



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

Nº de ordem: MET-UFAL-MS-042

**ESTIMATIVA DA TEMPERATURA E DO SALDO DE RADIAÇÃO À
SUPERFÍCIE TERRESTRE EM MACEIÓ-AL UTILIZANDO IMAGENS
TM/LANDSAT 5**

TACIANA LIMA ARAUJO

**Maceió - AL
Agosto/2006**



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



**ESTIMATIVA DA TEMPERATURA E DO SALDO DE RADIAÇÃO À
SUPERFÍCIE TERRESTRE EM MACEIÓ-AL UTILIZANDO IMAGENS
TM/LANDSAT 5**

Por

TACIANA LIMA ARAUJO

Orientador:

Prof. Dr. FREDERICO TEJO DI PACE

**Maceió – AL
Agosto/2006**



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



**ESTIMATIVA DA TEMPERATURA E DO SALDO DE RADIAÇÃO À
SUPERFÍCIE TERRESTRE EM MACEIÓ-AL UTILIZANDO IMAGENS
TM/LANDSAT 5**

TACIANA LIMA ARAUJO

**Dissertação submetida ao Colegiado do
Curso de Pós-graduação em Meteorologia
da Universidade Federal de Alagoas -
UFAL, como parte dos requisitos
necessários à obtenção do Grau de Mestre
em Meteorologia. N° de ordem: MET-
UFAL-MS-042**

**Maceió - AL
Agosto/2006**

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

A663e Araujo, Taciana Lima.
Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/LANDSAT / Taciana Lima Araujo. – Maceió, 2006.
xvi, 88f. : il., graf. tab.

Orientadores: Frederico Tejo Di Pace.
Dissertação (mestrado em Meteorologia : Processos de Superfície Terrestre) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2006.

Bibliografia: f. 85-88.

1. Sensoriamento remoto. 2. Temperatura da superfície terrestre. 3. Saldo de radiação. I. Título.

CDU: 551.521.32 (813.5)



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

CERTIFICADO DE APRESENTAÇÃO

"Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre de Maceió - AL, utilizando dados do satélite TM - LANDSAT 5"

TACIANA LIMA ARAÚJO

Dissertação submetida ao colegiado do Curso de Pós-Graduação em Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas - UFAL, como parte dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Meteorologia. N.º de ordem: MET-UFAL-MS-042.

Aprovada pela Banca Examinadora composta por:

Frederico Tejo Di Pace

Prof. Dr. Frederico Tejo Di Pace
(Orientador)

Bernardo Barbosa da Silva

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

Gianna Melo Barbirato

Prof.(a) Dr.(a) Gianna Melo Barbirato
(Membro)

- Maceió - AL -

Agosto/2006

DEDICATÓRIA

Aos meus pais,

Vera Lúcia e Paulo Roberto, pelo carinho, amor e compreensão, oferecidos ao longo da minha trajetória.

Às minhas irmãs,

Juliana e Luciana, pelo incentivo no desenvolvimento desta pesquisa.

Às minhas sobrinhas,

Beatriz e Julia, pelos momentos de descontração, alegria e amor.

Ao meu noivo,

Ricardo, pela compreensão, dedicação e paciência, durante a realização desta pesquisa.

Amo todos vocês.

AGRADECIMENTOS

A Frederico Tejo Di Pace, orientador da dissertação, pelo estímulo e apoio em diversas fases da elaboração;

A Fapeal (Fundação de Amparo à Pesquisa de Alagoas) pelo apoio dado ao desenvolvimento desta pesquisa;

Ao Instituto de Ciências Atmosféricas, pela oportunidade concedida;

A Universidade Federal de Campina Grande por ter liberado os cálculos do software ERDAS 8.5 através da coordenação de Pós-graduação em Meteorologia;

Ao Prof. Dr. Manoel da Rocha Toledo, pelo apoio e incentivo dado no início da pesquisa;

Aos professores do Mestrado pelos ensinamentos concedidos;

E a todos que direta e indiretamente colaboraram na condução e realização do presente trabalho.

RESUMO

ARAÚJO, Taciana Lima. Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/Landsat 5. Maceió, 2006, 90 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas – Coordenação de Pós-graduação.

O trabalho proposto estima, mediante dados de imagens multiespectrais do Landsat 5- TM, índices de vegetação, albedo, temperatura da superfície terrestre e o saldo de radiação da cidade de Maceió, relacionando-os com a malha urbana. O município de Maceió, nos últimos 30 anos, teve seu crescimento areal intensificado, o que resulta substituição de áreas verdes por uma zona urbana edificada, alterando o relevo, impermeabilizando o solo, diminuindo assim a participação do fluxo de calor no solo do balanço de energia na superfície e aumentando o fluxo de calor sensível, responsável pela sensação térmica sentida. Portanto, mudanças locais causadas por edificações e ocupações inadequadas provocaram alterações no conforto urbano ambiental. As imagens utilizadas são compostas por sete bandas espectrais do Landsat 5 - TM referentes aos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003. Os cálculos foram realizados com a utilização do software ERDAS 8.5. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) apresentou valores médios de 0,188 para o ano de 1990, 0,253 para 1998 e 0,242 para 2003. De acordo com os resultados houve aumento do IVDN, o que poderia levar a conclusão de que ocorreu uma intensificação da cobertura vegetal. O albedo da superfície encontrado foi de 12,06% para o ano de 2003 seguidos por 9,95% para 1998 e 9,84% para 1990, sendo este o mais baixo valor apresentando se comparado aos outros anos estudados na pesquisa. A temperatura da superfície terrestre estimada foi maior para o ano de 1998 sendo de 26,96°C seu valor médio e para os anos de 1990 e 2003 foi praticamente a mesma, sendo de 24,19°C e 24,90°C, respectivamente. Os valores instantâneos do saldo de radiação na superfície foi menor para o ano de 1990 e com médias próximas entre os anos de 1998 e 2003. Os valores obtidos foram: 586,35W/m² para 1990, 763,06W/m² para 1998 e 752,32W/m² para 2003. Para a obtenção de uma avaliação mais detalhada da pesquisa seria necessário levar em consideração a topografia local pela utilização do Modelo de Elevação Digital – MED.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, temperatura da superfície terrestre, saldo de radiação.

ABSTRACT

The considered work esteem, by means of data of multispectral images of the Landsat 5 - TM, vegetation indices, albedo, surface temperature surface and the balance of radiation of the city of Maceió relating them with the urban mesh. The city of Maceió, in last the 30 years, it had its intensified areal growth, that is, the substitution of green areas for a built urban zone, modifying the relief, waterproofing the ground, thus diminishing the participation of the flow of heat in the ground of the rocking of energy in the surface and increasing the flow of responsible sensible heat for the felt thermal sensation. Therefore, local changes caused by constructions and inadequate occupations had provoked alterations in the ambient urban comfort. The used images are composed for seven referring spectral bands the Landsat 5 - TM to days 11 of June of 1990, 21 of September of 1998 and 03 of September of 2003. The calculations had been carried through with the use of software ERDAS 8.5. The Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) presented average values of 0.188 for the year of 1990, 0.253 for 1998 and 0.242 for 2003. In accordance with the results had increase of the NDVI, what it could take the conclusion of that occurred an intensification of the vegetal covering. The surface albedo was of 12.06% for the year of 2003 followed by 9.95% for 1998 and 9.84% for 1990, being this the lowest value presenting if compared with the other years studied in the research. The temperature of the terrestrial surface estimate was bigger for the year of 1998 being of 26.96°C the average value and for the years of 1990 and 2003 she was practically the same one, being of 24.19°C and 24.90°C respectively. The instantaneous values of the balance of radiation in the surface were lesser for the year of 1990 and with averages next between the years to 1998 and 2003. The gotten values had been: 586.35W/m² for 1990, 763.06W/m² for 1998 and 752.32W/m² for 2003. For the attainment of a detailed evaluation more of the research it would be necessary to take in consideration the local topography for the use of the Digital Elevation Model - DEM.

Word-key: Remote sensing, surface temperature, radiation balance.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.....	i
AGRADECIMENTOS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
SUMÁRIO.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE QUADROS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
SIGLAS E SÍMBOLOS.....	xv
1 - INTRODUÇÃO.....	01
2 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	04
2.1 - SENSORIAMENTO REMOTO.....	04
2.2 - SATÉLITE LANDSAT TM.....	07
2.3 – O USO DO SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land).....	10
2.4 - ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: IVDN, IVAS e IAF.....	12
2.5 - ALBEDO.....	13
2.6 – TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE (TS).....	15
2.7 – SALDO DE RADIAÇÃO.....	19
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1 - MATERIAL.....	22
3.1.1 – CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ.....	22
3.1.2 - IMAGENS DE SATÉLITE.....	26
3.2 - MÉTODOS.....	27
3.2.1 - ETAPA 1 (Calibração Radiométrica).....	29

3.2.2 – ETAPA 2 (Reflectância Monocromática)	30
3.2.3 – ETAPA 3 (Albedo no Topo da Atmosfera).....	30
3.2.4 – ETAPA 4 (Albedo da Superfície).....	31
3.2.5 – ETAPA 5 (Índices de Vegetação: IVDN, IVAS e IAF).....	31
3.2.6 – ETAPA 6 (Emissividades)	32
3.2.7 – ETAPA 7 (Temperatura da Superfície).....	33
3.2.8 – ETAPA 8 (Radiação de Onda Longa Emitida)	33
3.2.9 – ETAPA 9 (Radiação de Onda Curta Incidente).....	34
3.2.10 – ETAPA 10 (Radiação de Onda Longa Incidente).....	34
3.2.11 – ETAPA 11 (Saldo de Radiação).....	35
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO	38
4.1 - TRANSMISSIVIDADE E EMISSIVIDADE.....	41
4.2 - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN).....	41
4.3 - ALBEDO.....	45
4.4 - TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	49
4.5 - SALDO DE RADIAÇÃO	64
5 – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	81
5.1 – CONCLUSÕES	81
5.2 – RECOMENDAÇÕES.....	83
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	84

