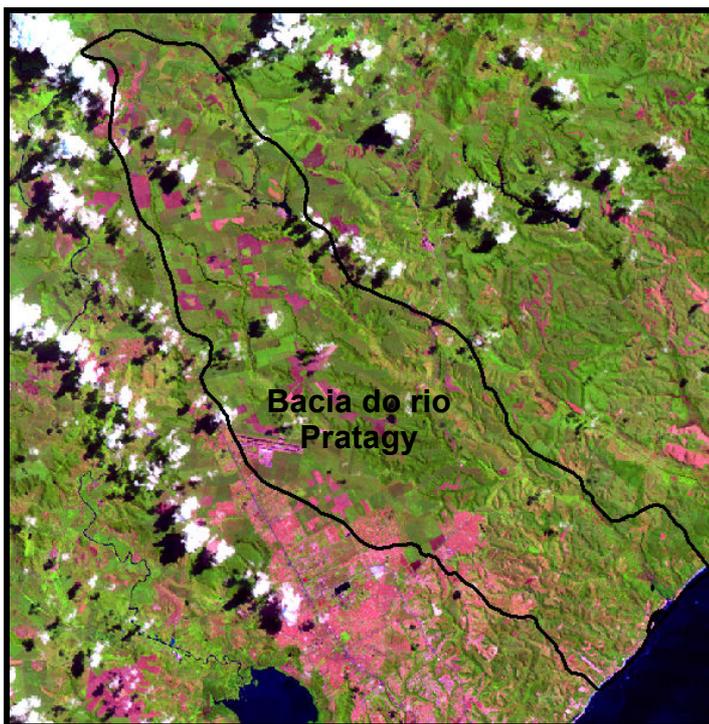
35°37'30''W  
9°21'50''S

35°52'44''W  
9°36'58''S

35°37'30''W  
9°36'58''S

Figura 3.7 – Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas 5, 4, 3/RGB em composição falsa cor para o dia 21/09/1998, realçando a bacia do Pratagy.

35°52'44''W  
9°21'50''S



35°37'30''W  
9°21'50''S

35°52'44''W  
9°36'58''S

35°37'30''W  
9°36'58''S

Figura 3.8 – Recorte da imagem da área em estudo com combinação das bandas 5, 4, 3/RGB em composição falsa cor para o dia 03/09/2003 realçando a bacia do Pratagy.

A base de dados digitais usada na elaboração dos mapas mostrando a região em estudo foi constituída dos limites do Estado de Alagoas e de seus municípios, bem como a localização das áreas hidrográficas de Alagoas. A base da divisão política e das áreas hidrográficas digital do Estado foi obtida a partir da Base

Cartográfica Digital do Estado de Alagoas, cedida pela Secretaria de Recursos Hídricos do Estado de Alagoas, composta pelas cartas topográficas na escala 1:100.000, com Projeção UTM, originárias da SUDENE e atualizadas através de imagens do Satélite Landsat 7, ETM+ e do Mapa Rodoviário do Estado de Alagoas, DNIT-MT-2002.

Os dados climatológicos diários de precipitação e temperatura do ar para os períodos anteriores e dos dias das imagens estudadas foram medidos pela estação do Campus das Ciências Agrárias (CECA) da UFAL no município de Rio Largo e disponibilizados pelo Laboratório de Agrometeorologia do Instituto de Ciências Atmosféricas da mesma.

### **3.1.5 – SOFTWARES**

Software de geoprocessamento Idrisi Kilimanjaro 14.01 (EASTAM, 2003) para Windows XP é um Sistema de Informações Geográfica (SIG) e de processamento de imagens, desenvolvido pela Graduate School of Geography da Clark University, de Massashussett, baseado no formato raster de representação de dados. Este software reúne ferramentas nas áreas de Sensoriamento Remoto, processamento de imagens, sistema de informação geográfica, modelagem espacial, geoestatística e apoio à tomada de decisões. O usuário pode desenvolver programas específicos de forma atender a novas aplicações.

O software de geoprocessamento Arcview 3.2 da ESRI (ESRI, 1998) para Windows, é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) que gerencia feições e seus atributos em unidades denominadas temas. Cada tema representa uma coleção de feições com atributos similares, como rodovias, drenagem, municípios etc. Permite fácil integração de dados, possibilitando acessar registros de base de dados e visualizá-los em mapas de excelente qualidade, ligando gráficos, desenhos, fotografias e outros arquivos.

O software de geoprocessamento ERDAS Imagine 9.1 da Leica Geosystems (LEICA, 2003) para Windows XP é compreendido de funções de processamento de imagens e SIG. Funções estas que incluem coleta, visualização, alteração e análise de imagens. A versão 9.1 é composta dos seguintes módulos: Import/Export, Start Viewer, Image Interpreter, Classification e Map Composer e Modeler.

### 3.2 – METODOLOGIA

Para a obtenção do balanço de radiação à superfície foram empregados vários modelos, utilizando-se como ferramenta de programação o Model Maker do ERDAS, destinados às tarefas descritas a seguir. Na Figura 3.9 estão representadas as diferentes etapas do processamento do balanço de radiação.

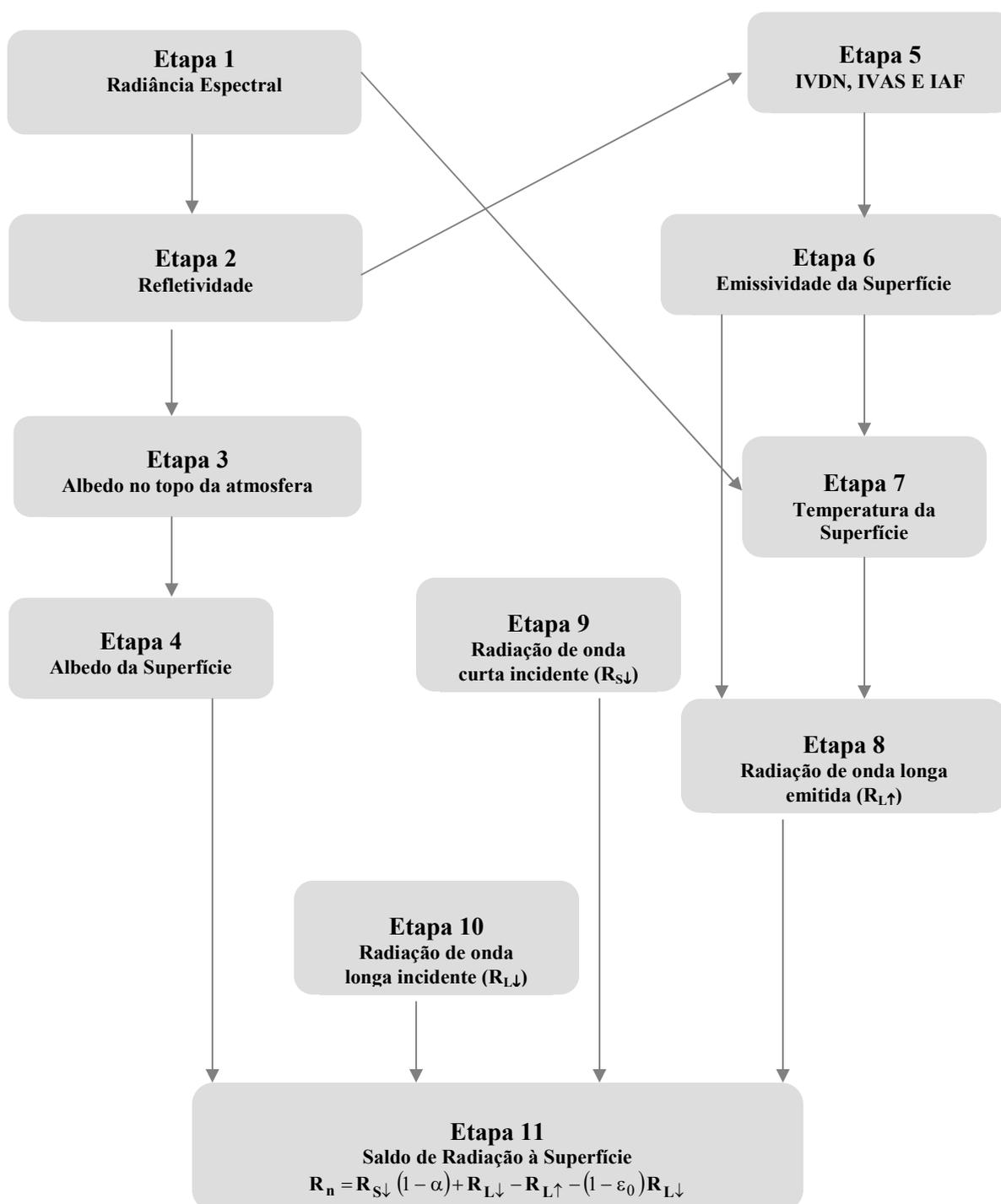


Figura 3.8 – Diagrama das etapas do processamento do balanço de radiação à superfície do algoritmo SEBAL.

### 3.2.1 - Cálculo do Balanço de Radiação à superfície

O sensor TM mede a radiância espectral dos alvos e os armazena na forma de níveis de cinza, ou intensidade do pixel, ou ainda número digital (ND). As imagens TM-Landsat 5 são compostas de sete bandas espectrais e suas características estão na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 – Bandas de imagens do TM-Landsat 5 com os correspondentes coeficientes de calibração (radiância mínima – **a** máxima – **b**) e irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (TOA) (CHANDER e MARKHAM, 2003).

Radiância Espectral, $L_{máx}$ e $L_{mín}$ ( $W/m^2sr^1\mu m^1$ )					
Data de Processamento	De 01/03/1984 a 04/05/2003		A partir de 05/05/2003		Irradiância Espectral no TOA= $k_{\lambda_i}$ ( $W/m^2\mu m^1$ )
Banda	$L_{mín}=a$	$L_{máx}=b$	$L_{mín}=a$	$L_{máx}=b$	
1 (azul)	-1,520	152,100	-1,520	193,000	1957
2 (verde)	-2,840	296,810	-2,840	365,000	1826
3 (vermelho)	-1,170	204,300	-1,170	264,000	1554
4 (IV-próximo)	-1,510	206,200	-1,510	221,000	1036
5 (IV-médio)	-0,370	27,190	-0,370	30,200	215
6 (IV-termal)	1,238	15,303	1,238	15,303	-
7 (IV-médio)	-0,150	14,380	-0,150	16,500	80,67

O cálculo do Balanço de Radiação é baseado no Algoritmo SEBAL e foi elaborado pelas seguintes etapas:

#### 3.2.1.1 – Calibração Radiométrica

Nessa etapa é feita a calibração radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel é convertido em radiância espectral monocromática. Para as bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda medida pelo satélite TM-Landsat 5 e para banda 6 representa a energia emitida por cada pixel segundo a equação:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \left( \frac{b_i - a_i}{255} \right) ND \quad (3.1)$$

Sendo:  $a_i$  e  $b_i$  - as radiâncias espectrais mínima e máxima ( $Wm^{-2}sr^{-1}\mu m^{-1}$ ) conforme Tabela 3.3, onde  $i$  corresponde às bandas (1, 2, ... e 7) do satélite TM-Landsat 5; ND - é a intensidade do pixel (número digital – número inteiro de 0 a 255).

Após o cálculo da radiância foram verificados os limites inferiores de cada banda no sentido de evitar a ocorrência de valores negativos, neste caso, foi assumido para cada banda o menor valor positivo. O mesmo foi feito para os limites superiores no sentido de dispersão e foi assumido o maior valor em relação ao histograma.

### 3.2.1.2 – Refletividade

Essa etapa representa o cálculo da refletividade monocromática de cada banda ( $\rho_{\lambda_i}$ ), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, sendo calculada pela equação (ALLEN et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{k_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r} \quad (3.2)$$

Sendo:

$L_{\lambda_i}$  - radiância espectral de cada banda ( $W/m^2 \cdot \mu m \cdot sr$ );

$k_{\lambda_i}$  - irradiância solar espectral de cada banda no topo da ATM ( $W/m^2 \cdot \mu m$ ), conforme Tabela 3.3.

$Z$  - ângulo zenital solar;

$d_r$  - é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol ( $d_{T-S}$ ) para os dias em estudo (em unidade astronômica – UA), dada por (IQBAL, 1983):

$$\left(\frac{r}{r_0}\right)^2 = 1,000110 + 0,034221 \cos \Gamma + 0,001280 \sin \Gamma + 0,000719 \cos 2 \Gamma + 0,000077 \sin 2 \Gamma \quad (3.3)$$

Onde:

$\Gamma = 2 \pi(D-1) / 365$  (rad) e  $D$  é o dia seqüencial do ano e o argumento da função seno se encontra em radiano.

$\pi$  - é uma constante, resultante da integração hemisférica da radiância espectral (radianos).

Por sua vez, o ângulo zenital do Sol ( $\theta$ ) para cada imagem foi obtido pelo complemento do ângulo de elevação solar ( $\beta$ ) obtido diretamente no cabeçalho das imagens adquiridas para o estudo. Convém esclarecer que no cabeçalho aludido, é informado o valor do ângulo de elevação do Sol, para as coordenadas do centro da cena original da imagem.

### 3.2.1.3 – Albedo no topo da Atmosfera

Representa o cálculo do albedo planetário ( $\alpha_{toa}$ ), isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das refletividades monocromáticas dos canais reflectivos do TM Landsat calculadas na etapa 2 e os coeficientes de regressão ( $\omega_\lambda$ ) (Tabela 3.4), para cada banda de acordo com a equação 3.4. A obtenção do albedo, com base na refletância de bandas que não cobrem totalmente o espectro de 0,3  $\mu\text{m}$  a 3,0  $\mu\text{m}$ , é feita segundo procedimento utilizado por Bastiaanssen (1995), válido para dias de céu claro, qual seja:

$$\alpha_{toa} = 0,293\rho_1 + 0,274\rho_2 + 0,233\rho_3 + 0,157\rho_4 + 0,033\rho_5 + 0,011\rho_7 \quad (3.4)$$

onde  $\rho_1$ ,  $\rho_2$ ,  $\rho_3$ ,  $\rho_4$ ,  $\rho_5$  e  $\rho_7$  são as refletividades monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Sendo o coeficiente de regressão ( $\omega_\lambda$ ) calculado por e apresentados na Tabela 3.4:

$$\omega_\lambda = k_{\lambda i} / \sum k_{\lambda i} \quad (3.5)$$

Tabela 3.4 – Coeficientes de regressão ( $\omega_\lambda$ ) (ALLEN et al., 2002).

Banda	Banda 1	Banda 2	Banda 3	Banda 4	Banda 5	Banda 7
$\omega_\lambda$	0,293	0,274	0,233	0,157	0,033	0,011

### 3.2.1.4 – Albedo da superfície

Representa o cálculo do albedo da superfície ou o albedo corrigido para os efeitos atmosféricos ( $\alpha$ ), pela equação:

$$\alpha = \left( \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2} \right) \quad (3.6)$$

Onde:

$\alpha_{toa}$  - é o albedo planetário;

$\alpha_p$  - é a porção da radiação solar refletida pela atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL é recomendado o uso do valor de 0,03 (BASTIAANSSEN, 2000) e

$\tau_{sw}$  - é a transmissividade atmosférica.

A transmissividade atmosférica é definida como a fração de radiação incidente que é transmitida pela atmosfera e representa os efeitos de absorção e reflexão que acontecem dentro da atmosfera. Este efeito acontece na radiação incidente e na radiação transmitida, por isso o quadrado na Equação (3.6). Calcula-se  $\tau_{sw}$ , para condições de céu claro e relativamente seco através de uma relação baseada na altitude conforme FAO-56 (ALLEN et al., 2002):

$$\tau_{sw} = 0,75 + 2.10^{-5} z \quad (3.7)$$

onde  $z$  é a altitude de cada pixel (m). Como não foi utilizado o modelo digital do terreno para se ter a altitude de cada pixel, a altitude média foi calculada em função dos pontos cotados da região em estudo fornecido pela base do IBGE (IBGE, 2000). Foi feita uma média algébrica, sendo a soma dos pontos cotados o valor igual a 3287 m e sendo um total de 27 pontos tem-se:  $3287/27 = 121,74m$ .

### 3.2.1.5 – Índices de Vegetação: IVDN, IVAS, e IAF

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada – IVDN é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo ( $\rho_{IV}$ ) e do Vermelho ( $\rho_V$ ) pela soma das mesmas (ALLEN et al., 2002):

$$IVDN = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V} \quad (3.8)$$

Onde:

$\rho_{IV}$  e  $\rho_V$  correspondem, respectivamente, às bandas 4 e 3 do TM-Landsat 5. O IVDN é indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de -1 a +1. Para superfície com vegetação o IVDN varia de 0 a 1 para a água e nuvens é geralmente menor que zero.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os efeitos do Solo – IVAS é o índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo é utilizada a expressão (HUETE, 1988):

$$SAVI = \frac{(1+L)(\rho_{IV} - \rho_V)}{(L + \rho_{IV} + \rho_V)} \quad (3.9)$$

Onde:

L - constante. É do efeito do Sol e depende do tipo de solo, variando de 0,1 até 1,00. Em vários estudos utiliza-se L = 0,5, que é valor mais freqüente na literatura (ACCIOLY et al., 2002; BOEGH et al., 2002). Neste estudo foi assumido L = 0,5.

O Índice de área Foliar – IAF é definido pela razão entre a área foliar de toda a vegetação por unidade de área utilizada por essa vegetação. O IAF é indicador da biomassa de cada pixel da imagem e o mesmo é calculado pela seguinte equação empírica obtida por Allen et al. (2002):

$$IAF = - \frac{\ln\left(\frac{0,69 - SAVI}{0,59}\right)}{0,91} \quad (3.10)$$

### 3.2.1.6 – Emissividade da superfície

Para obtenção da temperatura da superfície, é utilizada a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro é preciso introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal  $\varepsilon_{NB}$ . No caso do cálculo da radiação de onda longa emitida por cada pixel é preciso considerar a emissividade no domínio da banda larga  $\varepsilon_0$  (6 – 14  $\mu\text{m}$ ).

Segundo Allen et al. (2002), as emissividades  $\varepsilon_0$  (superfície) e  $\varepsilon_{NB}$  (termal) podem ser obtidas, para  $IVDN > 0$  e  $IAF < 3$ , por:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331 IAF \quad (3.11)$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01 IAF \quad (3.12)$$

Para pixels com  $IAF \geq 3$ ,  $\varepsilon_{NB} = 0,98$  e  $\varepsilon_0 = 0,98$ . No caso de corpos de água ( $IVDN < 0$ ), como os rios da área de estudo, foram utilizados os valores de  $\varepsilon_{NB} = 0,99$  e  $\varepsilon_0 = 0,985$ , conforme Allen et al. (2002).

### 3.2.1.7 – Temperatura da superfície

Para obtenção da temperatura da superfície ( $T_s$ ) são utilizados a radiância espectral da banda termal  $L_{\lambda,6}$  e a emissividade  $\epsilon_{NB}$  obtida na etapa anterior. Assim, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela expressão (MORSE et al., 2000; ALLEN et al., 2002):

$$T_s = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{\epsilon_{NB}K_1}{L_{\lambda,6}} + 1\right)} \quad (3.13)$$

Onde:

$K_1 = 607,76 \text{ W/cm}^2 \cdot \mu\text{m} \cdot \text{sr}$  e  $K_2 = 1260,56 \text{ K}$  são constantes de calibração da banda termal do Landsat 5-TM (ALLEN et al., 2002).

### 3.2.1.8 – Radiação de Onda Longa Emitida

A radiação de onda longa emitida pela superfície  $R_{L\uparrow}$  ( $\text{W/m}^2$ ) é obtida através da equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\uparrow} = \epsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (3.14)$$

Onde:

$\epsilon_0$  = emissividade no domínio da banda larga obtida na sexta etapa;

$\sigma$  = constante de Stefan-Boltzman =  $5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$ ;

$T_s$  = temperatura da superfície (K) obtida na etapa anterior.

### 3.2.1.9 – Radiação de Onda Curta Incidente

A radiação de onda curta incidente  $R_{S\downarrow}$  ( $\text{W/m}^2$ ) é o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície. Para condição de céu claro é obtida através da seguinte expressão (BASTIAANSEN, 1995; MORSE et al., 2000; ALLEN et al., 2002):

$$R_{S\downarrow} = S \cdot \cos Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw} \quad (3.15)$$

Onde:

$S$  - constante Solar =  $1367 \text{ W/m}^2$ ,

Z - ângulo zenital solar;

dr - é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol e

$\tau_w$  - é a transmissividade atmosférica obtida na quarta etapa.

### 3.2.1.10 – Radiação de Onda Longa Incidente

A radiação de onda longa incidente emitida pela atmosfera na direção da superfície terrestre  $R_{L\downarrow}$  ( $W/m^2$ ) é obtida através da equação de Stefan-Boltzman:

$$R_{L\downarrow} = \epsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4 \quad (3.16)$$

Onde:

$\epsilon_a$  - emissividade atmosférica, obtida por Bastiaanssen (1995), que propôs o modelo e Allen et al. (2002), que modificou os coeficientes:

$$\epsilon_a = 0,85 (-\ln \tau_{sw})^{0,09} \quad (3.17)$$

$$\epsilon_a = 0,85 (-\ln 0,7524348)^{0,09} = 0,85 \cdot 0,893016098 = 0,759063684$$

$\sigma$  - constante de Stefan-Boltzman =  $5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2 K^4$

$T_a$  - temperatura média do ar.

Os dados foram obtidos pela Estação Meteorológica da UFAL no campus de Rio Largo para os dias em estudo às 10hs, resultando nas temperaturas do ar usados na Equação 3.16. Para 11 de junho de 1990 obteve-se  $T_a = 24,2^\circ C$  para 21 de setembro de 1998 obteve-se  $T_a = 24,3^\circ C$  e para dia 03 de setembro de 2003 obteve-se  $T_a = 23,7^\circ C$ .

### 3.2.1.11 – Saldo de Radiação à superfície

O saldo de radiação à superfície  $R_n$  ( $W/m^2$ ) é calculado utilizando-se da seguinte equação do balanço de radiação à superfície:

$$R_n = R_{S\downarrow} - \alpha R_{S\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \epsilon_o) R_{L\downarrow} \quad (3.18)$$

Onde:

$R_{S\downarrow}$  - é a radiação de onda curta incidente obtida na nona etapa;

$\alpha$  - é o albedo corrigido de cada pixel obtido na quarta etapa;

$R_{L\downarrow}$  - é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel obtida na etapa anterior;

$R_{L\uparrow}$  - é a radiação de onda longa emitida por cada pixel obtida na oitava etapa;

$\varepsilon_0$  - é a emissividade de cada pixel obtida na sexta etapa.

### 3.2.2 – Álgebra das Imagens

No sentido de identificar as disparidades entre as imagens classificadas dos valores estimados do albedo da superfície, dos Índices de Vegetação (IDVN, IVAS e IAF), da temperatura à superfície e do saldo de radiação à superfície utilizou-se de operações de álgebra de imagens que permitiram cruzar os planos de informação dos dias estudados para cada parâmetro estimado. Uma das operações de álgebra de imagens utilizada nesta etapa foi a de classificação das imagens processadas no sentido de se melhor visualizar os resultados em classes de valores para cada parâmetro estimado pelo SEBAL. Este processo foi realizado para as imagens dos principais variáveis estimados (albedo da superfície, índices de vegetação, temperatura à superfície e saldo de radiação à superfície) nos três dias estudados. Observam-se as faixas de valores de cada variável estimada para os três anos estudados e criam-se escalas de classes para melhor interpretação dos resultados encontrados. Este procedimento foi realizado no software IDRISI usando a função RECLASS.

As outras operações de álgebra de imagens utilizadas foram às operações matemáticas. Foi utilizada a subtração de imagens sempre com o critério da mais anterior para a posterior, conforme explicado abaixo:

- Imagem 1990 – Imagem 1998 = Imagem (90-98) - processo realizado para as imagens dos principais parâmetros estimados (albedo da superfície, índices de vegetação, temperatura à superfície e saldo de radiação à superfície);
- Imagem 2003 – Imagem 1998 = Imagem (98-03) – também realizado para as mesmas imagens especificadas acima.

Este procedimento também foi realizado no software IDRISI usando a função OVERLAY.

## 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4.1 apresenta valores dos parâmetros relativos aos dias das imagens em estudo utilizados no processamento das mesmas. A temperatura do ar próximo da superfície foi medida pela estação do Campus das Ciências Agrárias da UFAL no município de Rio Largo para os dias em estudo, com as coordenadas de longitude 35°49'43,60''W e latitude 9°28'22,82''S.

Tabela 4.1 - Valores do ângulo nadir, ângulo azimutal, ângulo de elevação solar, ângulo zenital, a declinação solar, distância Terra-Sol, distância relativa Terra-Sol, tamanho do pixel das bandas não termiais, pixel da banda termal e a temperatura do ar próximo à superfície na hora da passagem do satélite TM-Landsat 5 pela área de estudo.

<b>Parâmetros / dias</b>	<b>11/06/1990</b>	<b>21/09/1998</b>	<b>03/09/2003</b>
<b>Ângulo Nadir (Graus)</b>	<b>0,0749</b>	<b>-0,09882</b>	<b>-0,1889</b>
<b>Ângulo Azimutal – a (Graus)</b>	<b>47,3538</b>	<b>71,9905</b>	<b>62,4847</b>
<b>Ângulo de Elevação Solar - <math>\beta</math> (Graus)</b>	<b>40,8025</b>	<b>57,1494</b>	<b>52,4979</b>
<b>Ângulo Zenital Solar – Z</b>	<b>49,1974</b>	<b>32,8505</b>	<b>37,5020</b>
<b>Cos Z</b>	<b>0,6534</b>	<b>0,8400</b>	<b>0,7933</b>
<b>Declinação Solar - <math>\delta</math> (Graus)</b>	<b>23,0</b>	<b>0,95</b>	<b>7,9</b>
<b>Dia Juliano – DJ</b>	<b>162</b>	<b>264</b>	<b>246</b>
<b>Distância Terra-Sol – <math>d_{T-S}</math> (UA)</b>	<b>1,0164</b>	<b>1,0040</b>	<b>1,0083</b>
<b>Dist. relativa Terra-Sol – <math>d_r</math> (UA)</b>	<b>0,9692</b>	<b>0,9918</b>	<b>0,9823</b>
<b>Tamanho Pixel das bandas espectrais não termiais (m)</b>	<b>30 m</b>	<b>30 m</b>	<b>30 m</b>
<b>Tamanho Pixel da banda termal (m)</b>	<b>120 m</b>	<b>120 m</b>	<b>120 m</b>
<b>Temperatura do ar próximo à superfície – <math>T_a</math> (°C)</b>	<b>24,2</b>	<b>24,3</b>	<b>23,7</b>

Os valores médios mensais e decendiais de precipitação e de temperatura do ar para períodos anteriores e do mês das imagens em estudo são mostrados na Tabela 4.2 (CASAGRANDE, 2008). Os valores diários de precipitação e de temperatura do ar usadas nos cálculos foram medidos pela estação do Campus das Ciências Agrárias da UFAL no município de Rio Largo.

Tabela 4.2 – Valores da temperatura do ar e de precipitação médios mensais e decendiais obtidos pela estação do campus das Ciências Agrárias – UFAL, Rio Largo - AL.

11/06/1990	ABRIL			MAIO			JUNHO		
<b>TEMPERATURA (°C)</b>									
Mensal	26,4			25,7			24,2		
Decendial *	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec.	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec
	27,3	26,0	25,9	26,1	25,8	25,3	<b>24,5</b>	24,2	24,0
<b>PRECIPITAÇÃO (mm)</b>									
Mensal	302,4			113,1			91,4		
Decendial	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec.	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec
	71,1	87,3	144,0	12,9	<b>18,5</b>	<b>81,7</b>	<b>25,6</b>	26,8	39,0
21/09/1998	JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
<b>TEMPERATURA (°C)</b>									
Mensal	24,1			23,8			24,1		
Decendial	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec.	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec
	24,5	24,3	23,7	24,2	23,5	23,7	23,9	<b>24,3</b>	24,1
<b>PRECIPITAÇÃO (mm)</b>									
Mensal	241,1			181,9			69,0		
Decendial	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec.	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec
	22,5	31,8	186,8	38,2	103,5	<b>40,2</b>	<b>43,7</b>	<b>12,4</b>	12,9
3/09/2003	JULHO			AGOSTO			SETEMBRO		
<b>TEMPERATURA (°C)</b>									
Mensal	Dados não disponibilizados								
Decendial	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec.	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec
	Dados não disponibilizados							<b>23,7</b>	
<b>PRECIPITAÇÃO (mm)</b>									
Mensal	124			129,9			79,9		
Decendial	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec.	1° Dec.	2° Dec.	3° Dec
	66,8	36,2	21	40,3	<b>65,1</b>	<b>24,5</b>	<b>70,5</b>	9,4	0

Na bacia do rio Pratagy foram pré-selecionados alvos com características distintas em relação à imagem de 1990, para uma melhor análise comparativa dos parâmetros estimados através do SEBAL. A região foi dividida em mini-recortes (Figuras 4.1), gerando uma matriz de 40 x 40 pixels, tendo uma base de dados com 1600 dados cada uma, das quais foram gerados gráficos com valores médios de cada coluna. As regiões foram divididas em alvos: A1, A2 e A3, conforme mostram as Figuras 4.1 (dia 11/06/1990), 4.2 (dia 21/09/1998) e 4.3 (dia 03/09/2003) e os seus representativos são: A1 - com área agrícola, A2 – com mata ciliar e A3 - área com urbanização, através dos quais se efetuaram os cálculos dos principais parâmetros do balanço de radiação. Analisando as imagens com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor, visualmente observa-se que na bacia do rio Pratagy no decorrer dos anos da década de 90 ocorreu uma evolução na urbanização, muito acentuada na parte urbana do município de Maceió (indicado Figura 4.1), sendo mais acentuada ao Norte da mancha urbana e no litoral Norte. Ocorreu também uma diminuição da mata ciliar nas margens do rio Pratagy e um aumento nas áreas de culturas de cana-de-açúcar, principalmente ao Norte da bacia.

De um modo geral, observa-se uma variedade de tons: as áreas em tons magenta representam áreas urbanizadas, a coloração verde forte representa as áreas com vegetação sob prática de irrigação, a verde mais suave representa áreas com atividade agrícola ou mata ciliar, áreas com tons rosa escuro representam solo exposto, no tom azul escuro no canto direito da imagem apresenta o oceano Atlântico e no tom azul céu mais claro parte da laguna Mundaú. Analisando as áreas esverdeadas, observa-se uma mudança na resposta espectral dos respectivos alvos. Essas áreas aparecem em tonalidades diferentes, ou seja, na imagem do dia 11/06/1990 predomina uma tonalidade verde mais claro, enquanto na imagem do dia 21/09/1998 predomina a tonalidade verde mais forte. Em relação ao dia 03/09/2003 observou-se um aumento na área com vegetação na Bacia do Rio Pratagy, principalmente na parte Norte da mesma, talvez pelo aumento das áreas com plantação de cana-de-açúcar. Na cena estudada quase não é possível identificar áreas com solo exposto, com tonalidade rosado escuro, por isto não foi selecionado nenhum alvo com este tipo de superfície. Contudo observa bem a variação da densidade da vegetação nativa, indo de uma tonalidade verde (mais densa), a um tom esverdeado claro (menos densa).

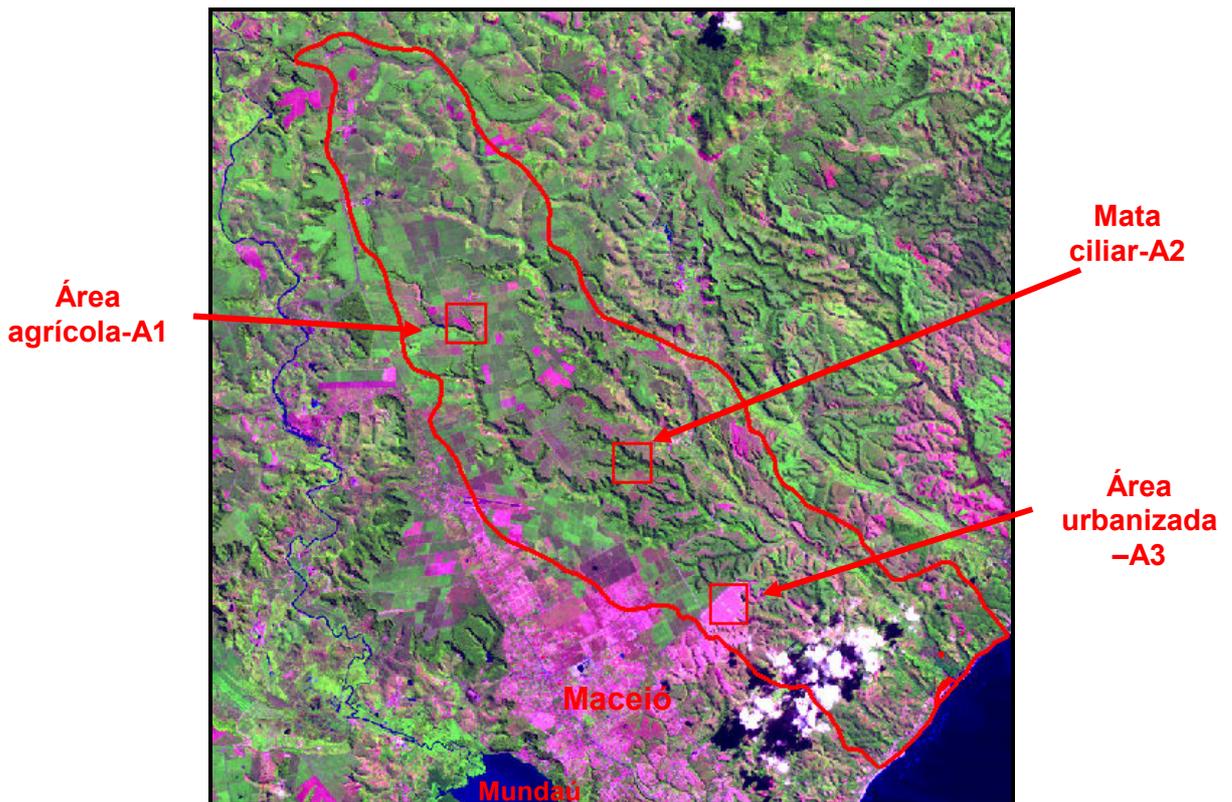


Figura 4.1 – Recorte da imagem da bacia em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor com os três alvos pré-selecionados para análise do dia 11/06/1990.

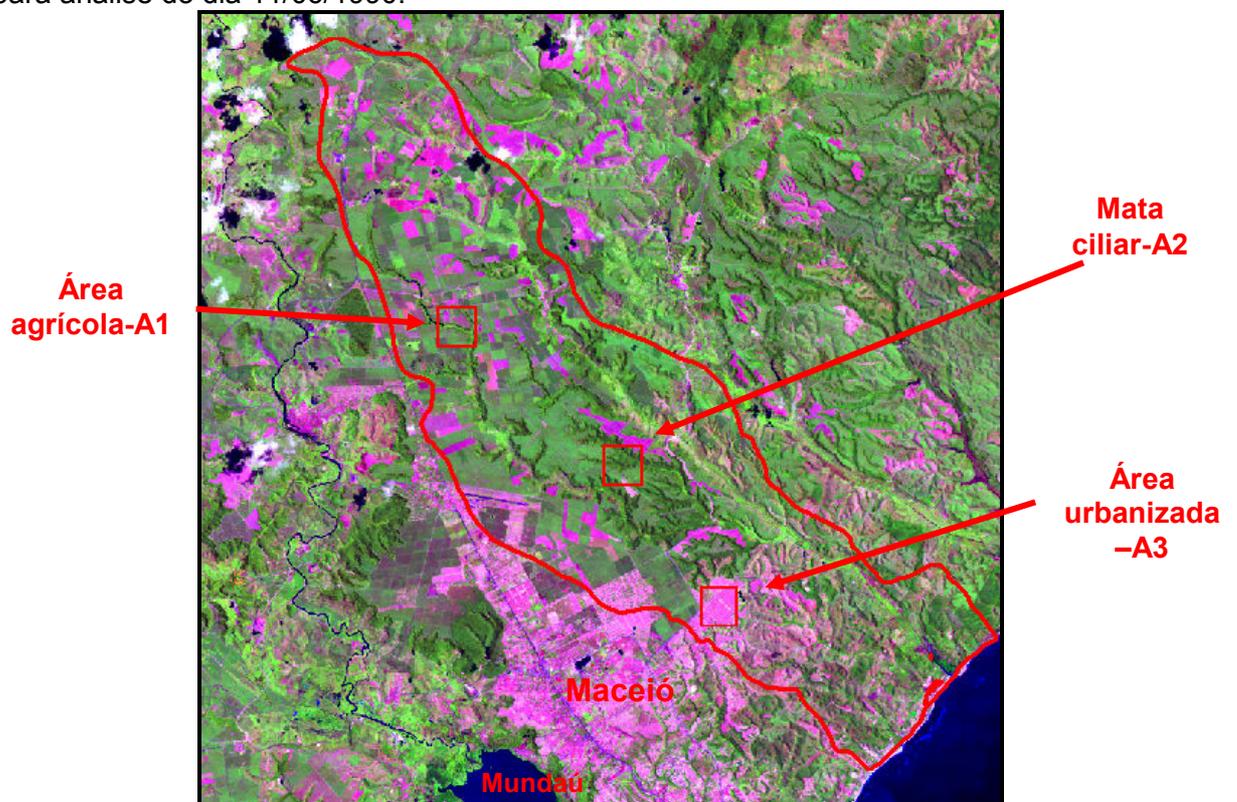
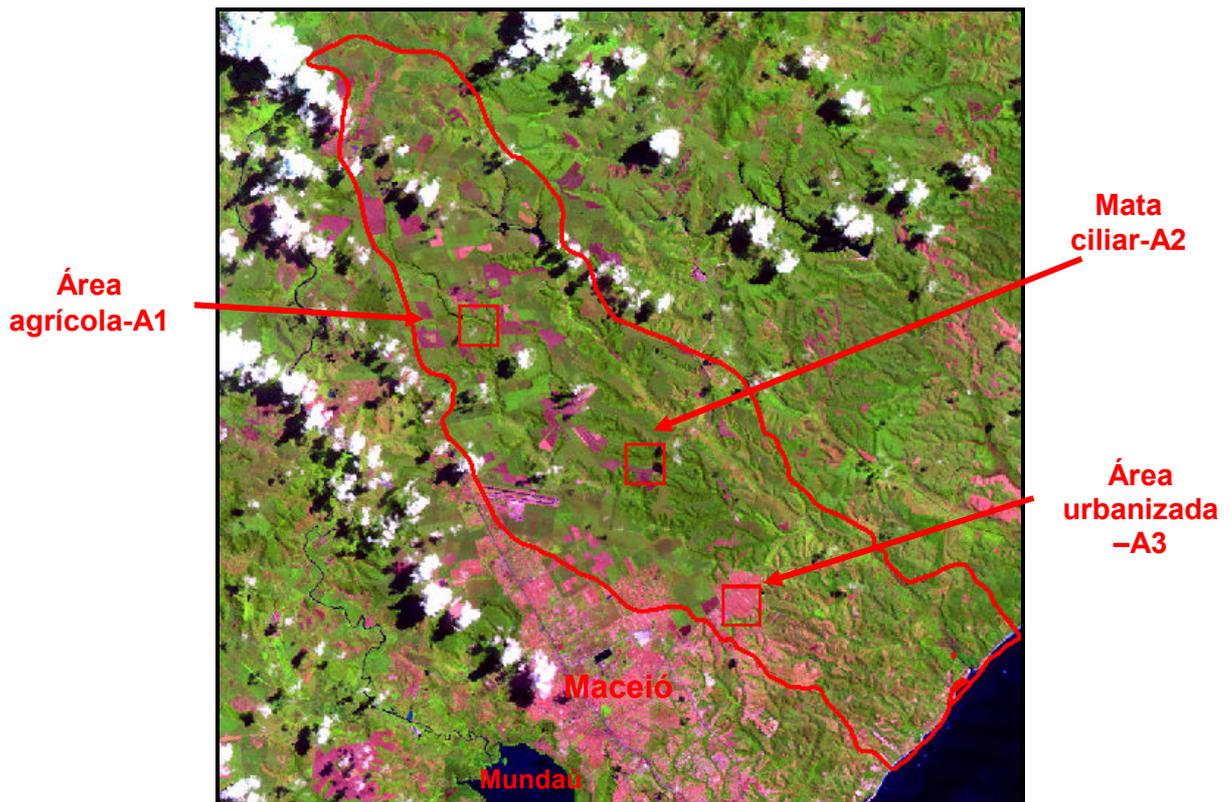


Figura 4.2 – Recorte da imagem da bacia em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor com os três alvos pré-selecionados para análise para o dia 21/09/1998.