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 -	Descrição dos coeficientes de calibração máxima (b) e mínima (a), irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (Toa) e os intervalos dos comprimentos de onda referentes às bandas do Mapeador Temático (TM).	29
Tabela 02 -	Descrição dos bairros existentes em cada Região Administrativa.	37
Tabela 03 -	Valores da declinação solar, ângulo zenital, ângulo horário, distância relativa Terra-Sol, a temperatura do ar próximo a superfície no dia da passagem do TM Landsat 5 pela área de estudo.....	38
Tabela 04 -	Valores estatísticos da emissividade da superfície (mínimo, Máximo, média, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003	41
Tabela 05 -	Valores estatísticos do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), mínimo, Máximo, média, moda, desvio padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003	42
Tabela 06 -	Valores estatísticos do albedo da superfície (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003	46
Tabela 07 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003	50
Tabela 08 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 1, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	57
Tabela 09 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para o recorte da Região Administrativa 2, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	58
Tabela 10 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para o recorte da Região Administrativa 3, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	59

Tabela 11 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para o recorte da Região Administrativa 4, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	60
Tabela 12 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 5, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	61
Tabela 13 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 6, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	62
Tabela 14 -	Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 7, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	63
Tabela 15 -	Valores estatísticos do saldo de radiação (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003 para a cidade de Maceió	64
Tabela 16 -	Valores médios obtidos para o cálculo do saldo de radiação dos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.	66
Tabela 17 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 1, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	73
Tabela 18 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para o recorte da Região Administrativa 2, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	74
Tabela 19 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para o recorte da Região Administrativa 3, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	75
Tabela 20 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para o recorte da Região Administrativa 4, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	76

Tabela 21 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 5, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	77
Tabela 22 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 6, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	78
Tabela 23 -	Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 7, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.....	79

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Sensores e Bandas Espectrais – comparativo MSS e TM.....	08
Quadro 02 – Intervalos dos comprimentos de onda da banda espectral do MSS/Landsat	08
Quadro 03 – Características espectrais das bandas do sensor TM/Landsat.....	09

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 -	Esquema representativo dos quatros elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto	05
Figura 02 -	Localização do município de Maceió	22
Figura 03 -	Mapa do município de Maceió, dividido em Regiões Administrativas (RA), conforme a Secretaria Municipal de Coordenação das Regiões Administrativas (SEMCRA) da Prefeitura de Maceió, AL, ano 2002.	24
Figura 04 -	Imagem do município de Maceió por satélite com as coordenadas referentes e limites das Regiões Administrativas.	27
Figura 05 -	Fluxograma com as etapas do processamento das imagens.	28
Figura 06 -	Imagem do município de Maceió delimitando os recortes nas Regiões Administrativas.....	36
Figura 07 -	Composição das bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente a área de estudo para o dia 11 de junho de 1990.....	39
Figura 08 -	Composição das bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente a área de estudo para o dia 21 de setembro de 1998	40
Figura 09 -	Composição das bandas 1, 2, 3 e 4 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente a área de estudo para o dia 03 de setembro de 2003	40
Figura 10 -	Histograma de frequência do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 11 de junho de 1990	43
Figura 11 -	Histograma de frequência do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 21 de setembro de 1998.....	43
Figura 12 -	Histograma de frequência do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 03 de setembro de 2003	43
Figura 13 -	Imagem do Índice de vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 11 de junho de 1990.....	44
Figura 14 -	Imagem do Índice de vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 21 de setembro de 1998.	44
Figura 15 -	Imagem do Índice de vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 03 de setembro de 2003.	45
Figura 16 -	Histograma de frequência do Albedo da Superfície para o dia 11 de junho de 1990.	47

Figura 17 -	Histograma de frequência do Albedo da Superfície para o dia 21 de setembro de 1998.....	47
Figura 18 -	Histograma de frequência do Albedo da Superfície para o dia 03 de setembro de 2003.....	47
Figura 19 -	Imagem do Albedo da superfície para o dia 11 de junho de 1990.	48
Figura 20 -	Imagem do Albedo da superfície para o dia 21 de setembro de 1998.....	48
Figura 21 -	Imagem do Albedo da superfície para o dia 03 de setembro de 2003.....	49
Figura 22 -	Dados de precipitação total diária (mm) nos meses de junho de 1990 e setembro de 1998 e 2003	51
Figura 23 -	Imagem da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.....	52
Figura 24 -	Imagem da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 03 de setembro de 2003 (b) respectivamente.....	53
Figura 25 -	Imagem da temperatura da superfície para o dia 03 de setembro de 2003 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.....	54
Figura 26 -	Histograma de frequência da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990..	55
Figura 27 -	Histograma de frequência da temperatura da superfície para o dia 21 de setembro de 1998.....	56
Figura 28 -	Histograma de frequência da temperatura da superfície para o dia 03 de setembro de 2003.....	56
Figura 29 -	Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 1 para os anos de 1990, 1998 e 2003	58
Figura 30 -	Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 2 para os anos de 1990, 1998 e 2003	59
Figura 31 -	Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 3 para os anos de 1990, 1998 e 2003	60
Figura 32 -	Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 4 para os anos de 1990, 1998 e 2003	61
Figura 33 -	Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 5 para os anos de 1990, 1998 e 2003	62

Figura 34 - Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 6 para os anos de 1990, 1998 e 2003	63
Figura 35 - Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 7 para os anos de 1990, 1998 e 2003	64
Figura 36 - Histograma de frequência do saldo de radiação para o dia 11 de junho de 1990.	68
Figura 37 - Histograma de frequência do saldo de radiação para o dia 21 de setembro de 1998.....	68
Figura 38 - Histograma de frequência do saldo de radiação para o dia 03 de setembro de 2003.....	68
Figura 39 - Imagem do saldo de radiação para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.	70
Figura 40 - Imagem do saldo de radiação para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 03 de setembro de 2003 (b) respectivamente.	71
Figura 41 - Imagem do saldo de radiação para o dia 03 de setembro de 2003 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.	72
Figura 42 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 1 para os anos de 1990, 1998 e 2003	74
Figura 43 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 2 para os anos de 1990, 1998 e 2003	75
Figura 44 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 3 para os anos de 1990, 1998 e 2003	76
Figura 45 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 4 para os anos de 1990, 1998 e 2003	77
Figura 46 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 5 para os anos de 1990, 1998 e 2003	78
Figura 47 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 6 para os anos de 1990, 1998 e 2003	79

Figura 48 - Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 7 para os anos de 1990, 1998 e 2003	80
--	----

SIGLAS E SÍMBOLOS

AVHRR	- Advanced Very High Resolution Radiometer
ERTS-1	- Earth Resources Technology Satellite 1
ETM ⁺	- Enhanced Thematic Mapper Plus
IAF	- Índice de Área Foliar
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IVAS	- Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IVDN	- Índice de Vegetação da Diferença Normalizada
MBEU	- Modelo de Balanço Energético Unidimensional
MED	- Modelo de Elevação Digital
MSS	- Multispectral Scanner Subsystem
NASA	- National Aeronautics and Space Administration
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
PAR	- Radiação Fotossinteticamente Ativa
RA	- Região Administrativa
RBV	- Return Beam Vidicon
REM	- Radiação Eletromagnética
SEBAL	- Surface Energy Balance Algorithm for Land
SEMCRA	- Secretaria Municipal de Coordenação das Regiões Administrativas
TIROS	- Television and Infrared Observation Satellite
TM	- Thematic Mapper
$k_{\lambda i}$	- Irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera
σ	- constante de Stefan-Boltzman.
α	- Albedo da Superfície
γ	- Ângulo de Aspecto da Superfície
ω	- Ângulo Horário
δ	- Declinação do Sol
ϕ	- Latitude
ρ_{IV}	- Reflectividade do infravermelho próximo
ρ_V	- Reflectividade do vermelho

$\rho_{\lambda i}$	- Reflectância monocromática de cada banda (λi)
ϵ_o	- Emissividade da Superfície
ϵ_a	- Emissividade atmosférica
ϵ_{NB}	- Emissividade Termal
α_p	- Radiação solar refletida pela atmosfera
τ_{sw}	- Transmissividade Atmosférica
α_{toa}	- Albedo Planetário
d_{T-S}	- Distância relativa Terra-Sol
$L_{\lambda i}$	- Radiância Espectral
$R_{L\uparrow}$	- Radiação de Onda Longa Emitida Pela Superfície
$R_{L\downarrow}$	- Radiação de Onda Longa Incidente
R_n	- Saldo de Radiação
$R_{S\downarrow}$	- Radiação de Onda Curta Incidente
S	- Inclinação do Terreno
S_o	- Constante Solar
T_a	- Temperatura do Ar
T_s	- Temperatura da Superfície Terrestre
UA	- Unidade Astronômica
Z_i	- Ângulo Zenital do Sol

1. INTRODUÇÃO

O município de Maceió, nos últimos 30 anos, teve seu crescimento areal mais intensificado, ou seja, a substituição de áreas verdes por uma zona urbana edificada, alterando o relevo, impermeabilizando o solo, diminuindo assim a participação do fluxo de calor no solo do balanço de energia na superfície e aumentando o fluxo de calor sensível responsável pela sensação térmica sentida. Nota-se, também, diferentes padrões de reflectividade, ou de albedo, que são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil, sendo perceptível que dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície. Portanto, tem-se como hipótese fundamental que a cidade de Maceió tem apresentado aumento da temperatura do ar, ocorrido por mudanças locais causadas por edificações e ocupações inadequadas, e o saldo de radiação à superfície poderia evidenciar esse fenômeno e servir de base para outros estudos e aplicações ambientais.

Nos centros urbanos, quase tudo é artificial; e, quando é algo natural, apresenta sempre variações e modificações provocadas pela ação humana. O clima das metrópoles, o chamado *clima urbano*, um tipo específico de microclima, constitui um exemplo disso. Nas grandes cidades faz mais calor e chove um pouco mais do que nas áreas rurais circunvizinhas. Também, são frequentes as enchentes após algumas chuvas, resultantes da impermeabilização do solo.

Não é somente o calor do sol e sua retenção pelo CO₂ e vapor d'água que aquecem uma cidade. Existe também a produção de calor. A cidade é um grande centro consumidor de energia, e toda vez que a mesma é utilizada, parte é liberada para o ambiente. Pode-se dizer que o calor é uma forma de lixo energético, um subproduto do uso da matéria e alimentos, porém sob certo aspecto o calor é pior, pois precisa ser dissipado no ambiente e não pode ser reciclado como muitos dos componentes do lixo urbano produzido.