Figuras 4.3 – Recorte da imagem da bacia em estudo com combinação das bandas espectrais 5, 4, 3/RGB em composição colorida falsa cor com os três alvos pré-selecionados para análise para o dia 03/09/2003.

Os resultados e discussões foram divididos em três partes:

- Na primeira parte foram mostrados os valores estatísticos de todos os parâmetros estimados e as suas imagens classificadas dos três dias estudados. Também foi elaborada uma análise comparativa dos resultados estatísticos médias somente dos principais parâmetros estimados (albedo da superfície, índices de vegetação, temperatura da superfície e saldo de radiação à superfície);
- Na segunda parte foi elaborada uma análise através de álgebra das imagens dos dias estudados somente dos principais parâmetros estimados (albedo da superfície, índices de vegetação, temperatura da superfície e saldo de radiação à superfície) e análise da correlação entre esses mesmos parâmetros para as áreas com alterações consideráveis;
- Na última parte foram mostrados os parâmetros médios estimados para os alvos pré-selecionados e a análise comparativa entre os três dias dos principais parâmetros estimados.

#### 4.1 – Análises dos parâmetros estimados

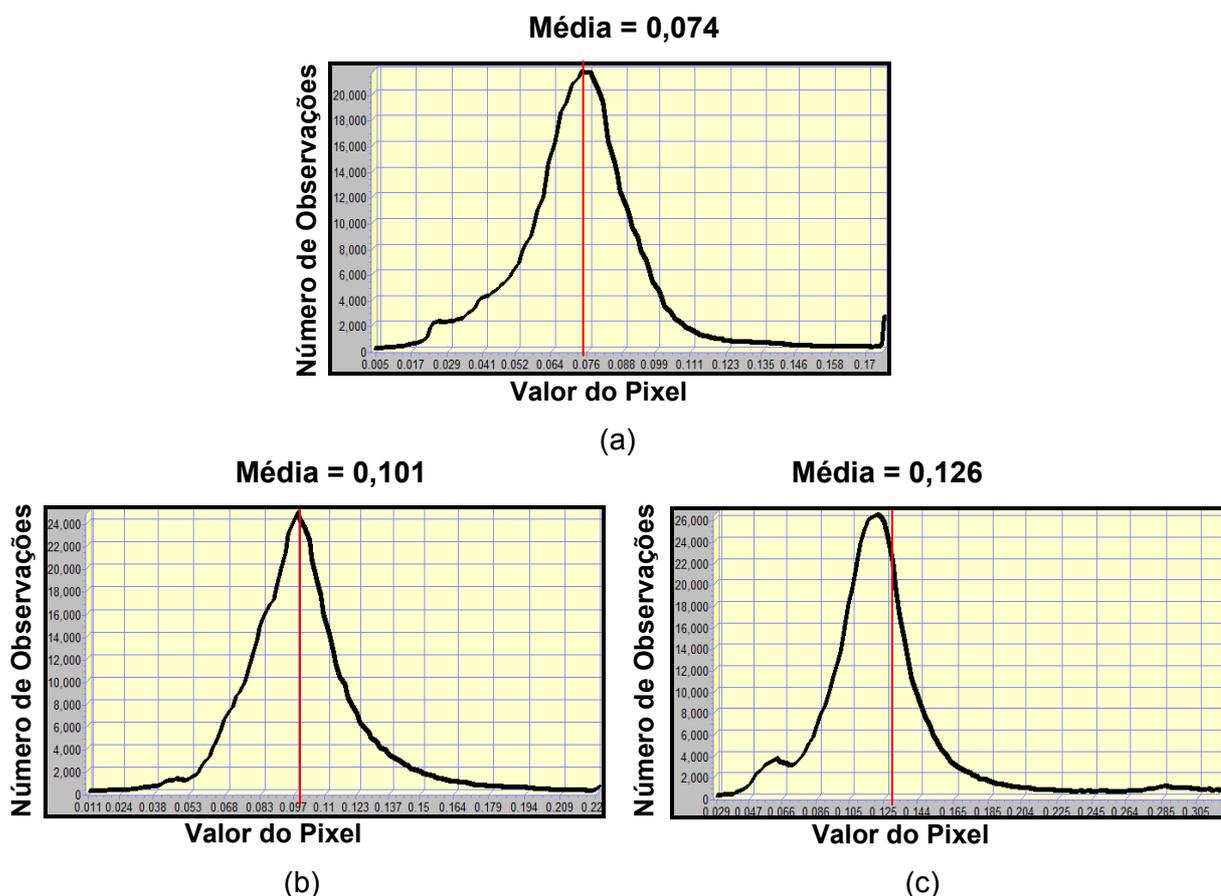
Primeiramente são mostrados os valores estatísticos de todos os parâmetros estimados e as suas imagens classificadas dos dias estudados. Conjuntamente é elaborada uma análise comparativa dos resultados estatísticos médios somente dos principais parâmetros. Na Tabela 4.3 resumem-se os valores médios dos componentes do balanço de radiação e saldo de radiação de onda curta e longa, para os três dias das imagens analisadas. Os valores são instantâneos e correspondem ao dia e hora da passagem do satélite.

Tabela 4.3 - Resultados dos valores estimados médios do cálculo de Rn para os três dias analisados.

Parâmetros	Unidades	11/06/1990	21/09/1998	03/09/2003
Radiância – B1	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	32,39	42,66	54,10
Radiância – B2	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	26,24	36,98	44,70
Radiância – B3	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	15,47	10,12	32,22
Radiância – B4	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	51,75	71,37	67,14
Radiância – B5	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	5,52	9,16	8,91
Radiância – B6	W/m <sup>2</sup>	8,55	8,96	8,60
Radiância – B7	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	0,86	1,61	1,68
Refletividade - B1	-	0,071	0,082	0,111
Refletividade – B2	-	0,062	0,076	0,099
Refletividade – B3	-	0,043	0,060	0,084
Refletividade – B4	-	0,215	0,260	0,261
Refletividade – B5	-	0,110	0,161	0,167
Refletividade – B7	-	0,046	0,075	0,084
Albedo no topo da atmosfera	-	0,087	0,106	0,132
<b>Albedo da superfície</b>	<b>%</b>	<b>7,4</b>	<b>10,1</b>	<b>12,6</b>
Transmissividade atmosférica	-	0,7524	0,7524	0,7524
<b>IVDN</b>	-	<b>0,633</b>	<b>0,607</b>	<b>0,502</b>
<b>IVAS</b>	-	<b>0,332</b>	<b>0,361</b>	<b>0,310</b>
<b>IAF</b>	-	<b>0,596</b>	<b>0,694</b>	<b>0,530</b>
Emissividade da superfície	-	0,957	0,958	0,957
<b>Temperatura da superfície</b>	<b>°C</b>	<b>23,40</b>	<b>26,69</b>	<b>24,01</b>
Radiação de onda longa emitida (R <sub>L</sub> ↑)	W/m <sup>2</sup>	419,7	438,7	421,9
Radiação de onda longa incidente (R <sub>L</sub> ↓)	W/m <sup>2</sup>	336,5	339,2	334,2
Radiação de onda curta incidente (R <sub>s</sub> ↓)	W/m <sup>2</sup>	651,4	857,0	801,6
<b>Saldo de radiação (Rn)</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>505,7</b>	<b>653,4</b>	<b>576,0</b>

### 4.1.1 – Albedo da superfície

As Figuras 4.4 representam os histogramas de frequência do albedo da superfície dos dias estudados. Sendo que a média dos valores estimados no histograma é representada pela linha vermelha vertical.



Figuras 4.4 – Histograma de frequência do albedo da superfície (%) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

A Tabela 4.4 apresenta os valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação do albedo da superfície da bacia para os dias estudados. Observa-se que o albedo da superfície estimado teve uma elevação de 1990 a 1998 e de 1998 a 2003, tanto nos valores médios como no seu valor máximo. De 1990 para 1998 ocorreu um aumento na faixa de 3,7%, enquanto de 1998 a 2003 o aumento foi de 2,6% em seus valores médios. Observa-se que os coeficientes de variação para os dias 11/06/1990 e 03/09/2003 apresentaram valores maiores que 25% mostrando que a amostragem não foi muito homogênea, isto é, que ocorreu

uma grande variabilidade entre os valores do albedo da superfície nos dois dias estudados.

Tabela 4.4 – Valores estatísticos do albedo da superfície (mínimo, máximo, médio, coeficiente de variação e o desvio padrão) da bacia em estudo, para os dias estudados.

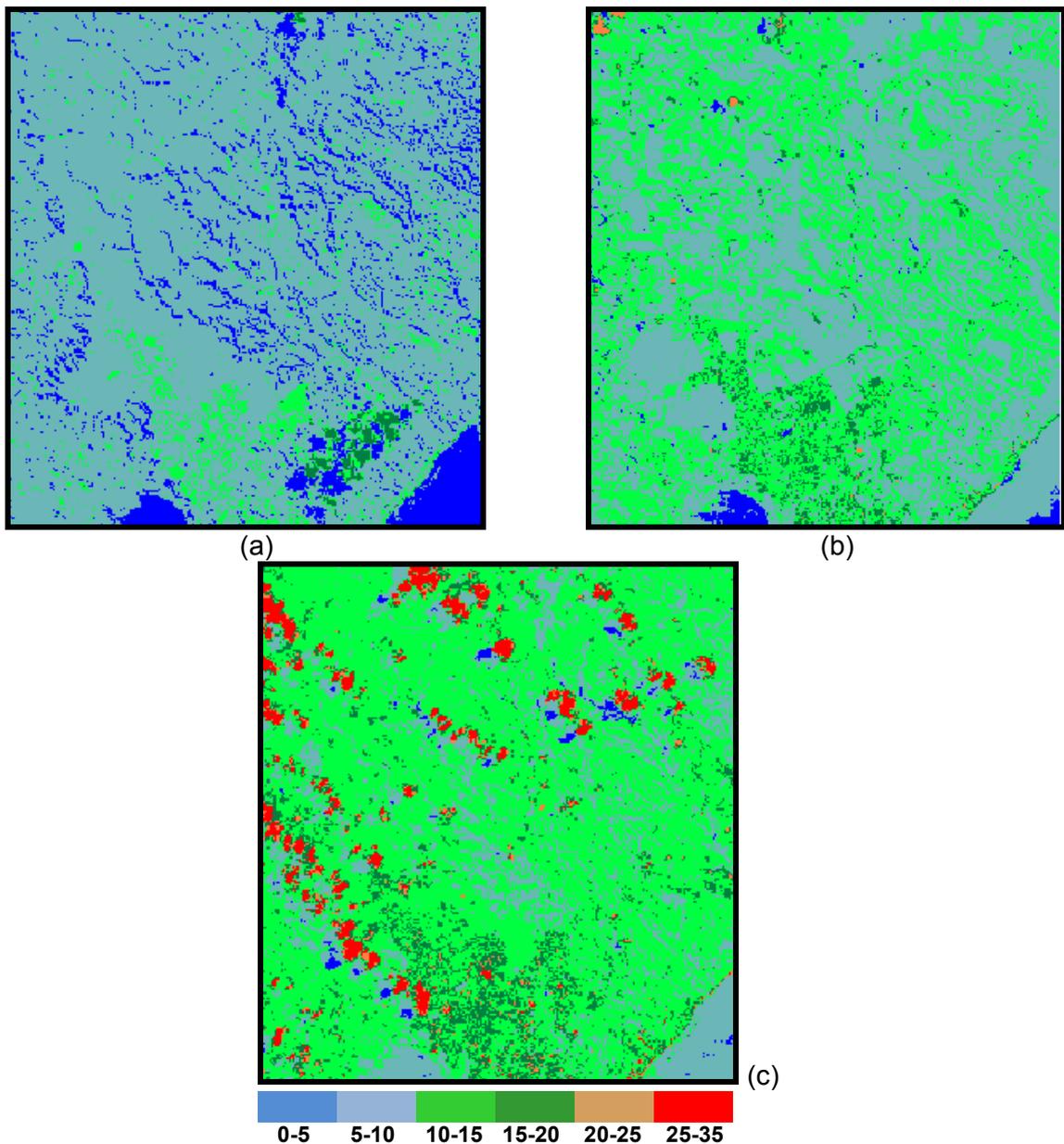
<b>Albedo da superfície</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>	<b>CV(%)</b>
11/06/1990	0,004	0,176	<b>0,074</b>	0,021	28,378
21/09/1998	0,001	0,224	<b>0,101</b>	0,024	24,000
03/09/2003	0,027	0,322	<b>0,126</b>	0,043	34,127

As Figuras 4.5 representam as imagens classificadas do albedo da superfície dos dias estudados. Comparando visualmente estas três imagens classificadas do albedo da superfície e os analisando os dados da Tabela 4.4, que apresenta os valores médios dos resultados do albedo da superfície obtidos em cada cena, observa-se que o cenário sofreu alteração expressiva entre as datas estudadas.

O albedo da superfície médio aumentou de 7,4% em 1990 para 10,1% em 1998 e observando as imagens classificadas para os dois dias tem-se uma maior área em tons azul claro em 1990 (Figura 4.5a) (faixa de 5% - 10%) e tons verdes em 1998 (Figura 4.5b) (faixa 10% - 15%). Analisando as imagens de 1998 e 2003 observa-se que também ocorreu uma elevação do albedo da superfície em toda área estudada, mostrando algumas regiões em tons vermelhos (Figura 4.5c) (faixa 25% - 35%). O albedo médio variou de 10,0% em 1990 para 12,6% em 2003. A elevação gradativa do albedo entre os anos pesquisados, onde os valores superiores a 20% são mais encontrados na área urbana do município de Maceió, na parte mais ao sul das imagens, em função da urbanização ter se intensificado. Em decorrência disso têm-se mais áreas pavimentadas ou solos expostos, ocorrendo assim maior refletividade do que solos com vegetação.

Na área da bacia do rio Pratagy, área mais central das imagens observa-se que a variação do albedo foi maior de 1990 para 1998, como mostra a intensificação dos tons verdes na imagem de 1998. Em áreas do complexo lagunar Mundaú (cor azul escura na Figuras 4.5a) o albedo variou de 0 a 5% em 1990, atingindo valores de até 6% para 1998 e 2003. Embora a água de lagos e rios apresentem uma refletância diferenciada para cada banda, a resposta espectral obtida com a composição das 6 (seis) bandas do TM-Landsat 5, apresentando os valores acima,

está em perfeita conformidade com valores de albedo normalmente encontrados nas análises de comportamento espectral desse tipo de alvo (SILVA et al., 2002).



Figuras 4.5 – Imagens classificadas do albedo da superfície estimado (%) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Em estudos realizados em áreas irrigadas no Arizona - USA, Kustas et al. (1990), usando técnicas de sensoriamento remoto, obtiveram albedo de 21%, 23% e 22%, em áreas com trigo, alfafa e algodão, respectivamente. Em outro estudo, Dubayah (1992) obteve mapas de albedo em Manhattan, Kansas, USA, quando avaliava efeitos da topografia no saldo de radiação solar.

Bastiaanssen (2000), trabalhando com imagens do mesmo satélite usado neste estudo, na Bacia do rio Gediz, na Turquia, encontrou valores de albedo da água semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Juaréz (2004), em um estudo em um agroecossistema de cana-de-açúcar em Sertãozinho (SP), observou valores médios de albedo de 21% na estação seca e 17% na estação chuvosa. Concluiu que o padrão do albedo no estudo apresenta mínimos na estação chuvosa, concorrente com o período inicial de crescimento de cana, e máximos na estação seca.

Araújo (2005), em estudo relacionando o albedo à superfície terrestre da cidade de Maceió (AL), com a malha urbana para os mesmos dias estudados neste trabalho, observou os valores médios estimados de 12,06% para o ano de 2003 seguidos por 9,95% para 1998 e 9,84% para 1990 como os médios, análogos aos deste estudo.

Em estudo também no Nordeste brasileiro e com imagens de satélite, no município de Petrolina (PE) Silva et al. (2006) encontraram em áreas do leito do São Francisco e pequenos reservatórios hídricos albedo inferior ou igual a 10%, valores superiores a 35% em regiões que compreendem solo descoberto e áreas urbanas de Petrolina e uma predominância de valores de albedo entre 10% a 25%, em áreas irrigadas e partes da vegetação nativa, também coerentes aos encontrados neste estudo.

#### **4.1.2 - Transmissividade atmosférica e Emissividade da superfície**

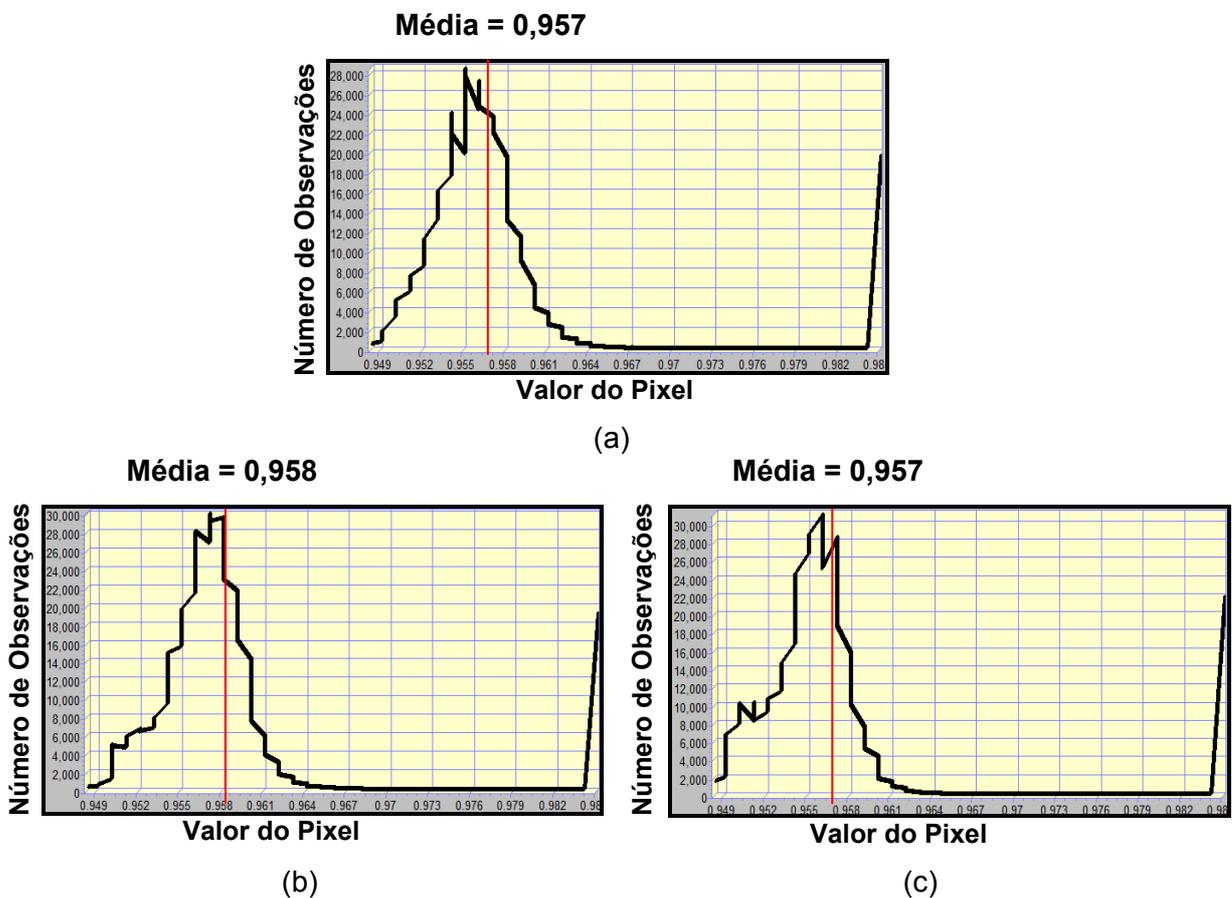
No cálculo da transmissividade utilizou-se como altitude média da região em estudo o valor  $z = 121,74\text{m}$ . A transmissividade estimada para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, com base na altitude média da área em estudo e usando a expressão 3.7 foi de 0,752, sendo considerada constante para toda a área.

A Tabela 4.5 apresenta valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação da emissividade da superfície. A amplitude total dos valores da emissividade para os três dias estudados foi quase a mesma, sendo na faixa de 0,037. Observa-se que os valores médios estimados da emissividade da superfície não variaram entre os dias estudados, como mostra os valores dos coeficientes de variação (menores que 1).

Tabela 4.5 – Valores estatísticos da emissividade da superfície (mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação) para os dias estudados, da área de estudo.

Emissividade da Superfície	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
11/06/1990	0,948	0,985	<b>0,957</b>	0,006	0,627
21/09/1998	0,948	0,985	<b>0,958</b>	0,006	0,626
03/09/2003	0,943	0,985	<b>0,957</b>	0,006	0,627

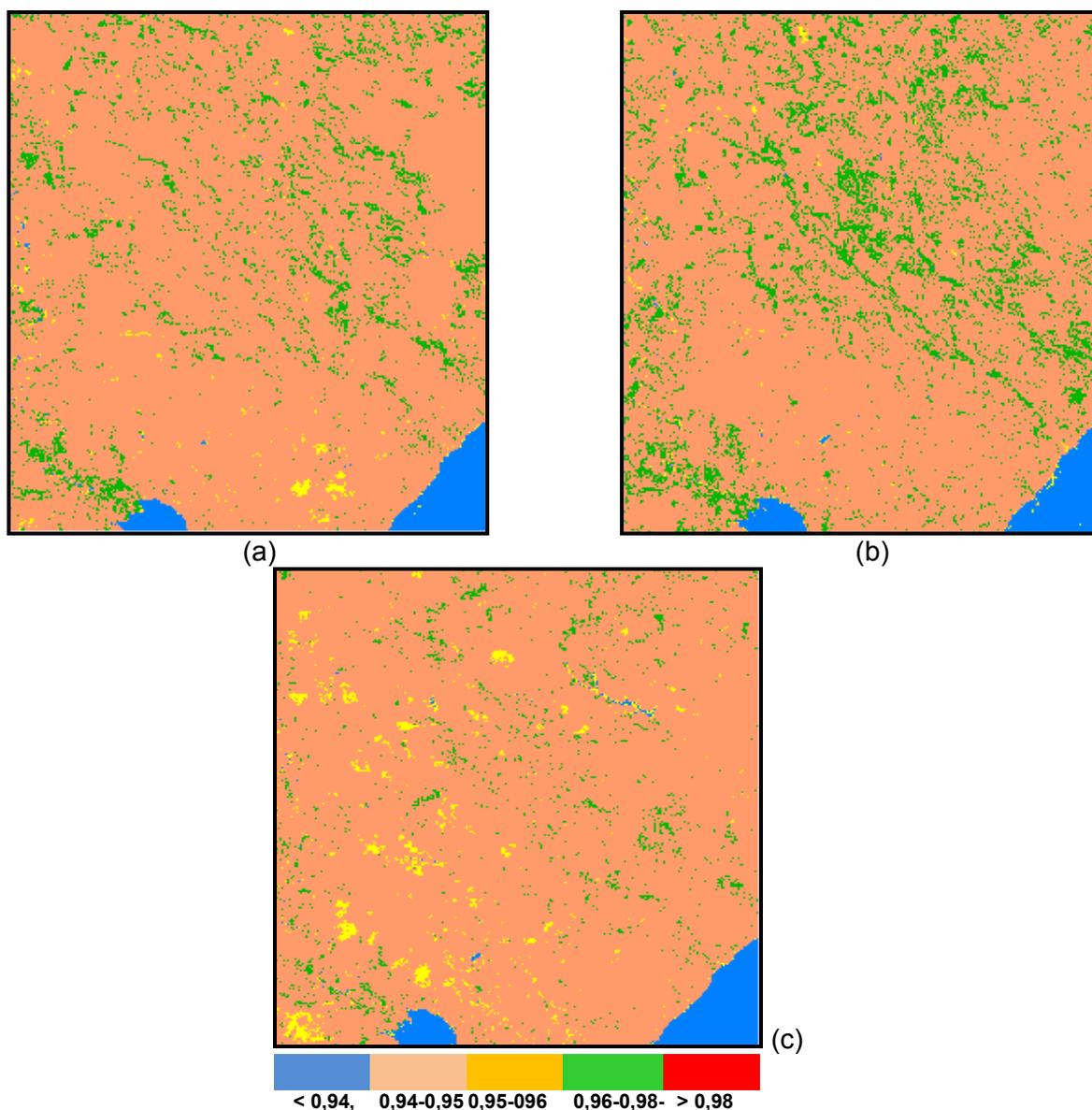
As Figuras 4.6 representam os histogramas de freqüência da emissividade da superfície para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, respectivamente, cuja média dos valores estimados é representada pela linha vermelha.



Figuras 4.6 – Histogramas de freqüência da emissividade da superfície estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

As Figuras 4.7 representam as imagens classificadas da emissividade da superfície dos dias estudados. Comparando visualmente estas três imagens classificadas da emissividade da superfície e os analisando os dados da Tabela 4.5, que apresenta os valores médios dos resultados da emissividade da superfície

obtidos em cada cena, observa-se que o cenário não teve quase nenhuma alteração entre as datas estudadas.



Figuras 4.7 – Imagens classificadas da emissividade da superfície ( $\epsilon_o$ ) estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Bastiaanssen (2000), usando o algoritmo SEBAL, encontrou valores de emissividade iguais a 0,93 para áreas secas e 0,99 para áreas úmidas em estudo na Bacia do Lago de Gediz, na Turquia. Pachêco (1989, 2001) realizou estudos para fazer uma abordagem teórica e experimental de uma metodologia para determinação em campo e laboratório de propriedades térmicas ("Emissividade e Inércia Termal") de alvos naturais, na faixa espectral do infravermelho termal (8 – 12

mm), visando fornecer subsídios para o estudo da natureza de materiais da superfície terrestre a partir de dados de radiação emitida.

Quaidrari et al. (2002) sugerem que a emissividade da superfície pode ser a causa de erros na estimativa de temperatura da superfície através de imagens de satélite. Os pesquisadores afirmaram ainda que a emissividade de áreas vegetadas se situe próxima a 0,98 e com uma variação de 0,92 a 0,96, para solos com pouca vegetação. Nas áreas de solo exposto esses valores variam entre 0,91 e 0,93. Di Pace (2004) em estudo em 2000 no PISNC em Pernambuco também usando SEBAL, mas com e sem o modelo de elevação digital (MED), encontrou a variação de 0,970 a 0,976 (com MED) e de 0,972 a 0,990 (sem MED) para a emissividade da superfície.

Concluindo a análise dos valores estatísticos da emissividade da superfície, referentes à área em estudo (Tabela 4.5 e Figuras 4.6 e 4.7), verificou-se que a emissividade da superfície apresentou uma pequena variação entre os dias estudados e estão de acordo com os valores encontrados pelos pesquisadores acima citados.

### **4.1.3 – Índices de Vegetação: IVDN, IVAS e IAF**

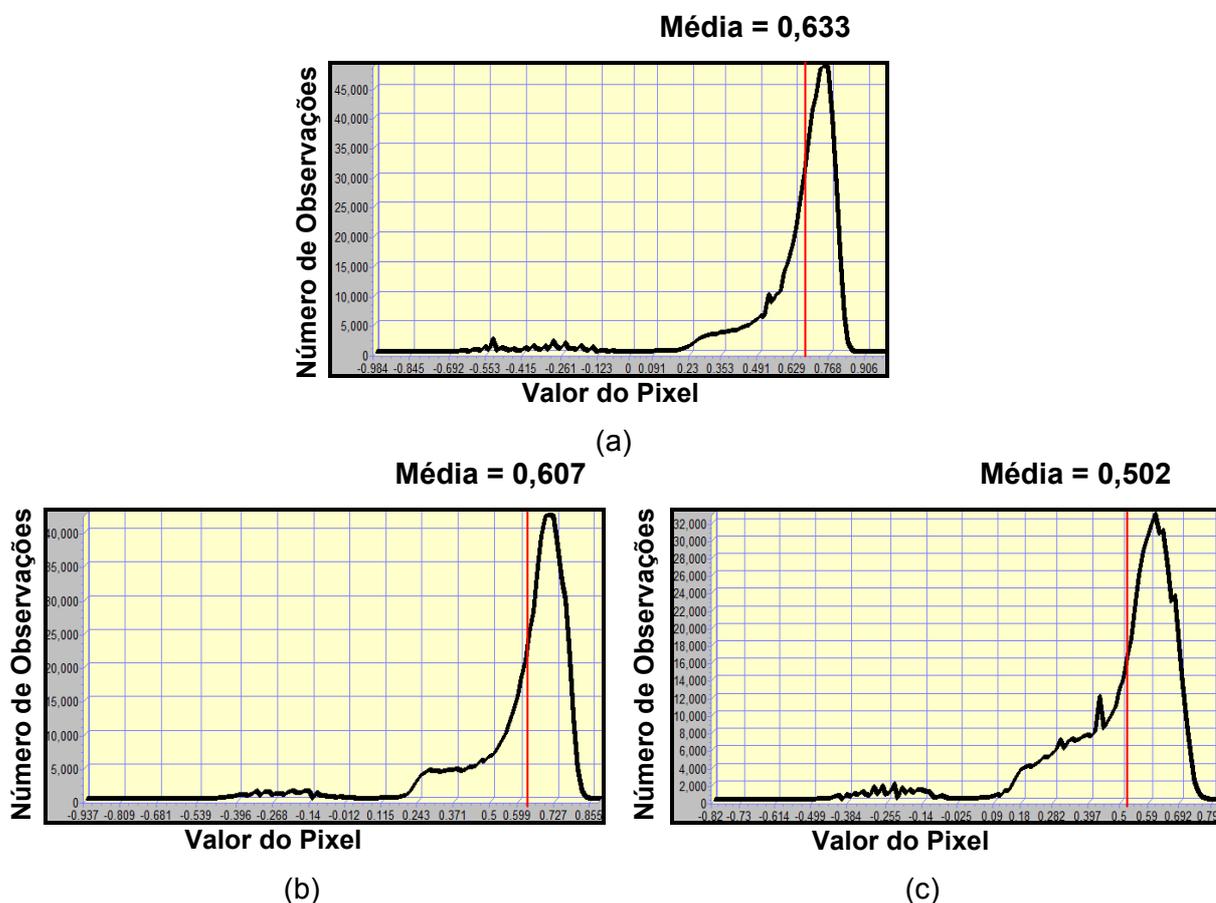
#### **4.1.3.1 – IVDN**

As Figuras 4.8 representam os histogramas de freqüência do IVDN da área em estudo dos dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 21/09/2003. Sendo que a média dos valores estimados é representada pela linha vermelha. Os histogramas de freqüência do IVDN apresentaram expressiva dispersão nos valores obtidos para as cenas estudadas, pois a região possui um uso e ocupação do solo diversificado.

A Tabela 4.6 apresenta valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação do IVDN da área em estudo. Observa-se que o valor médio do IVDN estimado decresceu nos dias estudados. De 1990 para 1998 ocorreu uma diminuição na faixa de 4,1%, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 17,3% em seus valores médios estimados. Isto comprova que a cobertura vegetal teve uma perda de 1990 para 1998 e também de 1998 para 2003.

Analisando os coeficientes de variação para todos os dias estudados verificam-se valores maiores que 25% mostrando que a amostragem não foi muito

homogênea (o maior deles foi para 2003, 39,641%), isto é, que ocorreu uma grande variabilidade no tipo de cobertura vegetal, assim os valores do IVDN foram heterogêneos nos três períodos.



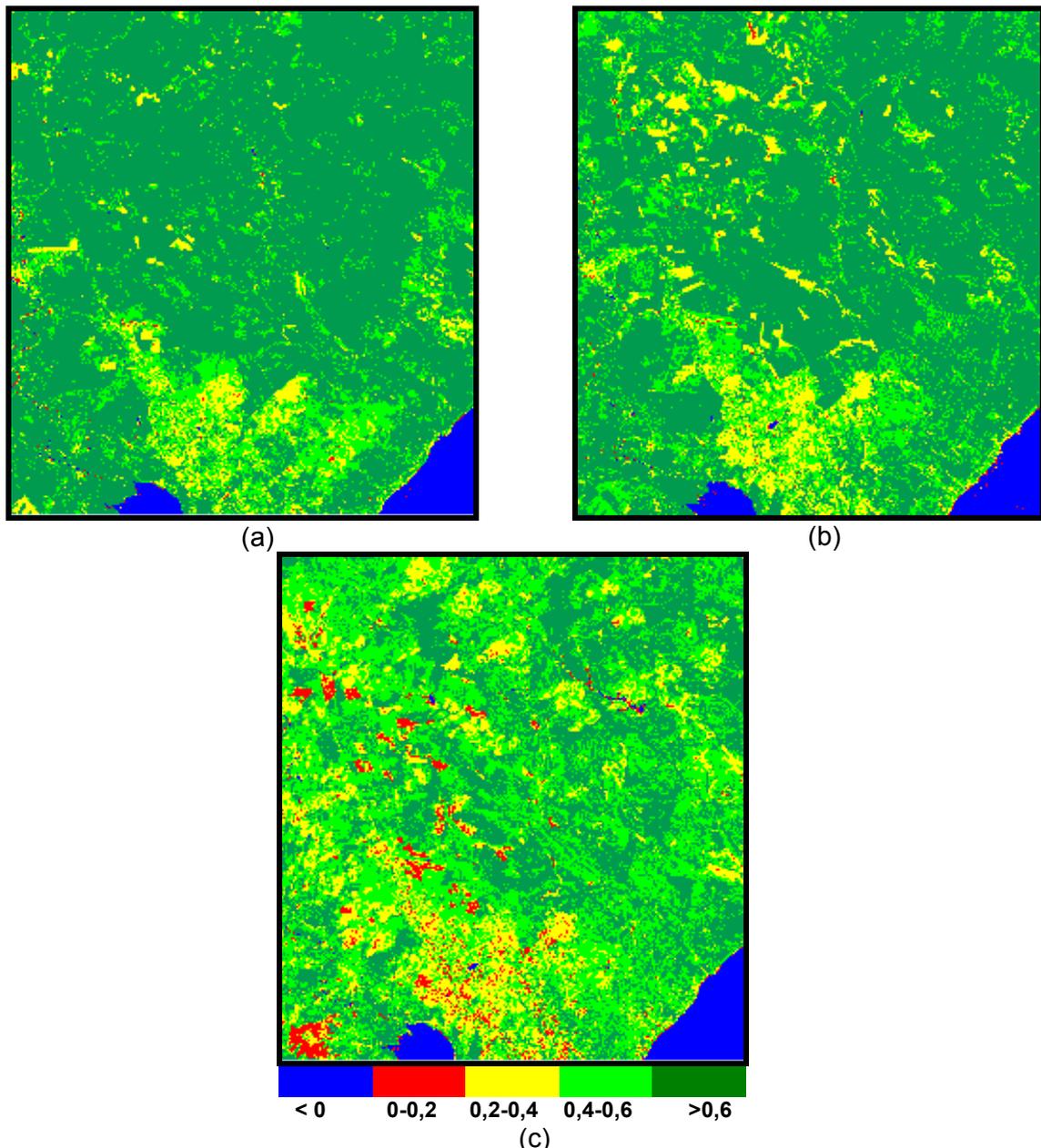
Figuras 4.8 – Histogramas de frequência do IVDN estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Tabela 4.6 – Valores estatísticos do IVDN (mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação) da área em estudo, para os dias estudados.

IVDN	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
11/06/1990	-0,984	0,983	<b>0,633</b>	0,220	34,755
21/09/1998	-0,938	0,884	<b>0,607</b>	0,202	33,278
03/09/2003	-0,820	0,821	<b>0,502</b>	0,199	39,641

As Figuras 4.9 apresentam as imagens classificadas do IVDN da área em estudo dos dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 21/09/2003. Analisando as três imagens classificadas do índice de vegetação IVDN em relação a sua espacialização, observa-se também que a cobertura vegetal sofreu alteração razoável entre as datas estudadas. O IVDN médio diminuiu de 0,633 em 11/06/1990 para 0,607 em 21/09/1998 e observando as imagens classificadas para os dois dias tem-se uma

maior área em tons esverdeados em 1990 (Figura 4.9a) (faixa de valores maiores que 0,60 até 0,40) e uma elevação das áreas em amarelo em 1998 (Figura 4.9b) (faixa 0,20 – 0,40). Analisando as imagens de 1998 e 2003 observa-se que também ocorreu uma diminuição razoável do IVDN médio em toda área, mostrando o aparecimento de algumas regiões em tons vermelhos (Figura 4.9c) (faixa 0 – 0,20) e o aumento das áreas em verde mais claro (faixa de 0,40 – 0,60). O IVDN médio variou de 0,607 em 1990 para 0,502 em 2003.



Figuras 4.9 – Imagens classificadas do IVDN estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

A diminuição gradativa do IVDN que ocorreu entre os anos pesquisados, onde os valores baixos de 0 – 0,20 são encontrados mais na área metropolitana da

cidade de Maceió, na parte mais ao sul das imagens, pode ter sido pelo processo de urbanização que foi se intensificando durante o período estudado. E também ocorreu nas áreas mais ao Noroeste da bacia em possíveis áreas de solos com vegetação rala ou áreas agrícolas na espera de plantio. Na área da bacia do rio Pratygy, área mais central das imagens observa-se que a diminuição do IVDN foi maior de 1998 para 2003, como mostra a intensificação dos tons amarelos na imagem de 2003.

Segundo Huete e Tucker (1991), os valores do IVDN para solo exposto estão geralmente entre 0,05 e 0,30 e devido à grande variabilidade das propriedades óticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de IVDN para solos com pouco ou nenhuma cobertura vegetal.

Bastiaanssen (2000), utilizando o SEBAL na estimativa dos fluxos de calor sensível e latente, em áreas irrigadas da bacia do Gediz (Turquia) e analisando valores instantâneos do IVDN em um pixel seco e um úmido, encontrou valores iguais a 0,22 e - 0,017 para cada pixel, respectivamente. Silva et al. (2002), também trabalhando com o SEBAL, encontraram valores para alvos de área cultivada com fruteira, solo exposto e água de 0,71, 0,18 e -0,05, respectivamente.

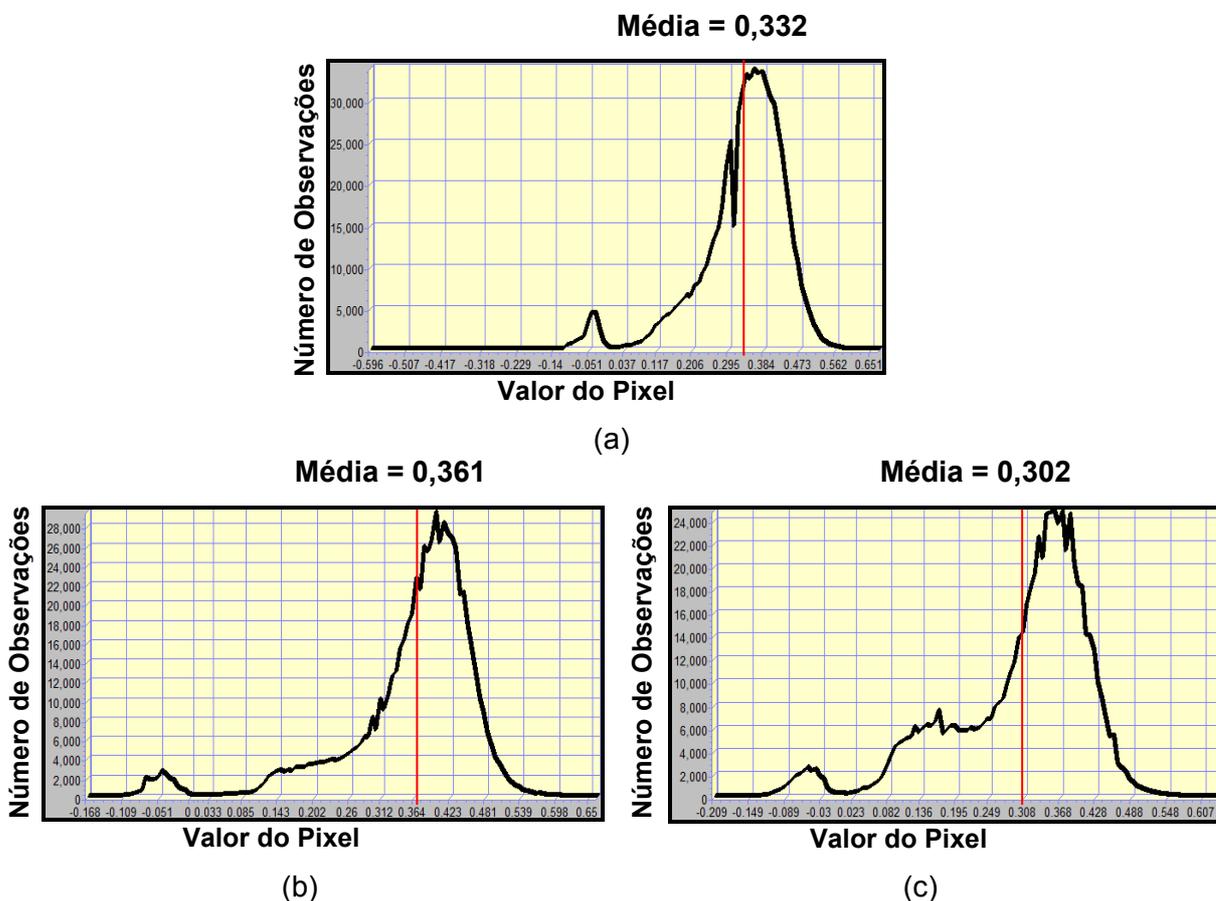
Segundo Novas et al. (2007), para área rural do município de Maceió para os mesmos dois primeiros dias das imagens deste estudo, o IVDN médio variou de 0,71 em 1990 para 0,68 em 1998, valores parecidos aos encontrados. Em outro trabalho para seis mini-recortes da mesorregião Leste de Alagoas, região com atividade agrícola de cana-de-açúcar, Oliveira et al. (2007) observaram valores médios de 0,669 a 0,770, próximos aos encontrados neste trabalho.

#### **4.1.3.2 – IVAS**

As Figuras 4.10 representam os histogramas de freqüência do IVAS da área em estudo, dos dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003. Sendo que a média dos valores estimados é representada pela linha vermelha. Os histogramas de freqüência do IVAS apresentaram grande dispersão nos valores obtidos para as cenas estudadas, também semelhantes ao IVDN, pois a região possui uma cobertura heterogênea do solo.

A Tabela 4.7 apresenta os valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação do IVAS. Observa-se que o valor médio do IVAS estimado

aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003. De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação na faixa de 8,7%, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 14,1% em seus valores médios estimados.



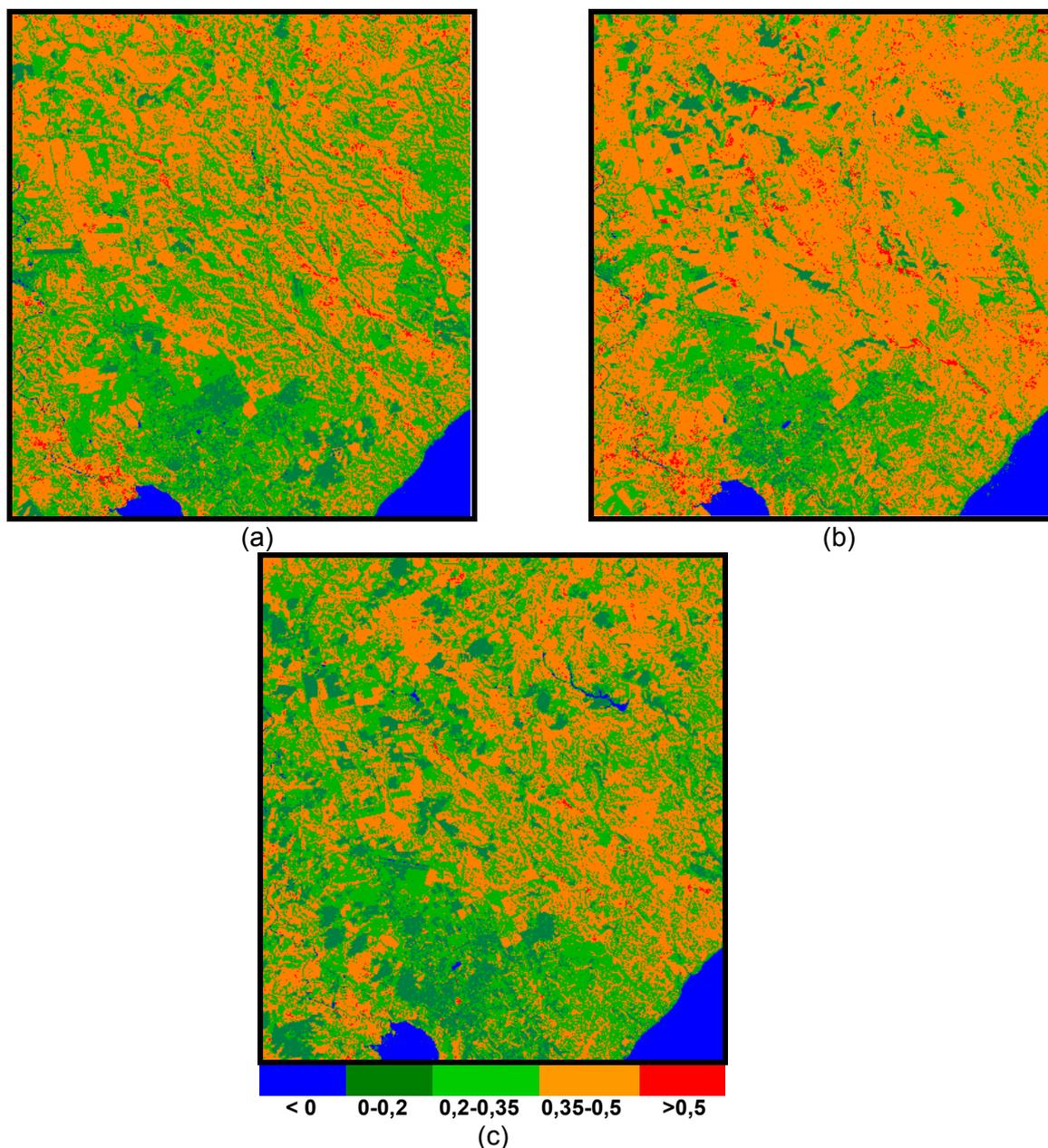
Figuras 4.10 – Histogramas de freqüência do IVAS estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Tabela 4.7 – Valores estatísticos do IVAS (mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) para os dias estudados da área em estudo.

IVAS	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV(%)
11/06/1990	-0,596	0,672	<b>0,332</b>	0,108	32,530
21/09/1998	-0,168	0,663	<b>0,361</b>	0,109	30,194
03/09/2003	-0,209	0,641	<b>0,302</b>	0,117	38,741

Nas Figuras 4.11 são representadas as três imagens classificadas do índice de vegetação IVAS dos dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003. De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação na faixa de 8,7%, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 14,1% em seus valores médios estimados.

Analisando as três imagens classificadas do índice de vegetação IVAS (Figuras 4.11) e os dados da Tabela 4.7 que apresenta os valores médios dos resultados do IVAS obtidos em cada cena, observa-se que o índice IVAS sofreu uma alteração pouco expressiva entre os dias estudados.



Figuras 4.11 – Imagens classificadas do IVAS estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

O IVAS médio aumentou de 0,332 em 11/06/1990 para 0,361 em 21/09/1998 e analisando as imagens classificadas para estes dias tem-se uma expansão da área em tons laranja em 1998 (Figura 4.11b) (faixa de 0,35 - 0,50) e uma predominância das áreas em verde mais claro em 1990 (Figura 4.11a) (faixa 0,20 –

0,35). Analisando as imagens de 1998 e 2003 observa-se que ocorreu uma pequena diminuição do IVAS médio em toda área, mostrando o aumento de regiões em tons verde escuro (Figura 4.11c) (faixa 0 – 0,20) e a diminuição das áreas em vermelho (faixa de valores maiores que 0,50). A elevação do IVAS de 1990 para 1998 e depois e a sua diminuição em 2003, onde os valores baixos de 0 – 0,20 são encontrados mais na área mais povoada da cidade de Maceió, seria devido o processo de urbanização que foi se intensificando durante o período estudado e também ocorrendo em áreas mais centrais da bacia em possíveis áreas de baixa densidade de cobertura. A variação do IVAS de 1998 para 2003, talvez seja devido à criação do Plano Diretor da bacia do rio Pratagy ter sido iniciado em 1998 e com isso começou ocorrer uma conservação ambiental da mesma para efeito de manter os mananciais para o abastecimento água de Maceió.

Bannari et al. (1995 apud MCDONALD et al., 1998) concluíram em seu estudo, que o IVDN sofreu uma influência significativa dos efeitos do solo e da atmosfera, enquanto que para o IVAS estas interferências foram de menor grau. Regiões onde há ocorrência de solo exposto os índices de vegetação que atenuam a interferência do solo na imagem são mais eficientes foi à conclusão de Matsumoto et al. (2001), em estudo na região de São José dos Campos (SP), também usando imagens TM-Landsat 5 e trabalhando com 3 tipos de cobertura vegetal: mata, campo cerrado e pasto.

Lima e Nelson (2003), em um estudo para avaliar a expansão urbana da cidade de Manaus (AM) usando também o SEBAL verificaram que o índice IVAS identifica incorretamente a floresta densa como sendo área urbana e o erro aumentou com o valor do L, por isto descartam o uso do mesmo para áreas urbanas. Valores baixos de IVAS demonstram áreas com elevados valores de área basal, biomassa e volume, segundo estudo de Maciel et al. (2003) e afirma que esta diferenciação apresenta-se decorrente, principalmente, da maior ou menor proporção de sombra ocasionada pela estrutura do dossel.

Rosendo e Rosa (2005), em um estudo usando imagens MODIS na bacia do rio Araguari (MG) para avaliar a utilização de índices de vegetação no monitoramento de algumas classes de uso do solo e cobertura vegetal em áreas amostrais do Cerrado observaram que em áreas de reflorestamento apresentam-se sempre valores elevados para o IVDN e IVAS que variam de 0,7 a 1 e de 1 a 1,4, respectivamente. Concluíram ainda que mesmo com ocorrência de pouca perda do

vigor vegetativo entre os períodos de chuva e de seca, mas em culturas anuais, como café e pastagem que apresentaram comportamentos semelhantes (valores altos para os mesmos índices) no período chuvoso e, no entanto ocorreu perda deste entre este período e o seco.

Em estudo usando imagem TM-Landsat 5 em Pernambuco, Giongo et al. (2007) obteve para o IVAS os valores de -0,214, 0,521 e 0,121, como o mínimo, máximo e média, respectivamente. Os baixos valores encontrados refletem uma menor densidade de cobertura vegetal da área estudada. Segundo Novas et al. (2007), em estudo na área rural do município de Maceió para os mesmos dois primeiros dias das imagens deste estudo e com mesmo algoritmo, verificaram que o IVAS médio variou de 0,41 em 1990 para 0,34 em 1998, valores parecidos aos encontrados neste estudo.

#### **4.1.3.3 – IAF**

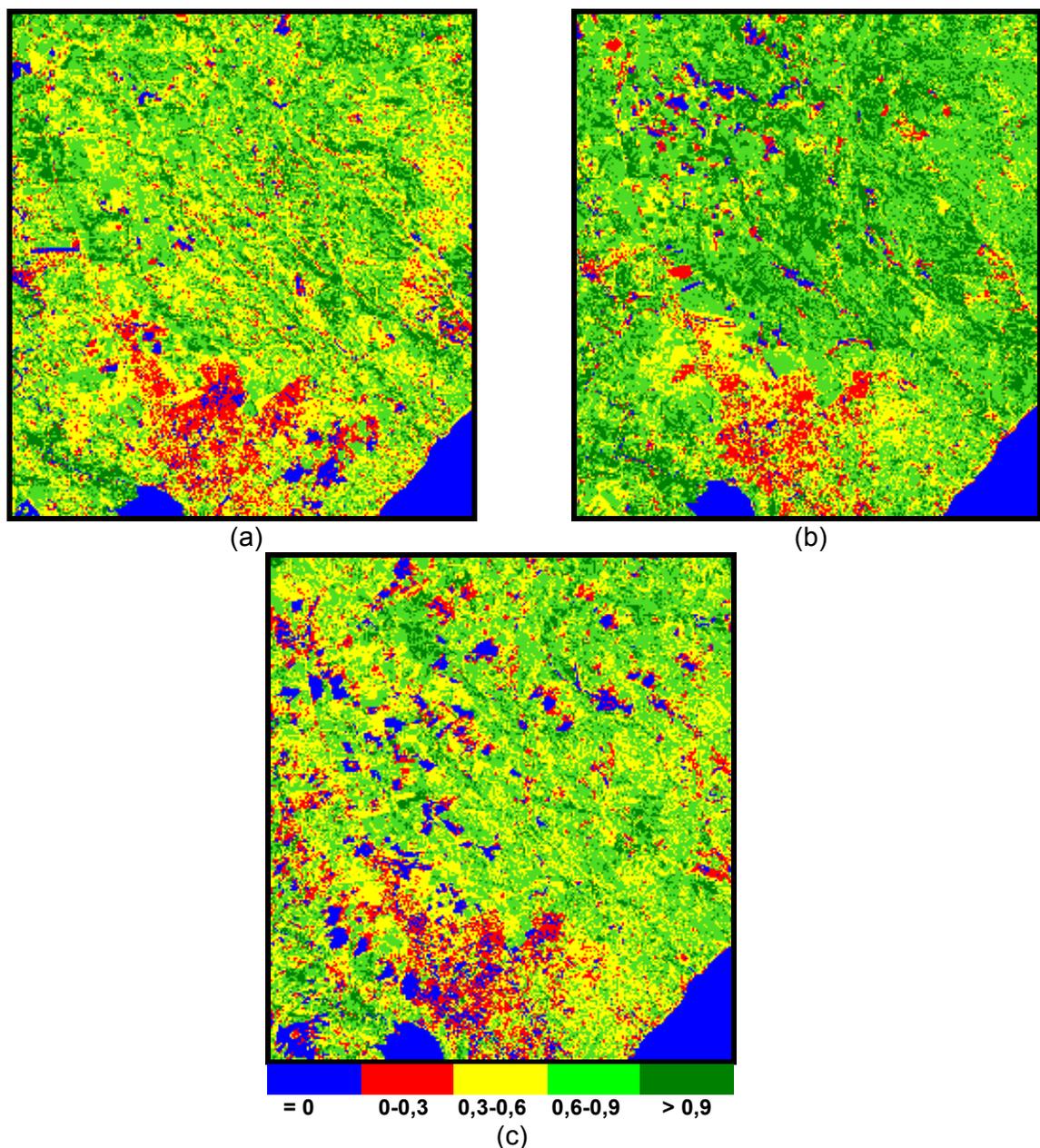
No processamento da imagem no caso de índice IAF observaram-se valores negativos para o mesmo e quando isso ocorre deve-se atribuir para esses pixels IAF igual a zero.

As Figuras 4.12 representam os histogramas do IAF corrigido da área em estudo para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, cuja média dos valores estimados é representada pela linha vermelha.

A Tabela 4.8 apresenta valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação do IAF da área em estudo. Observou-se que o valor médio do IAF estimado aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003. De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação na faixa de 16,4%, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 23,6% em seus valores médios estimados. Este comportamento foi diferente do IVDN estimado, que mostrou que a cobertura vegetal teve uma perda de 1990 para 1998 e novamente de 1998 para 2003.



os dois dias tem-se uma elevação na área em verde escuro em 1998 (Figura 4.29b) (faixa de valores maiores que 0,90) e uma predominância de áreas em amarelo em 1990 (Figura 4.29a) (faixa 0,30 – 0,60). Isto pode ser explicado, pois no mês de setembro, período após o trimestre chuvoso (maio/junho/julho) da região, a vegetação deve estar mais exuberante, como também as áreas agrícolas.



Figuras 4.13 – Imagens classificadas do IAF estimado para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Analisando as imagens de 1998 e 2003 observa-se que ocorreu uma diminuição razoável do IAF médio na área em estudo de 0,694 para 0,529 respectivamente, mostrando o aumento das regiões em tons vermelhos (Figura

4.13c) (faixa 0 – 0,30) e a elevação das áreas em azul (IAF = 0). A elevação do IAF de 1990 para 1998 e depois e a sua diminuição em 2003, onde os valores baixos de 0 – 0,30 também como no IVAS são encontrados mais na área urbana da cidade de Maceió, devido o processo de urbanização que foi se intensificando durante o período estudado e os valores iguais a zero em áreas mais centrais da área em estudo. O processo de urbanização avançou em direção Noroeste a partir da praia e com isso está fazendo recuar os canaviais, alterando a cobertura vegetal.

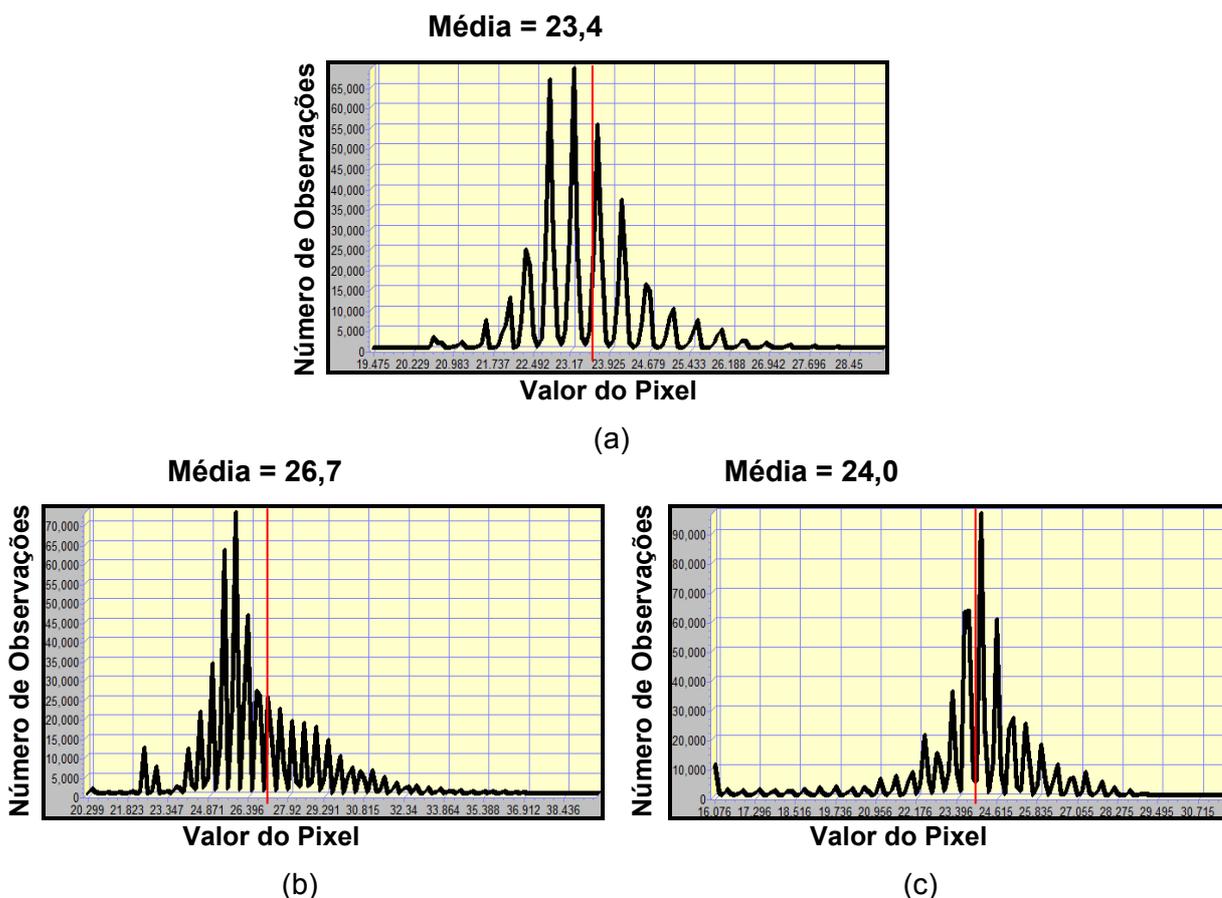
Na estimativa local de parâmetros biofísicos do dossel, Epiphanyo et al. (1996), utilizando dados do sensor TM-Landsat 5, apresentaram a relação entre os índices de vegetação NDVI com dados do IAF, da porcentagem de cobertura e da densidade de clorofila, obtidos de culturas de trigo e de feijão.

Em estudos na região amazônica Caruzzo et al. (2003) para estimar valores de IAF para regiões de agrossistema e floresta no estado de Rondônia através de fotos hemisféricas coletadas durante o Experimento AMC/LBA em janeiro e fevereiro de 1999 observaram que IAF para a região de pastagem teve uma pequena variação dos quadrados com classificação diferentes. Pelo fato de ter uma vegetação baixa em comum, a lente é muita mais exposta à radiação direta do Sol. A imagem capturada junto ao solo no interior da vegetação apresentou valores discrepantes dependendo da altura do disco solar em relação ao horizonte. Valores próximos a 4,0% para o IAF foram obtidos por Boegh et al. (2002) para áreas com vegetação densa e áreas irrigadas, não compatíveis com os encontrados pois na região em estudo não existe vegetação deste tipo.

Em estudo usando imagem TM-Landsat 5 em Pernambuco, Giongo et al. (2007) obteve para o IAF os valores de -0,469, 0,85 e 0,056, como o mínimo, máximo e média, respectivamente, bem compatíveis aos encontrados neste estudo.

#### **4.1.4 – Temperatura da Superfície**

As Figuras 4.14 representam os histogramas de freqüência da temperatura da superfície (TS) estimada para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, cuja média dos valores estimados é representada pela linha vermelha.



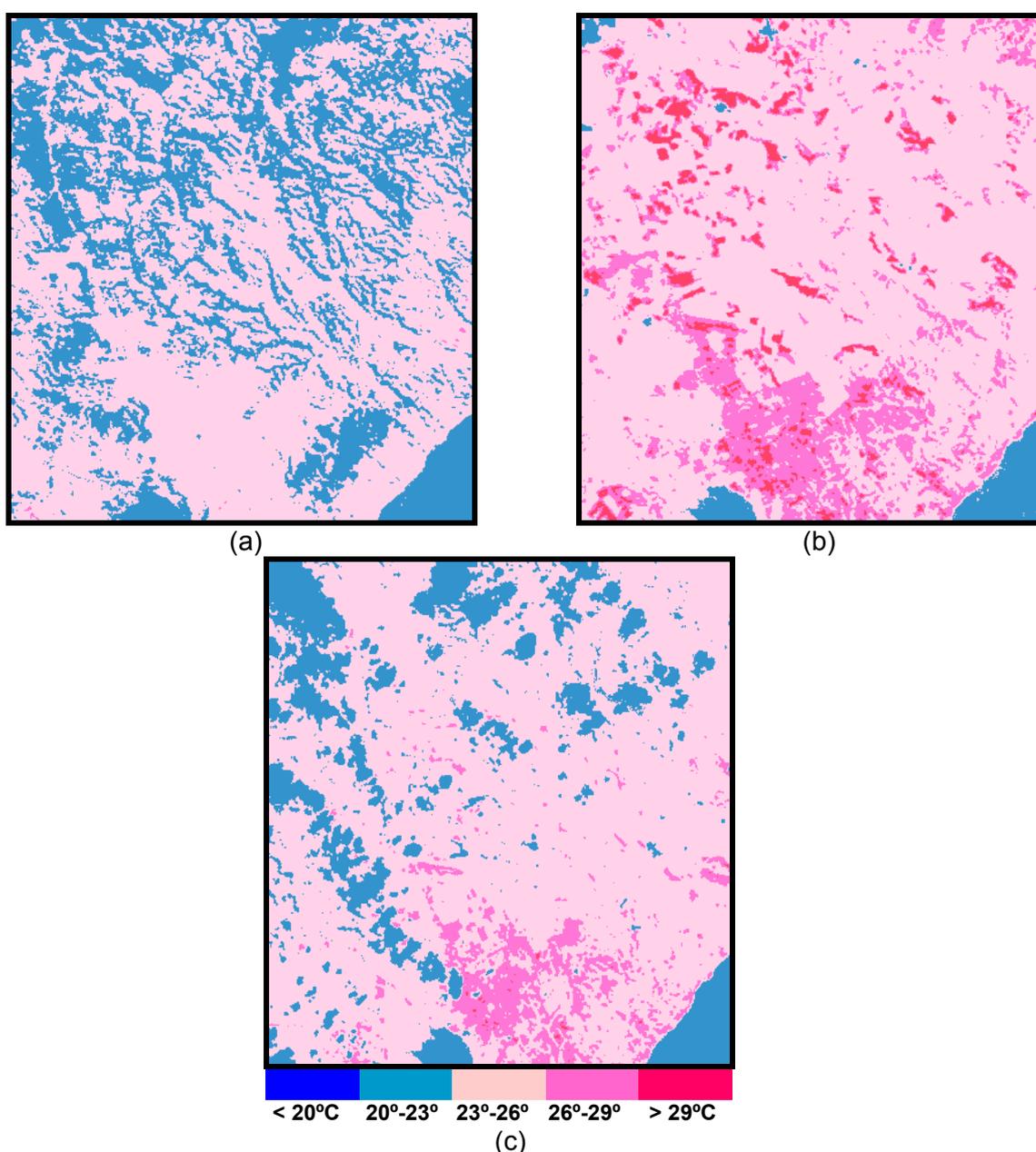
Figuras 4.14 – Histogramas de freqüência da temperatura da superfície instantânea estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

A Tabela 4.9 apresenta valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação da TS para os dias estudados. Observou-se que o valor médio da TS estimado aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003. De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação na faixa de 14,1%, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 10% em seus valores médios estimados. O valor máximo da temperatura da superfície teve um aumento muito expressivo de 1990 para 1998, na faixa de 10°C e também uma queda expressiva de 1998 a 2003, sendo aproximadamente de 8°C. Os CV para os dias estudados foram menores que 8% mostrando que a variabilidade dos valores da temperatura da superfície em cada período em torno da média não foi muito expressiva.

Tabela 4.9 – Valores Estatísticos da temperatura da superfície (mínimo, máximo, média, desvio padrão e coeficiente de variação) para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003.

Temperatura da superfície (°C)	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
11/06/1990	19,4	29,0	<b>23,4</b>	0,982	4,195
21/09/1998	20,1	39,6	<b>26,7</b>	2,113	7,917
03/09/2003	21,1	31,6	<b>24,0</b>	1,425	5,935

Analisando as três imagens classificadas da TS (Figuras 4.15) e os dados da Tabela 4.9, que apresenta os valores médios instantâneos dos resultados da temperatura da superfície obtidos para os três dias estudados, observa-se que os mesmos sofreram uma alteração mediana entre as datas estudadas. A temperatura instantânea média estimada aumentou de 23,4° C em 11/06/1990 para 26,7°C em 21/09/1998 e observando as imagens classificadas para os dois dias tem-se uma elevação nas áreas em tons rosa escuro em 1998 (Figura 4.15b) (faixa de valores maiores que 26°C) e uma predominância de áreas em rosa claro em 1990 (Figura 4.15a) (faixa 23 – 26°C).



Figuras 4.15 – Imagens classificadas da temperatura da superfície estimada (°C) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Analisando as imagens de 1998 e 2003 observa-se que ocorreu uma expressiva variação espacial da temperatura da superfície (diminuição das áreas com tons rosa escuro - Figura 4.15c) e, no entanto em relação aos valores médios somente uma pequena diminuição em toda área em estudo com valores de 26,60°C para 24,0°C respectivamente. Observa-se também em 2003 a redução de regiões em tons vermelhos (temperatura > 29°C).

Analisando os dados da Tabela 4.2 (valores em negrito) com os valores da precipitação para 3 decênios anteriores a 03/09/2003 observa-se que foi registrado um total pluviométrico de 160,1mm, fato que pode ter influenciado em menores valores para este dia. No caso da imagem de 21/09/1998 e observando os valores da precipitação para os três decênios anteriores, teve-se um total pluviométrico de 96,3mm, na faixa de 40% menor que a de 2003, possivelmente justificando a temperatura de superfície apresentar maiores valores neste dia. Convém ressaltar que a cena de 2003 possui maior quantidade de nuvens, ocasionando assim menores temperaturas. Os maiores valores de temperatura de superfície são encontrados mais na área urbana da cidade de Maceió. O aumento gradativo da temperatura da superfície entre 1990 e 1998, onde os valores superiores a 26°C são encontrados mais na área urbanizada da área em estudo, na parte mais ao Sul da imagem, que ocorreu devido à intensificação do processo de urbanização.

Na área Norte das imagens observa-se que a variação da temperatura de superfície foi maior de 1990 para 1998, como mostra a intensificação dos tons rosa escuro e vermelho na imagem de 1998 (Figura 4.15b). Isto deve ter ocorrido por ter tido alteração na cobertura vegetal da área referida, por ser agrícola de cana-de-açúcar, neste período é a época de queima dos canaviais e também pelo fato das imagens estudadas serem de meses diferentes, tendo assim variação na radiação solar. Observando a imagem de IVAS de 1998 (Figura 4.11b) é mostrado isso também no caso da biomassa da vegetação ser menor em 1998 para esta área.

Di Pace (2004), em estudo para o projeto PISNC, Petrolina (PE) e com imagens de 2000 e 2001 e usando também o SEBAL, mas considerando o uso do MED observou que a temperatura de superfície média em 2000 em áreas irrigadas foi de 24,1°C com o MED e sem de 24,0°C e para regiões agrícolas, com MED foi de 28,36°C enquanto sem o modelo foi de 29,60°C, observando que a aplicação do MED, exerce pouca influência no cálculo da temperatura da superfície. Os valores encontrados pelo pesquisador em áreas agrícolas, em região semi-árida e sem o

uso do MED foram um pouco maiores ao deste estudo para áreas com culturas de cana-de-açúcar, possivelmente por estas estarem em área mais litorânea.

Ahmed et al. (2005), usando o SEBAL com imagens ETM+ Landsat 7 e com a ajuda de dados adicionais, investigaram a propriedade da distribuição espacial da temperatura da superfície de terrestre ( $T_s$ ) e a evapotranspiração (ET) sobre a área de Gezira (Sudão). Os resultados da análise de regressão entre a temperatura da superfície, o NDVI e a evapotranspiração mostraram uma correlação negativa. Os resultados demonstraram que a  $T_s$  possuiu uma correlação negativa mais forte com a ET que com o NDVI para todos os tipos de cobertura de solo analisados.

Em estudos no Nordeste brasileiro também usando o SEBAL, em regiões envolvendo áreas irrigadas do PISNC nos municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, Silva et al. (2005a e 2005b) observaram a variabilidade da temperatura da superfície em 5 diferentes áreas com uso e ocupação do solo diferenciadas e verificaram uma elevação de 37,5 a 39,9°C no solo exposto, e de 23,3 a 26,7°C na área de fruteiras de 2000 a 2001. As maiores temperaturas, cerca de 40°C, foram observadas em solo exposto e os menores valores, da ordem de 21°C, no Lago de Sobradinho e rio São Francisco. Os valores relacionados acima para região com água foram análogos ao do presente estudo (faixa de 20 a 23 °C na região lagunar).

Souza e Silva (2005), em um estudo em Petrolina (PE) para estimar a temperatura da superfície ( $T_s$ ) com imagem TM-Landsat 5 e dados de radiossondagem e apresentando uma correção atmosférica da temperatura de brilho ( $T_b$ ), observaram com os resultados, a diferença entre a  $T_s$  obtida com correção apenas da emissividade e com correções da emissividade e da atmosfera, resultaram em diferenças inferiores a 1°C. No entanto, a diferença entre a  $T_s$  corrigida e a  $T_b$ , foi de aproximadamente 5°C e concluíram que é importante a correção atmosférica, no sentido de estimar valores mais precisos da temperatura da superfície.

Analisando os dados de temperatura medidos em campo pela estação da UFAL e comparando com os encontrados no pixel da localização da mesma (Tabela 4.10), observa-se que em 1990 a temperatura estimada foi menor na faixa de 9,5%, em 1998 foi também menor quase 1% e em 2003 continuou estimando menor valor na faixa de 8,5%. Concluiu-se que para 1990 e 2003 ocorreu uma pequena sub-estimativa, enquanto para 1998 foi mais amena. Os valores estimados em relação aos medidos diferenciaram sempre na faixa menor que 10% mostrando que a

metodologia utilizada para estimar a temperatura da superfície é viável para áreas onde não se possui estações meteorológicas.

Tabela 4.10 – Valores da temperatura medida pela estação do campus das Ciências Agrárias – UFAL, Rio Largo – AL e estimada para o pixel da estação.

Temperatura / Ano	1990	1998	2003
Temperatura do ar próximo à superfície – $T_a$ (°C) da estação	24,2	24,3	23,7
Temperatura do ar próximo à superfície – $T_s$ (°C) estimado	21,9	24,1	21,9

#### 4.1.5 – Radiação de Onda Longa Emitida ( $R_{L\uparrow}$ )

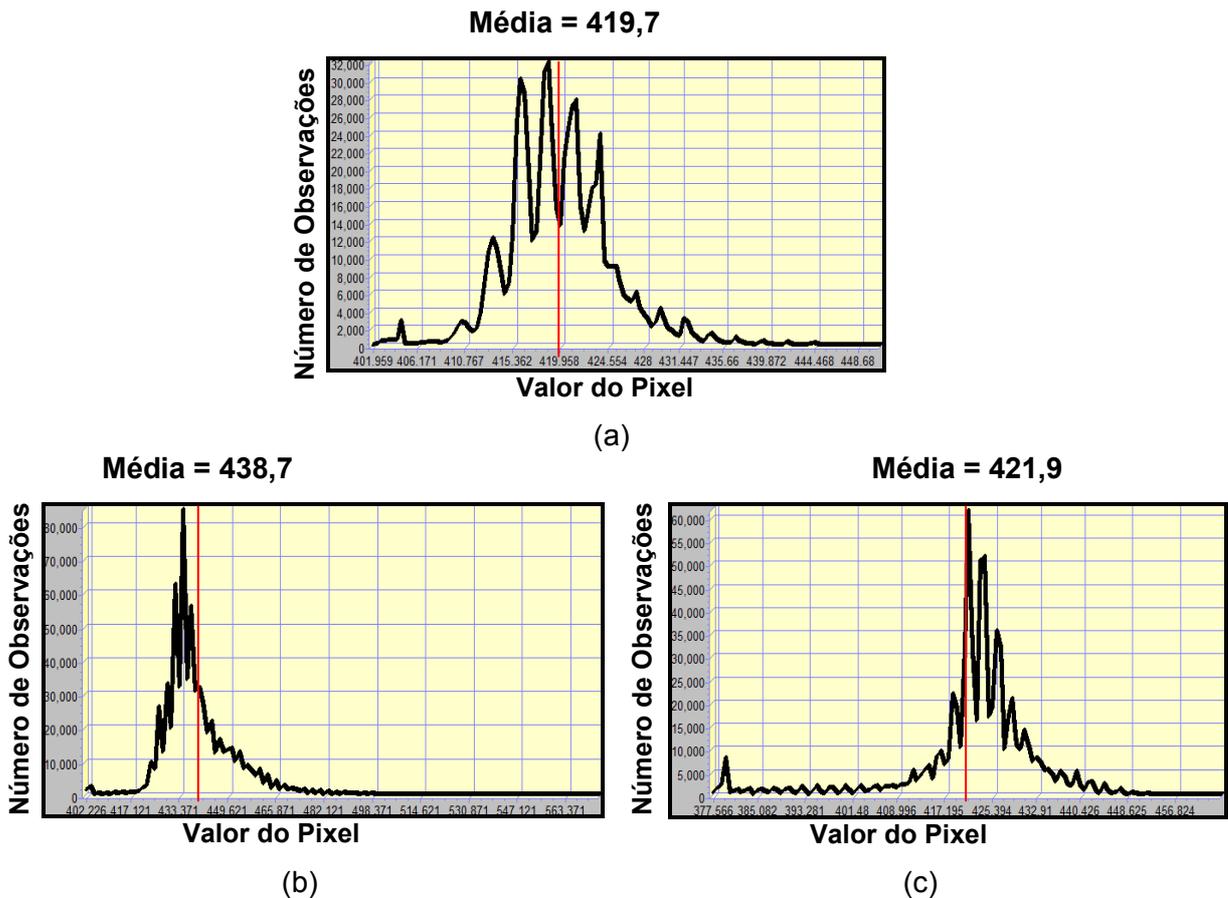
A Tabela 4.11 apresenta valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação da radiação de onda longa emitida para os mesmos dias. Observa-se que o valor médio da radiação de onda longa instantânea estimada aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003.

Tabela 4.11 – Valores Estatísticos da radiação de onda longa emitida instantânea estimada, mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação para os dias estudados.

$R_{L\uparrow}$ (W/m <sup>2</sup> )	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
11/06/1990	401,6	450,6	<b>419,7</b>	4,9	1,2
21/09/1998	400,9	574,2	<b>438,7</b>	11,4	2,6
03/09/2003	376,9	464,3	<b>421,9</b>	10,8	2,5

Os coeficientes de variação (Tabela 4.11) para os dias estudados demonstraram com seus valores baixos, pouca variabilidade de ROL emitida em torno da média para cada período. As amplitudes dos valores de ROL emitida para cada período foram 49,0W/m<sup>2</sup> em 1990, 173,3W/m<sup>2</sup> em 1998 e 87,4W/m<sup>2</sup> em 2003.

As Figuras 4.16 representam os histogramas de frequência da radiação de onda longa emitida instantânea estimada para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, cuja média dos valores estimados é representada pela linha vermelha.

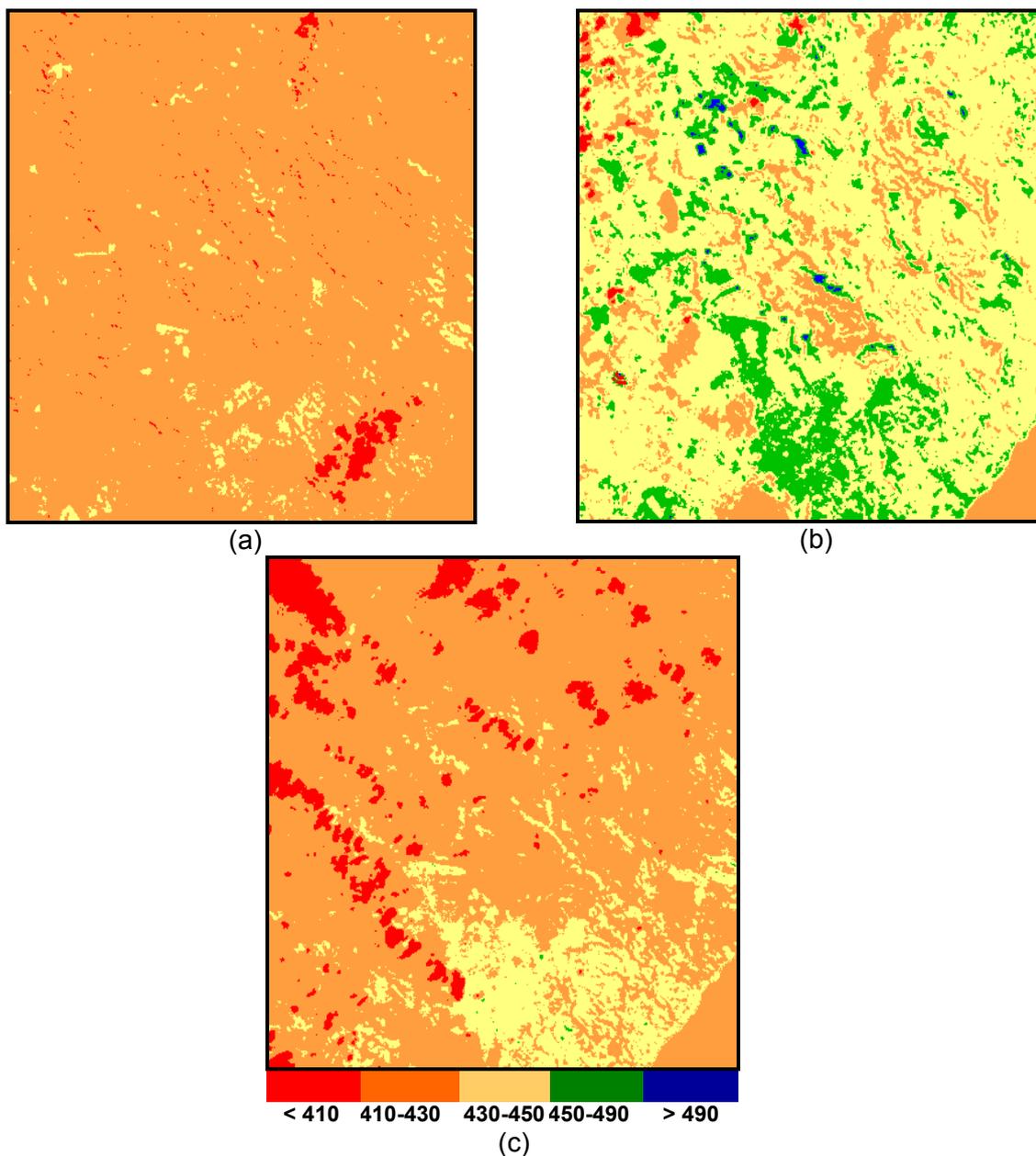


Figuras 4.16 – Histogramas de frequência da ROL emitida ( $W/m^2$ ) instantânea estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

As Figuras 4.17 apresentam as imagens classificadas da radiação de onda longa emitida instantânea estimada para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003.