Nas cidades, as regiões centrais são mais quentes e a periferia registra menor temperatura. Isso ocorre devido ao grande movimento de automóveis, indústrias e as residências, que lançam poluentes e aumentam assim a temperatura da localidade. Os materiais usados nas edificações e na pavimentação das ruas absorvem rapidamente o calor cuja dispersão é dificultada pela poluição. A evaporação rápida da água da chuva reduz o resfriamento e propicia o aumento da quantidade de nuvens e conseqüentemente das chuvas.

A diminuição das áreas verdes criam mudanças na atmosfera local, modificando a temperatura e as chuvas da região, bem como a direção e a velocidade dos ventos. As áreas verdes também alteram os índices de reflexão do calor e favorece a manutenção da umidade relativa do ar. Porém, pode-se dizer que a intensidade das ilhas de calor não está somente relacionada com a diminuição destas áreas, mas, também, com o tamanho das cidades, população, geometria das ruas e dos prédios nas áreas urbanizadas ocasionando como conseqüência o aumento do fluxo de calor sensível da superfície da terra perto das cidades, onde o fluxo de calor sensível divide-se em dois componentes: no calor produzido pelo homem (ex: cidades industriais) e pela radiação solar (Kato e Yamaguchi, 2005).

O território urbano do município de Maceió é dividido em 7 Regiões Administrativas com características ambientais diferentes e ameaças que os habitantes podem sofrer, com determinantes associados ao nível de qualidade de vida, a saúde e, sobretudo, a integridade física da população. Entre os fatores de risco estão escorregamentos ou deslizamentos de encostas, fenômenos erosivos e naturais de baixa e alta intensidade local, inundações provenientes de chuvas nas cabeceiras dos rios que formam a Lagoa Mundaú, áreas sujeitas a acidentes tecnológicos, ocupação caótica das encostas, com edificações em terrenos de acentuada topografia, entre outros.

Apesar dessas diferenças ambientais, o município de Maceió ainda não está contemplado por uma rede de estações meteorológicas de superfície que permita uma avaliação física dos diferentes ambientes devido ao seu alto custo de aquisição e manutenção. Atualmente, encontra-se no Estado de Alagoas apenas três estações (Oliveira, 2004): uma localizada no Campus da Universidade Federal de Alagoas (UFAL) numa altitude aproximada de 110m, a segunda no Aeroporto Zumbi dos Palmares com altitude de 117m e a terceira estação é a Utinga Leão, situada no município de Utinga Leão, todas distantes do centro da cidade de Maceió e próximas entre si.

A partir do sensoriamento remoto via satélite, pode-se avaliar a temperatura na superfície terrestre, T_s , que é um parâmetro relevante nos processos físicos à superfície

terrestre em escala regional e global, estando envolvida no balanço de energia, evaporação e transpiração da vegetação e em processos de desertificação, podendo ser utilizada como indicador de degradação terrestre e de mudança climática.

Diante do exposto, esta pesquisa se propõe a estimar e analisar através das imagens do Thematic Mapper abordo do satélite ambiental Landsat 5, a temperatura e o saldo de radiação da superfície terrestre da cidade de Maceió, que será possível buscando uma correlação entre os dados obtidos de calibração radiométrica, reflectância monocromática, albedo, os índices de vegetação, emissividades, temperatura da superfície, radiação de onda longa emitida, radiação de onda curta incidente, radiação de onda longa incidente e o saldo de radiação medidos pelo sensor do satélite e algumas medidas obtidas em campo. Introduzindo assim, no meio acadêmico, novas tecnologias de conhecimento, finalizando com a confecção de mapas da temperatura e do saldo de radiação da superfície terrestre, do índice de vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), emissividade e albedo da cidade de Maceió, dando sua contribuição para estudos futuros e atender a demanda de estudos relacionados ao clima da cidade de Maceió.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. SENSORIAMENTO REMOTO

Sensoriamento remoto é a ciência e a arte de obter informações acerca de um objeto, área ou fenômeno, através da análise de dados adquiridos por um dispositivo que não está em contato com o objeto, área ou fenômeno sob investigação (Lillesand e Kiefir, 1979). Estes objetos de interesse, vegetação, culturas agrícolas, solos, formações rochosas, corpos d'água, além de outros, são em seu conjunto genericamente denominados de alvos. As informações de interesse são obtidas basicamente através do estudo da interação da radiação eletromagnética emitida por fontes naturais (sol) ou artificiais (radar) com os alvos.

O desenvolvimento inicial do sensoriamento remoto está ligado ao desenvolvimento da fotografia convencional e à pesquisa espacial, tendo surgido com a evolução das técnicas que permitem detectar e registrar outras formas de radiação eletromagnética, além da luz visível.

O termo apareceu na literatura científica em 1960 e desde então tem abrigado tecnologia e conhecimento extremamente complexos derivados de diferentes campos que vão desde a física até a botânica e desde a engenharia eletrônica até a cartografia. O crescimento da ciência da computação e a necessidade do programa espacial norte-americano, fez com que o sensoriamento remoto viesse a englobar não apenas diferentes tipos de imagens e sensores, mas também, devido ao emprego de técnicas de processamento de imagens digitais, proporcionou a geração de uma gama maior de opções tecnológicas do que as oferecidas pelas técnicas de sensores fotográficos tradicionais.

A partir da década de 1970, com o desenvolvimento dos dispositivos de sensores, passou-se a usar plataformas orbitais, ou seja, satélites ou estações espaciais. A maioria dos

sistemas sensores ainda possui resolução espacial inferior ao da fotografia aérea. Tem-se como exemplo o satélite Landsat cuja resolução é de 30m x 30m. Atualmente encontram-se sensores com alta resolução espacial como o caso do satélite Ikonos com 1m x 1m cada pixel. O sensor remoto tem como principal função captar e medir a quantidade de energia refletida ou emitida por alvos, e desta forma obter informações sobre a natureza e/ou condições dos mesmos. Os dados a serem adquiridos também dependem do tipo de informação, do tamanho e da dinâmica dos objetos ou fenômenos estudados.

Deve-se também levar em consideração que a resolução espacial da imagem escaneada é dependente do tamanho do pixel. À medida que o tamanho do pixel aumenta, a imagem resultante apresenta-se menos definida, sendo menor a resolução espacial do sensor.

O uso de sistemas orbitais tem avançado nos últimos anos, a realização de levantamentos à distância de variações físicas e químicas da superfície terrestre em áreas extensas e inóspitas, tendo favorecido os monitoramentos e mapeamentos da superfície da terra. Huete (1998), afirma que a composição espectral do fluxo radiante vindo da superfície da terra produz muitas informações sobre as propriedades físicas, químicas e biológicas do sistema terrestre.

Para uma melhor compreensão da definição do termo sensoriamento remoto, se faz necessário conhecer pelo menos os quatro elementos fundamentais, que estão representados pelo esquema abaixo (Figura 01).

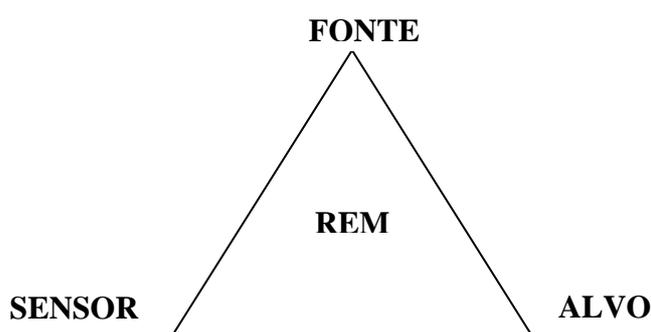


Figura 01: Esquema representativo dos quatro elementos fundamentais das técnicas de sensoriamento remoto.

No centro do triângulo, encontra-se a “radiação eletromagnética” (REM), que é o elemento fundamental de ligação entre todos os demais. A “fonte” que para a aplicação das técnicas de sensoriamento remoto no estudo dos recursos naturais é o sol; o “sensor” que é o

instrumento capaz de coletar e registrar a REM refletida ou emitida pelo “alvo” que representa o elemento pelo qual pretende-se extrair informações.

Os quatro parâmetros radiométricos necessários para a correta aplicação das técnicas do sensoriamento remoto no estudo dos recursos naturais são:

- Irradiância, representa a intensidade do fluxo radiante, proveniente de todas as direções que atingem uma dada superfície.

A irradiância é proveniente de duas fontes: luz solar diretamente refletida e luminosidade do céu, que nada mais é que a luz solar previamente espalhada pela atmosfera. O relativo domínio da luz solar sobre a luminosidade em qualquer imagem é fortemente dependente das condições meteorológicas. Da mesma forma, a irradiância varia com as mudanças sazonais no ângulo de elevação e com a variação da distância Terra-Sol.

- Excitância, é o termo usado para definir a densidade de fluxo radiante emitido ou refletido por uma superfície. É dada pelo fluxo radiante por unidade de área da superfície considerada (w/m^2). Este fluxo é originado em sentido contrário ao incidente no objeto, porém na mesma direção, podendo parte dele ser coletado por um sensor localizado remotamente.

- Radiância, é a intensidade do fluxo radiante por unidade de ângulo sólido e seu conceito pode ser comparado ao conceito de brilho, ou seja, um objeto é considerado mais brilhante quanto maior for sua radiância medida. Ela é também dependente da intensidade do fluxo radiante que atinge o objeto (Irradiância). Quanto maior for essa intensidade, maior também será aquela referente ao fluxo que deixa o objeto, e conseqüentemente, maior será a radiância. Para que se conheçam as propriedades intrínsecas dos objetos em termos de sua interação coma REM, faz-se necessária a apresentação de mais um conceito importante que é o da reflectância.

- Reflectância, apresenta uma relação entre a radiância refletida de um dado objeto pela irradiância. Nota-se, portanto que a reflectância expressa as propriedades intrínsecas dos objetos em refletir a REM sobre eles incidente. Ela é expressa em percentagem, possuindo então um caráter relativo.