Em relação a sua distribuição espacial verifica-se que em 1990 (Figura 4.17a) quase toda área estudada apresentou ROL emitida com valores variando de 410 a 430  $W/m^2$  (cor laranja). Em 1998 (Figura 4.17b) já ocorreu uma variação maior dos valores de ROL emitida ficando entre duas faixas de 410 a 430 e 430 a 450  $W/m^2$  (cor laranja e amarelo claro).

De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação nos valores médios estimados de ROL emitida na faixa de 14,1%, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 10%. O valor máximo estimado da radiação de onda longa emitida teve uma elevação muito expressiva de 1990 para 1998, na faixa de 124  $W/m^2$  e também uma queda expressiva de 1998 a 2003, sendo de aproximadamente 110  $W/m^2$ .



Figuras 4.17 – Imagens classificadas da ROL emitida ( $W/m^2$ ) instantânea estimada para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

#### 4.1.6 - Radiação de Onda Curta e Longa Incidente ( $R_{S\downarrow}$ ) ( $R_{L\downarrow}$ )

Usando os valores da Tabela 4.1 e a equação 3.16 e 3.17 obtêm-se os valores da radiação de onda curta ( $R_{S\downarrow}$ ) e de onda longa incidente ( $R_{L\downarrow}$ ).

Estes resultados são mostrados na Tabela 4.12 e foram utilizados para o cálculo do saldo de radiação à superfície conforme etapas enumeradas no item 3.2.1. Analisando os valores observa-se que ocorreu uma elevação considerável da radiação de onda curta incidente de 1990 a 1998, na faixa de  $205,58W/m^2$ , isto aconteceu pelo fato que é razão entre a distância média Terra-Sol e a distância

Terra-Sol para o ano de 1998, o dia 21/09 foi à maior entre os três dias estudados, como também o ângulo zenital solar foi o menor entre os três dias estudados. No caso de 1998 a 2003 ocorreu uma diminuição menos expressiva, na faixa de  $55,45\text{W/m}^2$ , pois a diferença entre a data no ano, para 1998 e 2003 é pequena, de 21/09 para 03/09, assim o dr não variou muito.

Tabela 4.12 – Valores da radiação de onda curta e longa incidente para os dias estudados.

<b>Dia</b>	<b>Radiação</b>	<b>Valor</b>
<b>11/06/1990</b>	<b><math>R_{s\downarrow}</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	<b>651,43</b>
<b>11/06/1990</b>	<b><math>R_{L\downarrow}</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	<b>336,46</b>
<b>21/09/1998</b>	<b><math>R_{s\downarrow}</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	<b>857,01</b>
<b>21/09/1998</b>	<b><math>R_{L\downarrow}</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	<b>339,19</b>
<b>03/09/2003</b>	<b><math>R_{s\downarrow}</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	<b>801,56</b>
<b>03/09/2003</b>	<b><math>R_{L\downarrow}</math> (<math>\text{W/m}^2</math>)</b>	<b>334,20</b>

Em relação aos valores de radiação de onda longa incidente, a variação entre os dias estudados não foi muito considerável, pois os valores medidos pela estação da UFAL da temperatura de ar próximo à superfície para estes dias não foram muito diferentes.

#### **4.1.7 – Saldo de Radiação à Superfície**

Os valores de  $R_n$  instantâneo foram calculados para condição de céu claro no momento da passagem do satélite, que no caso do Landsat 5, como foi mencionado no item 3.1.5, às 11:49:49.354" (TMG) do dia 11/06/1990, às 12:08:27.399" (TMG) de 21/09/1998 e às 12:07:09.503" (TMG) de 03/09/2003.

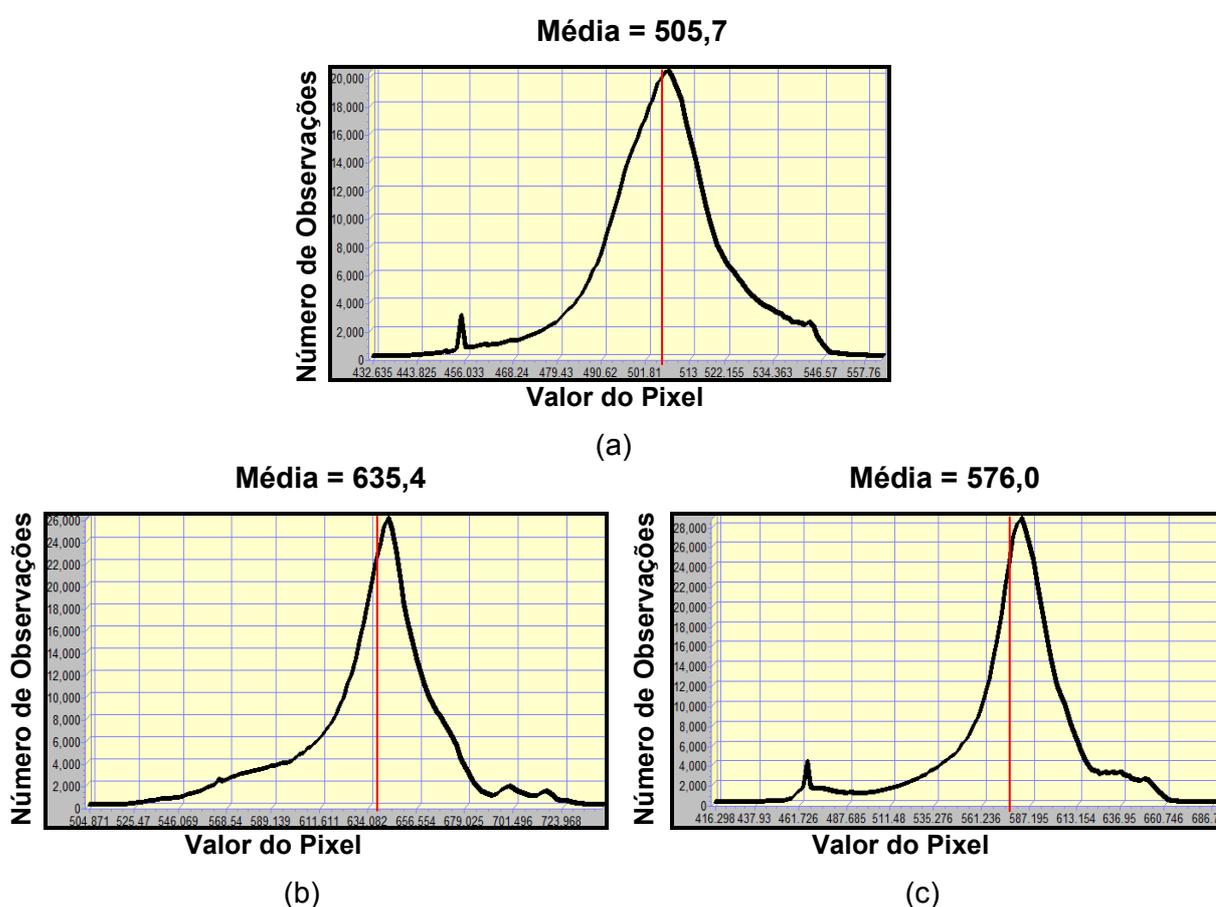
A Tabela 4.13 apresenta valores mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação do saldo de radiação à superfície para os dias estudados para a bacia em estudo.

Observa-se que o valor médio do saldo de radiação à superfície estimado aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003. De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação na faixa de  $147,6\text{W/m}^2$ , enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de  $77,3\text{W/m}^2$  em seus valores médios estimados

Tabela 4.13 – Valores Estatísticos do saldo de radiação à superfície instantâneo, mínimo, máximo, médio, desvio padrão e coeficiente de variação para os dias estudados.

Saldo de radiação à superfície (W/m <sup>2</sup> )	Mínimo	Máximo	Média	Desvio Padrão	CV (%)
11/06/1990	431,6	561,8	<b>505,7</b>	16,4	3,2
21/09/1998	503,0	742,7	<b>635,4</b>	30,6	4,8
03/09/2003	414,1	691,0	<b>576,0</b>	35,4	6,1

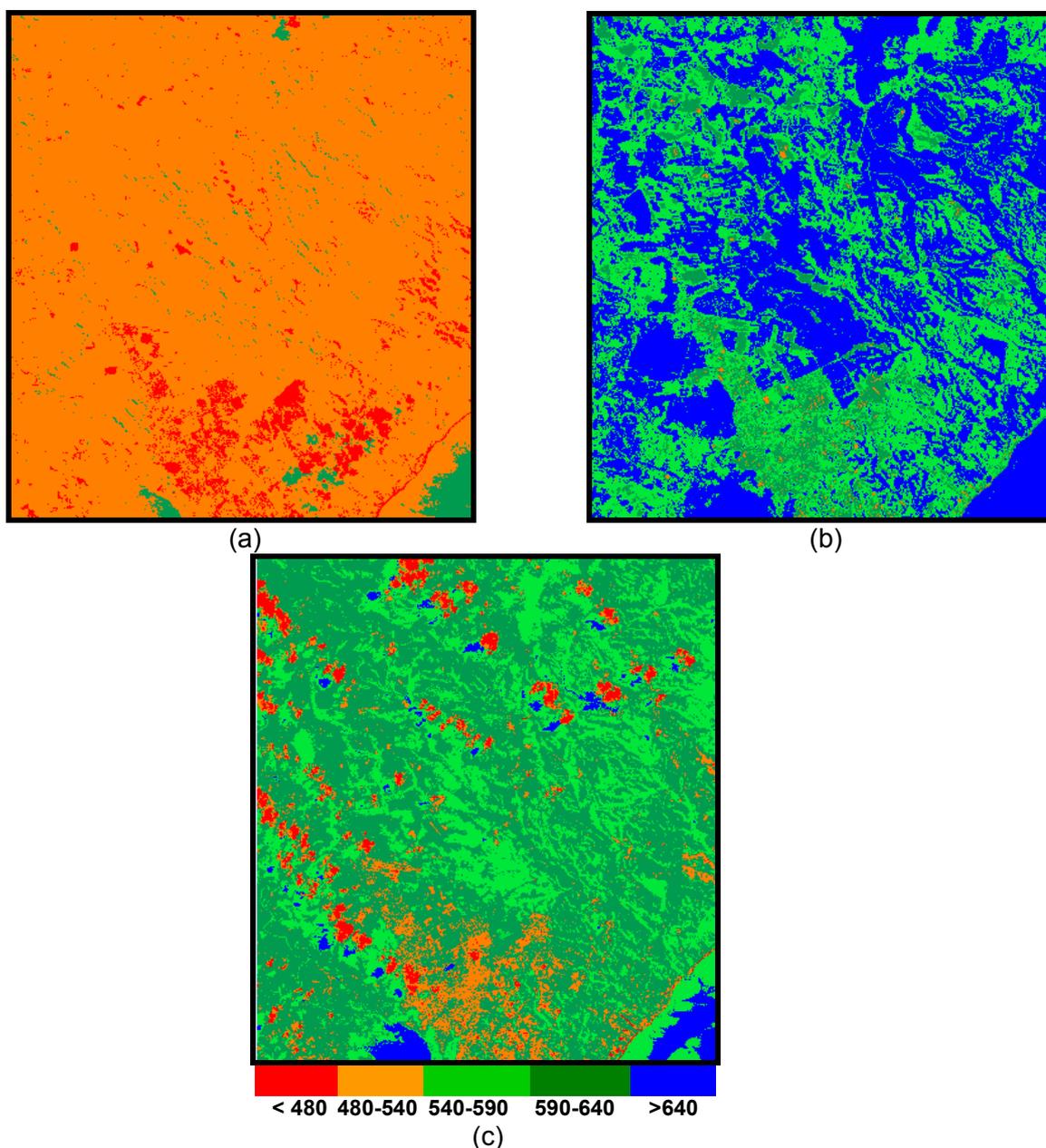
As Figuras 4.18 apresentam os histogramas de freqüência do saldo de radiação à superfície instantâneo estimado para os dias 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003, sendo que a linha vermelha representa o valor médio.



Figuras 4.18 – Histogramas de freqüência do saldo de radiação à superfície instantâneo estimado (W/m<sup>2</sup>) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

Nas Figuras 4.19 são apresentadas imagens classificadas dos valores instantâneos do saldo de radiação à superfície, no momento da passagem do satélite. Comparando visualmente estas imagens e os dados da Tabela 4.13, que apresenta os valores médios de Rn estimados em cada cena, observa-se que o cenário sofreu uma grande alteração espacial destes valores entre as datas

estudadas. Em relação a sua distribuição espacial sobre a área em estudo ocorreu uma heterogeneidade.



Figuras 4.19 – Imagens classificadas do saldo de radiação à superfície instantâneo estimado ( $W/m^2$ ) para os dias 11/06/1990 (a), 21/09/1998 (b) e 03/09/2003 (c).

A imagem de 1990 (Figura 4.19a) está praticamente toda distribuída por valores na faixa de  $480W/m^2$  a  $540 W/m^2$  (cor laranja), com algumas áreas na parte urbana de Maceió em cor vermelha (valores abaixo de  $480W/m^2$ ).

Em relação à imagem de 1998 (Figura 4.19) a área está distribuída quase igualmente pelas faixas de valores de  $540W/m^2$  a  $640W/m^2$  (tons verdes) e de valores acima  $640W/m^2$  (cor azul). Isso ocorreu possivelmente por razão do mês de

junho a radiação solar ser menor devido à declinação solar, assim a região recebe menos radiação.

Em 2003 (Figura 4.19c) observou-se um aumento na distribuição espacial dos valores na faixa de 540 a 640W/m<sup>2</sup> (tons verdes). Isso ocorreu possivelmente por razão da variabilidade da radiação solar entre as datas de setembro das imagens estudadas e também pela consequência da ocorrência de mais chuvas na área estudada em setembro de 2003, o que afetaria mais diretamente o albedo e a temperatura da superfície das áreas não irrigadas. Nas imagens, as áreas com tonalidade vermelha e laranja representam as áreas da superfície com valores de Rn menores que 540W/m<sup>2</sup>. Essas regiões possivelmente são áreas com vegetação nativa bastante rala, corroborando dessa forma, com valores encontrados por Bezerra (2004) para áreas com características similares, em estudo de quantificação dos componentes do Balanço de Energia utilizando imagens TM-Landsat 5 e o algoritmo SEBAL, em áreas irrigadas do PISNC e adjacências no município de Petrolina (PE). As áreas com tonalidade azul representam valores de Rn acima de 640 W/m<sup>2</sup>. Observa-se que esses valores concentram-se na vegetação bastante densa ou área úmida pela chuva recente e nos espelhos d'água dos rios localizados na parte superior das imagens e do complexo lagunar de Mundaú e no oceano Atlântico na parte mais ao sul das imagens.

Bastiaanssen et al. (1998b), em estudo sobre a bacia do rio Heihe na China, também aplicando o SEBAL, encontraram valores em torno de 650W/m<sup>2</sup> para oásis e 400W/m<sup>2</sup> para região desértica. Já em estudo sobre a bacia de Gediz na Turquia, Bastiaanssen (2000) obteve valores de Rn entre 300W/m<sup>2</sup> e 600W/m<sup>2</sup>, enquanto que Moran et al. (1989), em estudo de avaliação dos fluxos do BE a superfície utilizando dados do TM-Landsat 5, encontraram valores de Rn em torno de 700W/m<sup>2</sup> para cultura do algodão no dia 204 do ano de 1986, e 600W/m<sup>2</sup> para as culturas de trigo e alfafa, nos dias 95 e 175 de 1986, respectivamente. Por sua vez, Boegh et al. (2002) encontraram valores de Rn na faixa de 360 W/m<sup>2</sup> a 440 W/m<sup>2</sup> sobre áreas agrícolas na Dinamarca, em estudo que visava à estimativa das resistências atmosféricas e da superfície.

A ciência do prévio conhecimento da existência da variação dos parâmetros destes trabalhos, devido às diferentes épocas das datas de obtenção das imagens de satélite utilizadas nesse estudo e a não existência de resultados medidos em campo, para uma necessária comparação entre os métodos aqui aplicados recorreu-

se a resultados de trabalhos desenvolvidos para diferentes tipos de vegetação ou culturas cultivadas na região Nordeste e para a cultura de cana-de-açúcar em outras regiões do Brasil. Feitosa (2005) encontrou valores semelhantes para o lago de Sobradinho na Bahia e para trecho do leito do Rio São Francisco. As áreas com tonalidade verde escura ( $540 \text{ W/m}^2$  a  $590 \text{ W/m}^2$ ), são as áreas de vegetação com densidade intermediária.

Também em estudos no Nordeste brasileiro usando o SEBAL, em regiões envolvendo áreas irrigadas do Projeto Senador Nilo Coelho, parte do Lago de Sobradinho, áreas de vegetação nativa e parte da área urbana dos municípios de Petrolina, PE e Juazeiro, BA, Silva et al. (2005a e 2005b) observaram de modo geral, que o saldo de radiação da cena como um todo em 2000 atingiu valor médio no horário da passagem do satélite igual a  $615,0 \text{ W/m}^2$ , foi maior que em 2001, com  $R_n$  média de  $583,9 \text{ W/m}^2$ . Isso pode ter sido consequência da ocorrência de chuvas na área estudada em dezembro de 2000, o que afetaria mais diretamente o albedo e a temperatura da superfície das áreas não irrigadas.

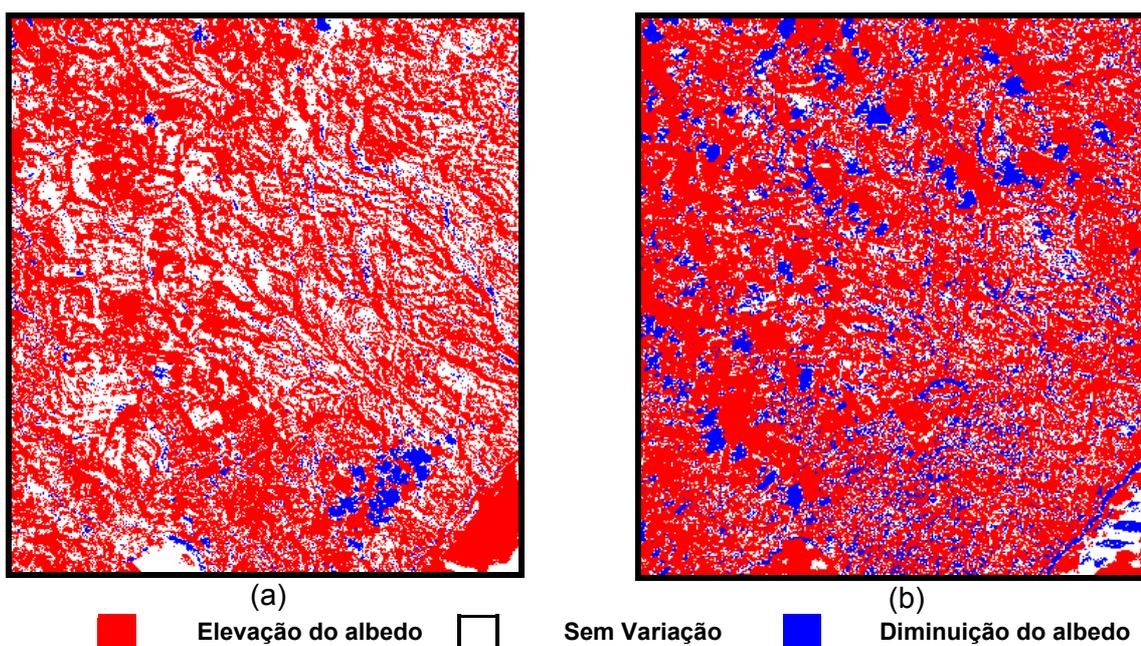
Em um estudo para estimar a evapotranspiração regional na Região Norte Fluminense Mendonça (2007), observou as correlações entre valores do saldo de radiação instantâneo medidos por saldo-radiômetros nas estações micrometeorológicas da Usina Santa Cruz (cana-de-açúcar) e Agropecuária Tai (coco) com valores estimados pelo SEBAL. Para os dois pixels de controle (cana-de-açúcar e coqueiro anão) observou-se uma pequena tendência de superestimativa dos valores do saldo de radiação estimado pelo SEBAL. Essa tendência se mostrou mais acentuada nos dias em que os valores medidos foram abaixo de  $400 \text{ W/m}^2$ , principalmente no período do inverno de 2006, podendo essa superestimativa excessiva estar associada a erros instrumentais.

#### **4.2 – Análise através de álgebra das imagens classificadas**

Para identificar as disparidades entre as imagens classificadas dos valores estimados do albedo da superfície, dos índices de vegetação (IDVN, IVAS e IAF), da temperatura da superfície e do saldo de radiação à superfície instantâneo utilizou-se uma operação matemática que permitiu cruzar os planos de informação dos dias estudados para cada parâmetro estimado.

#### 4.2.1 – Análise da álgebra das imagens do albedo da superfície

Primeiramente foi feita a operação de subtração da imagem de 1990 pela de 1998, no sentido de observar como foi a variação espacial e em valor do albedo da superfície entre os dois anos especificados. O mesmo processamento foi feito para imagens de 1998 e 2003, sempre no sentido da imagem mais anterior para a mais posterior. Nas Figuras 4.20 são apresentadas as imagens destas operações. A imagem classificada da subtração do albedo da superfície entre 1990 e 1998 (Figura 4.20a) usada para avaliar a variação no albedo pelo efeito do processo de urbanização e da perda de cobertura vegetal na área em estudo, mostrou que ocorreu uma alteração no sentido da elevação do albedo de 1990 para 1998 (cor vermelha, Figura 4.20a). Isto mostra que o aumento do albedo foi razoável e bem distribuído espacialmente de 1990 para 1998 em toda área em estudo. A elevação do albedo da superfície no recorte da cena de 1998 com a bacia ocorreram em aproximadamente 413,46km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 59,5% da área total. Observou-se também uma alteração pouco expressiva em relação à ocorrência de áreas com diminuição do albedo da superfície e também a sua distribuição espacial na área estudada para 1998, foi aproximadamente de 24,32km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 3,5% da área total, sendo mais concentrada na parte mais Sudeste da área em estudo (cor azul, Figura 4.20a).



Figuras 4.20 – Imagens da subtração do albedo da superfície estimado: (a) entre 11/06/1990 e 21/09/1998 e (b) entre 21/09/1998 e 03/09/2003.

As áreas em cor branca mostram regiões sem variação no albedo da superfície entre os dias estudados, foram de 257,12km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 37% da área total.

A imagem classificada da subtração do albedo da superfície entre 1998 e 2003 (Figura 4.20b) usada para avaliar a variação no albedo pelo efeito do processo de urbanização e da perda de cobertura vegetal na área estudada, mostrou que ocorreu uma alteração expressiva no sentido de elevação do mesmo de 1998 para 2003 (cor vermelha, Figura 4.20b). Observa-se que o aumento do albedo de 1998 para 2003 foi bem distribuído espacialmente em todo recorte com a bacia do rio Pratygy. O albedo aumentou numa área da região estudada de aproximadamente 464,1km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 66,8% da área total. Observou-se também uma alteração no sentido de diminuição do albedo menos expressiva em relação a sua distribuição espacial na cena estudada, de aproximadamente de 94,4km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 13,6% da área total (cor azul, Figura 4.20b). As áreas em cor branca, valor aproximadamente de 136,4km<sup>2</sup>, faixa de 19,6% da área total, mostram regiões em que não ocorreu variação no albedo da superfície entre os dias estudados.

#### **4.2.2 – Análise da álgebra das imagens dos Índices de Vegetação – IVDN, IVAS e IAF**

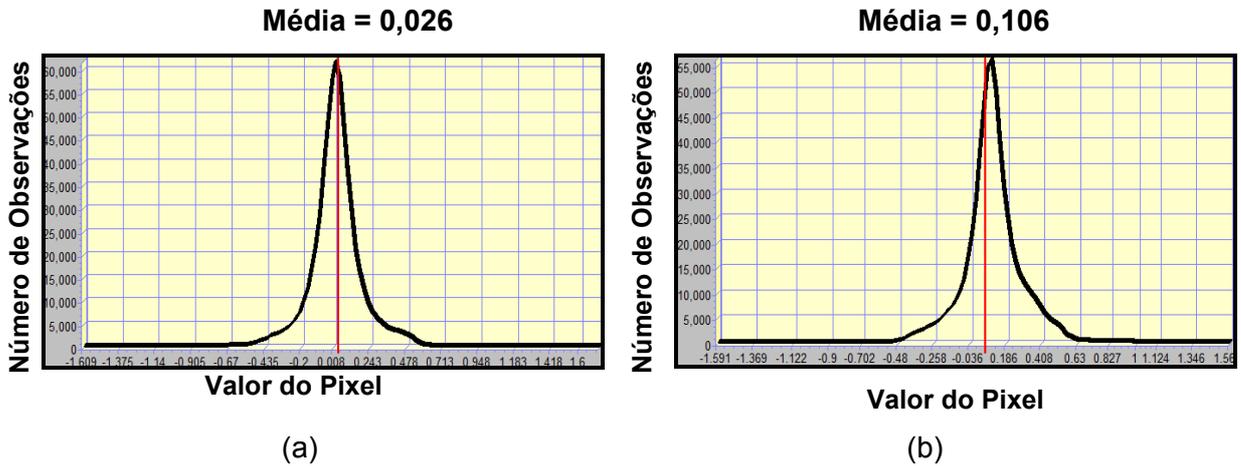
Primeiramente foi feita a operação de subtração da imagem de 1990 pela de 1998, no sentido de observar como foi a variação espacial e em valor do IVDN, IVAS e IAF entre os dois anos especificados. O mesmo processamento foi feito para imagens de 1998 e 2003, sempre no sentido da imagem mais anterior para a mais posterior.

##### **IVDN**

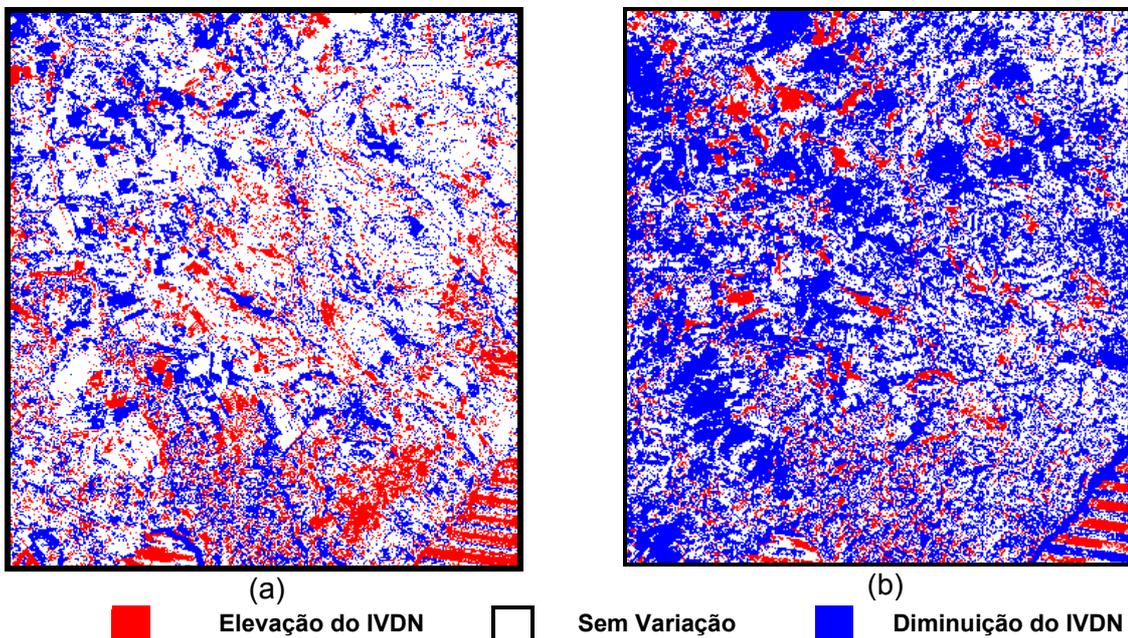
Nas Figuras 4.21, 4.22 são apresentados os histogramas de frequência das imagens da operação de subtração do IVDN para os períodos estudados, e as imagens classificadas destas operações, respectivamente.

O histograma de frequência da imagem da subtração da imagem de 1990 pela de 1998 (Figura 4.21a) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu aumento do IVDN (valores negativos) é bem semelhante com os que não tiveram aumento (valores positivos), mas são bem relevantes os que tiveram pouca variação

do IVDN (pixels perto da média). O histograma de freqüência da imagem da subtração da imagem de 1998 pela de 2003 (Figura 4.21b) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu aumento do IVDN (valores negativos) é bem menor do que os que não tiveram aumento (valores positivos), mas em compensação os que tiveram pouca variação do IVDN (pixels perto da média) são bem aparentes.



Figuras 4.21 – Histogramas de freqüência das imagens de subtração do IVDN estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).



Figuras 4.22 – Imagens classificadas da subtração do IVDN estimado: (a) entre o dia 11/06/1990 e o de 21/09/1998 e (b) entre o de 21/09/1998 e o dia 03/09/2003.

A imagem classificada da subtração do IVDN entre 1990 e 1998 (Figura 4.22a) usada para avaliar a variação da cobertura vegetal mostrou que na maior

parte da área em estudo não ocorreu variação no índice (cor branca), de aproximadamente de 413,5km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 59,5% da área total.

Observou-se também uma alteração em relação à diminuição de 1990 para 1998, na densidade da cobertura vegetal numa área da cena com a bacia do rio Pratygy de aproximadamente 173,0km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 24,9% da área total, distribuída espacialmente em quase toda região em estudo (cor azul, Figura 4.22a). Interessante observar que pela análise no item 4.1.3.1 os valores médios diminuíram para a bacia de 1990 a 1998, mas nem sempre a média expressa à realidade dos dados observados. Observou-se também uma alteração no sentido de elevação do IVDN menos expressiva em relação a sua distribuição espacial na área estudada, de aproximadamente de 108,4km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 15,6% da área total, sendo mais distribuída ao Sudeste da região em estudo (cor vermelha, Figura 4.22a), área urbana de Maceió.

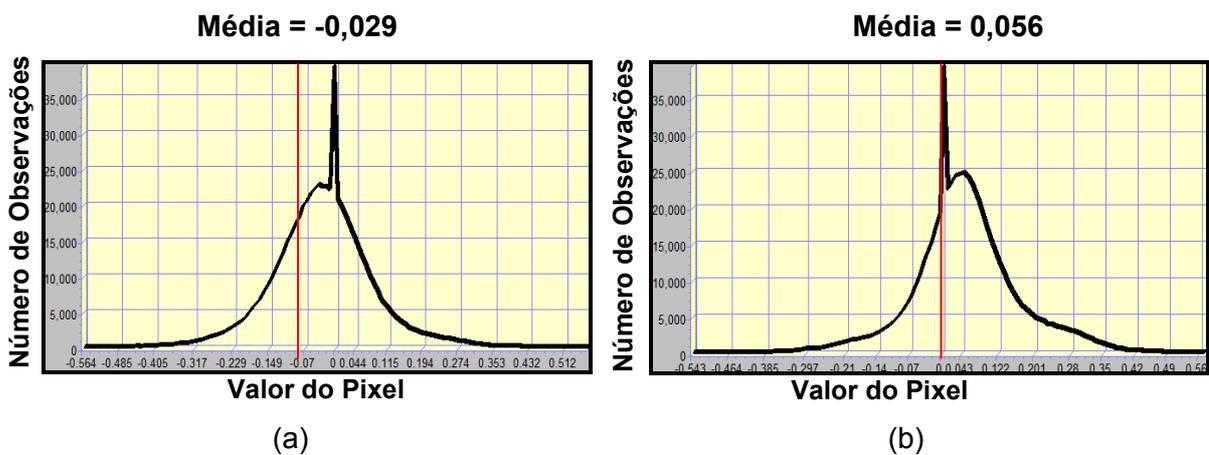
A imagem classificada da subtração do IVDN entre 1998 e 2003 (Figura 4.22b) usada para avaliar a variação da cobertura vegetal mostrou que ocorreu uma alteração significativa no sentido de diminuição 1998 para 2003 da densidade da cobertura vegetal numa área da cena estudada de aproximadamente 341,2km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 49,1% da área total distribuída espacialmente na parte central da região em estudo (cor azul, Figura 4.22b). Observou-se também uma alteração no sentido de elevação do IVDN menos expressiva em relação a sua distribuição espacial na área em estudo, de aproximadamente 64,4km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 9,2% da área total (cor vermelha, Figura 4.22b). As áreas em cor branca mostram regiões em não ocorreu variação no IVDN entre os dias estudados, sendo uma área de 288,6km<sup>2</sup>, aproximadamente 41,7% da região total.

## **IVAS**

Nas Figuras 4.23, 4.24 são apresentados os histogramas de frequência das imagens da operação de subtração do IVAS para os períodos estudados, e as imagens classificadas destas operações, respectivamente.

O histograma de frequência da imagem da subtração da imagem de 1990 pela de 1998 (Figura 4.23a) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu aumento do IVAS (valores negativos) é maior que a proporção dos que não tiveram aumento (valores positivos), como mostra a média com valor negativo, mas observa-

se que são bem relevantes os que tiveram pouca variação do IVAS (pixels perto da média). O histograma de frequência da imagem da subtração da imagem de 1998 pela de 2003 (Figura 4.23b) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu aumento do IVAS (valores negativos) é bem menor que a proporção dos que não tiveram aumento (valores positivos), como mostra a média com valor positivo, mas observa-se que não são muito relevantes os que tiveram pouca variação do IVAS (pixels perto da média).

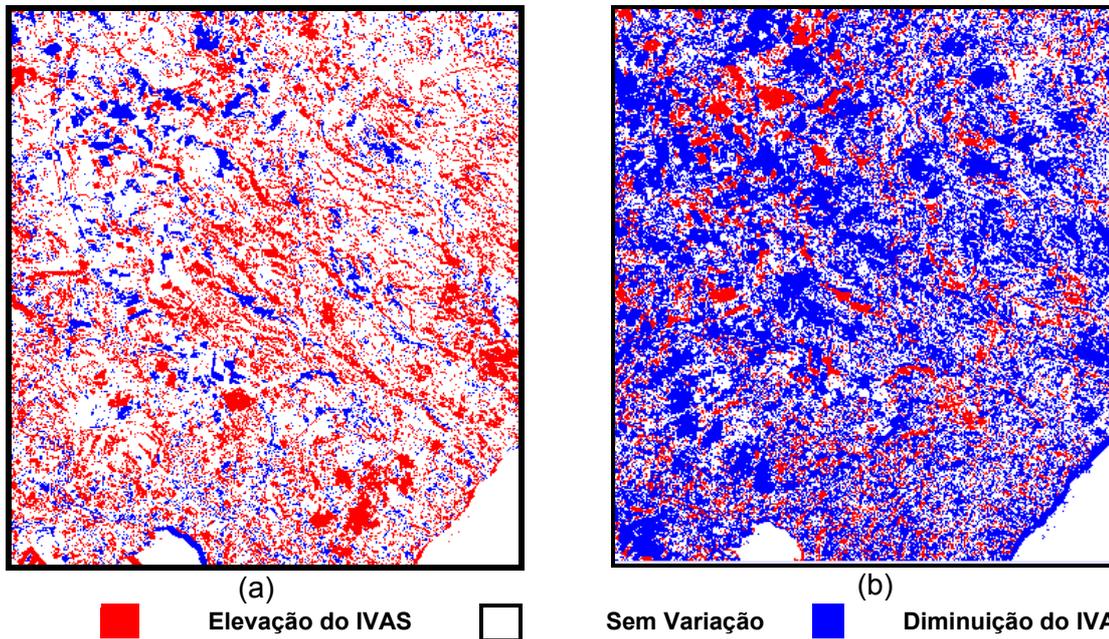


Figuras 4.23 – Histogramas de frequência das imagens de subtração do IVAS estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).

A imagem classificada da subtração IVAS entre 1990 e 1998 (Figura 4.24a) mostrou também que na maior parte da área em estudo não ocorreu variação no índice (cor branca), valor aproximado de 470,4km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 67,7% da área total. Verificou-se também uma alteração em relação a menores valores de biomassa e volume para maiores, em uma área de aproximadamente de 158,4km<sup>2</sup>, uma faixa de 22,8% da área total (cor vermelha, Figura 4.24a). Observou-se que ocorreu uma diminuição da biomassa e volume de cobertura vegetal em uma área de aproximadamente 66,1km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 9,5% da área total (cor azul, Figura 4.24a), distribuída mais ao Norte da área.

A imagem classificada da subtração IVAS entre 1998 e 2003 mostrou que ocorreu uma alteração no sentido de diminuição da biomassa e volume de cobertura vegetal de aproximadamente 333,5km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 48% da área total (cor azul, Figura 4.24b). Verificou-se também uma elevação dos valores de biomassa e volume, de aproximadamente de 93,8km<sup>2</sup>, uma faixa de 13,5% da área total (cor vermelha, Figura 4.24b). As áreas em cor branca mostram regiões em que não

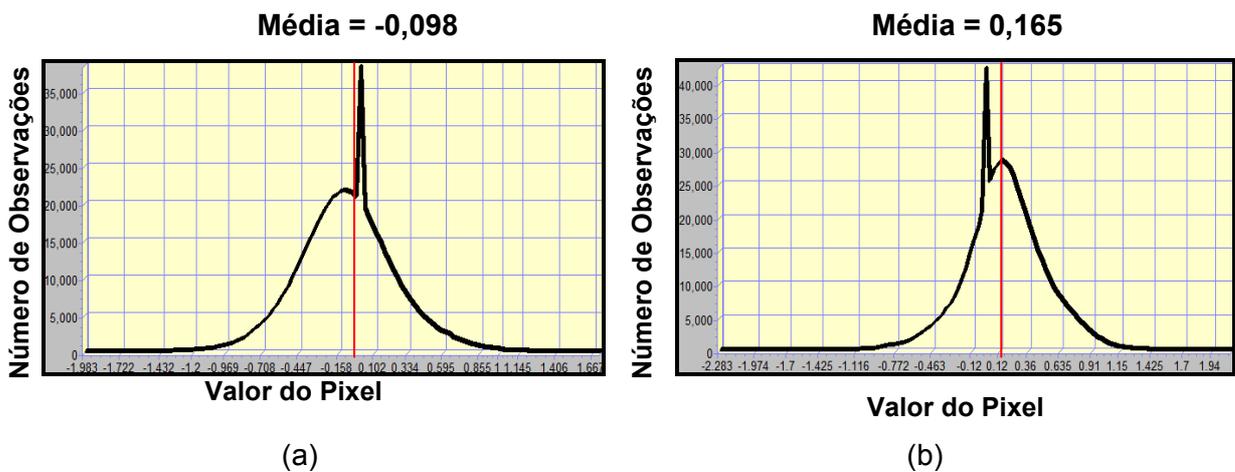
ocorreu variação entre os dias estudados, sendo uma área de 267,66km<sup>2</sup>, aproximadamente 38,5% da área total.



Figuras 4.24 – Imagens classificadas da subtração do IVAS estimado: (a) entre 11/06/1990 e 21/09/1998 e (b) entre 21/09/1998 e 03/09/2003.

## IAF

Nas Figuras 4.25, 4.26 são apresentados os histogramas de freqüência das imagens da operação de subtração do IAF para os períodos estudados, e as imagens classificadas destas operações, respectivamente.



Figuras 4.25 – Histogramas de freqüência das imagens de subtração do IAF estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/09/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).

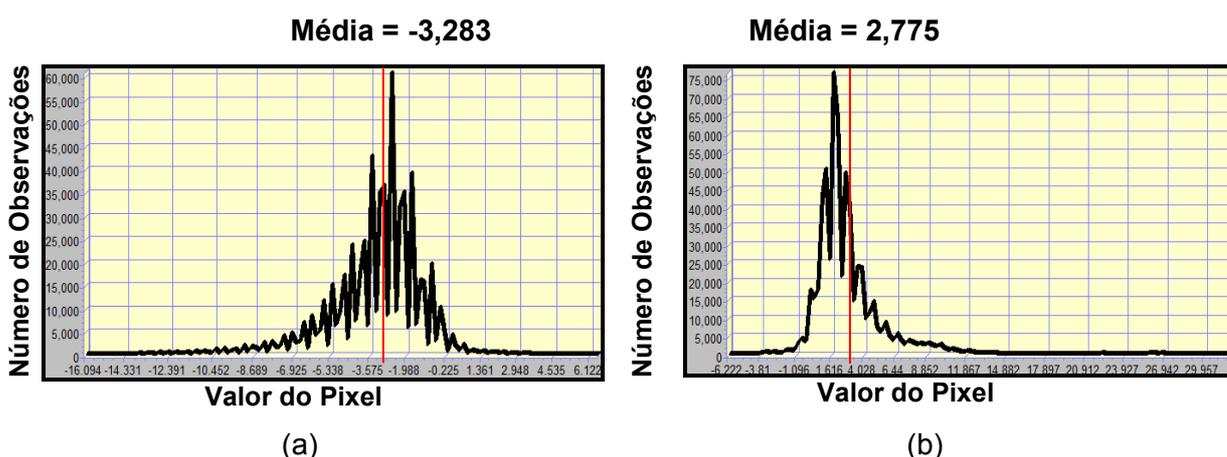


A imagem classificada da subtração do IAF entre 1998 e 2003 mostrou que ocorreu uma diminuição da biomassa e volume de cobertura vegetal de aproximadamente 395,4 km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 56,9% da área total (cor azul, Figura 4.26b). Verificou-se também uma elevação dos valores de biomassa e volume, de aproximadamente de 125,8km<sup>2</sup>, uma faixa de 18,1% da área total (cor vermelha, Figura 4.25b). As áreas em cor branca mostram regiões em que não ocorreu variação no IAF entre os dias estudados, sendo uma área de 173,7km<sup>2</sup>, uma faixa de 25% da área total.

#### 4.2.3 – Análise da álgebra das imagens da temperatura da superfície

Primeiramente foi feita a operação de subtração da imagem de 1990 pela de 1998, no sentido de observar como foi a variação espacial e em valor da temperatura da superfície entre os dois anos especificados. O mesmo processamento foi feito para imagens de 1998 e 2003, sempre no sentido da imagem mais anterior para a mais posterior.

Nas Figuras 4.27, 4.28 são apresentados os histogramas de frequência das imagens da operação de subtração da temperatura da superfície para os períodos estudados, e as imagens classificadas destas operações, respectivamente.

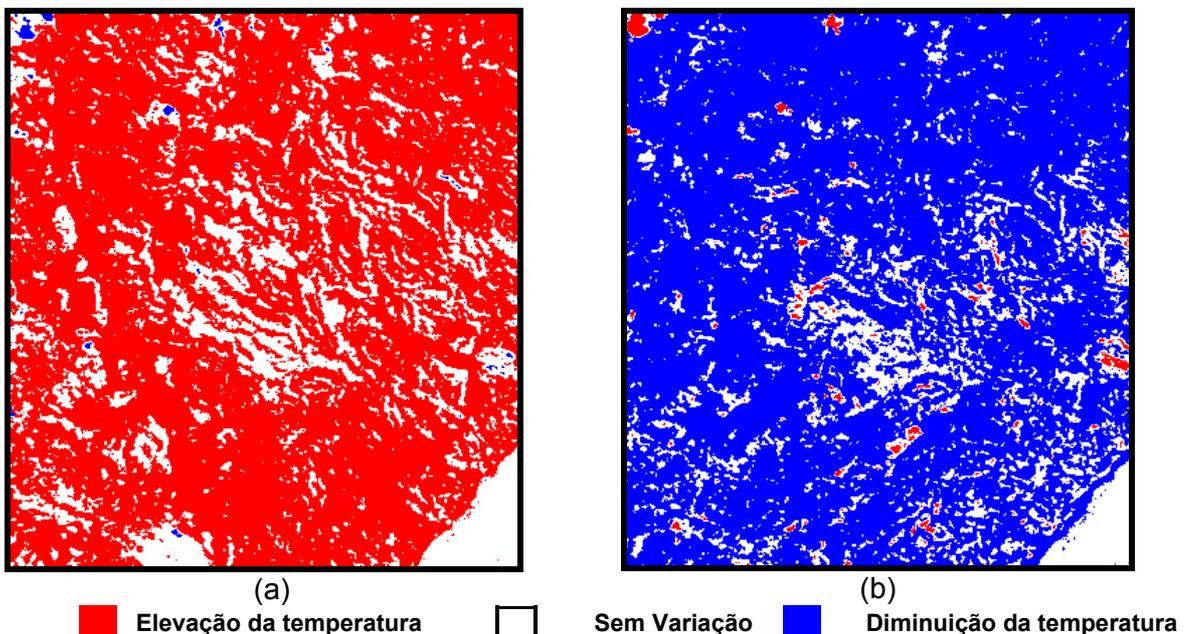


Figuras 4.27 – Histogramas de frequência das imagens de subtração da temperatura da superfície estimada entre os dias 11/06/1990 e 21/01/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).

O histograma de frequência da imagem da subtração da imagem de 1990 pela de 1998 (Figura 4.27a) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu aumento da temperatura da superfície (valores negativos) é bem expressiva do que

a dos que não tiveram aumento (valores positivos), como mostra a média com valor negativo, mas são pouco aparentes os que tiveram pouca variação da temperatura da superfície (pixels perto da média). O histograma de frequência da imagem da subtração da imagem de 1998 pela de 2003 (Figura 4.27b) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu diminuição da temperatura da superfície (valores positivos) é bem maior que a proporção dos que não tiveram diminuição (valores negativos), como mostra a média com valor positivo, mas observa-se que não são muito aparentes os que tiveram pouca variação da temperatura da superfície (pixels perto da média).

A imagem classificada da subtração da temperatura da superfície entre 1990 e 1998 mostrou que ocorreu uma expressiva alteração em relação ao aumento da temperatura da superfície em quase toda área em estudo em 1998 de aproximadamente  $537,9\text{km}^2$ , sendo uma faixa de 77,4% da área total (cor vermelha, Figura 4.28a). Verificou-se também uma ínfima alteração em relação à diminuição da temperatura da superfície em 1998, de aproximadamente de  $1,8\text{km}^2$ , uma faixa de 0,3% da área total (cor azul, Figura 4.28a). As áreas em cor branca mostram regiões sem variação na temperatura da superfície entre os dias estudados, foram de  $155,2\text{km}^2$ , sendo uma faixa de 22,3% da área total.



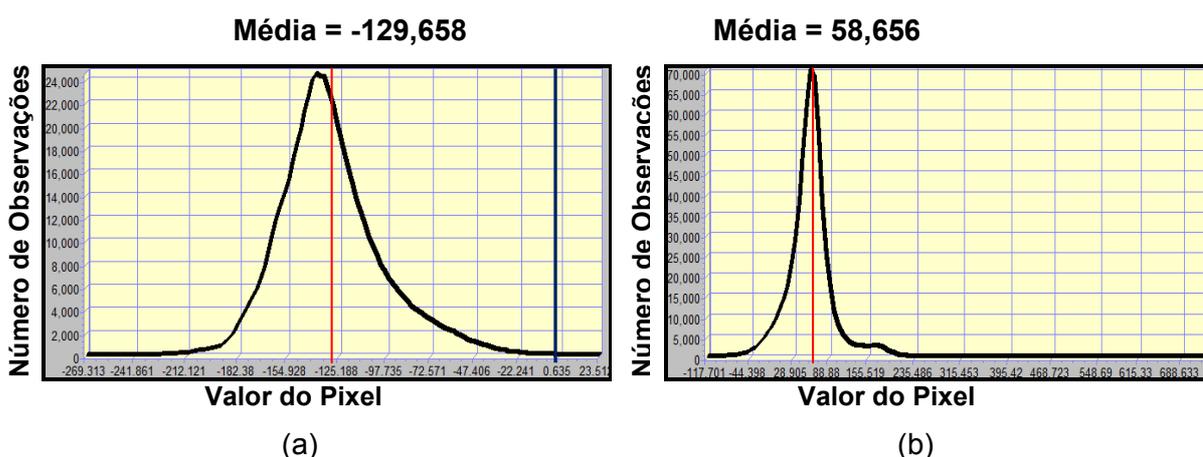
Figuras 4.28 – Imagens classificadas da subtração da temperatura da superfície estimada: (a) entre o dia 11/06/1990 e o de 21/09/1998 e (b) entre o de 21/09/1998 e o dia 03/09/2003.

A imagem classificada da subtração da temperatura da superfície entre 1998 e 2003 classificada mostrou que ocorreu uma expressiva alteração no sentido de diminuição da temperatura da superfície em quase toda área em estudo, sendo de aproximadamente 570,8km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 82,1% da área total (cor azul, Figura 4.28b). Verificou-se também uma ínfima alteração em relação ao aumento da temperatura entre 1998 e 2003 em uma área de aproximadamente de 7,6km<sup>2</sup>, uma faixa de 1,1% da área total (cor vermelha, Figura 4.28b). As áreas em cores brancas representam regiões onde não ocorreu variação da temperatura da superfície, sendo de aproximadamente 116,5km<sup>2</sup>, uma faixa de 16,8% da área total.

#### 4.2.4 – Análise da álgebra das imagens do saldo de radiação à superfície

Primeiramente foi feita a operação de subtração da imagem de 1990 pela de 1998, no sentido de observar como foi a variação espacial e em valor do saldo de radiação à superfície entre os dois anos especificados. O mesmo processamento foi feito para imagens de 1998 e 2003, sempre no sentido da imagem mais anterior para a mais posterior.

Nas Figuras 4.29, 4.30 são apresentados os histogramas de freqüência das imagens da operação de subtração do saldo de radiação instantâneo à superfície para os períodos estudados, e as imagens classificadas destas operações, respectivamente.



Figuras 4.29 – Histogramas de freqüência das imagens de subtração do saldo de radiação à superfície estimado entre os dias 11/06/1990 e 21/0/1998 (a) e 21/09/1998 e 03/09/2003 (b).

O histograma de freqüência da imagem da subtração da imagem de 1990 pela de 1998 (Figura 4.29a) mostra que a proporção de pixels onde ocorreu



A imagem classificada da subtração do saldo da radiação à superfície entre 1998 e 2003 classificada mostrou que ocorreu uma expressiva alteração no sentido de diminuição do saldo de radiação e foi bem distribuída espacialmente em uma área de aproximadamente 576,1km<sup>2</sup>, sendo uma faixa de 82,5% da área total (cor azul, Figura 4.30b). Verificou-se que a alteração em relação ao aumento do saldo de radiação foi tão inexpressiva que não se notam tons vermelhos na imagem, sendo de aproximadamente de 8,6km<sup>2</sup>, 1,6% da área total (cor vermelha, Figura 4.30b). As áreas em cores brancas representam regiões onde não ocorreu variação do saldo de radiação à superfície, sendo de aproximadamente 109,9km<sup>2</sup>, 15,9% da área total.

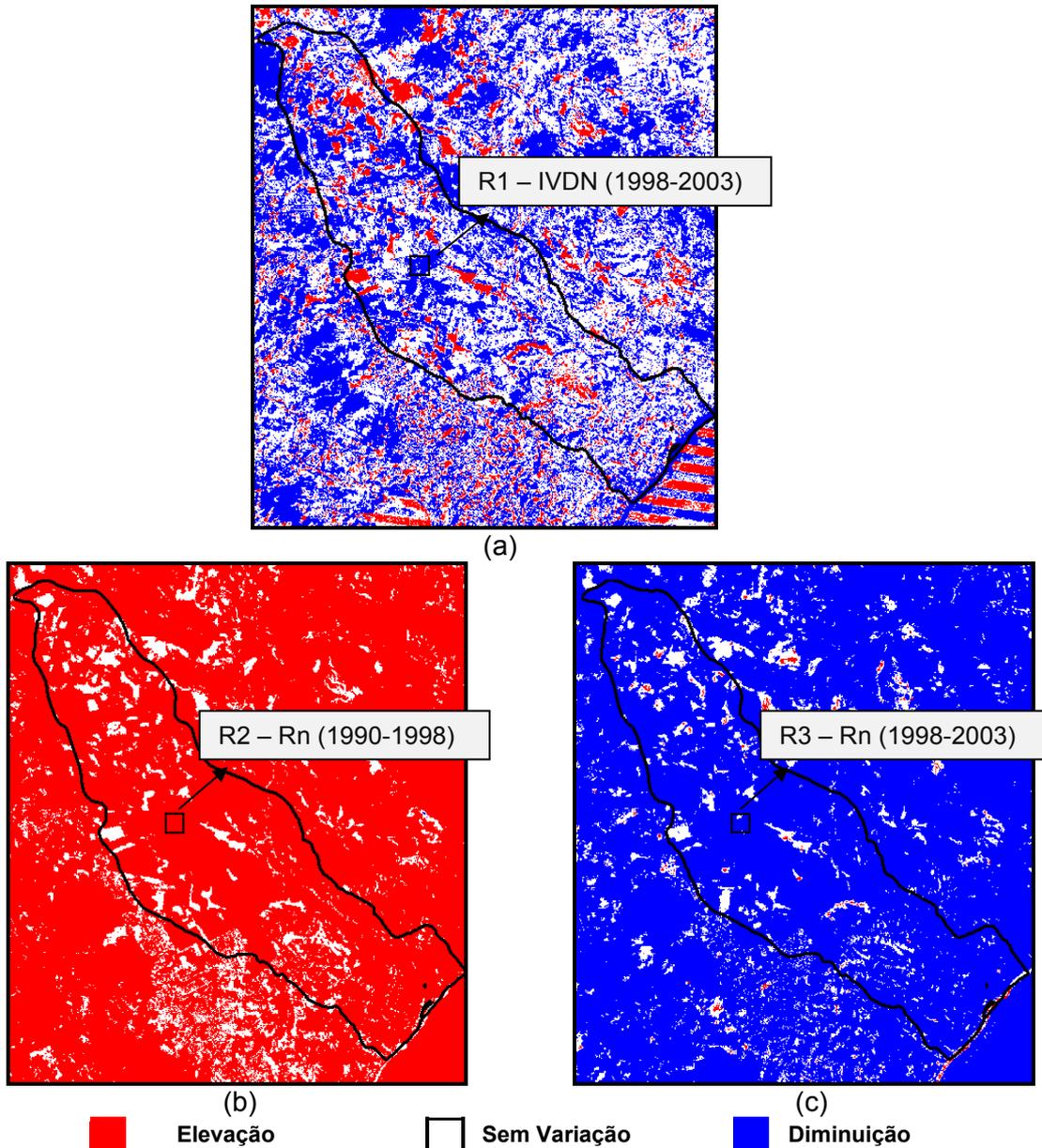
#### **4.2.5 – Análise das áreas mais críticas em relação IVDN e saldo de radiação**

No sentido de analisar as ocorrências de perda da cobertura vegetal e de perda/ganho de saldo radiação em vegetação ou nas outras superfícies da área em estudo, selecionaram-se áreas críticas. A análise destas ocorrências é necessária para caracterizar as disponibilidades térmicas e hídricas, fundamentais no entendimento das reações genótipo-ambiente que determinarão a produção e a produtividade da vegetação (SOUZA et al., 1999). Ao avaliar estas ocorrências nas imagens de subtração para o IVDN e para o saldo de radiação à superfície resolveu-se analisar nas mesmas a atuação do albedo da superfície, da temperatura da superfície em relação ao IVDN e ao saldo de radiação à superfície.

Foram escolhidas três áreas, uma na imagem de subtração do IVDN de 1998-2003 (onde ocorreu diminuição do IVDN - Figura 31a) e duas outras, sendo uma na imagem de subtração do saldo de radiação de 1990-1998, onde ocorreu diminuição do Rn (Figura 31b) e outra de 1998-2003 onde ocorreu aumento do Rn (Figura 31c), procurando sempre as situadas na parte central da bacia do Pratygy. Estas áreas foram recortadas gerando uma matriz de 30 x 30 pixels, tendo uma base de dados da ordem de 900 dados cada uma, das quais foram gerados gráficos com valores médios de cada coluna.

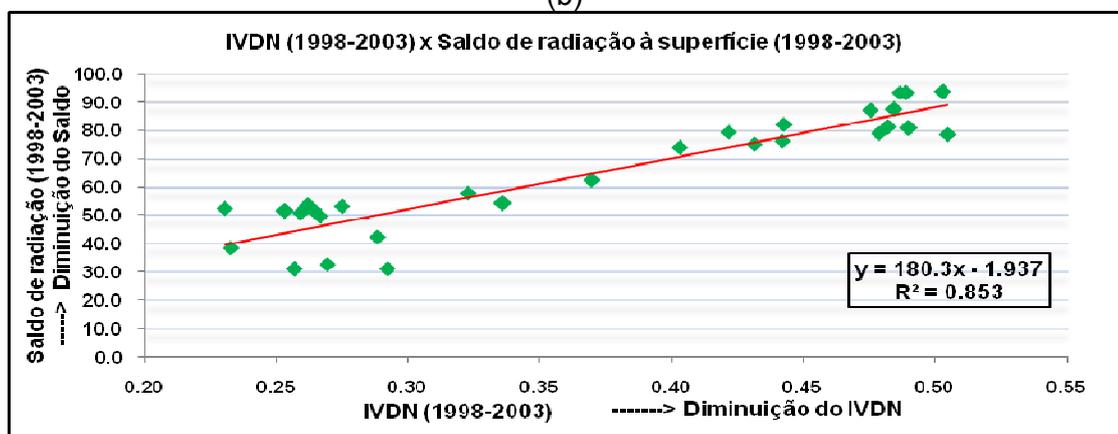
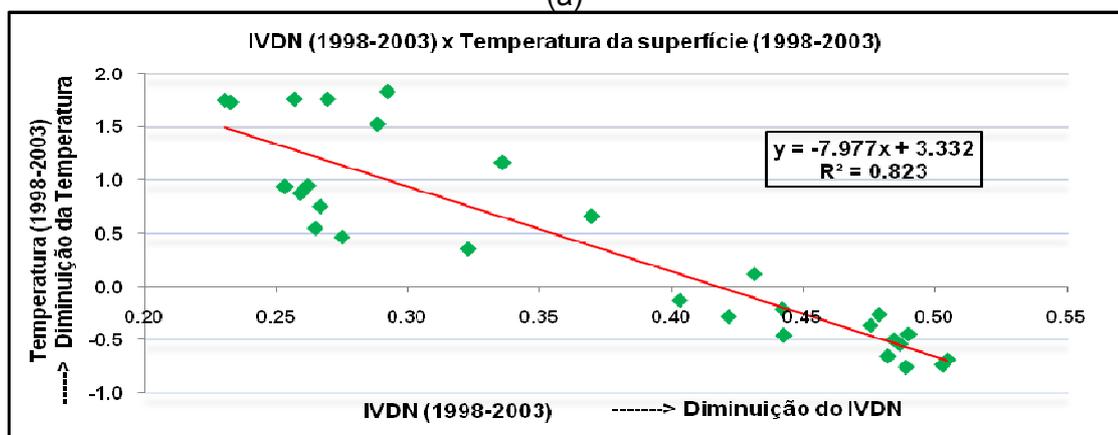
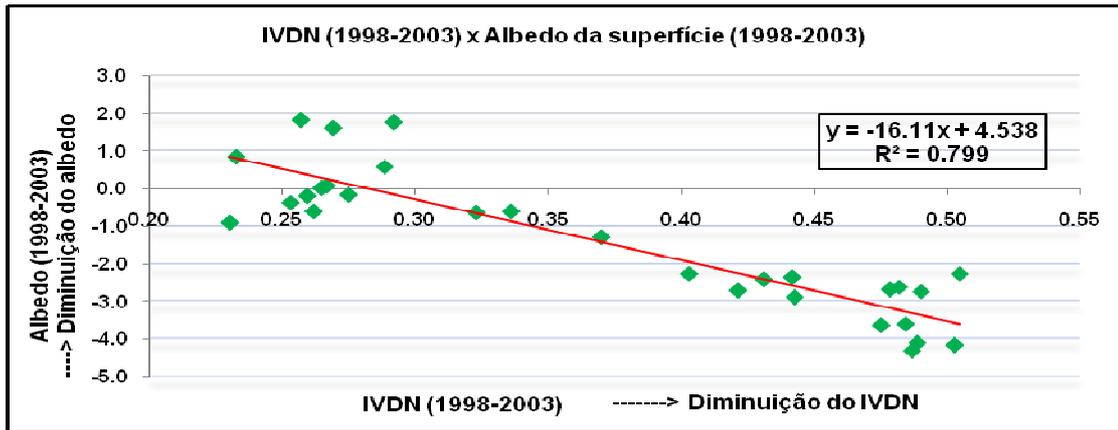
Primeiramente, analisou-se o IVDN em relação ao albedo da superfície, a temperatura da superfície e ao saldo de radiação à superfície, com recortes nestas imagens para o mesmo local da imagem de subtração de 1998-2003 (recorte 1 - R1). Não foi escolhida nenhuma área crítica na imagem subtração de 1990-1998, pois a maior parte da bacia não apresentou variação no IVDN. Depois se analisou o

saldo de radiação à superfície em relação ao albedo da superfície, aos índices de vegetação e a temperatura da superfície, com recortes nestas imagens para os mesmos locais das imagens de subtração de 1990-1998 (recorte 2 - R2 – aumento do Rn ) e de 1998-2003 (recorte 3 – R3 - diminuição do Rn) considerados críticos.



Figuras 4.31 – Imagens classificadas da subtração do IVDN (a) entre o dia 21/09/1998 e 03/09/2003 e do Rn instantâneo estimado: (b) entre o dia 11/06/1990 e 21/09/1998 e (c) entre o dia 21/09/1998 e 03/09/2003.

Nas Figuras 4.32 são apresentados os gráficos com a variação IVDN em R1 na imagem de subtração de 1998-2003 em relação às imagens subtração do albedo da superfície (a), da temperatura da superfície (b) e do saldo de radiação à superfície (c).



Figuras 4.32 – Variação do IVDN em R1 na imagem subtração de 1998-2003 em relação às imagens subtração de 1998-2003 do albedo da superfície (%) (a), da temperatura da superfície (°C) (b) e do saldo de radiação (W/m<sup>2</sup>) (c).

Analisando o comportamento do IVDN em relação ao albedo da superfície na área R1 (Figura 4.32a) observa-se que ocorreu uma correlação indireta entre o IVDN e o albedo da superfície, nas áreas onde ocorreu diminuição do IVDN o albedo aumentou e vice-versa.

Em relação à temperatura da superfície observa-se também uma relação negativa entre IVDN e  $T_s$ , uma diminuição de IVDN ocasiona um aumento da temperatura da superfície (Figura 4.32b). Já na relação do IVDN com o saldo de radiação à superfície observou-se em quase toda R1 apresenta uma relação positiva, um ganho de IVDN ocasiona também um aumento do saldo de radiação à superfície (Figura 4.32c). Os coeficientes da análise de regressão linear  $R^2$  foram altos tanto para o albedo da superfície ( $R^2=0,799$ ) como para a temperatura da superfície ( $R^2=0,823$ ) e para o  $R_n$  ( $R^2=0,853$ ), evidenciando uma correlação boa entre estas variáveis e o IVDN nesta análise.

Huete et al. (1997), em estudo de medidas no solo e dados obtidos pelos satélites Spot e Landsat encontraram também uma correlação negativa entre a temperatura de superfície (emissividade igual a 0,98) e IVDN.

França e Setzer (1998), em estudo avaliando dados do canal 3 (infravermelho termal) do sensor AVHRR/NOAA, verificaram também que a diminuição da cobertura vegetal eleva a temperatura da superfície e inversamente, a superfície recoberta por vegetação apresenta temperatura inferior a de solo exposto.

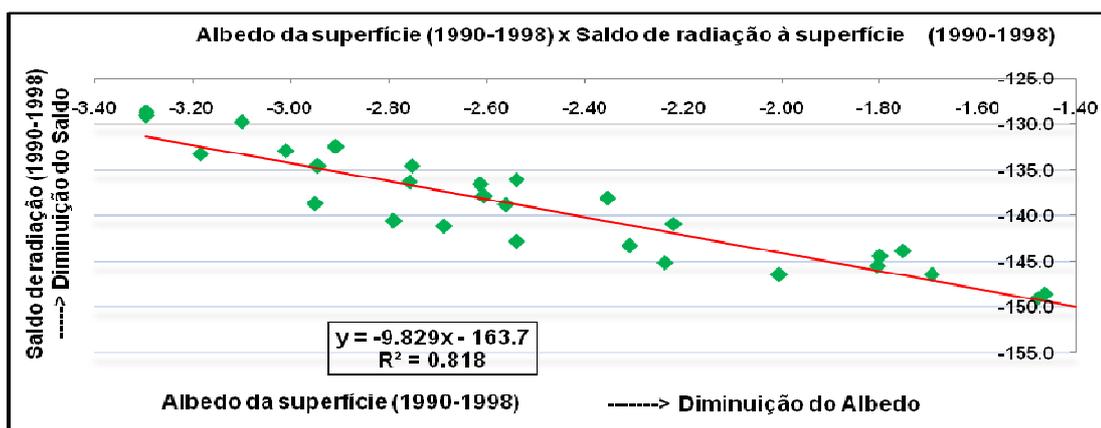
Ahmed et al. (2005) em estudo usando o SEBAL com imagens ETM+ Landsat 7 e com a ajuda de dados adicionais investigaram a propriedade da distribuição espacial da temperatura da superfície de terrestre ( $T_s$ ) e a evapotranspiração (ET) sobre a área de Gezira (Sudão). Os resultados demonstraram também que  $T_s$  possuiu uma correlação negativa mais forte com a ET que com o IVDN para todos os tipos de cobertura de solo analisados.

Folhes (2007), em estudo em Jaguaribe-Apodi (CE) usando imagens TM observou também uma alta correlação negativa entre as medidas da temperatura da superfície e as dos índices de vegetação, em condições normais de suprimento de água e nutrientes às plantas. O pesquisador concluiu que uma diminuição progressiva da temperatura da superfície está associada com o aumento do vigor vegetativo e do conseqüente aumento causado pela evapotranspiração no efeito refrigerante.

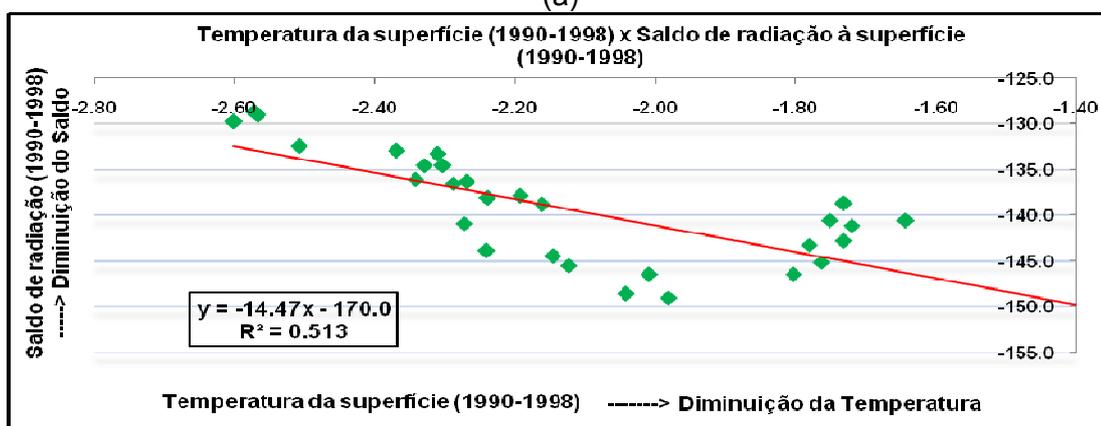
Nas Figuras 4.33 são apresentados os gráficos com o comportamento do saldo de radiação à superfície em R2 (onde ocorreu ganho no  $R_n$ ) na imagem subtração de 1990-1998 em relação às imagens subtração de 1990-1998 do albedo da superfície (a) e da temperatura da superfície (b).

Analisando a variação do Rn em relação ao albedo da superfície na área R2 (Figura 4.33a) observou-se que ocorreu uma correlação negativa entre o Rn e o albedo da superfície (valores da subtração do albedo e do Rn são negativos). Nas áreas onde ocorreu diminuição do albedo o Rn também aumentou e inversamente onde o albedo aumentou ocorreu uma queda no Rn. No caso da temperatura da superfície e o Rn, observa-se também uma relação negativa entre os parâmetros (Figura 4.33b).

Conclui-se que o albedo, como a temperatura da superfície, quase sempre atuam inversamente com o Rn; áreas com alto albedo e altas temperaturas ocasionaram baixos saldos de radiação. O coeficiente da análise de regressão linear  $R^2$  foi alto para o albedo da superfície ( $R^2=0,818$ ) e mediano para a temperatura da superfície ( $R^2=0,513$ ), evidenciando uma boa correlação para o albedo e mediana para a Ts e o Rn nesta análise.



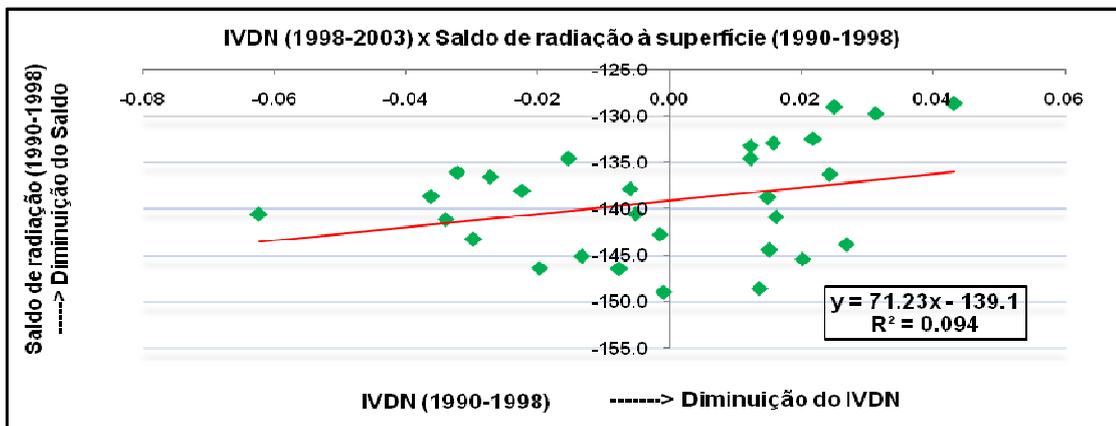
(a)



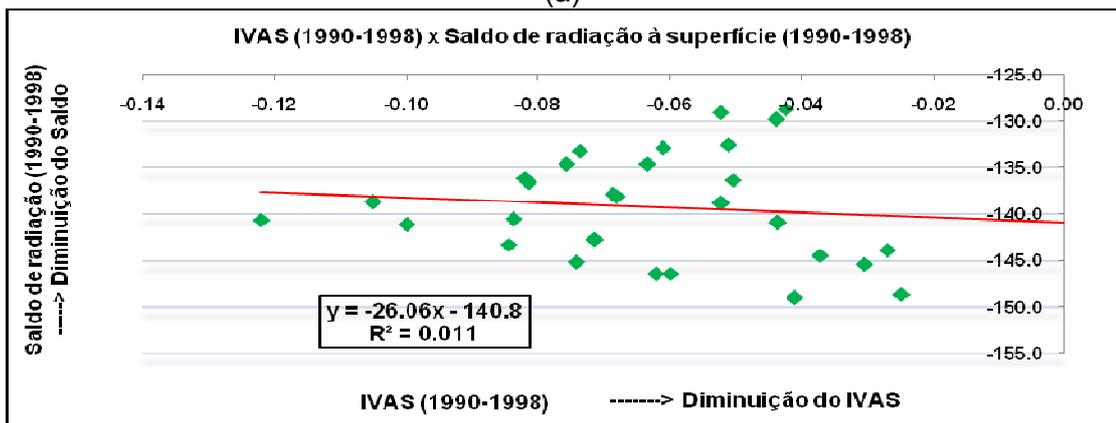
(b)

Figuras 4.33 – Variação do Rn ( $W/m^2$ ) em R2 na imagem subtração de 1990-1998 em relação às imagens subtração de 1990-1998 do albedo da superfície (%) (a) e da temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ) (b).

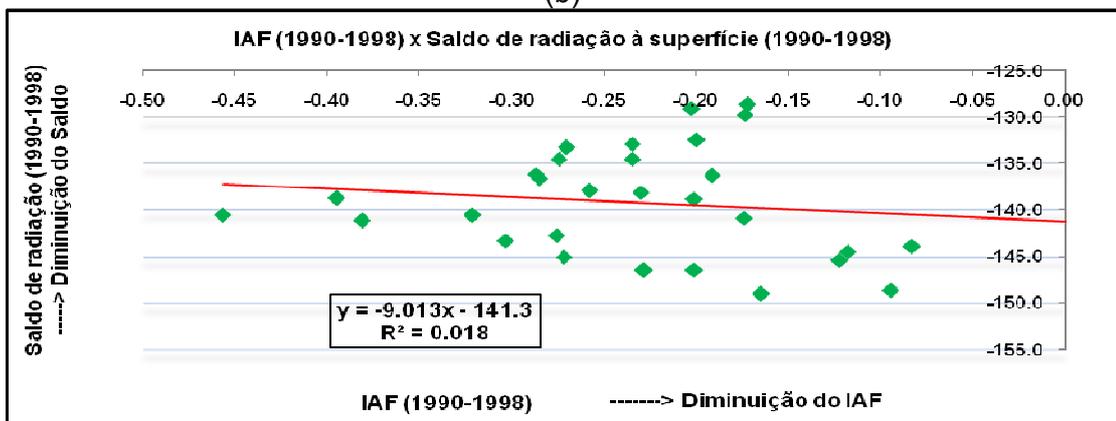
Nas Figuras 4.34 são apresentados os gráficos com o comportamento do saldo de radiação à superfície da área R2 (onde ocorreu ganho no Rn) na imagem subtração 1990-1998 em relação às imagens de subtração para o mesmo intervalo do IVDN (a), do IVAS (b) e do IAF(c).



(a)



(b)

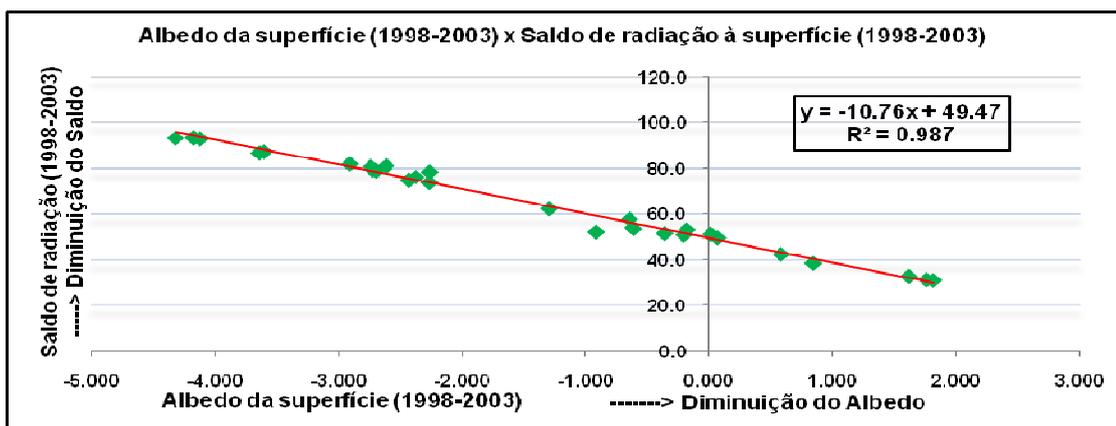


(c)

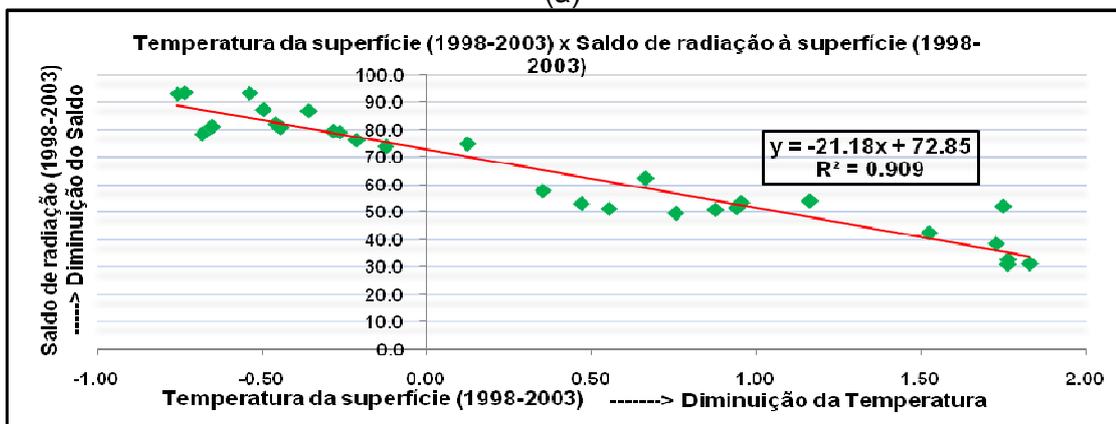
Figuras 4.34 – Perfis do comportamento na imagem subtração de 1990-1998 do Rn (W/m<sup>2</sup>) da área R2 em relação às imagens subtração de 1990-1998 do IVDN (a), do IVAS (b) e do IAF (c).

O comportamento do Rn em relação ao IVDN na área R2 (Figuras 4.34a) evidenciou uma correlação positiva entre eles, sendo que nas áreas onde ocorreram perdas no Rn o IVDN diminuiu e vice-versa. Já para os outros índices, IVAS (Figura 4.34b) e IAF (Figura 4.34c) os gráficos demonstraram uma correlação negativa, isto é, um aumento do IVAS (perda de biomassa) ou do IAF (maior área foliar) ocasiona uma diminuição no saldo de radiação à superfície. Os coeficientes da análise de regressão linear  $R^2$  foram baixos para as três variáveis, sendo  $R^2=0,094$  para IVDN,  $R^2=0,011$  para IVAS e  $R^2=0,018$  para IAF, evidenciando baixa correlação entre estes índices e o Rn para este caso.

Nas Figuras 4.35 são apresentados os gráficos com o comportamento do saldo de radiação à superfície em R3 (onde ocorreu perda no Rn) na imagem subtração de 1998-2003 em relação às imagens de subtração para os mesmos períodos do albedo da superfície (a) e da temperatura da superfície (b).