As características da reflectância de objetos na superfície terrestre podem ser quantificadas, medindo-se a porção de energia incidente que é refletida. Tal medição é feita como função do comprimento de onda e é chamada de reflectância espectral.

O sensoriamento remoto amplia a capacidade do homem em obter informações sobre os recursos naturais e o meio ambiente, colocando-se como mais uma ferramenta complementar para facilitar trabalhos temáticos e de levantamentos (Curran, 1985). Novo (1989), afirma que as principais vantagens que justificam os programas de sensoriamento

remoto orbital são as seguintes: estímulo às pesquisas multidisciplinares, informações de áreas de difícil acesso, universalização dos dados e das técnicas de tratamento e análise de dados digitais, facilidade de recobrimento de grandes áreas, cobertura repetitiva com a mesma hora local, grande quantidade de dados pontuais sobre uma mesma área, transferência de dados de satélite/terra, entre outras vantagens.

2.2. SATÉLITES LANDSAT TM

Há 33 anos, no dia 23 de julho, a NASA (National Aeronautics and Space Administration) lançou nos Estados Unidos o primeiro satélite de sensoriamento remoto não tripulado chamado ERTS 1 (Earth Resources Technology Satellites), no quadro do programa espacial com o mesmo nome. Este foi construído a partir de uma modificação do satélite meteorológico NIMBUS.

O programa espacial citado anteriormente, assim como os satélites que o compõe foi rebatizado após o lançamento como “LANDSAT”, para melhor sugerir o enfoque do seu esforço sobre Sensoriamento Remoto de Recursos Naturais Terrestres.

Desde 1972, foram lançados 7 satélites do Programa LANDSAT. Segue abaixo um resumo do histórico dos lançamentos da série:

O Landsat 1: lançado em 23/07/1972 e desativado em 06/01/1978;

O Landsat 2: lançado em 22/01/1975 e desativado em 02/02/1982;

O Landsat 3: lançado em 05/03/1978 e desativado em 31/03/1983;

O Landsat 4: lançado em 16/07/1982, não imagea, porém não está desativado;

O Landsat 5: lançado em 01/03/1984 e ativo até o momento;

O Landsat 6: lançado em 05/10/1993 e perdido após o lançamento;

O Landsat 7: lançado em 15/04/1999, desativado.

A primeira geração do programa Landsat composta pelos satélites Landsat 1,2 e 3, tinha dois instrumentos: a camera RBV (Return Beam Vidicon) e o MSS (Multispectral Scanner). Em razão de problemas técnicos no RBV, este foi pouco usado e o MSS, devido a sua superioridade técnica do ponto de vista espectral e radiométrico, continuou sendo utilizado nos satélites seguintes da série.

A segunda geração do programa Landsat foi iniciada em 1982 com o lançamento do Landsat 4, que já possuía o instrumento Thematic Mapper (TM) além do MSS. Ele foi substituído pelo Landsat 5, que foi lançado em março de 1984 e continua operando até hoje.

O mapeador temático dos satélites Landsat-4 e 5 é um avançado imageador multiespectral de varredura de segunda geração, derivado do MSS (Multispectral Scanner System) e destinado ao levantamento de recursos terrestres. Foi desenhado para executar um imageamento de alta resolução espacial e espectral com alta fidelidade geométrica, em comparação com as características do MSS. A radiação eletromagnética, após a reflexão no espelho de varredura é focalizada pelo sistema óptico sobre uma matriz de 100 detetores de forma que cada um receba o fluxo de radiação proveniente de uma área de 30m x 30m na superfície terrestre.

O TM possui 7 bandas espectrais. Sua resolução nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 (visível e infravermelho máximo) é de 30m, enquanto na banda 6 (infravermelho termal) sua resolução é de 120m. Na Tabela 2 estão os intervalos dos comprimentos de onda. Na Tabela 3, são mostradas as principais características espectrais do sensor TM Landsat.

No quadro 01 veremos o comparativo entre o MSS e o TM e no quadro 02, os intervalos de onda da banda espectral do MSS/Landsat.

Quadro 01: Sensores e Bandas Espectrais – comparativo MSS e TM.

THEMATIC MAPPER – TM							
Bandas	1	2	3	4	5	6 IR Termal	7
Faixa (m)	0.45 – 0.52	0.52 – 0.60	0.63 – 0.69	0.76 – 0.90	1.55 – 1.75	10.42–12.50	2.08 – 2.35
Resolução	30	30	30	30	30	120	30
MULTI-SPECTRAL SCANNER – MSS							
Bandas	1	2	3	4	X	X	X
Faixa (m)	0.5 - 0.6	0.6 – 0.7	0.7 – 0.8	0.8 – 1.1	X	X	X
Resolução	80	80	80	80	X	X	X

Quadro 02: Intervalos dos comprimentos de onda da banda espectral do MSS/Landsat.

BANDA ESPECTRAL	LANDSAT	
	1, 2 e 3	4 e 5
4	0,5 a 0,6 μ m	0,495 a 0,605 μ m
5	0,6 a 0,7 μ m	0,603 a 0,698 μ m
6	0,7 a 0,8 μ m	0,701 a 0,813 μ m
7	0,8 a 1,1 μ m	0,808 a 1,023 μ m

O Landsat TM 5 tem sua órbita quase polar, permitindo uma cobertura completa da terra entre 81°N e 81°S, e heliossíncrona, ou seja, sincronizadas com o Sol, passando na mesma hora solar em qualquer ponto observado. Sua órbita é repetitiva e elíptica, numa altitude média de 705,3 Km, uma inclinação de 98,3° e velocidade equivalente a 7,7 Km/s no solo. Suas imagens apresentam uma resolução radiométrica de 8 bits (256 níveis de cinza).

Vale ressaltar que o ciclo orbital do Landsat 1, 2 e 3 é de 18 dias e para o Landsat 4, 5 e 7 é de 16 dias. Atualmente, o Landsat 5 e 7 estão com um intervalo de tempo para imagear a mesma área de 8 dias exatamente, ou seja, existe agora duas vezes mais dados Landsat do que antes do lançamento do Landsat 7 (Engesat, 2005). A área imageada, seja MSS ou TM é de 185 Km, recortada em cenas de 185 Km x 170 Km. O satélite demora 24 segundos para imagear uma área.

O Landsat 7 entrou em órbita em 1999, trazendo benefícios adicionais com a substituição do scanner Thematic Mapper (TM) pelo Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM⁺). O ETM⁺ é um radiômetro de varredura multiespectral de 8 bandas que fornece imagem de alta resolução da superfície da terra.

No Quadro 03, são apresentadas as principais bandas espectrais e orientações de aplicações da série Landsat.

Quadro 03: **Características espectrais das bandas do sensor TM Landsat.**

BANDAS	INTERVALO ESPECTRAL	PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES DAS BANDAS TM DO SATÉLITE LANDSAT-5
1	0,45-0,52	Apresenta grande penetração em corpos de água com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares. Apresenta sensibilidade a pluma de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	0,52-0,60	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	0,63-0,69	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de vegetação (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos.

Continuação: quadro 03 - **Características espectrais das bandas do sensor TM Landsat.**

4	0,76-0,90	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento de corpos de água e mapeamento da rede de drenagem. A vegetação verde, densa e uniforme reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	1,55-1,75	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas servindo para observar estresse na vegetação causando desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	10,4-12,5	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar e mapear as propriedades termias de rochas, solos, vegetação e água.
7	2,08-2,35	Apresenta sensibilidade a morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre geomorfologia, solos e geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

Fonte: Lillesand e Kiefer, 1995.

2.3. O USO DO SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land)

O Sensoriamento Remoto tem possibilitado a elaboração de trabalhos com o intuito de estimar o albedo da superfície, índices de vegetação, a emissividade e a temperatura da superfície, os balanços de radiação e de energia à superfície e a evapotranspiração. Bastiaanssen (1995) desenvolveu um algoritmo, denominado SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land), destinado a estimar o balanço de energia à superfície utilizando um número reduzido de dados de superfície e imagens de satélite.

O fluxo de calor no solo é determinado em função do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), do saldo de radiação, da temperatura e albedo da superfície, que estão relacionados fisicamente como segue (Bastiaanssen, 1995):

- O saldo de radiação diminui com o aumento do albedo;
- A temperatura da superfície é alta e o IVDN baixo em solo nu ou com vegetação esparsa. A temperatura tende a ser baixa e o IVDN alto quando ocorre o oposto, solo coberto por vegetação.

A física envolvida no algoritmo do modelo SEBAL permite o cálculo dos fluxos em superfície para uma ampla variedade de uso do solo e calcula o balanço completo de radiação e de energia para cada pixel da imagem (Bastiaanssen, 2003) sem ser necessário aplicar as extensivas medidas de campo.

Mesmo existindo inúmeras vantagens para se trabalhar com o modelo SEBAL na estimativa das componentes do balanço de energia por sensoriamento remoto como, por exemplo, a questão da temperatura da fonte de calor sem substituí-la pela temperatura radiométrica da superfície, existe também algumas desvantagens tais como (Bastiaanssen, 1995):

- Necessita de dados de sensoriamento remoto por satélite em condições de céu sem nuvens;
- Necessita da presença de áreas secas e úmidas nas imagens de satélite utilizadas;
- A rugosidade da superfície é pobremente descrita no modelo;
- Sua utilização é apropriada para superfícies planas, mais atualmente, já está sendo usado em regiões montanhosas.

Bastiaanssen (1995), desenvolveu o algoritmo SEBAL e inicialmente o aplicou em projetos na Espanha e Egito usando imagens do satélite Landsat TM 5 e em 1995 foram publicados os primeiros resultados de validação do seu algoritmo. Logo após, o modelo SEBAL foi extensivamente aplicado em regiões da Ásia, África, América do Norte e Europa, que possuem diferentes características climáticas, com resultados animadores (Paiva, 2005).

Na América do Sul existem relatos da utilização do SEBAL na Argentina e Brasil. No Brasil, a empresa Brasileira de Agropecuária, EMBRAPA Semi-Árido em Petrolina (PE) realizou um encontro em dezembro de 1999, onde o próprio Win Bastiaanssen ministrou um curso sobre o modelo SEBAL. A partir desse encontro pesquisas com o SEBAL começaram a ser desenvolvidas na EMBRAPA Semi-Árido, Universidade Federal do Rio de Janeiro (Paiva, 2004) e Universidade Federal de Campina Grande (Silva e Bezerra, 2004 apud Di Pace, 2004).