(a)



(b)

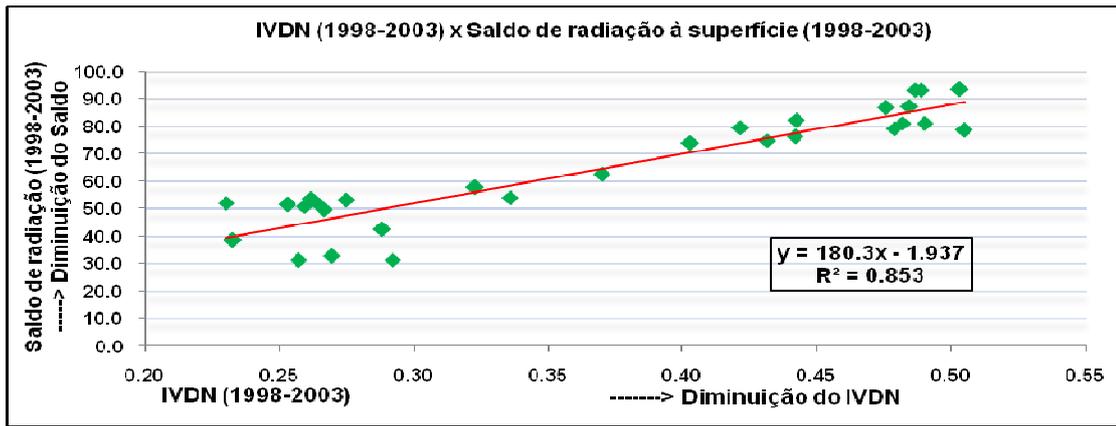
Figuras 4.35 – Variação do Rn ( $W/m^2$ ) em R3 na imagem subtração de 1998-2003 em relação às imagens de subtração de 1998-2003 do albedo da superfície (%) (a) e da temperatura da superfície ( $^{\circ}C$ ) (b).

Analisando o comportamento do Rn em relação ao albedo da superfície na área R3 (Figura 4.35a) observa-se como na análise quando ocorreu ganho de Rn, a existência de correlação negativa entre o Rn e o albedo da superfície. Nas áreas onde ocorreu diminuição do albedo o Rn aumentou e inversamente onde o albedo aumentou ocorreu uma queda no Rn (valores da subtração do albedo são negativos). O mesmo comportamento foi observado com a temperatura da superfície e o Rn, tendo também uma correlação negativa entre estes parâmetros (Figura 4.35b). Conclui-se que tanto o albedo como a temperatura da superfície atuam inversamente com o Rn, áreas com alto albedo e altas temperaturas ocasionaram baixos saldos de radiação. Os coeficientes da análise de regressão linear  $R^2$  foram altos tanto para o albedo da superfície ( $R^2=0,987$ ) como para a temperatura da superfície ( $R^2=0,909$ ), evidenciando forte correlação entre estas variáveis e o Rn.

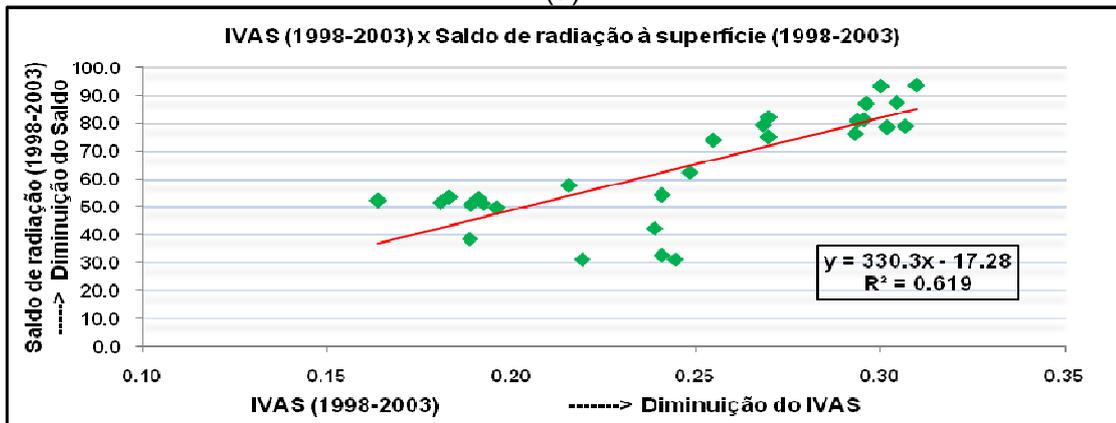
Teixeira e Lima Filho (1997) avaliaram o saldo de radiação e a radiação fotossinteticamente ativa a 1 m acima (SRs e RFAs) e a 1 m abaixo (SRi e RFAi) da folhagem e o IAF na cultura da videira, durante o período compreendido entre a poda de produção e a colheita. O experimento foi realizado no Campo Experimental de Bebedouro, da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA Semi-árido), Petrolina, Estado de Pernambuco. O IAF variou de 0,15 a 1,35 e relacionando-se os valores de IAF com os de SRi/SRs, obteve-se uma regressão linear  $SRI/SRs = -0,63 IAF + 0,96$  demonstrando uma relação negativa entre essas duas variáveis, com um  $R^2=0,96$  e nível mínimo de significância de 0,0001.

Nas Figuras 4.36 são apresentados os gráficos com o comportamento do saldo de radiação à superfície em R3 (onde ocorreu perda no Rn) na imagem subtração 1998-2003 em relação às imagens de subtração para os mesmos períodos do IVDN (a), do IVAS (b) e do IAF(c).

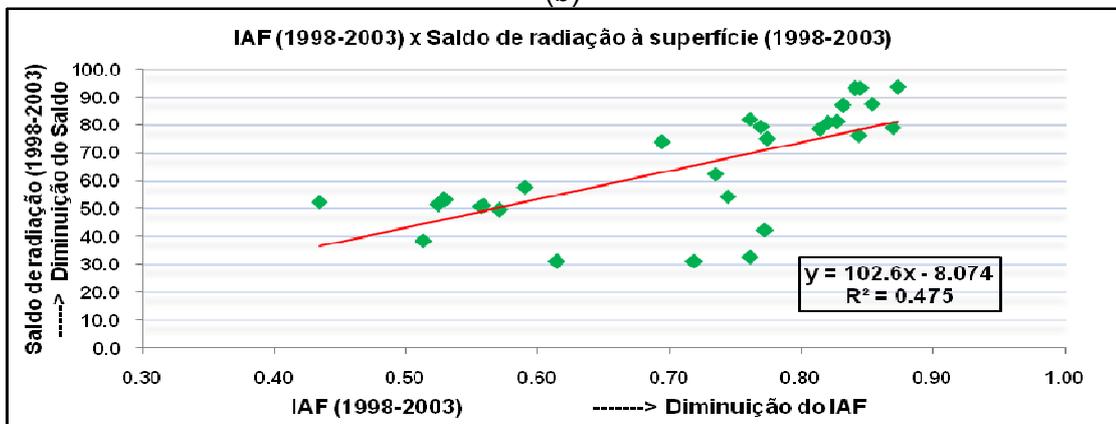
Analisando os comportamentos do Rn na área R3 (diminuição de Rn) em relação aos índices de vegetação observa-se que ocorreu correlação direta para o IVDN, IVAS e o IAF. Os coeficientes da análise de regressão linear  $R^2$  foram variáveis para os três índices de vegetação, sendo  $R^2=0,853$  para IVDN, comprovando uma boa correlação entre este índice o Rn. Já para os outros índices os valores foram medianos, sendo  $R^2=0,619$  para o IVAS e  $R^2=0,475$  para o IAF, evidenciando uma correlação média entre estes índices e o Rn para esta situação. Na área R3 o Rn comportou diferentemente da R2, em relação ao IVAS e o IAF, tendo uma relação direta e não indireta como anteriormente com estes índices.



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.36 – Variação do  $R_n$  ( $W/m^2$ ) em R3 na imagem subtração de 1998-2003 em relação as imagens subtração de 1998-2003 do IVDN (a), do IVAS (b) e do IAF (c).

### 4.3 – Análise dos parâmetros estimados para alvos pré-selecionados

Os valores estimados instantâneos médios dos componentes do balanço de radiação nos alvos pré-selecionados da área estudada, para o dia 11/06/1990 são apresentados na Tabela 4.14 e os valores realçados serão analisados a seguir.

Tabela 4.14 – Valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação para o dia 11/06/1990 nos alvos pré-selecionados da área em estudo.

Parâmetros	Unidades	Área agrícola (A1) (35° 49' 56"W; 9° 26' 45"S)	Mata ciliar (A2) (35° 41' 50"W; 9° 30' 38" S)	Área urbanizada (A3) (35° 38' 53" W; 9° 29' 54" S)
Radiância – B1	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	32,507	30,144	40,433
Radiância – B2	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	26,785	23,236	38,373
Radiância – B3	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	15,863	12,675	31,877
Radiância – B4	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	52,065	49,678	48,196
Radiância – B5	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	5,960	4,954	9,656
Radiância – B6	W/m <sup>2</sup>	8,573	8,528	8,758
Radiância – B7	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	0,967	0,697	2,294
Refletividade - B1	-	0,071	0,066	0,089
Refletividade – B2	-	0,063	0,055	0,090
Refletividade – B3	-	0,044	0,035	0,086
Refletividade – B4	-	0,216	0,206	0,200
Refletividade – B5	-	0,119	0,099	0,193
Refletividade – B7	-	0,052	0,037	0,121
Albedo no topo da atmosfera		0,087	0,079	0,110
<b>Albedo da superfície</b>	<b>%</b>	<b>7,6</b>	<b>6,5</b>	<b>10,6</b>
Transmissividade atmosférica	-	0,7524	0,7524	0,7524
<b>IVDN</b>	-	<b>0,651</b>	<b>0,708</b>	<b>0,404</b>
<b>IVAS</b>	-	<b>0,335</b>	<b>0,343</b>	<b>0,217</b>
<b>IAF</b>	-	<b>0,731</b>	<b>0,602</b>	<b>0,255</b>
Emissividade da superfície	-	0,956	0,956	0,952
<b>Temperatura da superfície</b>	<b>°C</b>	<b>23,6</b>	<b>23,3</b>	<b>25,2</b>
Radiação de onda longa emitida	W/m <sup>2</sup>	420,6	418,6	427,9
Radiação de onda longa incidente	W/m <sup>2</sup>	336,5	336,5	336,4
Radiação de onda curta incidente	W/m <sup>2</sup>	641,4	641,4	641,4
<b>Saldo de radiação (Rn)</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>503,2</b>	<b>512,4</b>	<b>474,9</b>

Os valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação nos alvos pré-selecionados da bacia, para o dia 21/09/1998 são apresentados na Tabela 4.15. Os valores realçados serão analisados a seguir.

Tabela 4.15 – Valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação para o dia 21/09/1998 nos alvos pré-selecionados da bacia em estudo.

Parâmetros	Unidades	Área agrícola (A1) (35° 49' 56" W; 9° 26' 45" S)	Mata ciliar (A2) (35° 41' 50" W; 9° 30' 38" S)	Área urbanizada (A3) (35° 38' 53" W; 9° 29' 54" S)
Radiância – B1	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	40,786	38,128	53,982
Radiância – B2	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	34,362	30,431	52,971
Radiância – B3	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	22,037	18,180	46,471
Radiância – B4	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	71,313	72,409	62,128
Radiância – B5	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	8,499	7,336	15,568
Radiância – B6	W/m <sup>2</sup>	8,949	8,769	9,397
Radiância – B7	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	1,399	1,042	4,153
Refletividade - B1	-	0,079	0,073	0,104
Refletividade – B2	-	0,071	0,063	0,109
Refletividade – B3	-	0,053	0,044	0,111
Refletividade – B4	-	0,260	0,264	0,248
Refletividade – B5	-	0,149	0,129	0,272
Refletividade – B7	-	0,065	0,049	0,194
Albedo no topo da atmosfera		0,101	0,095	0,137
<b>Albedo da superfície</b>	<b>%</b>	<b>9,5</b>	<b>8,7</b>	<b>14,1</b>
Transmissividade atmosférica	-	0,7524	0,7524	0,7524
<b>IVDN</b>	-	<b>0,653</b>	<b>0,716</b>	<b>0,383</b>
<b>IVAS</b>	-	<b>0,378</b>	<b>0,407</b>	<b>0,238</b>
<b>IAF</b>	-	<b>0,789</b>	<b>0,826</b>	<b>0,308</b>
Emissividade da superfície	-	0,959	0,958	0,953
<b>Temperatura da superfície</b>	<b>°C</b>	<b>26,59</b>	<b>25,15</b>	<b>31,10</b>
Radiação de onda longa emitida	W/m <sup>2</sup>	438,3	430,3	457,5
Radiação de onda longa incidente	W/m <sup>2</sup>	339,2	339,2	339,2
Radiação de onda curta incidente	W/m <sup>2</sup>	857,0	857,0	857,0
<b>Saldo de radiação (Rn)</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>640,2</b>	<b>655,9</b>	<b>577,5</b>

Os valores estimados médias dos componentes do balanço de radiação nos alvos pré-selecionados da bacia, para o dia 03/09/2003 são apresentados na Tabela 4.16. Os valores realçados serão analisados a seguir.

Tabela 4.16 – Valores estimados médios dos componentes do balanço de radiação para o dia 03/09/2003, nos alvos pré-selecionados da bacia em estudo.

Parâmetros	Unidades	Área agrícola (A1) (35° 49' 56" W; 9° 26' 45" S)	Mata ciliar (A2) (35° 41' 50" W; 9° 30' 38" S)	Área urbanizada (A3) (35° 38' 53" W; 9° 29' 54" S)
Radiância – B1	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	50,030	46,694	57,426
Radiância – B2	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	39,421	34,603	50,765
Radiância – B3	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	26,601	23,818	44,379
Radiância – B4	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	68,619	56,197	60,600
Radiância – B5	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	8,185	6,791	13,638
Radiância – B6	W/m <sup>2</sup>	8,590	8,624	8,937
Radiância – B7	W/m <sup>2</sup> .µm.sr	1,334	1,114	3,631
Refletividade - B1	-	0,103	0,096	0,118
Refletividade – B2	-	0,087	0,076	0,112
Refletividade – B3	-	0,069	0,062	0,115
Refletividade – B4	-	0,267	0,219	0,236
Refletividade – B5	-	0,153	0,127	0,256
Refletividade – B7	-	0,067	0,056	0,181
Albedo no topo da atmosfera		0,118	0,103	0,140
<b>Albedo da superfície</b>	<b>%</b>	<b>11,7</b>	<b>9,7</b>	<b>14,6</b>
Transmissividade atmosférica	-	0,7524	0,7524	0,7524
<b>IVDN</b>	-	<b>0,586</b>	<b>0,542</b>	<b>0,343</b>
<b>IVAS</b>	-	<b>0,353</b>	<b>0,296</b>	<b>0,212</b>
<b>IAF</b>	-	<b>0,638</b>	<b>0,491</b>	<b>0,256</b>
Emissividade da superfície	-	0,956	0,955	0,953
<b>Temperatura da superfície</b>	<b>°C</b>	<b>23,65</b>	<b>24,09</b>	<b>26,62</b>
Radiação de onda longa emitida	W/m <sup>2</sup>	421,5	422,6	436,1
Radiação de onda longa incidente	W/m <sup>2</sup>	334,2	334,2	334,2
Radiação de onda curta incidente	W/m <sup>2</sup>	801,6	801,6	801,6
<b>Saldo de radiação (Rn)</b>	<b>W/m<sup>2</sup></b>	<b>585,4</b>	<b>599,5</b>	<b>544,8</b>

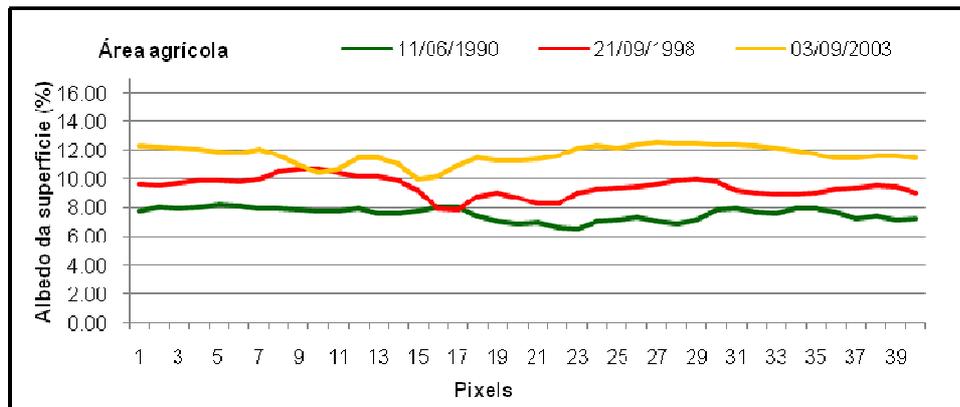
As Figuras 4.37, 4.38, 4.39, 4.40, 4.41 e 4.42 determinam os valores médios das 40 colunas dos recortes dos alvos pré-selecionados para os três estudados. A seguir são mostrados estes resultados.

#### **4.3.1 – Albedo da superfície para os alvos pré-selecionados**

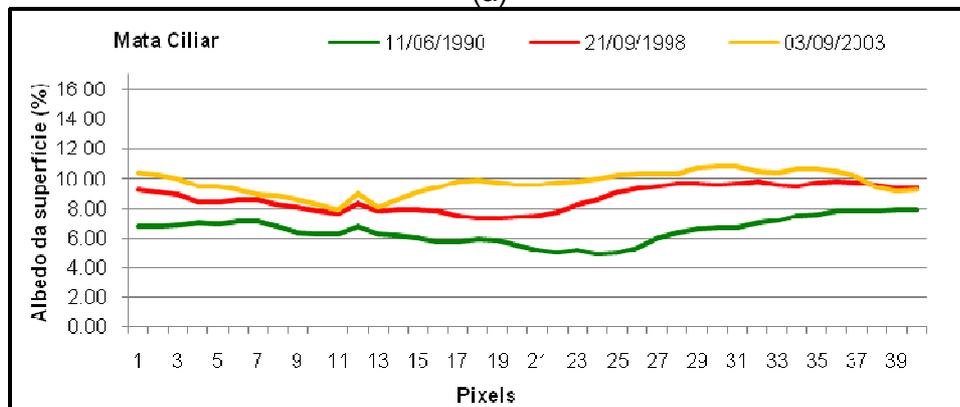
Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 observa-se que os maiores valores médios do albedo da superfície dos alvos pré-selecionados são para área urbanizada (A3). O maior deles foi para o dia 03/09/2003 (14,6%) seguido pelo do dia 21/09/1998 (14,1%) e para o dia 11/06/1990 (10,6%) foi o menor encontrado. Observa-se que houve um aumento no albedo da superfície de 1990 a 2003 com uma amplitude de 4,0% na área urbanizada. Os menores valores de albedo da superfície foram dos alvos com mata ciliar (A2) (6,5%) para 1990. Os albedos da superfície médios estimados para os três alvos pré-selecionados do dia 03/09/2003 foram os maiores em relação aos outros dias estudados, sendo 11,7% para área agrícola (A1), 9,7% para áreas de mata ciliar e 14,6% para área urbanizada. A seguir nas Figuras 4.37 são mostrados os gráficos com os perfis do comportamento dos valores do albedo da superfície nos alvos estudados para os três dias das imagens analisadas. Analisando os gráficos observa-se que ao albedo foi aumentando de 1990 (linha verde) a 1998 (linha vermelha) e depois a 2003 (linha amarela) tanto para área agrícola (Figura 4.37a), para mata ciliar (Figura 4.37b) e área urbanizada (Figura 4.37c). Isto demonstra que ocorreu variabilidade nas superfícies analisadas alterando as suas reflexões em relação à radiação incidente nos períodos estudados. No caso da área urbanizada ocorreram entrelaçamentos entre os valores de 1998 e 2003, hora um maior ora outro.

Em estudos realizados também na região Nordeste com seleção de alvos com diferentes tipos de superfície o albedo da superfície apresentou, no caso de Silva et al. (2005a) para área do PISNC em dois períodos, diferenças marcantes quando as áreas eram ocupadas por culturas irrigadas, devido às práticas agrícolas correntes. Juárez (2004), em estudo sobre cultura de cana-de-açúcar em Sertãozinho (SP) observou que o albedo para estação úmida foi de 17% e para estação seca foi 21%. E analisando também o cerrado em Santa Rita de Passa Quatro (SP) obteve para o albedo na estação úmida 13% e para seca 12%. Pode-se verificar que foram valores mais elevados que os encontrados para área estudada,

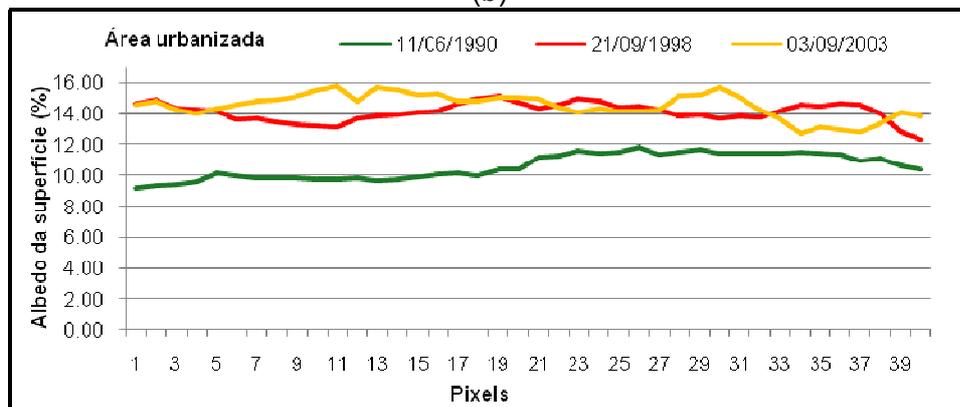
para a cultura de cana-de-açúcar tanto para época úmida (imagem de 1990, 7,6%), quanto para época de transição (imagens de 1998, 9,5% e 2003, 11,7%).



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.37 – Perfis do comportamento do albedo da superfície para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.

Tasumi et al (2005b), em estudo em regiões semi-áridas dos EUA fizeram comparações do albedo da superfície estimado pelos métodos EBT-BBT (ESUN Based Weighting and Broad-Band Transmittance) e MODTRAN (MODerate resolution atmospheric TRANsmission) para tipos de solos, como água, solo nu, área

com vegetação, campos e deserto. Observaram que pelo método EBT-BBT o albedo estimado para superfícies vegetadas escuras de campos agrícolas obteve elevada precisão, mas com pouca precisão em superfícies secas como solos brilhantes e algumas áreas brilhantes nas cidades.

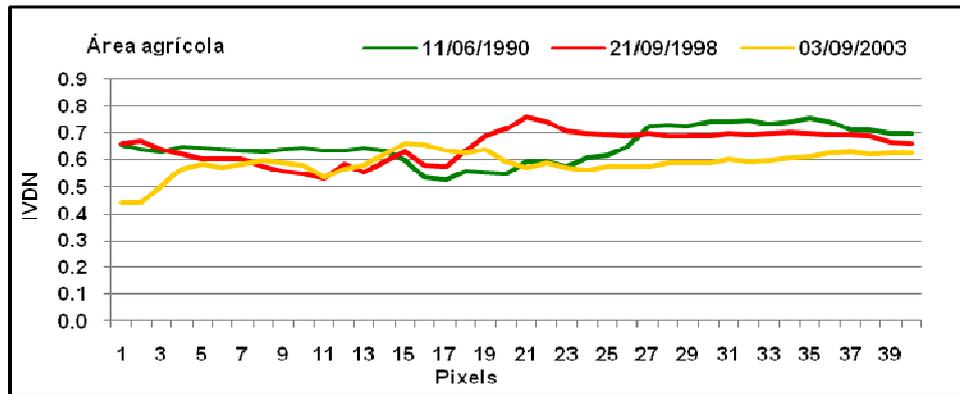
De acordo com os resultados obtidos do albedo instantâneo da superfície estimado através da análise multiespectral de imagens do TM-Landsat 5, em relação aos valores máximos, mínimos e médias da área estudada como também aos valores dos alvos estudados, os mesmos são semelhantes aos valores do albedo calculados com dados de superfície e valores apresentados pela literatura. Apesar desta semelhança, seria necessário para uma melhor análise à obtenção de valores da superfície em estudo de campo com pontos georreferenciados e de fácil identificação na imagem.

#### **4.3.2 – Análise dos Índices de Vegetação para os alvos pré-selecionados**

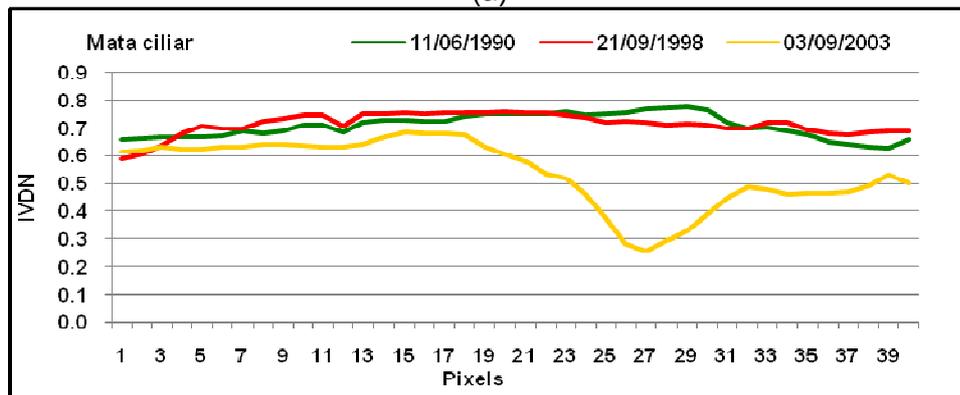
##### **IVDN**

Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 observa-se que os maiores valores médios do IVDN dos alvos pré-selecionados são para mata ciliar (A2). O maior deles foi para o dia 21/09/1998 (0,716) seguido pelo do dia 11/06/1990 (0,708) e para o dia 03/09/2003 (0,542) foi o menor encontrado. Observa-se que na área escolhida deste alvo a variabilidade do IVDN não foi muito expressiva de 1990 a 1998 mas ocorreu uma razoável variação de 1998 a 2003.

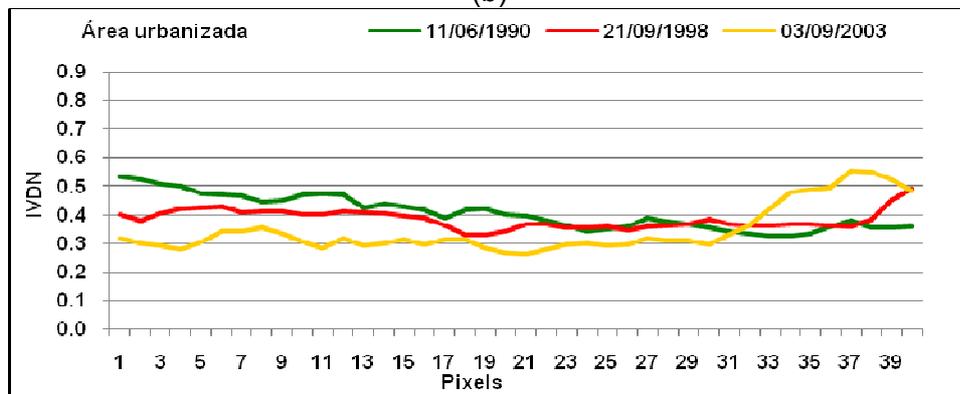
Em relação aos menores valores médios do IVDN dos alvos pré-selecionados, estes ocorreram na área urbanizada (A3). O maior deles foi para o dia 11/06/1990 (0,404) seguido pelo do dia 21/09/1998 (0,383) e para o dia 03/09/2003 (0,343) foi o menor encontrado, mostrando que na área escolhida deste alvo a variabilidade do IVDN demonstra o aumento de urbanização, tendo assim queda do IVDN. A seguir nas Figuras 4.38 são mostrados os gráficos com os perfis do comportamento dos IVDNs médias nos alvos estudados para os três dias das imagens analisadas. No caso dos alvos de área agrícola (Figura 4.38a) e de mata ciliar (Figura 4.38b) os perfis da evolução mostram que ocorreu uma variabilidade semelhante no IVDN para os três dias estudados, sendo os menores valores encontrados para a área agrícola.



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.38 – Perfis do comportamento do IVDN estimado para área agrícola (a), solo exposto (b), mata ciliar (c) e área urbanizada (d) nos dias estudados.

O alvo de mata ciliar para o ano de 2003 (linha amarela, Figura 4.38b) teve uma queda bem brusca no valor do IVDN em parte do mesmo (dos pixels 19 a 27), talvez por alteração na cobertura vegetal em parte da área.

Analisando o gráfico (Figura 4.38c) do alvo com área urbanizada observa-se que ao IVDN foi diminuindo de 1990 (linha verde) a 1998 (linha vermelha) e depois a 2003 (linha amarela) em quase todos os pixels mostrando que ocorreu diminuição na cobertura vegetal nesta área. Contudo observa-se que dos pixels 31 a 40 para o ano de 2003 ocorreu um aumento acentuado no IVDN possivelmente por uma mudança

na cobertura vegetal nesta parte do alvo que era mais urbanizada nos anos anteriores.

Di Pace (2004), em estudo na região Nordeste, usando também alvos pré-estabelecidos e com o mesmo algoritmo, encontrou valores de IVDN para o alvo com área agrícola de 0,492 e 0,468 para 2001 e 2000, respectivamente. Valores são mais baixos que os encontrados neste estudo, possivelmente pela a cultura predominante da área estudada ser de cana-de-açúcar enquanto da área do pesquisador era de banana, goiaba, acerola, uva e manga.

Allen et al.(2005b), em estudo analisando a pesquisa realizada em Kimberly, Idaho (EUA) por Tasumi et al. (2005b) em 2000, que aplicaram o METRIC e o SEBAL para classificar os coeficientes de cultura de 717 campos de plantação de batata, observaram que os Kc conspiraram contra os IVDN das áreas estudadas. Ocorreram aumentos de Kc acima do valor basal toda vez que as áreas eram úmidas por irrigação ou precipitação.

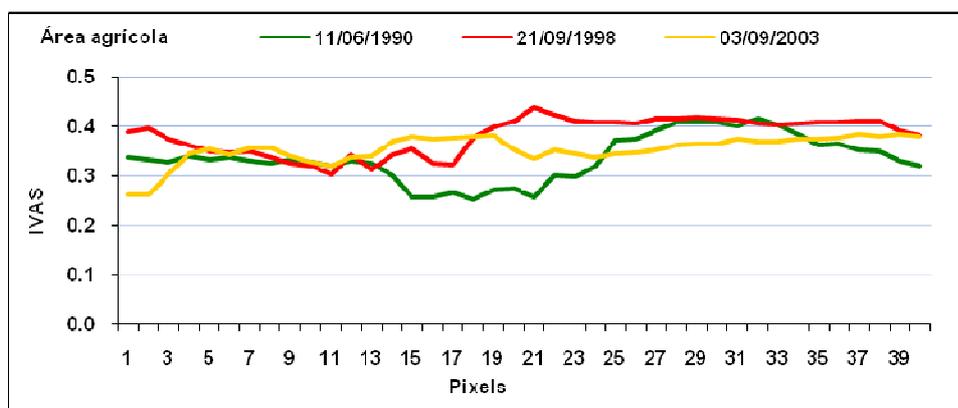
Araújo et al. (2007), em estudo na cidade de Maceió em relação à variação da cobertura vegetal em 11 recortes da sua área urbana, observaram um aumento da cobertura vegetal, considerando toda área estudada. Como hipótese, este aumento foi referente ao entorno da cidade e não na malha urbana onde houve um decréscimo da cobertura vegetal.

Brandão et al. (2007), em estudo para analisar o acúmulo da biomassa na Região de Barbalha (CE) e verificando a influência do IVDN através da combinação do SEBAL e do modelo CASA (Carnegie Ames Stanford Approach) que calcula o APAR (radiação fotossinteticamente ativa absorvida), observaram que para cada tipo de vegetação, ao aumentar o NDVI, a biomassa acumulada acima da superfície é incrementada proporcionalmente.

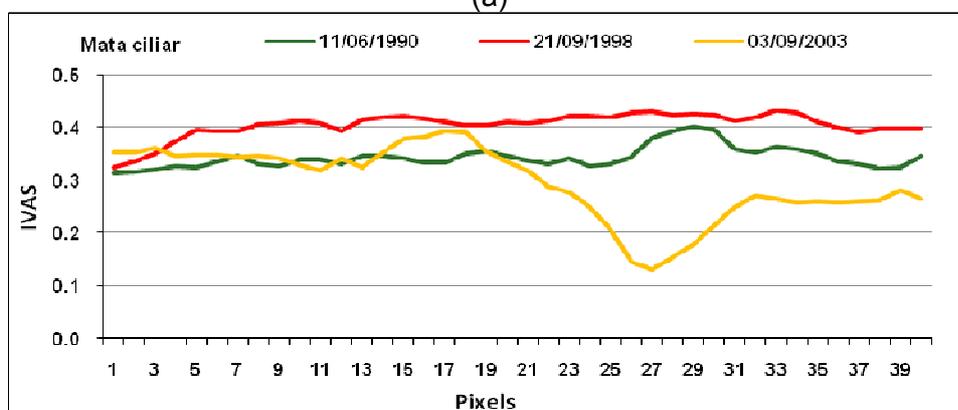
## **IVAS**

Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 observa-se que os maiores valores médios do IVAS dos alvos pré-selecionados são para mata ciliar (A2). O maior deles foi para o dia 21/09/1998 (0,407) seguido pelo do dia 11/06/1990 (0,343) e para o dia 03/09/2003 (0,296) foi o menor encontrado, mostrando que na área escolhida deste alvo a variabilidade do IVAS não foi muito expressiva. A seguir nas Figuras 4.39 são

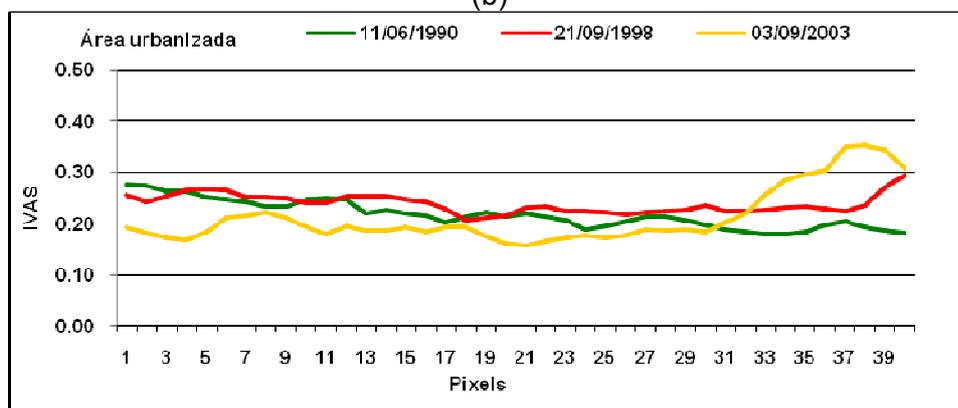
mostrados os gráficos com os perfis do comportamento dos IVASs médios nos alvos estudados para os três dias das imagens analisadas.



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.39 – Perfis do comportamento do IVAS estimado para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.

No alvo de mata ciliar para o ano de 2003 (linha amarela, Figura 4.39b) também como o IVDN ocorreu uma queda bem brusca no valor do IVAS em parte do mesmo (dos pixels 19 a 27), talvez por alteração na cobertura vegetal em parte da área.

Analisando o gráfico (Figura 4.39c) do alvo com área urbanizada observa-se que o IVAS foi diminuindo de 1990 (linha verde) a 1998 (linha vermelha) e depois a 2003 (linha amarela) em quase todos os pixels, mostrando que ocorreu um ganho de biomassa na cobertura vegetal nesta área.

Lima e Nelson (2003), em estudo para comparar e avaliar a confiabilidade dos índices de vegetação IVDN, IVAS e Índice-IVM no monitoramento da perda de vegetação na cidade de Manaus e entorno, no período de 1985 a 1999, estimaram o IVAS. Usaram no estudo seis valores diferentes de L (constante de ajuste em relação à densidade da vegetação). Observaram que com o incremento do valor do L, os índices IVAS superestimam progressivamente a mancha urbana, atingindo uma estimativa de 38% da área de estudo para o IVAS com  $L=1$ . Por este motivo, os pesquisadores descartaram o índice IVAS no seu monitoramento da cobertura vegetal em área urbana.

Maciel et al. (2003) realizaram um estudo na Fazenda Juriti, localizada a Nordeste do Estado do Pará, no município de Moju, para avaliar o relacionamento das variáveis biométricas densidade das árvores, área basal, biomassa, volume e diversidade de espécies de uma floresta tropical primária e das variáveis digitais da imagem TM-Landsat 5. A imagem foi original e processada pelo Modelo de Linear de Mistura Espectral e IVAS. Através de análise de correlação entre as variáveis biométricas e digitais determinaram o grau de dependência linear entre elas. Os valores de índice IVAS foram encontrados para 20 unidades de amostra levantadas em campo, onde foi verificado que de forma análoga à imagem proporção vegetação, os menores valores de IVAS foram observados nas unidades caracterizadas por altos valores de área basal, biomassa e volume, bem como os maiores valores de IVAS nas de baixos valores de área basal, biomassa e volume, situação semelhante à analisada nesta dissertação. Esta diferenciação apresenta-se decorrente, principalmente, da maior ou menor proporção de sombra ocasionada pela estrutura do dossel.

Rosendo e Rosa (2005), em um estudo usando imagens MODIS na Bacia do Rio Araguari (MG) utilizaram índices de vegetação no monitoramento de algumas classes de uso do solo e cobertura vegetal em áreas amostrais do Cerrado e observaram que o IVAS também em 7 tipos diferentes de cobertura da superfície (água, mata, reflorestamento, café, cultura irrigada, cultura anual e pastagem). Permitiu considerar que o comportamento para todas as coberturas analisadas foi

praticamente o mesmo. Observaram também que a área com reflorestamento apresentou maiores valores de IVAS, ficando entre 1 e 1,4. Concluíram que a partir das análises dos ND das imagens de satélites e conseqüentemente dos Índices de Vegetação estimados, ficou demonstrado com clareza o comportamento das áreas destinadas a culturas em que se pode observar a elevação e diminuição dos mesmos em razão da época de colheita e do período de plantio, respectivamente.

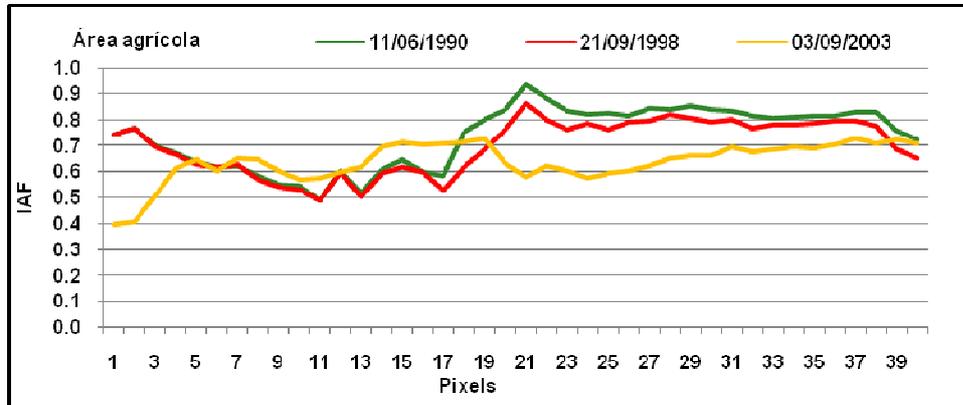
## **IAF**

Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 observa-se que ocorreu uma variabilidade expressiva do IAF entre os dias estudados em relação ao maior ou menor deles. O maior valor médio do IAF dos alvos pré-selecionados é para 21/09/1998, sendo do alvo de mata ciliar (0,826). No caso da área agrícola o maior valor deles foi encontrado para o dia 21/09/1998 (0,789) seguido pelo do dia 11/06/1990 (0,731) e para o dia 03/09/2003 (0,638) foi o menor encontrado. Na área urbanizada ocorreram os menores valores médios estimados do IAF, sendo o menor para o dia 11/06/1990 (0,255).