2.4. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO: IVDN, IVAS e IAF

O desenvolvimento de relações funcionais entre as características da vegetação e dados coletados é o objetivo de vários estudos relacionados ao setor agrícola, florestal e até mesmo urbano. Para minimizar a variabilidade causada por fatores externos como, por exemplo, o solo e a atmosfera. A reflectância espectral tem sido combinada e transformada em vários índices de vegetação.

Xavier e Vettorazzi (2004) afirmam que a importância dos índices de vegetação para mapear o Índice de Área Foliar (IAF) é para a estimativa da fração da radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelos dosséis das plantas, bem como a biomassa e percentagem da cobertura verde da superfície. Isso é concedido por causa da alta absorção dos pigmentos foliares nas regiões espectrais do vermelho e a alta reflectância no infravermelho próximo.

O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) é o índice que tenta subtrair os efeitos no solo no cálculo do IVDN, então os impactos causados pelo solo molhado são reduzidos por este índice.

O IVDN tem sido empregado para avaliar o vigor da vegetação, monitorar a cobertura vegetal, auxiliar na detecção de desmatamentos, avaliar áreas queimadas, dar suporte a previsão da produtividade agrícola entre outras aplicações. Este também é importante para a análise do albedo, ou seja, a região urbana caracteriza-se pelo albedo alto e IVDN baixo e regiões com vegetação, albedo baixo e IVDN alto. O IVDN é calculado a partir de combinações entre as bandas do vermelho (canal 3) e infravermelho próximo (canal 4).

Os valores do IVDN oscilam entre -1 e $+1$, que é o correspondente a presença de água (lagos, rios...) quando o valor é inferior a zero, indo até uma vegetação exuberante quando o valor é próximo a $+1$. Este índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial como também sua evolução no decorrer do tempo. Para um melhor resultado na interpretação dos dados recebidos se faz necessário considerar os ciclos fenológicos anuais para se poder distinguir as oscilações naturais do estado da vegetação e as mudanças que esta sofre resultantes de desmatamentos ou demais formas de intervenção.

A água tem valores negativos de IVDN, as nuvens refletem de forma semelhante no visível e infravermelho próximo tendo valores próximos a zero, o solo nu e com vegetação

rala apresentam valores positivos porém, pouco elevados e vegetação densa, úmida e bem desenvolvida apresentam os maiores valores do IVDN.

No Brasil vários estudos têm demonstrado que o IVDN se correlaciona com algumas variáveis climáticas em amplas condições ambientais. Liu et al. (1991) utilizaram dados de IVDN obtidos através de imagens AVHRR/NOAA referentes ao período de junho de 1981 a agosto de 1987, sobre a América do Sul. As áreas com cobertura de IVDN menores que 0,23, foram estimadas a partir da evolução mensal do IVDN para anos secos e úmidos dos anos estudados. Este valor serviu de indicador de áreas secas e delimitador de áreas de baixa precipitação no continente. Este estudo também mostrou que a distribuição continental da vegetação com estresse corresponde a áreas que sofreram impactos de seca pelo El Niño.

Barbosa (1998) avaliou composições mensais do período de 1982 a 1985 de IVDN e totais mensais de precipitação do Nordeste do Brasil. Ele concluiu que as distribuições espacial e temporal do IVDN e a precipitação mensal das regiões em estudo têm padrões semelhantes e são estatisticamente correlacionados. Assim, o IVDN poderia ser utilizado como indicador de regime pluviométrico no Nordeste do país.

Gurgel (2000) apud Di Pace (2004), fez uma análise das conexões entre o IVDN e as variabilidades climáticas anuais e interanuais sobre o Brasil, utilizando a técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) aos dados de IVDN mensais para o período correspondente a janeiro de 1982 a dezembro de 1993. Os resultados colhidos com o estudo mostraram que a ACP aplicada ao IVDN possibilita caracterizar a variabilidade anual e interanual dessas tipologias de vegetação que estão relacionada com a variabilidade climática (componente 1, 2 e 3). Também foi revelado pela ACP que os fatores não-climáticos como, por exemplo: ocorrência de queimadas e erros de interpretação devido a mudança de horário da passagem do satélite (componente 4, 5, 6 e 10), ocasionaram distúrbios no IVDN.

2.5. ALBEDO

Albedo é a fração da radiação incidente que é refletida por uma superfície. Este varia no espaço e no tempo, variando de acordo com a altura do sol e natureza da superfície. O mais importante refletor de albedo dentro da atmosfera terrestre são as nuvens e sua variação depende da espessura destas. Nuvens finas variam em menos de 40% (menores que 50m) e nuvens espessas 80% (mais de 5000m). Outros valores típicos de albedo são: para uma

superfície calma do mar é de 2% (oceanos absorvem mais radiação solar do que a superfície terrestre), florestas e superfícies alagáveis tem baixo albedo, superfície desértica e cobertas por neve tem altos albedos.

O albedo de superfície é definido pela razão entre a irradiância refletida e a irradiância incidente, e que pode ser determinado para cada faixa espectral. O global (0,3 a 3,0 μ m), o PAR (0,4 a 0,7 μ m) e infravermelho (0,7 a 3,0 μ m), o que incide nas determinações de albedo da radiação de onda curta do dossel da cultura (R_c), o albedo PAR (r_p), albedo infravermelho próximo (r_i) e o albedo de onda curta da superfície do solo (r_s).

O albedo mais comum é o da superfície da água. Este é dependente do ângulo zenital, da cobertura de nuvens ou nebulosidade, velocidade do vento e as impurezas encontradas na água. Vale ressaltar que o albedo do oceano aumenta em larga escala quando o ângulo zenital se aproxima de 0 (zero) e em condições de céu claro.

O albedo das superfícies com vegetação variam de valor de acordo com a textura do solo e das condições fisiológicas do dossel da planta. Quando os dosséis das plantas são compostos por folhas de formato complexo e espaçadas, vemos nesses casos que o albedo pode ser menor do que de uma superfície vegetada. A redução da cobertura vegetal ocasiona em circunstâncias específicas a redução da precipitação local, intensificam o processo de desertificação. Logo, sua perda promove a desertificação e a desertificação impede sua regeneração (Convention To Combat Desertification, UM, 1998). Devido à alta variabilidade de superfícies onde há um efeito marcante na absorção da radiação solar, afeta em larga escala a temperatura da superfície do solo.

Rijks, 1967; SteWart, 1971; Viswanadham, 1972; Pinker, 1982; Leitão, 1989; Gash & Shuttlewart, 1991, concluíram que durante o dia o albedo decresce a medida que o sol eleva-se, alcançando em geral, valores máximos próximos ao nascer e pôr-do-sol e ao valores mínimos são observados em torno do meio-dia.

Segundo Robnove et al. (1981), com imagens digitais do satélite Landsat pode se derivar diretamente imagens de albedo de uma superfície, e caso sejam mostradas uma seqüência de imagens de albedo, pode-se analisar as mudanças ocorridas numa determinada superfície. Em 2001 foram apresentados estudos na Assembléia Geral da ONU, relatando a utilidade do uso de dados de satélite para estimar o albedo, emissividade e temperatura das superfícies como também parâmetros relacionados. Algoritmos têm sido usados para estimar o albedo de superfícies por utilização eficaz de dados de satélite.

Accioly et al. (2001) trabalharam em uma área piloto de aproximadamente 75.000ha localizada no núcleo de desertificação do Seridó, com o objetivo de verificar mudanças no albedo entre o período de 1994 até 1999. A vegetação encontrada é composta de caatinga hiperscerófila com três padrões de densidade: caatinga densa, caatinga semidensa e caatinga aberta. Porém, esta área sofreu ao longo dos anos um processo de desmatamento indiscriminado, visando puramente à extração da lenha. As imagens obtidas naquele estudo foram uma do satélite Landsat 7 ETM⁺ de 1999 e a outra do Landsat 5 TM de 1994. Para o processamento das imagens, foram utilizados os programas PC Arc/Info 3.5, para o mapa de solo e curvas de nível e georreferenciamento, o modelo digital do terreno (MDT) foi usado para obter a imagem das declividades e por fim, o programa ERDAS usado para a interpretação dos dados e obtenção das imagens de albedo.

Os autores concluíram que a maior parte das variações de albedo maiores que 20% não estiveram associadas à degradação do solo e/ou a alterações no seu uso, mas sim à redução no nível dos açudes devido à seca que assolou a região nos anos de 1997 a 1999.

Di Pace (2004) estimou o albedo à superfície em áreas irrigadas nas proximidades da cidade de Petrolina no estado de Pernambuco nos dias 04 de dezembro de 2000 e 04 de outubro de 2001, utilizando dados de imagens multiespectrais do satélite TM Landsat 5, a partir de procedimentos que possibilitaram a correção do albedo superficial em áreas irrigadas, sequeiro e vegetação nativa. Os valores encontrados com a utilização do MED (Modelo de Elevação Digital) foram maiores do que sem o MED em ambos os anos, apresentando valores entre 6,9% e 46,4% para 2000 e entre 4,9% e 42% para 2001, sem a utilização do Modelo os valores obtidos foram entre 6,5% a 37,8% para 2000 e 4,9% a 40% para 2001. O autor concluiu que os valores do albedo dos alvos estudados nas imagens foram aproximadamente semelhantes aos valores do albedo calculado com dados de superfície.

2.6. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE (TS)

A temperatura na superfície terrestre (T_s) é um elemento de grande valor nos processos físicos à superfície terrestre, em escala regional e global, relacionados ao balanço de energia, evaporação, transpiração da vegetação, desertificação e pode ser utilizada como indicador de degradação terrestre e de mudança climática. A sua estimativa é uma tarefa

difícil, pois separar os efeitos atmosféricos e as emissividades dos efeitos da temperatura de superfície nas medições de radiância é bastante complexo.