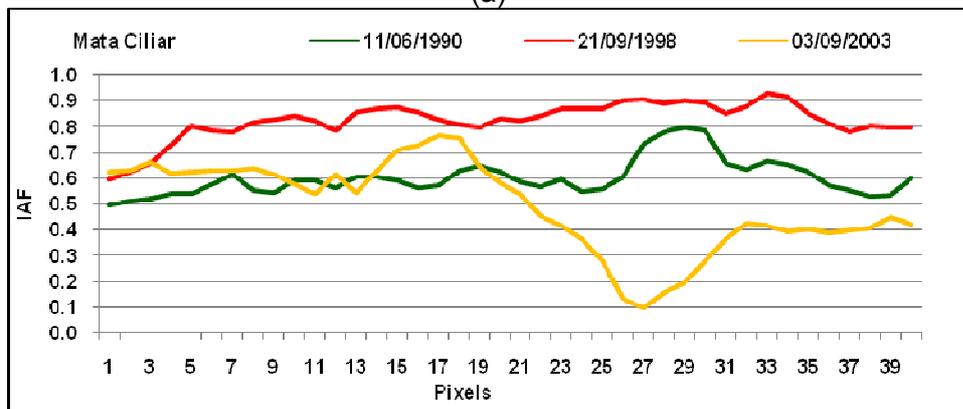
Os Gráficos mostrados na Figura 4.40 apresentam os perfis do comportamento do IAF para cada tipo de superfície dos alvos pré-estabelecidos nas imagens dos três dias estudados. Em relação à evolução IAF em cada período observa-se que em todos os alvos analisados a variabilidade do IAF foi muito heterogênea (Figuras 4.40a, 4.40b e 4.40c). No caso da área agrícola (Figura 4.40a) a evolução do comportamento do IAF foi um pouco confusa nos pixels iniciais (pixels 0 a 20) entre os dias estudados, mas também apresentou regiões com pouca variabilidade (pixels de 21 a 39), mostrando que a área foliar da cobertura vegetal nesta parte do alvo teve foi quase constante para cada período, mas sempre decrescendo a cada período. Nos pixels 7 a 21 para o ano de 1998 a área foliar da cobertura vegetal da superfície teve um aumento em relação a 1990 e voltou a diminuir em 2003.

Em relação ao alvo com mata ciliar (Figura 4.40b) tanto em valores como em relação à variabilidade da superfície a evolução nos perfis foi muito expressiva, apresentando uma confusão entre os valores para os dias de 2003 e 1998. No ano de 1998 (linha amarela da Figura 4.39b) o IAF do alvo de mata ciliar teve uma variabilidade acentuada, sendo que a área foliar da cobertura vegetal entre os pixels 17 a 27 teve uma diminuição brusca, mas aumentando e permanecendo constante

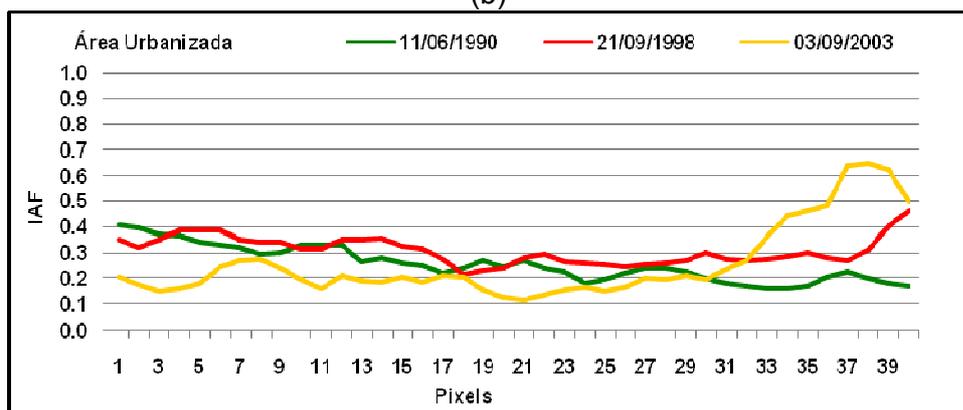
dos pixels 27 a 40. A Figura 4.40c referente à área urbanizada mostra que os valores estimados para este alvo foram os menores encontrados e foi o alvo que teve menor variabilidade do IAF em relação à superfície.



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.40 – Perfis do comportamento do IAF estimado para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.

D'Urso et al. (2004) realizaram um estudo na campanha SPARC que foi realizada em Barrax, uma área teste de agricultura, em La Mancha, região situada no Sul da Espanha, para realizar medições de parâmetros de diferentes culturas e

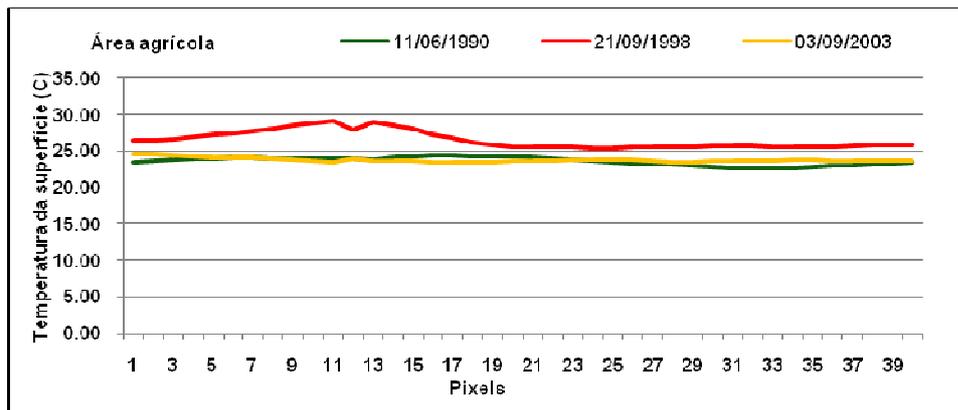
vegetação no sentido de avaliar a capacidade para estimar IAF. Os pesquisadores utilizaram os modelos de transferência de radiação para aplicações em SR, PROSPECT+SAILH, com dados no formato CHRIS do satélite PROBA. Os resultados mostraram que o uso do conhecimento a priori é de grande importância para a estimativa do IAF. Desta forma os pesquisadores foram capazes de estimar este parâmetro com uma precisão na faixa de 15% a 20% para amostras de alfafa, batata e beterraba.

Brandão et al. (2005), em estudo no município de Primavera do Leste, estado do Mato Grosso, analisaram o IVDN e o IAF, obtidos com imagens do TM-Landsat 5 e o SEBAL. Os valores do IAF encontrados nas duas áreas com culturas de algodão analisadas foram: um valor médio em torno de 4,349 para a Fazenda Juriti e 3,328 para a Fazenda Buriti e que, segundo Maity et al. (2004), são valores aceitáveis se considerando a altura das plantas e as condições de umidade do solo.

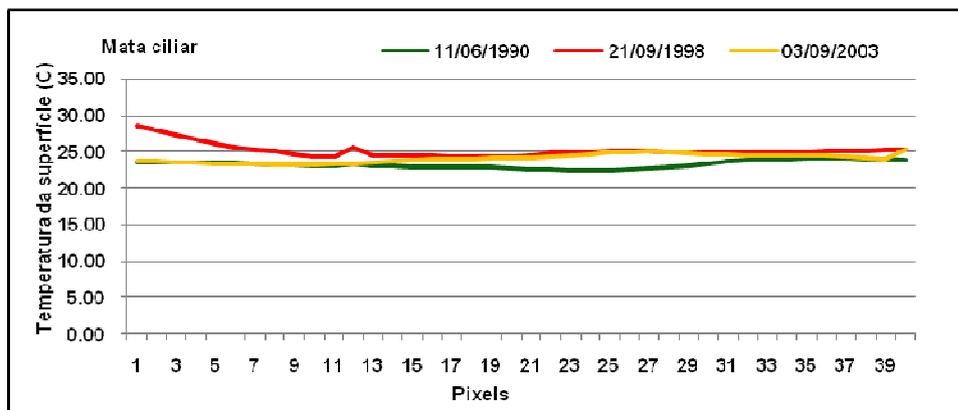
#### **4.3.3 – Temperatura da superfície para os alvos pré-selecionados**

Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 observa-se que os maiores valores médios da temperatura da superfície dos alvos pré-selecionados ocorreram na área urbanizada (A3). O maior deles foi para o dia 21/09/1998 (31,10°C) seguido pelo do dia 03/09/2003 (26,62°C) e para o dia 11/06/1990 (25,23°C) foi o menor encontrado. Observa-se que ocorreu uma elevação nos valores médios da temperatura da superfície de 1990 a 1998 numa amplitude de quase 6°C na área urbanizada. Os menores valores médios da temperatura da superfície foram dos alvos com mata ciliar (A2) (sempre entre 23,3°C – 25,2°C) para os dias estudados. Os valores médios da temperatura da superfície dos alvos com área agrícola variaram entre 23,7°C e 26,6°C. Observa-se que para os alvos com vegetação a variação da temperatura da superfície foi menos acentuada que no alvo com urbanização.

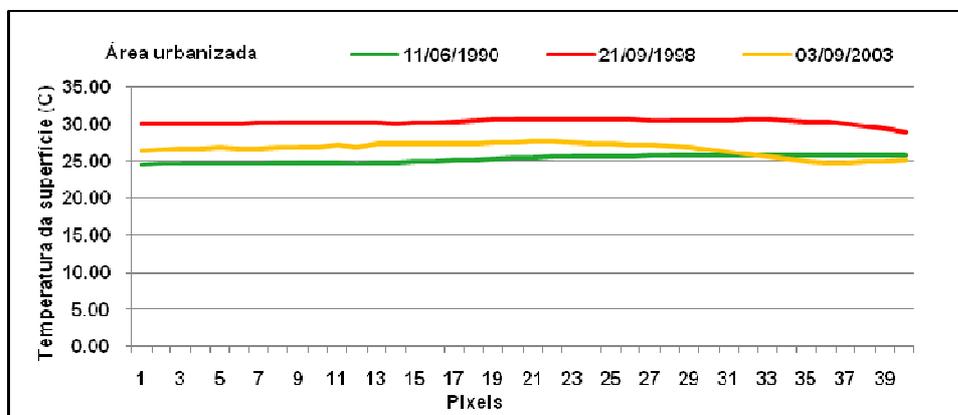
Os gráficos mostrados nas Figuras 4.41 apresentam os perfis do comportamento da temperatura da superfície para cada tipo de superfície dos alvos pré-estabelecidos nas imagens dos três dias estudados.



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.41 – Perfis do comportamento da temperatura da superfície estimada para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.

Tanto na área agrícola (Figura 4.41a) como na mata ciliar (Figura 4.41b), observa-se que ocorreu uma elevação da temperatura de 1990 (linhas verdes) para 1998 (linhas vermelhas) em toda a área analisada, com uma amplitude na faixa de 2,9°C.

No período de 1998 a 2003 ocorreu uma diminuição da temperatura da superfície também em toda extensão das mesmas áreas ficando os valores

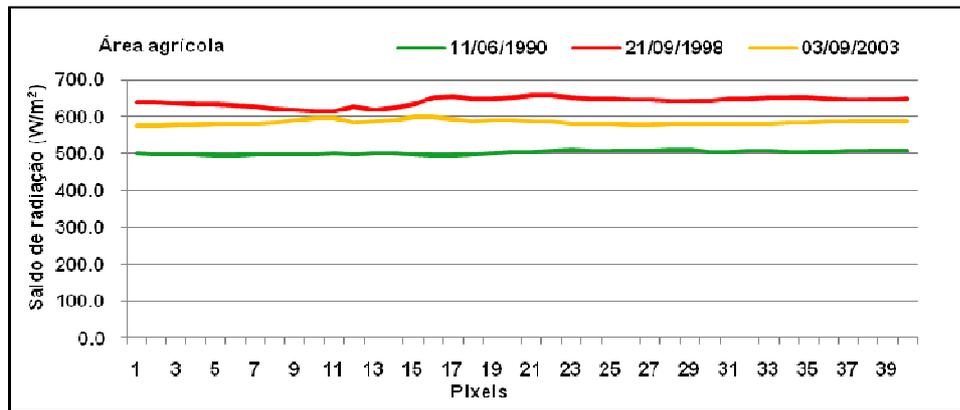
estimados quase iguais ao de 1990. O alvo com área agrícola obteve um comportamento semelhante em relação ao perfil da evolução da temperatura da superfície, mostrando que a variabilidade espacial em relação à superfície foi pequena. No caso da área urbanizada em relação à evolução da temperatura à superfície em cada período observa-se também que a variabilidade espacial da temperatura pela superfície foi pequena, enquanto em valores foi razoável (Figura 4.41c).

Oliveira (2006), em estudo para mapear a temperatura da superfície terrestre da mesorregião Leste do estado Alagoas e usando 6 recortes (A, B, C, D, E e F) da área encontrou as temperaturas destes onde temperatura mínima geral foi de 23,46°C e a máxima de 25,88°C com uma amplitude média em torno de 2,0°C.

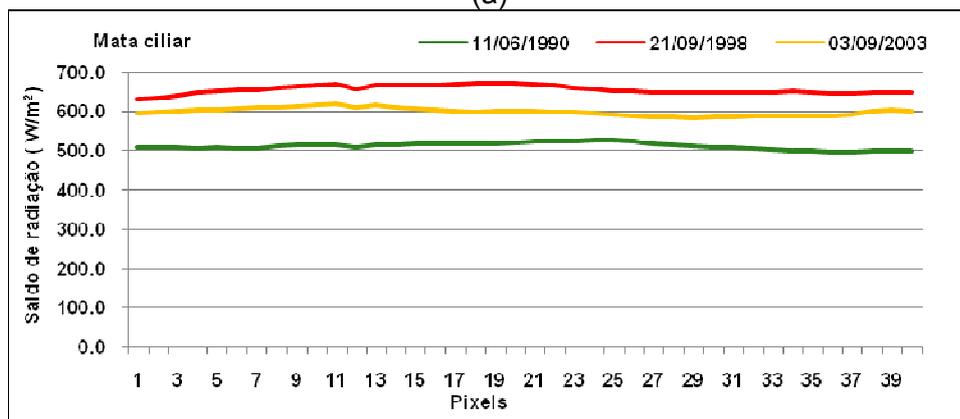
Souza (2008) realizou um estudo com um modelo para correção atmosférica de imagens TM-Landsat 5 e MODIS - Terra/Aqua, o ME (Modelo Estocástico). Este modelo destina-se ao aprimoramento da estimativa de temperatura e reflectância de superfícies Lambertianas estimadas pelo algoritmo METRIC em condições de céu claro. O pesquisador estimou a  $T_s$  em três alvos distintos na sub-região R1 em Quixeré (CE), com imagem MODIS e em toda área da imagem TM-Landsat 5 para mesma localização e observou que erro na estimativa de  $T_s$  é menor que 1,8K tanto para imagens TM-Landsat 5 como para a imagem MODIS.

#### **4.3.4 – Saldo de Radiação à superfície nos alvos pré-selecionados**

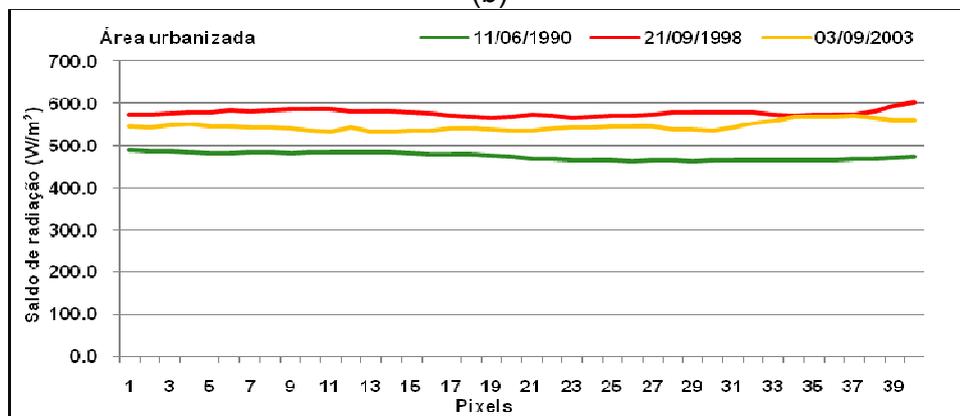
Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 observa-se que os menores valores médios instantâneos do saldo de radiação à superfície dos alvos pré-selecionados são para área urbanizada (A3). O menor deles foi para o dia 11/06/1990 ( $474,893W/m^2$ ) seguido pelo do dia 03/09/2003 ( $544,778W/m^2$ ) e para o dia 21/09/1998 ( $577,489W/m^2$ ) foi o maior encontrado para área urbanizada. Observa-se que ocorreu uma elevação nos valores médios do saldo de radiação à superfície de 1990 a 1998 com uma amplitude de  $69,885W/m^2$  na área urbanizada. Os maiores valores médios do saldo de radiação à superfície sempre foram dos alvos com mata ciliar (A2) ( $655,896W/m^2$ ) para 1998, ( $599,557W/m^2$ ) para 2003 e ( $512,194W/m^2$ ) para 1990. Os Gráficos mostrados nas Figuras 4.42 apresentam os perfis do comportamento do saldo de radiação à superfície instantâneo para cada tipo de superfície dos alvos pré-estabelecidos nas imagens estudadas.



(a)



(b)



(c)

Figuras 4.42 – Perfis do comportamento do saldo de radiação à superfície instantâneo para área agrícola (a), mata ciliar (b) e área urbanizada (c) nos dias estudados.

Analisando os perfis do comportamento do saldo de radiação à superfície nestes dias para os três alvos observa-se que em todos eles a evolução é semelhante em relação ao ano estudado, sendo que para 11/06/1990 (linhas verdes) sempre têm os menores valores do saldo de radiação em qualquer alvo e em 21/09/1998 (linhas vermelhas) os maiores e voltando a diminuir em 03/09/2003 (linhas amarelas). Em relação à variação espacial da superfície de cada alvo em cada período observa-se que em todos os alvos analisados a variabilidade do saldo

de radiação à superfície foi pequena no mesmo período (linhas quase planas nas Figuras 4.42a, 4.42b e 4.42c).

Correa (2000), em estudo em área de policultivo na Amazônia para o cálculo do saldo de radiação à superfície baseado em coletas em um experimento encontrou que os valores médios diurnos de  $R_n$  próximo à superfície no dia de céu claro foram aproximadamente 35% e 12% dos valores de  $R_n$  no dossel para policultivo e floresta, respectivamente. O valor de  $R_n$  próximo à superfície na área cultivada é quase três vezes maior que aquele na área de floresta nativa, indicando que há mais energia disponível para evaporação, para aquecimento do ar, do solo e da camada vegetal próximo à superfície na área de policultivo do que na área de floresta.

Di Pace (2004), em estudo no PISCN em Pernambuco em dois períodos, encontrou valores do saldo de radiação à superfície, para quatros alvos (açude, área cultivada, solo exposto e área irrigada), inferiores com a aplicação do MED em ambos os dias e que o ano de 2000 foi superior ao de 2001, com e sem o MED com exceção dos alvos P2 (área irrigada) e P4 (açude), mostrando a importância de se levar em consideração os efeitos topográficos na estimativa dos mesmos, já que a variação maior do saldo de radiação é causada pela topografia.

Bezerra (2006) realizou um estudo para estimar os componentes do balanço de energia e a evapotranspiração diária, usando o SEBAL através de imagens TM - Landsat 5 e dados complementares disponíveis em estação meteorológica localizada na microrregião do Cariri cearense. O estudo abrangeu parte dos municípios de Barbalha, Crato e Juazeiro do Norte, áreas irrigadas, vegetação nativa e parte da Chapada do Araripe e obteve como valores médios de  $R_n$  instantâneo 614,9, 627,5, 651,5 e 620,5  $W.m^{-2}$  para os dias 272, 288, 304 e 320, respectivamente. O  $R_n$  e o fluxo de calor latente apresentaram diferenças inferiores a 10%, em três dos quatro dias analisados, e as maiores discrepâncias foram verificadas nos valores do fluxo de calor sensível, possivelmente influenciadas pela dimensão da área e resolução do canal termal.

Araújo (2006) efetuou um estudo na área urbana de Maceió para os mesmos dias deste estudo e também trabalhou com alvos pré-estabelecidos por tipos diferentes de superfície na mancha urbana. Os resultados encontrados em áreas com urbanização densa dos valores do saldo de radiação estimado variaram de 769,88 a 794,15  $W/m^2$  para 03/09/2003, valores mais elevados que os encontrados

neste estudo para o alvo área urbanizada. Esta diferença é explicada pelo fato do alvo desse estudo não ser de urbanização muito densa.

Mendonça et al. (2007b) realizaram um estudo para avaliar o desempenho do SEBAL com a utilização de imagens MODIS/Terra e MODIS/Água, estas com resolução espacial de 250 m, na mensuração do saldo de radiação instantâneo para algumas localidades da região Norte Fluminense (RJ) e comparando com dados de estações meteorológicas. Os pesquisadores concluíram que o SEBAL estimou satisfatoriamente o saldo de radiação instantânea na região de estudo apresentando um coeficiente de correlação igual a 85%, principalmente sobre a cultura da cana-de-açúcar.

## 5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

### 5.1 - Conclusões

Neste trabalho, mapeou-se a estimativa das componentes do balanço de radiação e dos índices de vegetação via sensores remotos, para área no Estado de Alagoas contendo a bacia do rio Pratagy em três períodos, utilizando dados do sensor TM-Landsat 5. As estimativas foram calculadas pelo algoritmo SEBAL proposto por Bastiaanssen (1995). A seguir, serão relatadas as conclusões deste estudo com base nos objetivos propostos e resultados obtidos e analisados:

- a. O **albedo da superfície** médio estimado aumentou de 7,4% em 1990 para 10,1% em 1998 e para 12,6% em 2003. A elevação gradativa do albedo entre os anos pesquisados, onde os valores superiores a 20% são mais encontrados na área urbana do município de Maceió, na parte Sul das imagens, pode ter sido em função de a urbanização ter se intensificado. Os **valores médios estimados** do **IVDN** demonstraram que ocorreu uma pequena variação em relação à perda de vegetação de 1990 a 1998 e uma nova diminuição de 1998 a 2003. Observou-se que o valor médio do **IAF** estimado como **IVAS** aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003. Este comportamento foi diferente do IVDN estimado. Constatou-se que o valor médio instantâneo da **Ts** estimado aumentou de 1990 a 1998 e decresceu entre 1998 e 2003. De 1990 para 1998 ocorreu uma elevação na faixa de 3,3°C, enquanto de 1998 a 2003 a diminuição foi de 2,7°C em seus valores médios estimados. O aumento gradativo da **Ts** entre 1990 e 1998, onde os valores superiores a 26°C são encontrados mais na área metropolitana da cidade de Maceió, na parte mais ao Sul da imagem, pode ter sido devido o processo de urbanização ter se intensificado. A diminuição de **Ts** em 2003 pode ter ocorrido pela existência das nuvens e sombras na cena deste período. O valor médio do **Rn** estimado aumentou de 11/06/1990 a 21/09/1998 e decresceu entre este dia e 03/09/2003, com uma amplitude de 147,658W/m<sup>2</sup> e de

77,34W/m<sup>2</sup> respectivamente. O aumento de 1990 para 1998 ocorreu possivelmente por razão do mês de junho a radiação solar ser menor devido à declinação solar, assim a região recebe menos radiação. A diminuição de Rn em 2003 pode ter ocorrido por razão da variabilidade da radiação solar entre as datas de setembro das imagens estudadas, pela existência das nuvens e também pela consequência da ocorrência de mais chuvas em setembro de 2003, o que afetaria mais diretamente o albedo e a Ts das áreas não irrigadas.

- b. A **imagem classificada da subtração do IVDN** de 1990 a 1998 evidenciou que sucedeu pouca variação no índice, em área de aproximadamente 413,7km<sup>2</sup>, 59,5% da área estudada. Enquanto de 1998 a 2003 constatou-se que ocorreu uma diminuição na densidade da cobertura vegetal de 1998 para 2003, em uma área de aproximadamente 341,9km<sup>2</sup>, 49,1% da área estudada e foi distribuída espacialmente mais na parte central da cena. A diminuição gradativa do IVDN que ocorreu entre os anos pesquisados, onde os valores baixos de 0 – 0,20 são encontrados mais na área metropolitana da cidade de Maceió, na parte Sul das imagens, pode ter sido devido ao processo de urbanização que foi se intensificando durante o período estudado. A **imagem classificada da subtração do Rn** entre 1990 e 1998 mostrou que ocorreu uma considerável elevação do saldo, sendo esta de aproximadamente 649,3km<sup>2</sup>, 93,4% da área estudada. Entretanto a imagem classificada da subtração Rn entre 1998 e 2003 classificada mostrou que ocorreu uma expressiva diminuição do Rn e foi bem distribuída espacialmente em área de aproximadamente 576,3km<sup>2</sup>, 82,5% da área estudada.
- c. O comportamento do **IVDN** em relação ao **albedo da superfície** na área **R1** (área diminuição do IVDN entre os períodos de 1998 e 2003) teve uma relação negativa, nas áreas onde ocorreu diminuição do IVDN o albedo aumentou e vice-versa. Em relação à **Ts** observou-se também relação negativa entre IVDN e Ts, uma diminuição de IVDN ocasiona um aumento da Ts. Já na relação do IVDN com o saldo de radiação à superfície observou-se em quase toda R1 uma correlação positiva, um ganho de IVDN ocasionou também um aumento do Rn. Os coeficientes da análise de regressão linear R<sup>2</sup> foram altos tanto para o albedo da superfície (R<sup>2</sup>=0,799) como para a temperatura da superfície (R<sup>2</sup>=0,823) e para o Rn (R<sup>2</sup>=0,853), evidenciando uma correlação boa entre estas variáveis e o IVDN

nesta análise. O comportamento do **Rn** em relação ao **albedo da superfície** na área **R2** (onde ocorreu ganho no Rn de 1990 a 1998) teve uma relação negativa. No caso da **Ts e o Rn**, observou-se tanto a relação positiva como a negativa entre os parâmetros. O valor de  $R^2$  foi alto para o albedo da superfície ( $R^2=0,818$ ) e mediano para a Ts ( $R^2=0,513$ ), evidenciando uma correlação boa para o albedo e mediana para Ts e o Rn nesta análise. O comportamento do **Rn em relação ao IVDN** na área **R2** apresentou relação positiva, sendo que nas áreas onde ocorreram perdas no Rn o IVDN diminuiu e vice-versa. Já para os outros índices, IVAS e IAF ocorreram relações negativas, isto é, um aumento do IVAS (perda de biomassa) ou do IAF (maior área foliar) ocasionou uma diminuição no saldo de radiação à superfície. Os valores de  $R^2$  foram baixos para as três variáveis, sendo  $R^2=0,094$  para IVDN,  $R^2=0,011$  para IVAS e  $R^2=0,018$  para IAF, evidenciando baixa correlação entre estes índices e o Rn para este caso. O comportamento do **Rn em relação ao albedo da superfície** na área **R3** (onde ocorreu perda no Rn de 1998 a 2003) demonstrou a existência de relação negativa e o mesmo comportamento foi observado com a **Ts**. Os valores de  $R^2$  foram altos tanto para o albedo da superfície ( $R^2=0,987$ ) como para a Ts ( $R^2=0,909$ ), evidenciando forte correlação entre estas variáveis e o Rn neste estudo. Os comportamentos do **Rn em relação aos índices de vegetação** em **R3** demonstram que os três índices atuaram diretamente proporcional ao mesmo na maior parte da área analisada. Os valores de  $R^2$  foram variáveis para os três índices de vegetação, sendo  $R^2=0,853$  para IVDN, comprovando uma boa correlação entre este índice o Rn. Já para os outros índices os valores foram medianos, sendo  $R^2=0,619$  para o IVAS e  $R^2=0,475$  para o IAF, evidenciando uma correlação média entre estes índices e o Rn para esta situação. Na área R3 o Rn comportou diferentemente da R2, em relação ao IVAS e o IAF, tendo uma relação direta e não indireta como anteriormente com estes índices.

- d. Nos **alvos pré-estabelecidos** de área agrícola, mata ciliar e área urbanizada os maiores valores médios do albedo da superfície foram para área urbanizada (o maior foi 14,6% em 2003). Os menores valores de albedo da superfície foram dos alvos com mata ciliar e o menor foi 6,5% para 1990. Os menores valores médios do **IVDN** dos alvos ocorreram na área urbanizada e foi diminuindo a cada período, demonstrando também o aumento de urbanização neste alvo. Os maiores valores

médios do **IVAS** dos alvos pré-selecionados foram para mata ciliar, sendo maior o dia 21/09/1998 (0,407). O maior valor médio do **IAF** dos alvos é para 21/09/1998, sendo da mata ciliar (0,826). Os maiores valores médios da **Ts** dos alvos pré-selecionados são para área urbanizada e ocorreu uma elevação de 1990 a 1998 com amplitude de quase 6°C. Os menores valores médios do **Rn** dos alvos são também para área urbanizada. Os perfis do comportamento do **Rn** nos dias estudados para os três alvos demonstraram que em todos eles a evolução é semelhante em relação ao ano estudado, sendo que para 11/06/1990 sempre têm os menores valores do Rn em qualquer alvo e em 21/09/1998 os maiores e voltando a diminuir em 03/09/2003.

- e. Ficou evidenciada a apropriada potencialidade do emprego do SEBAL em estudos de alterações na vegetação e uso da terra em escala de bacias hidrográficas, uma vez que a identificação em mudanças das espécies pode ocorrer pelo estudo dos mapas de saldo de radiação e também atender as necessidades relativas à quantificação do balanço hídrico. Em conclusão, espera-se que este trabalho tenha contribuído com a melhor compreensão dos procedimentos utilizados nas estimativas dos componentes do balanço de radiação por meio do modelo SEBAL.

## **5.2 – Recomendações**

Em continuidade ao estudo em bacias hidrográficas que seja efetuado o mapeamento da Evapotranspiração da bacia em estudo no sentido gestão prática da água tão importante para atividades agrícolas na mesma e para o abastecimento público de Maceió. E observar o uso do modelo digital do terreno no sentido da correção do albedo da superfície.

## 6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, L.J.O; OLIVEIRA, M.A.J; SILVA, F.H.B. .; BURGOS, M. Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM. **Anais... X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Foz do Iguaçu, 2001.

ACCIOLY, L.J.O., PACHECO, A., COSTA, T.C.C., LOPES, O.F.e OLIVEIRA, M.A J. Relações empíricas entre a estrutura da vegetação e dados do sensor TM/Landsat. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 3, p. 492-498. Campina Grande-PB, DEAg/UFCCG, 2002.

AHMED, B.M.; HATAA, T.; TANAKAMARUA, H.; ABDELHADIB, A.W.; AKIO TADAC, A. The Spatial Analysis Of Surface Temperature And Evapotranspiration For Some Land Use/Cover Types In The Gezira Area, Sudan. In: **Proceedings... IEC 3rd International Symposium Remote Sensing and Data Fusion Over Urban Areas (URBAN 2005) 5th International Symposium Remote Sensing of Urban Areas (URS 2005)** Tempe, AZ, USA, March 14-16 2005. Artigo on-line: <[www.isprs.org/commission8/workshop\\_urban/](http://www.isprs.org/commission8/workshop_urban/)> Acesso em 01/10/2007.

ALBUQUERQUE, J.K.; MOURA, M.A.L.; QUERINO, C. A.S.; MARIANO, G. L.; CHAGAS, E. V.; JÚNIOR, R.D. da S. Comparação do comportamento do saldo de radiação em área de pastagem na Amazônia durante dois períodos. In: **Anais... XII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia**, Santa Maria-RS, 2003, pp. 29-30.

ALLEN, R.G. Using the FAO-56 dual crop coefficient method over an irrigated region as part of an evapotranspiration intercomparison study. **Journal of Hydrology**, vol. 229, 27-41, 2000.

ALLEN, R. G.; MORSE, A.; TASUMI, M. Application of SEBAL for western US water rights regulation and planning. In: International Workshop on Remote Sensing of Evapotranspiration for Large Regions. **Proceedings... IEC Meeting of International Commission on Irrigation and Drainage (ICID)**, 54. Sept. 2003, Montpellier,France.

ALLEN, R.G.; MORSE, A.; TASUMI, M.; BASTIAANSEN, W.; KRAMBER, W.J. E ANDERSON, H. Evapotranspiration on the Watershed Scale Using the SEBAL Model and Landsat Images. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, St. Joseph, Michigan < [www.asabe.org](http://www.asabe.org) >. Paper number 012224, 2001.

ALLEN, R.G.; MORSE, A.; TASUMI, M.; KRAMBER, W.J.; BASTIAANSEN, W. **Computing and Mapping of Evapotranspiration; Chapter 5 in Advances in Water Science Methodologies**. U. Aswathanarayana, Ed.; A.A. Balkema Publishers; Leiden, The Netherlands, 2005a.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D. e SMITH, M. **Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper 56**, Rome, Italy, 301p, 1998.

ALLEN, R.G., TASUMI, M., TREZZA, R., WATERS, R. e BASTIAANSEN, W. **Surface Energy Balance Algorithm for Land (SEBAL) – Advanced training and users Manual**. Idaho, p. 98, agosto de 2002.

ALLEN, R. G.; TASUMI, M.; MORSE, A; TREZZA, R. A Landsat-based energy balance and evapotranspiration model in Western US water rights regulation and planning. **Irrigation and Drainage Systems**, v. 19, p.251-268, 2005b.

ALMEIDA, E.S. e BATISTA, G.T. Índice de vegetação versus precipitação na Amazônia. **Anais... IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Santos, Brasil, 11-18 setembro 1998, INPE, p. 1397-1407.

ARAÚJO, T.L. **Estimativa da Temperatura e do Balanço de Radiação à Superfície Terrestre em Maceió-AL utilizando imagens de satélite TM/Landsat-5**. 89f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Maceió, Alagoas, 2006.

ARAÚJO, T.L., GOMES, H.B. e DI PACE, F.T. Análise comparativa dos dados IVDN obtidos de imagens satélite Landsat 5–TM em Maceió/AL. **Anais... XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia** – 02 a 05 de julho de 2007, Aracaju – SE.

ASTER – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, disponível em: < <http://ASTERweb.jpl.nasa.gov/>.> Acesso em 12 de junho de 2007.

ATHAÍDE, K.R.P. **Determinação do Saldo de Radiação e Radiação Solar Global com produtos do sensor Modis Terra e Aqua**. 97p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2006.

AYENEW, T. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. **Journal of Hydrology**. v. 279. p. 83-93. 2003.

BANNARI, A., MORIN, D., BONN, F., HUETE, A. R. A review of vegetation indices. **Remote Sensing Reviews**, 13, pp. 95-120, 1995.

BARBOSA, C.C F. **Álgebra de mapas e suas aplicações em sensoriamento remoto e geoprocessamento**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), São José dos Campos: INPE, 1997.

BARRETT, E.C.; CURTIS, L. **Introduction to environmental remote sensing**. Londres: Chapman & Hall. 1992.

BASTIAANSEN, W.G.M. **Regionalization of surface flux densities and moisture indicators in composite terrain: A remote sensing approach under clear skies**

**in Mediterranean climate.** PhD. Dis., CIP Data Koninklijke Bibliotheek, Den Haag, the Netherlands. 272 p., 1995.

BASTIAANSEN, W.G.M. **Remote Sensing in Water Resources Management: The State of the Art.** International Water Management Institute, Colombo, Sri Lanka, 118p. 1998.

BASTIAANSEN, W.G.M. SEBAL – based sensible and latent heat fluxes in the irrigated Gediz Basin, Turkey. **Journal of Hydrology**, vol. 229, 87 – 100, 2000.

BASTIAANSEN, W.G.M.; ALI, S. A new crop yield forecasting model based on satellite measurements applied across Indus Basin, Pakistan. **Agriculture Ecosystems & Environments**. v. 94. p. 321-340. 2002.

BASTIAANSEN, W.G.M. e CHANDRAPALA, L.. Water balance variability across Sri Lanka for assessing agricultural and environmental water use. **Agricultural Water Management**, vol. 58, 171-192, 2003.

BASTIAANSEN, W.G.M., MENENTI, M., FEDDES, R.A. e HOLTSLAG, A.A.M. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 1. Formulation. **Journal of Hydrology**, vol. 212 – 213, 198 – 212, 1998a.

BASTIAANSEN, W.G.M., MOLDEN D.J. e MAKIN, I.W. Remote sensing for irrigated agriculture: examples from research and possible applications. **Agricultural Water Management**, vol. 46, 137-155, 2000.

BASTIAANSEN, W.G.M., PELGRUM, H., WANG, J., MA, Y., MORENO, J.F., ROERINK, G.J. e VAN DER WAL, T. A remote sensing surface energy balance algorithm for land (SEBAL): 2. Validation. **Journal of Hydrology**, vol. 212 – 213, 213 – 229, 1998b.

BATISTA, G.T.E.D. e NELSON W. **Introdução ao Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens.** Apostila Curso 6 do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Goiânia, 2005.

BEZERRA, B.G. **Balço de Energia e Evapotranspiração em áreas com diferentes tipos de cobertura de solo no Cariri Cearense através do algoritmo Sebal.** 147f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB 2006.

BEZERRA, M.V.C. **Balço de Energia em Áreas Irrigada Utilizando Técnicas de Sensoriamento Remoto.** 108f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2004.

BISHT, G., VENTURINI, V., ISLAM, S. JIANG, LE. Estimation of the net radiation using MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) data for clear sky days. **Remote Sensing of Environment** 97, 52-567. 2005.

BLYTH., E.M. e DOLMAN, A.J. The roughness length for heat of sparse vegetation. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 34, 583 – 585, 1995.

BOEGH, E., SOEGAARD, H., THOMSEN, A. Evaluating evapotranspiration rates and surface conditions using Landsat TM to estimate atmospheric resistance and surface resistance. **Remote Sensing of Environment** 79:329-343, 2002.

BRANDÃO, Z.N., BEZERRA, M.V.C. FREIRE, E.S. e SILVA, B.B da. Determinação de Índices de Vegetação usando Imagens de Satélite para uso em Agricultura de Precisão. In: V Congresso Brasileiro de Algodão, V CBA, Salvador, BA, 2005. **Anais...** Campina Grande: CNPA, 2005. CD-ROM On-line. Disponível em: <<http://www.cnpa.embrapa.br/publicações/>>

BRANDÃO, Z.N., BEZERRA, M.V.C. e SILVA, B.B da. Uso do NDVI para determinação da biomassa na chapada do Araripe. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 75-81

CÂMARA, G. **Geoprocessamento para aplicações em meio ambiente**. Apostila VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. INPE, Salvador, 1996.

CÂMARA, G. MEDEIROS, J. S. Geoprocessamento para projetos ambientais. In: Câmara, G.; Barbosa, C. C. F.; Freitas, U. M (ed.) **Operações de Análise Geográfica**. São José dos Campos: INPE, 1998. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis\\_ambiente/3opera.pdf](http://www.dpi.inpe.br/gilberto/tutoriais/gis_ambiente/3opera.pdf)> Acesso em: 20 out. 2007.

CAMARGO, F.F., PEREIRA, G., OLIVEIRA, L.G.L. de, GUERRA, J.B. Análise temporal do revestimento do solo e suas implicações na modificação do campo térmico da área urbana do município de Campo Grande, MS, no período de 1988 a 2003. **Anais...** 1º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Campo Grande, Brasil, 11-15 novembro 2006, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.575-584.

CARUZZO, A. e ROCHA, H.R. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) em regiões de Pastagem e Floresta com um método indireto ('gap fraction') durante o Experimento AMC/LBA-1999. Artigo online: <<http://lba.cptec.inpe.br/publications/>>, disponibilizado em 2003 e acesso em Junho 2008.

CASAGRANDE, F. **Probabilidade de atendimento da demanda hídrica ideal para cultura da cana-de-açúcar (*saccharum spp*) em Rio Largo – AL. 92 pags.** Dissertação (Mestrado em Meteorologia),UFAL, 2008.

CASELLES, V., COLL, C. e VALOR, E. Land surface emissivity and temperature determination in the whole HAPEX – Sahel area from AVHRR data. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 18, No. 5, 1009 – 1027, 1997.

CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. UFPR, Curitiba, 2004, 209 págs.

CHANDER, G e MARKHAN, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Postcalibration Dynamic Ranges. IEEE Transactions on Geoscience

and Remote Sensing, Vol. 41, No. 11, November 2003, pág. 2674-2677, Disponível em: <<http://landsat7.usgs.gov/documents/L5TMCal2003.pdf>>. Acesso em: 12/08/2007.

CORREIA, F. W. S. **Estudo do balanço de radiação em área de policultivo na Amazônia**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) São José dos Campos: INPE, 2000. 137p. - (INPE-8176-TDI/758).

COURAULT, D.; CLASTRE, P.; CAUCHI, P.; DELÉCOLLE, R. Analysis of spatial variability of air temperature at regional scale using remote sensing data and a SVAT model. In: International Conference Geospatial Information in Agriculture and Forestry 1, Lake Buena Vista, Florida, EUA. **Proceedings...** Lake Buena Vista: ERIM, 1998. p. 149-156.