Segundo Faure (2002), as ferramentas do sensoriamento remoto permitem contornar parcialmente as dificuldades encontradas em campo. Fotografias aéreas foram utilizadas por muito tempo, sendo que recentemente recorre-se a imagens de satélite para visualizar a extensão espacial de cidades e suas evoluções, pois na escala de tempo e espaço este é o meio mais objetivo e eficiente para o monitoramento do sistema superfície-atmosfera. Os imageadores dos satélites avaliam essas variações através das mudanças nos padrões de tonalidade e de textura dos alvos.

O lançamento do primeiro AVHRR a bordo do satélite de órbita polar TIROS-N foi marcado pelo grande avanço tecnológico do sensoriamento remoto na estimativa da temperatura da superfície terrestre (Ts). Este instrumento tinha uma banda extra (em $3,7\mu\text{m}$) onde era possível deduzir a correção da absorção do vapor de água na atmosfera pela técnica da absorção diferencial. O uso dessa técnica ficava restrito ao período noturno por causa da banda de ondas curtas que recebia influência da radiação solar refletida durante o dia. Posteriormente foi lançado o AVHRR com três bandas termais a bordo dos satélites meteorológicos NOAA, sendo possível estimar a temperatura da superfície durante os períodos diurno e noturno. Este novo método substituiu o antigo pelo fato de não apresentar muito ruído, possibilitando um resultado mais preciso nos valores estimados da temperatura da superfície.

Atualmente, a temperatura da superfície terrestre (Ts) estimada por imagens termais obtidas por sensoriamento remoto, tem sido tema de várias pesquisas científicas (Becker & Li, 1990; Sobrino, 1994) como também é de extrema importância para muitas aplicações na meteorologia e estudos dos recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície. Informações sobre a temperatura da superfície terrestre (Ts) têm extremo valor científico contribuindo em um largo campo das atividades econômicas e comerciais.

A seguir, citam-se alguns trabalhos de pesquisadores realizados na área.

Fernandes e Barbirato (2001) procuraram reconhecer diversos microclimas existentes no centro da cidade de Maceió no estado de Alagoas, analisando como os elementos do entorno podem interferir na formação desses microclimas. As medições de temperatura do ar e umidade relativa do ar foram feitas para o período chuvoso (inverno) e para o período seco (verão) em diversos pontos dentro do centro de Maceió. Com os

resultados obtidos in loco e os dados da estação meteorológica de referência, comprovaram a formação de ambientes térmicos distintos em morfologias diferenciadas e indícios de ilhas de calor no local estudado.

Barbirato et al. (2002) identificaram o grau de atuação da forma urbana nas modificações climáticas da cidade de Maceió-AL. Para a análise foram estabelecidos 5 transeptos totalizando 15 pontos de medições móveis distintas entre si onde, a partir do exposto foi possível traçar perfis térmicos de diversas áreas da cidade. As verificações de temperatura do ar, umidade e velocidade dos ventos foram feitas simultaneamente em três dias alternados em condições de céu claro com o auxílio de termoanemômetros digitais e psicrômetros nos horários de 6:00h, 9:00h, 12:00h, 15:00h, 18:00h e 21:00h.

Os autores concluíram que o entorno influencia nos microclimas. As temperaturas mais altas foram obtidas onde há maior exposição ao sol, maior massa edificada e maior verticalização, e as mais baixas em áreas com solo não pavimentado e com exposição favorável a ventilação.

Gusso e Fontana (2003) investigaram a adequação do uso de sensores orbitais classe AVHRR/3 NOAA para o monitoramento da temperatura da superfície terrestre (Tst) no estado do Rio Grande do Sul, comparando três métodos utilizados pela comunidade científica internacional que são: O método de Griend and Owe (1993), o método de Kerr et al.. (1992) e o método Split-Window de Becker and Li (1990), tendo a emissividade sempre constante. O resultado foi satisfatório, o método Split-Window proposto por Becker & Li (1990), mesmo tendo a sua estrutura simples (emissividade constante), mostrou-se bastante eficiente na estimativa da temperatura (Ts), sendo recomendado por ser capaz de reduzir os efeitos atmosféricos por incorporar regressões lineares da equação de transferência radiativa. Os dois outros métodos utilizados com emissividade dependente do NDVI também se mostraram eficientes, especialmente o método de Grind e Owe (1993), na estimativa da temperatura (Ts) da superfície do solo em diversas regiões do Estado do Rio Grande do Sul.

Lopes et al. (2005) aplicaram parâmetros de temperatura e albedo na quantificação de processos de degradação na Bacia do Rio Brígida, localizada no Estado de Pernambuco, visando o diagnóstico e a distribuição do processo através da aplicação dos parâmetros em imagens Landsat TM. Os autores concluíram que o aumento considerável da temperatura na bacia está associado ao desmatamento que a área vem sofrendo ao longo dos anos. Este aumento da temperatura (Tst) afeta a microfauna do solo que é a responsável pela decomposição da matéria orgânica e aeração do solo.

Teza e Baptista (2005) objetivaram identificar o fenômeno ilhas urbanas de calor em metrópoles brasileiras (São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte) por meio do sensoriamento remoto termal, sendo traçados perfis térmicos e a aplicação e geração de modelos digitais de elevação tendo em vista, primeiramente, compreender o contexto de paisagem na qual a cidade encontra-se inserida. Os autores detectaram temperaturas maiores em todos os centros de todas as metrópoles estudadas, ocorrendo apenas um decréscimo da temperatura (T_s) nas regiões periféricas. Também detectaram um adensamento maior de edificações no centro das cidades, cujos materiais empregados têm características de absorver mais radiação e emitir mais calor para a superfície. A topografia de quase todas as metrópoles estudadas desfavorece a dispersão de poluentes e particulados atmosféricos, fator que intensifica o fenômeno ilha urbana de calor. O produto ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature mostrou-se uma ferramenta poderosa para a análise do conforto térmico nos centros urbanos.

Barbugli e Roriz (2005) apresentaram um método para mapear variáveis climáticas em zonas urbanas. Foi monitorada em dezenas de pontos em Araraquara, cidade média de São Paulo, a temperatura do ar em diferentes estações do ano. Através da fotointerpretação cada um dos pontos foi caracterizado por parâmetros físicos da paisagem urbana. Os autores utilizaram na pesquisa análises de regressão que indicaram forte influência desses parâmetros sobre as diferenças climáticas observadas entre os pontos e com as equações encontradas foi possível estimar as temperaturas em outros locais da cidade e gerar os mapas térmicos típicos de verão e inverno. Foi confirmado no estudo a forte influência exercida pelas tipologias morfológicas das cidades sobre a formação dos microclimas, podendo torná-los mais amenos ou mais hostis para a vida de seus habitantes.

Faria (2005) apresentou um panorama sobre o uso do modelo MBEU – Modelo de Balanço Energético Unidimensional, em áreas urbanas e uma aplicação na cidade de Bauru (SP), onde os dados de superfície foram obtidos a partir de imagens de satélites. Nesta, estuda-se a integração da imagem de satélite com métodos de cálculo da distribuição da temperatura do ar na camada intra-urbana. A pesquisa é uma seqüência aos trabalhos de Faria e Souza (2005), que tem por objetivo desenvolver ferramentas para análise e projeto em conforto ambiental. Os resultados alcançados reproduziram com boa aproximação dados de temperatura do ar medidos ao longo de um dia em diversos pontos e mostraram que em Bauru a vegetação exerce grande efeito na distribuição da temperatura do ar na camada intra-urbana. O autor concluiu que o uso do modelo em conjunto com imagens de satélite o torna propício para aplicações em planejamento urbano e regional, tanto para mapear a situação existente

como para simular impactos da alteração das características superficiais. Pretende-se aperfeiçoar o modelo incorporando algoritmos para o ajuste automático de parâmetros.

2.7. SALDO DE RADIAÇÃO

A radiação corresponde a um processo de transferência de energia através do espaço sem a necessidade de um meio material. 99% da radiação solar estão inseridas na faixa do comprimento de onda entre $0,15\mu\text{m}$ a $4,0\mu\text{m}$, totalizando cerca de 9% para a radiação ultravioleta, 44% para a radiação visível, que é utilizada efetivamente na fotossíntese, e 47% para a radiação infravermelha.

O balanço de radiação em uma determinada superfície é a contabilização entre toda energia radiante recebida e perdida pela superfície na forma de ondas longas e ondas curtas. Os fluxos que chegam são positivos e os que saem negativos, observando-se no período diurno grande saldo de radiação devido à radiação solar. No período noturno ocorre o contrario, ou seja, saldo negativo. Contudo, no período diário geralmente o saldo é positivo com exceção apenas de lugares em condições extremas em altitudes elevadas (Allen et al., 1998). O saldo de radiação é justamente esta energia disponível na superfície terrestre que é obtida pela diferença entre o saldo de radiação de ondas curtas e o saldo de radiação de ondas longas.

O estudo da interação da radiação solar com uma área urbana como também com uma superfície vegetada, ainda é considerado um campo de pesquisa e estudo pouco explorado e complexo. O entendimento dos fenômenos físicos e fisiológicos que acontecem em uma determinada área tem como ponto de partida uma boa caracterização da superfície sendo esta vegetada ou urbana. No caso de uma superfície urbanizada, leva-se em conta o tipo de pavimentação, os materiais utilizados, a densidade das construções, ou seja, ter um bom conhecimento da estrutura estudada e da distribuição dos elementos inseridos no ambiente em questão.

Bastiaanssen et al. (1998) desenvolveram um estudo sobre o comportamento de alguns elementos da superfície com o emprego do algoritmo SEBAL, e imagens do satélite Landsat 5-TM na área da bacia do rio Heibe em Buansu na China e obtiveram para o saldo de radiação numa área desértica e para oásis os valores aproximados de 400W/m^2 e 500W/m^2 , respectivamente.

Souza et al. (1999) objetivaram determinar o albedo e estimar o saldo de radiação em ambientes cultivados com feijão-vagem, em condições de campo e em casa de vegetação com cobertura de polietileno na região de Botucatu localizada no estado de São Paulo. Os autores concluíram que os valores do albedo no cultivo de feijão-vagem variam com a elevação solar tanto sob condições normais de ambiente como também em casa de vegetação com cobertura de polietileno. Com relação às estimativas do saldo de radiação nas fases vegetativas, reprodutivas e no ciclo da cultura, apresentaram no estudo maiores coeficientes de determinação nas fases fenológicas que nas do ciclo como um todo.

Moura et al. (2001) objetivaram analisar o comportamento do perfil de radiação solar e RFA dentro de ambiente de floresta da região Amazônica, classificando os dias como céu claro, parcialmente nublado e nublado.

Os autores utilizaram dados de radiação de onda curta e RFA a cada dez minutos, obtidos na campanha AMCWET/LBA realizada entre 26 de janeiro a 10 de março de 1999, num sítio experimental de floresta tropical úmida. Os dados adquiridos foram obtidos pela torre micro meteorológica com 60 metros de altura, localizada na reserva biológica de Jaru (Rebio-Jaru) a leste do estado de Rondônia. A floresta possui uma vegetação de mata densa e terra firme com altura média do dossel em torno de 35 metros.

A partir da análise dos resultados e comparando os perfis médios de radiação de onda curta e RFA, concluiu-se de um modo geral, que não existem diferenças significativas no valor percentual dentro do ambiente de floresta no que diz respeito a coberturas de nuvens. Na faixa entre 35 e 30 metros de altura, existe um rápido decréscimo na intensidade da radiação tanto para os dias de céu claro, com valor médio de 3,6% em relação à radiação que atingiu o topo da torre, como para os dias de céu parcialmente nublado, cujo valor médio foi em torno de 2,8%.

Di Pace (2004) estimou o saldo de radiação à superfície terrestre em áreas irrigadas nas proximidades da cidade de Petrolina-PE nos dias 04/12/2000 e 04/10/2001, mediante dados de imagens multiespectrais do satélite TM Landsat-5. Os cálculos obtidos para a pesquisa, foram realizados com o MED (Modelo de Elevação Digital) e sem o MED. Os valores encontrados para o ano de 2000 com o MED foram: P1=431,45 W/m², P2=543,33 W/m², P3=489,24 W/m² e P4=621,72 W/m² e para o mesmo ano sem aplicação do MED foram: P1=424,81 W/m², P2=583,22 W/m², P3=546,0 W/m² e P4=719,25 W/m². Para o ano de 2001 com o MED foram: P1=312,63 W/m², P2=575,21 W/m², P3=493,16 W/m² e

$P_4=701,31 \text{ W/m}^2$ e para o mesmo ano sem aplicação do MED foram: $P_1=399,50 \text{ W/m}^2$, $P_2=618,0 \text{ W/m}^2$, $P_3=547,61 \text{ W/m}^2$ e $P_4=744,53 \text{ W/m}^2$.

O autor concluiu que os resultados do saldo de radiação estimados com a aplicação do MED foram inferiores aos valores estimados sem o MED, mostrando a importância de se levar em consideração os efeitos topográficos, pois a maior variação do saldo de radiação é causada pela topografia local.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. MATERIAL

3.1.1. CARACTERIZAÇÃO GERAL DO MUNICÍPIO DE MACEIÓ

O município de Maceió, capital do estado de Alagoas, Nordeste do Brasil (Figura 02) tem uma extensão de aproximadamente 513,55Km², e sua área urbanizada chega aos 198Km², sendo cortado por uma grande quantidade de riachos, rios e lagoas, que corresponde a 1,84% do território do estado de Alagoas. Esta se situa entre as coordenadas geográficas: - 9°39'57" de latitude e 35°44'07" de longitude W Gr. A cidade limita-se ao norte com os municípios de Flexeiras e Paripueira, ao sul e leste com o oceano Atlântico e ao oeste com os municípios de Marechal Deodoro, Coqueiro Seco, Santa Luzia do Norte, Satuba e Rio Largo.

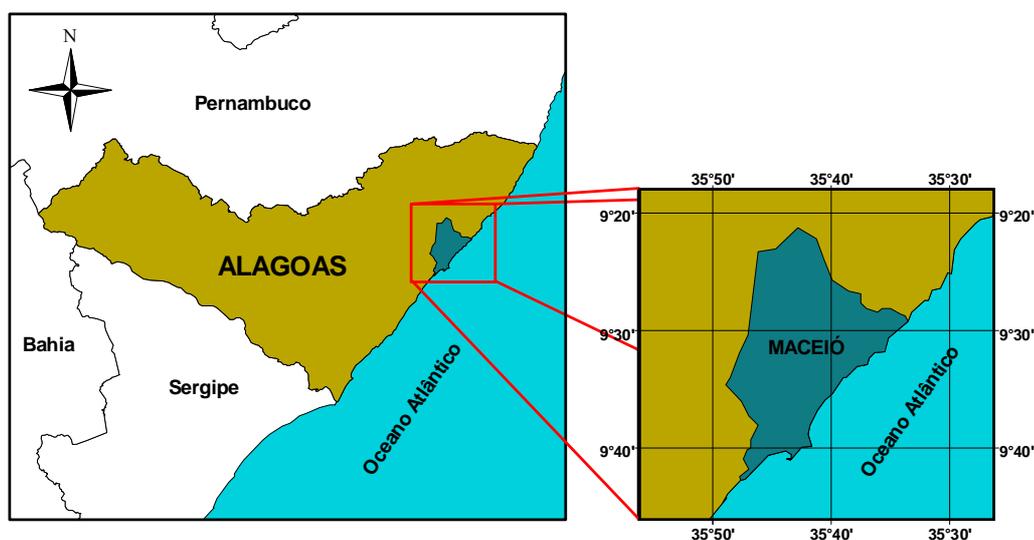


Figura 02: Localização do município de Maceió.

O clima da cidade é caracterizado por ser quente e úmido (B1), mega térmico (A) com deficiência de água moderadamente no verão (S) e grande excesso de água no inverno (W2), seguindo a classificação de Thornthwaite – Mather (Souza e Lima, 1995), sendo observado ao longo do ano alterações na precipitação e na temperatura, criando condições micro e mesoclimáticas principalmente em áreas de elevado crescimento vertical como, por exemplo, a orla marítima. A temperatura varia entre a mínima de 19°C e a máxima absoluta de 31°C, com médias anuais entre 25°C e 26,4°C. A umidade relativa é de 79,2%, registrando os maiores valores nos meses de abril a agosto. Os ventos sudeste atuam durante o ano inteiro, e os ventos nordeste, nos meses mais quentes, sendo mais frequentes na cidade de Maceió, com a velocidade média de 2,8m/s.

Durante todo o ano a cidade de Maceió apresenta duas estações climáticas. A estação chuvosa correspondente aos meses de março a agosto e a estação ensolarada que se inicia em setembro, indo até o mês de fevereiro. A pluviosidade média anual varia de 1500 a 2000 mm e conforme a série histórica os maiores índices pluviométricos são observados nos meses de maio, junho e julho.

Nos últimos trinta anos houve um crescimento acelerado da população em Maceió, ocasionado pelo fluxo migratório campo-cidade decorrente da crise agroindustrial canavieira. Segundo dados do Censo 2000 do IBGE a cidade contava com 797.759 habitantes. Comparando com os dados de 1960, quando a capital possuía um total de 168.055 habitantes, verifica-se ter havido um crescimento populacional 4,74 vezes maior de habitantes, em que 99,75% vivem na área urbana da cidade.

As áreas urbanas da cidade em sua grande parte ocupam os denominados tabuleiros costeiros de Maceió, descendo até a planície litorânea em grandes dessecamentos e vertentes bastante íngremes. São estas encostas acidentadas, muitas vezes utilizadas na construção civil de moradias irregulares e sem infra-estrutura adequada.

A Prefeitura de Maceió, através da Secretaria Municipal de Coordenação das Regiões Administrativas (SEMCRA), dividiu o espaço geográfico da cidade de Maceió em 7 Regiões Administrativas (RA), com a finalidade de melhor identificar as características ambientais e ameaças que os habitantes podem sofrer, com determinantes associados ao nível de qualidade de vida, a saúde e, sobretudo, a integridade física da população. Entre os fatores de risco estão escorregamentos ou deslizamentos de encostas, fenômenos erosivos e naturais de baixa e alta intensidade local, inundações provenientes de chuvas nas cabeceiras dos rios que formam a Lagoa Mundaú, áreas sujeitas a acidentes tecnológicos, ocupação caótica das encostas, com edificações em terrenos de acentuada topografia, entre outros (Figura 03).