COURAULT, D.; SEGUIM, B.; OLIOSO, A. Review to estimate Evapotranspiration from remote sensing data: some examples from the simplified relationship to the use mesoscale atmospheric models. **Proceedings ...** ICID Workshop on Remote Sensing of ET for Large Regions, 17 Sept., 2003.

CRÓSTA, A.P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Instituto de Geociências, UNICAMP. Campinas, 1993.

CURRAN, P.J. **Principles of remote sensing**. 5ªed. Londres, Longman Scientific & Technical. 1995.

D'URSO, G., DINI, L., VUOLO, F. ALONSO, L. e GUANTER, L. Retrieval of Leaf Area Index by inverting hyper-spectral, multi-angular CHRIS/Proba data from Sparc 2003. **Proceedings...** of the 2nd CHRIS/Proba Workshop, ESA/ESRIN, Frascati, Italy, 28-30 April (ESA SP-578), July 2004.

DASH, P., GOTTSCHKE, F.S., OLESEM, F.S. e FISCHER, H., Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: Theory and practice current trends. **International Journal of Remote Sensing**, 23: 2563-2594, 2002.

DAVIDSON, A. e WANG, S. The effects of sampling resolution on the surface albedos of dominant land cover types in the North American boreal region. **Remote Sensing of Environment**, vol. 93, 211 – 224, 2004.

DI PACE, F.T. **Estimativa do Balanço de Radiação à Superfície Terrestre Utilizando Imagens TM-Landsat 5 e Modelo de Elevação Digital**. 120f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa de Pós-graduação em Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 2004.

DIK, G.R.; MECIKALSKI, J.R.; ANDERSON, M.C.; NORMAN, J.M.; KUSTAS, W.P.; TORN, R.D. e DEWOLF, R.L. Estimating land surface energy budgets from space: Review and current efforts at the University of Wisconsin – Madison and USDA – ARS. **Bulletin of American Meteorological Society**, January, 65 – 78, 2004.

DIAK, G.R., W.L. BLAND e J. MECIKALSKI. A note on first estimation of surface insolation from GOES – 8 visible satellite data. **Agricultural and Forest Meteorology**, vol. 82, 219 – 226, 1996.

DUBAYAH, R. Estimating Net Solar Radiation using Landsat TM and Digital Elevation data. **Water Resources Research**, 28 (a): 2469-2484, 1992.  
EASTAM, J.R. **IDRISI Kilimanjaro Guide to GIS and Image Processing**. Clark Labs Clark University, 2003.

ELACHI, C. **Introduction to the physics and techniques of remote sensing**. New York: John Willey, 1987.

ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broad-band and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, v. 54, n. 1, p. 38-48, 1995.

EMBRAPA. Satélites de Monitoramento – Landsat. < <http://www.cnpm.embrapa.br/>> [online]. Acesso em 12/05/2007

ENGESAT. Programa Landsat – Ficha Técnica Resumida. <[www.engesat.com.br](http://www.engesat.com.br/),> 2001, Acesso em 03 de Junho de 2007.

EPIPHANIO, J.C.N. **Satélites de Sensoriamento Remoto**. Apostila do VIII Curso de Sensoriamento Remoto. INPE, São José dos Campos, 2005, 13 págs.

EPIPHANIO, J.C.N. **A Importância da Observação da Terra para a Agricultura**. Apresentação no Fórum de Agronegócios, Unicamp, Campinas – SP, 28/03/2008, Disponível em: < [www.cori.unicamp.br/foruns/agro/evento24/Epiphanio.pdf](http://www.cori.unicamp.br/foruns/agro/evento24/Epiphanio.pdf)>. 41 slides. Acesso em: 20/07/2008.

EPIPHANIO, J.C.N; ALMEDIAD JR, A.C; FORMAGGIO, A.R. Desenvolvimento do Trigo Avaliado com Dois Índices de Vegetação. **Anais...** VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Salvador, Brasil, 14-19 abril 1996, INPE, p. 19-24

ESRI. Manual do Usuário, ESRI, 1998.

FANG, H., LIANG, S., CHEN, M., WALTHALL, C. e DAUGHTRY, C.. Statistical comparison of MISR, ETM+ and MODIS land surface reflectance and albedo products of the BARC land validation core site, USA. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 25, No. 2, 409 – 42, 2004.

FEITOSA, J.R.P. **Uso de Técnica de Sensoriamento Remoto e Imagens Landsat-TM e NOAA-AVHRR na estimativa do balanço de radiação à superfície**. 164f. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). Programa Institucional de Pós-graduação em Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2005.

FERNANDES, L. C. **Avaliação de diversas equações empíricas de evapotranspiração. Estudo de caso: Campos dos Goytacazes e Ilha de Fundão-**

RJ. 142 p. COPPE/UFRJ, Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2006.

FOLHES, M.T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos**. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2007. 186 p. (INPE-14804-TDI/1256).

FOLHES, M.T.; SOARES, J.V.; RENNÓ, C.D.;CORREIA, A.H. Estimativa de fluxos de energia por meio do modelo METRIC em região semi-árida. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril, INPE, p. 3349-3356, 2007.

FRANÇA, G.B. **Atmospheric correction for retrieval of quantitative information from visible and infrared remotely-sensed data**. PhD Thesis from the Faculty of Science and Engineering, University of Dundee, UK, 166p, 1994.

FRANÇA, G.B. e W.S. CARVALHO. Sea surface temperature GOES-8 estimation approach for the Brazilian coast. **International Journal of Remote Sensing**, vol.25, No.17, 3439 – 3450, 2004.

FRANÇA, H. e SETZER, A.W. AVHRR temporal analysis of a savanna site in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 16, p. 3127-3140, 1998.

FRENCH, A.N.; JACOB, F.; ANDERSON, M.C.; KUSTAS, W.P.; TIMMERMANS, W.; GIESKE, A.; SU, Z.; SU, H.; MCCABE, M.F.; LI, F.; PRUEGER, J.; BRUNSELL, N. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). **Remote Sensing of Environment**, n. 99, 2005, p. 55 – 65.

FUCKNER, M.A. **Aplicação de Imagens ASTER no estudo do ambiente urbano de São Paulo e Rio de Janeiro**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto). São José dos Campos: INPE, 2007. 232p. 2007.

GIONGO, P.R.; MOURA, G.B.A.; RÊGO, P.L.; MEDEIROS, S.R.R. Índices de vegetação NDVI, SAVI e IAF estimados com imagens Landsat 5-TM. In: VII Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão, Recife. CD ROM. Recife – PE: Imprensa Universitária – UFRPE, 2007.

HAFEEZ, M. M.; CHEMIM, Y.; VAN DE GIESEN, N.; BOUMAN B. A. M. Field Evapotranspiration in Central Luzon, Philippines, using Different Sensors: Landsat 7 ETM+, Terra Modis and Aster. **Proceedings ...** Symposium on Geospatial theory, Processing and Applications, 2002, Ottawa, Canadá.

HEMAKUMARA, H.M., CHANDRAPALA, L., MOENE, A.F. Evapotranspiration fluxes over mixed vegetation areas measured from large aperture scintillometer. **Agricultural Water Management**, 2003.

HUETE, A.R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment** , v. 25, p. 53-70, 1988.

HUETE, A. R. e TUCKER, C. J. Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared vegetation index imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v.12, p. 1223-1242. 1991.

HUETE, A.R.; LIU, H.Q.; BATCHILY, K.; LEEWEN, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, n. 3, p. 440-451, 1997

IBGE. Base Cartográfica do Estado de Alagoas. Formato Shapefile, disponibilizada no site : < [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) > IBGE, 2000, Acesso em 10/05/2007.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **ATUS** – Atendimento ao usuário: Kit LANDSAT. Cachoeira Paulista. 1996. Catálogo.

INPE. Sistema CBERS. <[http://www.cbbers.inpe.br/pt/programas/cbbers1-2\\_cameras.htm](http://www.cbbers.inpe.br/pt/programas/cbbers1-2_cameras.htm)>. Acesso em: 24/07/2007a.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.itid.inpe.br/selper/image/caderno2/cad20.htm>>. Acesso em: 14/04/2007b.

IQBAL. M. **An Introduction to Solar Radiation**. Library of Congress Cataloging in Publication data, Academic Press Canadian. 1983.

JACOB, F.; WEISS, M.; BARET, F. e HAUTERCOUR, O. Mapping short – wave albedo of agricultural surfaces using airborne POLDER data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 80, 36 – 46, 2002.

JENSEN, JOHN R., **Introductory Digital Image Processing: a Remote Sensing Perspective**. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall. 486p., 1986.

JUÁREZ, R.I.N. **Variabilidade climática regional e controle da vegetação no sudeste: Um estudo de observações sobre Cerrado e Cana-de-açúcar e modelagem numérica da atmosfera**. Tese de Doutorado, 2004, IAG/USP.

KANDIRMAZ, H.M.; YENGINIRL, L.; PESTEMALCI, V. e EMRAHOGLU, N. Daily global solar radiation mapping of Tutkey using Meteosat satellite data. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 25, No. 11, 2159 – 2168, 2004.

KING, M.D.; GREENSTONE, R. **EOS reference handbook**. Greenbelt, NASA, 1999. 361 págs. [online]. < [http://eos.nasa.gov/eos\\_homepage/misc\\_html/refbook.html](http://eos.nasa.gov/eos_homepage/misc_html/refbook.html). > Acesso em 23 de Junho 2007.

KUSTAS, W.P.; DAUGHTRY, C.S.T. e VAN OEVELEN, P.J. Analytical treatment of relationships between soil heat flux/net radiation ratio and vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, vol. 46, 319 – 330, 1994.

KUSTAS, W.P.; MORAN, M.S.; JACKSON, R.D.; GAY, L.W.; DUELL, L.F.W.; KUNKEL, K.E.; MATTHIAS, A.D. Instantaneous and daily values of the surface

energy balance over agricultural fields using remote sensing and a reference field in an arid environment. **Remote Sensing of Environment**, 32:125-141, 1990.

LEEUWEN, W.J.D. e ROUJEAN, J.L. Land surface albedo from synergistic use of polar (EPS) and geo – stationary (MSG) observing systems: An assessment of physical uncertainties. **Remote Sensing of Environment**, vol. 81, 1 – 17, 2002.

LEICA GEOSYSTEMS. **ERDAS Imagine**. Version 8.7. Heerbrugg, 2003. Available at: <<http://gi.leica-geosystems.com>>. Accessed on: 16 nov. 2006.

LEIVAS, J.; GUSSO, A.; FONTANA, D.C e BERLATO, M. Estimativa do balanço de radiação na superfície a partir de imagens do satélite ASTER. **Anais... XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 255-262.

LIANG, S. Narrowband to broadband conversion of Land Surface Albedo algorithms. **Remote Sensing of Environment**, vol. 76, 213 – 238, 2000.

LIANG, S. A direct algorithm for estimating Land Surface broadband Albedos from MODIS Imagery. *IEEE Transactions on Geosciences and Remote Sensing*, 41 (1): 136-145, 2003.

LIANG, S.; C. SHUEY, A.; RUSS, H.; FANG, M.; CHEN, C.; WALTHALL, C. DAUGHTRY. Narrowband to broadband conversions of Land Surface Albedo: II. Validation, **Remote Sensing of Environment**, 84(1):25-41, 2003.

LILLESAND, T.M. e KIEFER, R.W. **Remote sensing and image interpretation**. 2. Ed. New York: J. Wiley, 850p, 1987.

LIMA, D.J e NELSON, B.W. Uso de Índices de Vegetação no monitoramento da cobertura verde no perímetro urbano da cidade de Manaus. **Anais... XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1827 - 1833.

LOPES, G.M. **Balanço de Radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 –TM**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Campina Grande-PB: DCA/CCT/UFCG, 2003.

LOPES H.L.; CANDEIAS A.L.B.; ACCIOLY, L.J.O.; TAVARES JÚNIOR, J.R. Utilização dos parâmetros físicos albedo e temperatura na identificação de áreas degradadas na Bacia do Rio Brígida–PE. **Anais... XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 3119-3127.

LIU, W.T.H. **Aplicações de Sensoriamento remoto**. Vol. I e II. UCDB. Campo Grande-MS. 2003.

MACIEL, M.N.M.M.; LINGNAU, C.; SANQUETTA, C.R.; PÉLLICO, S. Relação entre variáveis digitais de imagem Landsat e variáveis biométricas de uma flor esta primária na Amazônia Oriental. **Anais... XI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Belo Horizonte, abril 2003, INPE, p. 2791-2798.

- MAITY, S.; PATNAIK, C.; CHAKRABORTY, M.; PANIGRAHY, S. Analysis of Temporal Backscattering of Cotton Crops Using a Semiempirical Model, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 42, n. 3, p. 577-587, 2004.
- MARKHAM, B.L., e BARKER, J.L. Thematic Mapper bandpass solar exoatmospheric irradiances. **International Journal Remote Sensing**, 8, 517– 523, 1987.
- MATSUMOTO M.H. e BITTENCOURT M.D. Correlação entre algumas fisionomias de Cerrado, no Vale do Paraíba, e classes de Índices de Vegetação obtidos espectralmente. **Anais... X SBSR**, Foz de Iguaçu, 21-26 abril 2001, INPE, p 1665-1672, Sessão Poster – Iniciação Científica.
- MAURER, J. Retrieval of surface Albedo from Space. This paper was written as part of a graduate course ("Remote Sensing Field Methods") at the University of Colorado at Boulder. On-line: <<http://cires.colorado.edu/~maurerj/albedo/albedo.htm>>, dezembro de 2002.
- MCDONALD, A J.; GEMMELL, F.M.; LEWIS, P. E. **Investigation of the utility of spectral vegetation indices for determining information on coniferous forests.** *Remote Sens. Environ*, 66:250- 272. 1998.
- MCWILLIAN, A.L.C., ROBERTS, J.M., CABRAL, M.R., LEITÃO, M.V.B.R., COSTA, C.L., MAITELLI, G.T., ZAMPARONI, C.A. Leaf Area Index and above ground biomass of terra firme rain Forest and adjacent clearings in Amazônia. **Functional Ecology**. 7. Pg. 210-217, 1993.
- MEIRELES, M. **Estimativa da evaporação real pelo emprego do algoritmo SEBAL e imagem Landsat 5-TM na Bacia do Acaraú – CE.** Dissertação (Mestrado em Irrigação e Drenagem), 89p. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2007.
- MENDONÇA, J.C. **Estimação da Evapotranspiração Regional utilizando Imagens digitais orbitais na região Norte Fluminense.** 167 pag., Tese (Doutorado em Produção Vegetal), UENF, 2007.
- MENDONÇA, J.C., SOUZA, E.F., FREITAS, R.M., LOPES, P.M.O., ANDRÉ, R.G.B. e SILVA, B.B. da. Avaliação das metodologias de estimativa do Albedo da superfície terrestre a partir de imagens MODIS. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007a, INPE, 3469-3474.
- MENDONÇA, J.C., SOUZA, E.F., SILVA, B.B. da, ANDRÉ, R.G.B. e FERREIRA, N.J. Avaliação do Saldo de Radiação obtido com imagens MODIS na região Norte Fluminense, RJ. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007b, INPE.
- MOHAMED, Y.A.; BASTIAANSEN, W.G.M. e SAVENNIJE, H.H.G.; Spatial variability of evaporation and moisture storage in the swamps of the upper Nile studied by remote sensing techniques. **Journal of Hydrology**. V. 289, p.145-164, 2004.

MORAN, M.S.; JACKSON, R.D.; RAYMOND, L.H.; GAY, L.W., e SLATER, P.N. Mapping surface energy balance components by combining Landsat Thematic Mapper and ground based meteorological data. **Remote Sensing of Environment**, 30, 77-87. 1989.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do Sensoriamento Remoto e metodologias de aplicação**. Editora de UFV, 3ª edição, Viçosa, 2005.

MOREIRA, M.A. **Capítulo 7. Adendo ao Livro Fundamentos do Sensoriamento Remoto**. < <http://www.ltid.inpe.br/dsr/mauricio/sensores.htm>.> Acesso em 16/09/2007.

MOREIRA, R.C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. São José dos Campos: INPE, 2000. 179p.

MORSE, A. e ALLEN, R.G. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing – Phase IV: Refinements in an Operational System**. Idaho Department of Water Resources – University of Idaho, 2004.

MORSE, A., KRAMBER, W.J., ALLEN, R.G., TASUMI, M. Preliminary Computation of Evapotranspiration by Land Cover Type Using Landsat TM Data and SEBAL. **Proceedings** of the 2003 International Geophysical and Remote Sensing Symposium; Toulouse, France, 2003a.

MORSE, A.; TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; KRAMBER, W.J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing – Final report**. Idaho Department of Water Resources – University of Idaho, 2001.

MORSE, A.; TASUMI, M.; ALLEN, R.G.; KRAMBER, W.J. **Application of the SEBAL Methodology for Estimating Consumptive Use of Water and Streamflow Depletion in the Bear River Basin of Idaho through Remote Sensing – Final report. Phase III: The Transition to an Operational System**. Idaho Department of Water Resources – University of Idaho, 2003b.

NOVAS, M.F.B., CRUZ, P.P.N., DI PACE, F.T. Uso de índices de vegetação na avaliação da variação de cobertura vegetal na área rural do município de Maceió. **Anais...** XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007, Aracaju SE.

NOVAS, M.F.B., CRUZ, P. N. P. da; SILVA, R., DI PACE, F.T. Análise da variação dos Índices de Vegetação estimados por Sensoriamento Remoto em dois períodos ao sul da Bacia do rio Traipu - AL. **Anais...** II Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologia da Geoinformação. Recife - PE, 8 - 11 de setembro de 2008.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações**. Editora Edgard Blücher, 2ª Edição, 4ª Impressão, São Paulo, São Paulo, 2002.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto, Novas tendências.** Palestra apresentada no II Simpósio Brasileiro de Ciências e Tecnologia da Geoinformação. Recife, PE, 8 – 1 de setembro de 2008.

OLIVEIRA, A.D.S.R. Mapeamento da Temperatura da superfície na mesorregião leste do estado de Alagoas utilizando imagens do TM/Landsat-5. 44p. Monografia (Graduação em Meteorologia), UFAL, 2006.

OLIVEIRA, A.D.S.R, DI PACE, F.T., CABRAL, S. e DA COSTA, N.F.S. Análise preliminar do IVDN e da Temperatura da Superfície na mesorregião leste do estado de Alagoas utilizando imagens do satélite TM/Landsat 5. **Anais...** XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007, Aracaju SE.

OLIVEIRA, L. L.; VIANELLO, R. L.; FERREIRA, N..J.; **Meteorologia Fundamental**, Erechim/RS: EdiFAPES, p. 432, 2001.

ONU. **Relatório da Assembléia Geral da ONU.** Cape Town, África 2001.

PACHÊCO, A.P. **Análise de métodos de determinação de emissividade para alvos da superfície terrestre, na faixa espectral de 8 a 14 mm.** Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), INPE, 155p, (INPE-4984-TDL/394), São José dos Campos - SP 1989.

PACHÊCO, A.P. Sensoriamento Remoto na Faixa espectral do Infravermelho termal (8 - 12 mm). **Revista da Comissão Brasileira de Geodésia GEODESIA** online: 2/2001. <http://geodesia.ufsc.br/Geodesia-online/index.htm>. Acesso em 01/06/2007.

PAIVA, C.M., LIU, W.T.H., FRANÇA, G.B., FILHO, O.C.R. Estimativa das componentes do balanço de energia via satélite através do modelo SEBAL. In: **Anais...** XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, Aug 2004..

PAIVA, C.M. **Estimativa do Balanço de Energia e da Temperatura da Superfície via Satélite NOAA-AVHRR.** Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil), COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, 2005, 248 págs.

QUAIDRARI, H.; GOWARD, S.; CZAJKOWSKI, K.; SOBRINO, J.; VERMOTE, E. Land surface temperature estimation from AVHRR thermal infrared measurements – An assessment for the AVHRR Land Pathfinder II data set. **Remote Sensing of Environment**, v. 81, n. 1, p. 114-128, 2002.

QUADROS, L.M, FILHO COELHO, L.C.T, SOUZA, L.C. de, ATAIDE, M.S., FONSECA, N.S. da, ALVARES, R.P. e PACHECO, W.L. **Elaboração de Metodologia de Atualização Cartográfica da Região Amazônica utilizando Imagens dos Satélites Landsat-7 e CBERS-1.** 4ª Divisão de Levantamento Subdivisão Técnica Seção de Processamento de Imagens, Manaus – AM, 2003.

RICHARDS, A.J. **Remote sensing digital image analysis.** Berlim: Springer- Verlag. 1993.

RIVAS, R. e CASELLES, V. A simplified equation to estimate spatial reference evaporation from remote sensing – based surface temperature and local meteorological data. **Remote Sensing of Environment**, vol. 93, 68 – 76, 2004.

ROBERTS, J.M.; CABRAL, O.M.R.; COSTA, J.P da; MCWILLIAM, A.L.C. e SÁ, T.T de. An overview of the leaf area index and physiological measurements during ABRACOS. In: **Amazonian Deforestation and Climate**. (Eds.: J.H.C. Gash, C.A. Nobre, J.M. Roberts, R.L. Victoria). UK. Pg. 287-306, 1996.

ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. **Remote Sensing of Environment**. v. 11, p. 133-156. 1981.

ROERINK G.J.; S MENENTI, M. S-SEBI: A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. **Physics and Chemistry of the Earth, Part B: Hydrology, Oceans and Atmosphere**, Volume 25, Number 2, pp. 147-157(11), Wageningen, Holanda, 2000.

ROMERO, C.M. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação 2000**. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto), INPE-7528-TDI/735, 2000.

ROSEMBACK, R.; FRANÇA, A.M.S.; FLORENZANO, T.G. Análise comparativa dos dados NDVI obtidos de imagens CCD/CBERS-2 e TM/LANDSAT-5 em área urbana. **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1075-1082.

ROSENDO, J.S.; ROSA, R. A utilização de sensores com resolução moderada (MODIS) no estudo da vegetação na Bacia do Rio Araguari – MG. **Revista Sociedade & Natureza**, Uberlândia, 17 (33): 91 -104, dez 2005.

SANTOS, F.M.S. DOS; MENDONÇA, M.F. DE; MARANGON, G.P.; BARROS, D.A.S. DE; FIGUEIRA, S. B.; SILVA, H. P. DA Comparação entre modelos digitais de terreno gerados para estudos hidrológicos da Bacia Hidrográfica do Riacho Jatobá, Pesqueira, Pernambuco. **Anais...** III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju/SE, 25 a 27 de outubro de 2006.

SANTOS, M., LIMA, J.E.F.W., EID, N,J,, KOIDE, S., SILVA, E.S., BRITO, R.S de. Avaliação preliminar do uso do modelo SEBAL para a estimativa da distribuição espacial da evapotranspiração de uma área do Cerrado. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 3541-3548.

SEBAL. Homepage oficial do SEBAL. <[www.sebal.us](http://www.sebal.us)> . Acesso em 01/03/2008

SEDYIAMA, G. C.; MELO JÚNIOR, J. C. F; SANTOS, A. R; RIBEIRO, A.; COSTA, M. H.; HAMAKAWA, P. J.; COSTA, J. M. N.; COSTA, L. C. Zoneamento agroclimático do cafeeiro (*Coffea arabica* L.) para o estado de Minas Gerais. **Revista**

**Brasileira de Agrometeorologia**, Passo Fundo, v.9, n.3, (Nº Especial: Zoneamento Agrícola), p.501-509, 2001.

SELLERS, H. e HUGHES. **Albedo and its importance in climate theory** Progress in Physical Geography. 1982; 6: 1-44.

SEMARHN/COHIDRO. **Plano Diretor da Região Hidrográfica Pratygy**. Relatório, Secretaria Executiva de Meio Ambiente, Recursos Hídricos e Naturais – SEMARHN e a COHIDRO – Consultoria, Estudos e Projetos S/C Ltda, 2006.

SILVA, B. B. **Balanco de Radiação com dados AVHRR/NOAA – 14**. Campina Grande: DCA/CCT/UFCEG, 2002, 21p.

SILVA, B.B. da. **Mini-curso: Balanco de Energia com técnicas de Sensoriamento Remoto e imagens de satélite**. Apostila disponibilizada em aula, Maceió-AL, novembro de 2005.

SILVA, B.B. da; BEZERRA, M.V.C. Determinação dos componentes do balanço de energia à superfície com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície. In: **Anais...** XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, p. 3325-3332, 2005.

SILVA, B.B da; BEZERRA, M.V.C.; BRAGA, A.C.; SILVA, S.T.A da. Obtenção do Albedo de áreas irrigadas e de vegetação nativa em Petrolina e vizinhanças com imagem Landsat 7 - ETM+. **Anais...** III Simpósio Regional de Geoprocessamento e Sensoriamento Remoto, Aracaju/SE, 25 a 27 de outubro de 2006.

SILVA, B. B. da; BEZERRA, M.V.C.; BRAGA, A.C.; SILVA, S.T.A. da; SOBRINO, J.A. e EL KHARRAZ, J. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. **International Journal of Remote Sensing**, vol.24, No. 24, 5161 – 5182, 2003.

SILVA, B.B. da, FEITOSA, J.R., MOURA, S.B., GALVÍNCIO, J.D., COSTA, F.J.F. Determinação do albedo no Perímetro irrigado Nilo Coelho utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat 5-TM. **Anais...** Congresso Brasileiro de Meteorologia XII, 2002, Foz de Iguaçu. Paraná.

SILVA, B.B. da; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. Determinação de albedo de áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. V. 13. n. 2. p. 201-211, 2005a.

SILVA, B.B. da; LOPES, G.M.; AZEVEDO, P.V. Balanco de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. **Revista Brasileira de Meteorologia**. V. 20. n. 2. p. 243-252, 2005b.

SILVA, J.W.F da. e SANTOS, R.L. Estimativa da temperatura da superfície do solo de uma região semi-árida a partir do IRMSS (banda 4) do CBERS-2. **Anais...** XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 1159-1166.

SOBRINO J.A.; COLL, C. e CASELLES V. Atmospheric corrections for land surface temperature using AVHRR channel 4 and 5. **Remote Sensing of Environment**, 38: 19–34, 1991.

SOBRINO, J.A. e EL KHARRAZ, J. Surface temperature and water vapour retrieval from MODIS data. **International Journal of Remote Sensing**, vol.24, No.24, 5161 – 5182, 2003.

SOBRINO, J.A.; JIMÉNEZ–MUÑOZ, J.C.; EL–KHARRAZ, GÓMEZ,J.M.; ROMAGUERRA,M. e SÒRIA, G.. Single – channel and two – channel methods for land surface temperature retrieval from DAIS data and its application to the Barrax site. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 25, No. 1, 215 – 230, 2004

SOBRINO, J.A, LI, Z.L.; STOLL, M.P. e BECKER, F. Multi-channel and multiangle algorithms for estimating sea and land surface temperature with ASTER data. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 17, No.11, 2089-2114, 1996.

SOKOLIK, I.N., The spectral radiative signature of wind-blown mineral dust: Implications for remote sensing in the thermal IR region, **Geophys. Res. Lett.**, 29(24), 2154, 2002.

SONG, J. Diurnal asymmetry in surface albedo. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.92, n. 3, p181-189, May 1998.

SOUZA, J.D. **Modelo físico-matemático de correção atmosférica para imagens TM - Landsat 5 e MODIS-Terra/Aqua**. Tese (Doutorado em Meteorologia). Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, 200p. 2008.

SOUZA, J.L. de e ESCOBEDO, J.F. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Jan.1997, vol.32, nº.1, p.1-15.

SOUZA, J.L. de, ESCOBEDO, J.F. e TORNERO, M.T.T. Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Oct. 1999, vol.34, nº.10, p.1763-1774.

STROEVE, J.; BOX, J.;GAO, F.; LIANG, S. ; NOLIM, A. ; SCHAAF, C. Accuracy assessment of the MODIS 16-day Albedo product. **Geophysical Research Abstracts**, Vol. 6, 05353, 2004.

SUDENE. **Dados hidrometeorológicos do Nordeste**. Recife, 1990.

TARPLEY, J.D., 1994: Monthly evapotranspiration from satellite and conventional meteorological observations. **Bulletin of American Meteorological Society**, vol. 7, No. 5, 703 – 713, 1994.

TASUMI, M. **Progress in operation estimation of regional evapotranspiration using satellite imagery**. 379 pag. A Dissertation for the Degree of Doctor with a Major in Biological and Agricultural Engineering, University of Idaho, USA, 2003.

- TASUMI, M.; ALLEN, R. G.; TREZZA, R. At-Surface Reflectance and Albedo from Satellite for operational calculation of Land Surface Energy Balance. **Journal. Hydrologic Engrg.** Volume 13, Issue 2, pp. 51-63, February 2008.
- TASUMI, M., TREZZA, R., ALLEN, R.G., WRIGHT, J.L. "U.S. validation tests on the SEBAL model for evapotranspiration via satellite". In: **Proceedings .. ICID Workshop on Remoting Sensing of ET for large regions**, Paris, Jun de 2003.
- TASUMI M., TREZZA R., ALLEN R.G. e WRIGHT, J.L. Operational aspects of satellite-based energy balance models for irrigated crops in the semi-arid U.S. **Irrigation and Drainage Systems** (2005) 19: 355–376 \_C Springer 2005b.
- TASUMI, M., ALLEN, R. G. e TREZZA, R. Estimation of at surface reflectance and albedo from satellite for routine, operational calculation of land surface energy balance. **Journal of Hydrology**, 2007.
- TENALEM, A. Evapotranspiration estimation using thematic mapper spectral satellite data in the Ethiopian rift and adjacent highlands. **Journal of Hydrology**, vol. 279, 83-93, 2003.
- TEIXEIRA, A.H.C. e LIMA FILHO, J.M.P. Relações entre o Índice de Área Foliar e Radiação Solar na cultura da videira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n. 2, p. 143-146, 1997.
- THE SURFACE ENERGY BALANCE ALGORITHM FOR LAND (SEBAL). Disponível em: < <http://www.waterwatch.nl/>> Acesso em 20 de Agosto de 2007.
- TIMMERMANS, W.J. e MEIJERINK, A.M.J. Remotely sensed actual evapotranspiration: implications for groundwater management in Botswana. **Journal of Applied Earth Observations**, vol. 1, 222-233, 1999.
- TREZZA R. **Evapotranspiration using a satellite-based Surface energy balance with Standardized ground control**. 247f. Thesis (Doctor of Philosophy in Biological and Agricultural Engineering). Utah State University. Logan, Utah, 2002.
- TREZZA R. Estimation of Crop Water use from Satellite-based Surface Energy Balance Models for Water Management in Irrigation Districts in Venezuela, South America. Earth Observation for vegetation monitoring and water management Napoli, 10-11 November 2005.
- UFCG – **Universidade Federal da Campina Grande**. Dados pluviométricos de postos situados no Estado de Alagoas [on-line]. <[www.dca.ufcg.edu.br](http://www.dca.ufcg.edu.br)>. Visitado em 10 de abril de 2006.
- VIANELLO, L.R. e ALVES, A.R. **Meteorologia básica e aplicações**. Impr. Univ., UFV, Viçosa, 449p, 2004.
- WANDELLI, E. V. e MARQUES FILHO, A.O. Medidas de radiação solar e índice de área foliar em coberturas vegetais. **Acta Amazônica**. 29(1). Pg. 57-78, 1999.

WANG, J., WHITE, K. e ROBINSON, G.J. Estimating surface net solar radiation by use of Landsat-5 TM and digital elevation models. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 21, No. 1, 31 – 43, 2000.

WELIGEPOLAGE, K. **Estimation of Spatial and Temporal distribution of Evapotranspiration by satellite remote sensing. A case study in Hupselse Beek**, Thesis submitted to the International Institute for Geo-information Science and Earth Observation – ITC, in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Geo-information Science and Earth Observation in Water Resources and Environmental Management, 2005.

ZHAO, D.; ZHANG, W. e LIU, C.S. A modified S-SEBI algorithm to estimate evapotranspiration using landsat ETM+ image and meteorological data over the Hanjiang Basin, China. <Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2007. IGARSS 2007. IEEE International>. July 2007 pag.: 3253-3256, Barcelona, 2007.

## **ANEXOS**

## 1 - LANDSAT

### ANEXO 1 -: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS SATÉLITES

Quadro A.1 – As principais características dos satélites do sistema Landsat (adaptada de EMBRAPA, 2007).

Missão		Landsat						
País/Região		Estados Unidos						
		Instituição Responsável - NASA (National Aeronautics and Space Administration)						
Satélite	LANDSAT 1	LANDSAT 2	LANDSAT 3	LANDSAT 4	LANDSAT 5	LANDSAT 6	LANDSAT 7	
Lançamento	27/7/1972	22/1/1975	5/3/1978	16/7/1982	1/3/1984	5/10/1993	15/4/1999	
Situação Atual	Inativo (06/01/1978)	Inativo (25/02/1982)	Inativo (31/03/1983)	Inativo (1993)	Em atividade	Inativo (05/10/1993)	Inativo (2003)	
Órbita	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	Polar, Circular e heliossíncrona	s.d.	Polar, Circular e heliossíncrona	
Altitude	917 km	917 km	917 km	705 km	705 km	s.d.	705 km	
Inclinação	99,9°	99,2°	99,1°	98,3°	98,3°	s.d.	98,2°	
Duração da Órbita	103,27 min	103,27 min	103,27 min	98,20 min	98,20 min	s.d.	98,9 min	
Horário de Passagem	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:15 A.M.	9:45 A.M.	9:45 A.M.	s.d.	10:00 A.M.	
Revisita	18 dias	18 dias	18 dias	16 dias	16 dias	s.d.	16 dias	
Sensores	RBV e MSS	RBV e MSS	RBV e MSS	MSS e TM	MSS e TM	ETM	ETM+	
Resolução-m	80 e 80	80 e 80	30 e 80	80 e 30	80 e 30	<b>15 (pan)30 ms</b>	<b>15 (pan) 30ms</b>	

s.d. = sem dados/informações. \*RBV = return beam vidicon; MSS = multispectral scanner system; TM = thematic mapper; ETM+ = enhanced thematic mapper plus; pan = pancromático; ms = multiespectral;

Quadro A.2 - Bandas Espectrais do Landsat 5 e suas aplicações (Adaptada de LILLESAND & KIEFER, 1987 e INPE 1996).

<b>Banda</b>	<b>Comprimento de Onda (µm)</b>	<b>Características espectrais e suas Aplicações</b>
<b>1</b>	0,45-0,52	Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares. Observa grande penetração em corpos de água, permitindo estudos batimétricos e mapeamento de corpos da água; diferenciação de água e solo. Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial.
<b>2</b>	0,52-0,60	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão na água, sendo utilizada para estudos de qualidade d'água. Tem boa penetração em corpos d'água. Reflexão de vegetação sadia.
<b>3</b>	0,63-0,69	Absorção de clorofila; diferenciação de espécies vegetais, solo úmido e solo seco. Mais usada para detecção das manchas urbanas.
<b>4</b>	0,76-0,90	Levantamentos de biomassa, copas das árvores, rios. Sensível a morfologia do terreno assim o seu uso na geologia e geomorfologia. Mapeamento a vegetação queimada.
<b>5</b>	1,55-1,75	Detecção de umidade da vegetação e do solo.
<b>6</b>	10,4-12,50	No mapeamento de estresse térmico em plantas, estudos de propriedade termal dos solos, mapeamento da temperatura de superfície de águas oceânicas superficiais, informações importantes para pesca e clima e estudos de ilhas urbanas de calor.
<b>7</b>	2,08-2,35	Sensibilidade à morfologia do terreno; identificação de minerais com hidroxilas; discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

## 2 – NOAA

Quadro A.3 - As principais características dos satélites do sistema NOAA (adaptada de EMBRAPA, 2007).

<b>Missão</b>	<b>NOAA</b>				
<b>Instituição Responsável - NESDIS e NASA</b>					
<b>País/Região</b>	<b>Estados Unidos</b>				
<b>Satélite</b>	<b>NOAA-12</b>	<b>NOAA-14</b>	<b>NOAA-15</b>	<b>NOAA-16</b>	<b>NOAA-17</b>
Lançamento	14/05/1991	30/12/1994	13/05/1998	21/09/2000	24/06/2002
Situação Atual	Ativo	Ativo	Ativo	Ativo	Ativo
Órbita	Polar e hélios-síncrona				
Altitude	833 km	870 km	833 km	870 km	833 km
Inclinação	98,6°	98,9°	98,7°	98,7°	98,7°
Tempo/Duração	101,2 min	102 min	101 min	102 min	102 min

da Órbita					
Período de Revisita	Diário	Diário	Diário	Diário	Diário
<b>Instrumentos Sensores</b>	<b>AVHRR e TOVS</b>	<b>AVHRR e TOVS</b>	<b>AVHRR/3 e TOVS</b>	<b>AVHRR/3 e TOVS</b>	<b>AVHRR/3 e TOVS</b>

### 3 – CBERS

Quadro A.4 - As principais características dos satélites do programa CBERS (Adaptada de EMBRAPA, 2007).

<b>Missão</b>	<b>CBERS</b>		
<b>Instituição Responsável - INPE e CAST</b>			
<b>País/Região</b>	<b>Brasil e China</b>		
<b>Satélite</b>	<b>CBERS 1</b>	<b>CBERS 2</b>	<b>CBERS 2-B</b>
Lançamento	14/10/1999	21/10/2003	19/09/2007
Situação Atual	Ativo	Ativo	Ativo
Órbita	Circular, quase-polar e heliossíncrona	Circular, quase-polar e heliossíncrona	Circular, quase-polar e heliossíncrona
Altitude	778 km	778 km	-
Inclinação	98°	98°	
Duração da Órbita	100,26 min	100,26 min	-
Horário de Passagem	10:30 A.M.	10:30 A.M.	-
Revisita	26 dias	26 dias	26 dias
<b>Instrumentos Sensores</b>	<b>Câmara CCD, IRMSS e WFI</b>	<b>Câmara CCD, IRMSS e WFI</b>	<b>Câmara HCR, CCD e WFI</b>

### 4 – TERRA

Quadro A.5 - As principais características do satélite TERRA (adaptada de EMBRAPA, 2007).

<b>Missão</b>	<b>Earth Observing System (EOS)</b>
Instituição Responsável	NASA
País/Região	Estados Unidos
<b>Satélite</b>	<b>TERRA</b>
Lançamento	18/12/1999
Situação Atual	Ativo
Órbita	Polar e heliossíncrona
Altitude	705 km

Inclinação	98,2°
Tempo de Duração da Órbita	98,1 min
Horário de Passagem	10:30 A.M.
Período de Revisita	16 dias
<b>Instrumentos Sensores</b>	<b>ASTER, MODIS, MISR, CERES e MOPPIT</b>

Quadro A.6 - Bandas espectrais do satélite TERRA e suas resoluções (Adaptada de EMBRAPA, 2007).

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
<b>ASTER</b>	VNIR	3 bandas: (0,52-0,86µm)	15 m	s.d.	60 km
	SWIR	6 bandas: (1,6-2,43µm)	30 m		
	TIR	5 bandas: (8,125-11,65µm)	90 m		
<b>MODIS</b>	1	620 - 670 nm	250 m	1 a 2 dias	330 x 5000km
	2	841 - 876 nm	500 m		
	3	459 - 479 nm			
	4	545 - 565 nm			
	5	1230 - 1250 nm			
	6	1628 - 1652 nm			
	7	2105 - 2155 nm			
	8	405 - 420 nm	1000 m		
	9	438 - 448 nm			
	10	483 - 493 nm			
	11	526 - 536 nm			
	12	546 - 556 nm			
	13	662 - 672 nm			
	14	673 - 683 nm			
	15	743 - 753 nm			
	16	862 - 877 nm			
	17	890 - 920 nm			
	18	931 - 941 nm			
	19	915 - 965 nm			
	20	3660 - 3840 nm			
	21	3929 - 3989 nm			
	22	3929 - 3989 nm			
	23	4020 - 4080 nm			
	24	4433 - 4498 nm			
	25	4482 - 4549 nm			
	26	1360 - 1390 nm			
	27	6535 - 6895 nm			
	28	7175 - 7475 nm			
	29	8400 - 8700 nm			
	30	9580 - 9880 nm			

	31	10780 - 11280 nm			
	32	11770 - 12270 nm			
	33	13185 - 13485 nm			
	34	13485 -13785 nm			
	35	13785 -14085 nm			
	36	14085 -14385 nm			
s.d. = sem dados/informações					