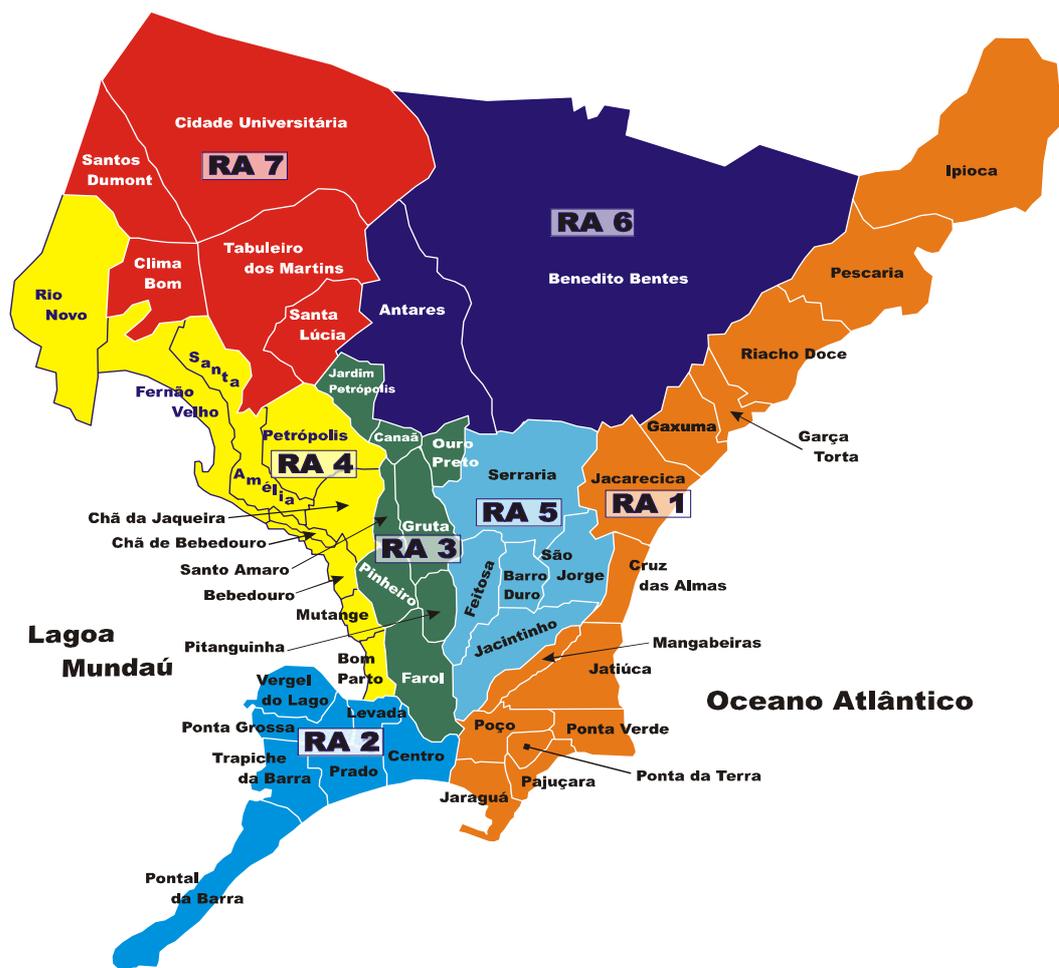


Figura 03: Mapa do município de Maceió, dividido em Regiões Administrativas (RA), conforme a Secretaria Municipal de Coordenação das Regiões Administrativas (SEMCRA) da Prefeitura de Maceió, AL, ano 2002 (FONTE: SEMCRA, 2002, p. 3, apud Oliveira, 2004).

As 7 regiões administrativas que integram a cidade são divididas de acordo com as características descritas detalhadamente abaixo:

Região 1:

- Áreas de escorregamentos de barreiras ou deslizamentos de encostas;
- Áreas sem adução e destino de águas pluviais e servidas;
- Fenômenos erosivos e naturais de alta e baixa intensidade locais, ocorridos em áreas sem proteção superficial;
- Áreas providas de saneamento básico, que necessitam serem ampliadas;
- Necessidade de tratamento prévio das águas dos riachos que deságuam nas diversas praias da orla marítima;
- Áreas com possibilidades de acidentes tecnológicos e erosões marítimas.

Região 2:

- Inundações freqüentes provenientes do ritmo das marés cheias ou enchentes rápidas e inundações provenientes de chuvas nas cabeceiras dos rios que formam a lagoa Mundaú;
- Adução e destino de águas pluviais e servidas;
- Existência de atividades potencialmente poluidoras do maio ambiente e acidentes tecnológicos;
- Problemas com o emissário submarino (casal) e áreas sujeitas a acidentes tecnológicos.

Região 3:

- Escorregamentos ou deslizamentos de encostas;
- Adução e destino de águas pluviais e servidas;
- Fenômenos erosivos e naturais de baixa intensidade ocorridos em áreas sem proteção superficial.

Região 4:

- Inundações freqüentes provenientes do ritmo das marés cheias ou enchentes rápidas provenientes de chuvas nas cabeceiras dos rios que formam a lagoa Mundaú;
- Adução e destino de águas pluviais e servidas;
- Destino de esgotos sanitários a céu aberto;
- Escorregamento ou deslizamento de encostas;
- Áreas sujeitas a acidentes tecnológicos.

Região 5:

- Ocupação caótica das encostas, com edificações em terrenos de acentuada topografia;
- Relevo acidentado sujeito a enxurradas;
- Desmatamento de encostas sujeito a escorregamento ou deslizamento;
- Acumulação de detritos nos córregos e canais;
- Área sem saneamento, com destino de esgoto e água servida a céu aberto.

Região 6:

- Pequenos escorregamentos ou deslizamentos de encostas nas grotas existentes;
- Solo e vegetação devastados pela ocupação humana irregular e desordenada;
- Inexistência de coleta de lixo sistemática nas grotas;
- Saneamento básico parcial em algumas áreas restritas.

Região 7:

- Falta de saneamento básico e pavimentação;
- Áreas localizadas com freqüentes inundações pluviais motivadas pela topografia, com observação ao Distrito Industrial Gov. Luiz Cavalcante;
- Macrodrenagem sem solução de continuidade;
- Área sujeita ao iminente desmoronamento na Grota da Nascença.

Dos fatores acima mencionados serão discutidos na presente pesquisa apenas os que influenciam a temperatura da superfície da cidade de Maceió.

3.1.2. IMAGENS DE SATÉLITE

Na pesquisa foram utilizadas 3 imagens obtidas pelo satélite Landsat 5 - TM, 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. As imagens constam de 7 bandas espectrais cada uma, conforme características apontadas na Tabela 01.

As imagens correspondem à passagem do satélite pelo quadrante 214-67 nos dias e hora, 11/06/1990, 21/09/1998 e 03/09/2003 as 09:30h. As 7 bandas de cada uma das imagens foram empilhadas e depois recortadas, através do software ERDAS Imagine 8.5, que resultou no retângulo com as seguintes coordenadas: canto superior esquerdo (longitude 36°50' Oeste e latitude 9°20' Sul), canto superior direito (longitude 35°30' Oeste e latitude 9°20' Sul), canto inferior direito (longitude 35°30' Oeste e latitude 9°45' Sul) e canto inferior esquerdo

(longitude $36^{\circ}50'$ Oeste e latitude $9^{\circ}45'$ Sul) referentes à cidade de Maceió que é o interesse do estudo (Figura 04).

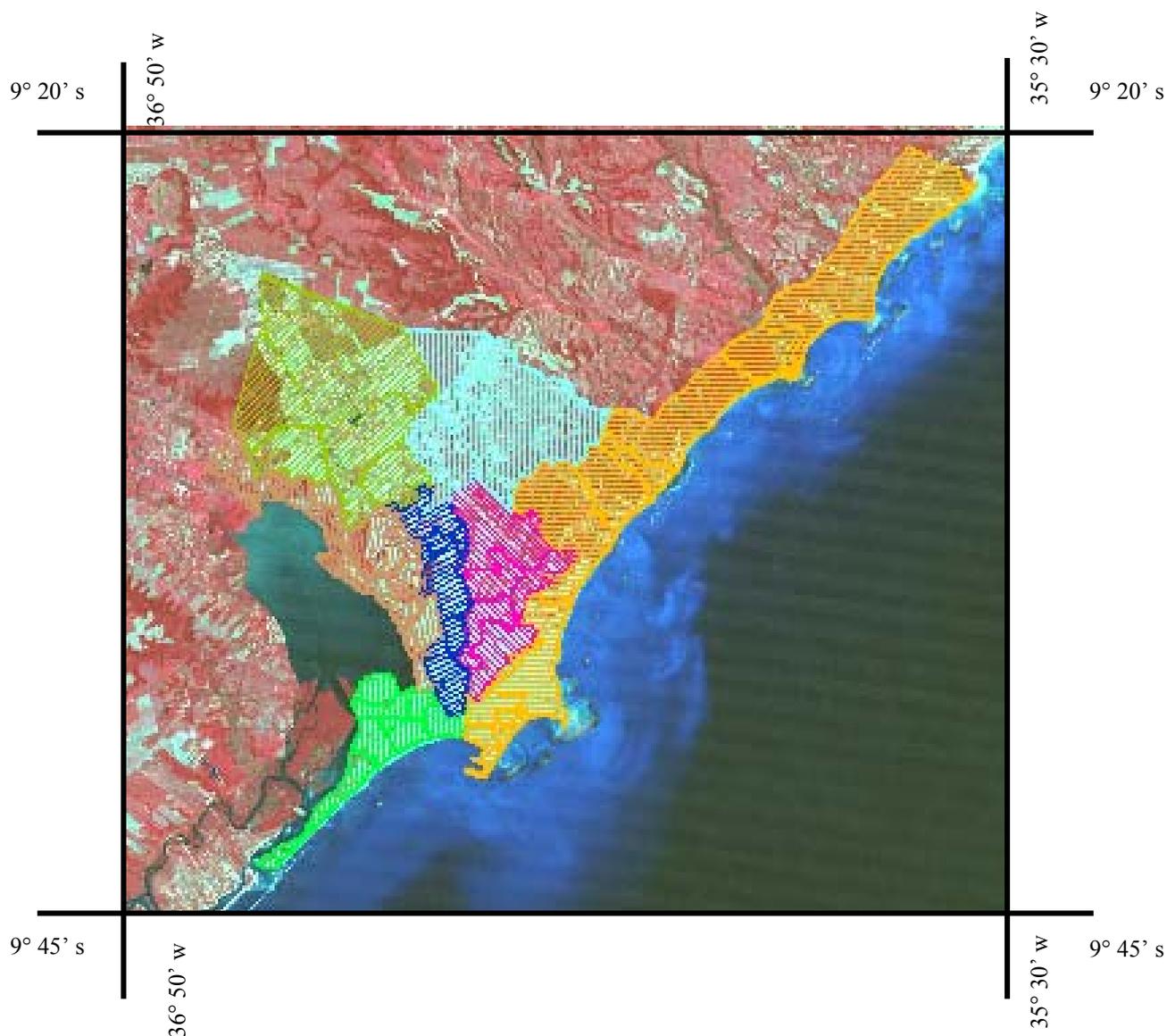


Figura 04: Imagem do município de Maceió por satélite com as coordenadas referentes e limites das Regiões Administrativas.

3.2. MÉTODOS

Para o processamento das imagens foram desenvolvidos modelos através da ferramenta Model Maker do programa ERDAS Imagine 8.5, gentilmente cedido para o desenvolvimento da pesquisa pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG através

da coordenação de pós graduação em meteorologia, tendo como resultado as imagens necessárias para a obtenção da temperatura e do saldo de radiação da superfície terrestre. No fluxograma abaixo representado, estão representadas todas as etapas e modelos elaborados para um melhor entendimento da metodologia utilizada na pesquisa. (Figura 05).

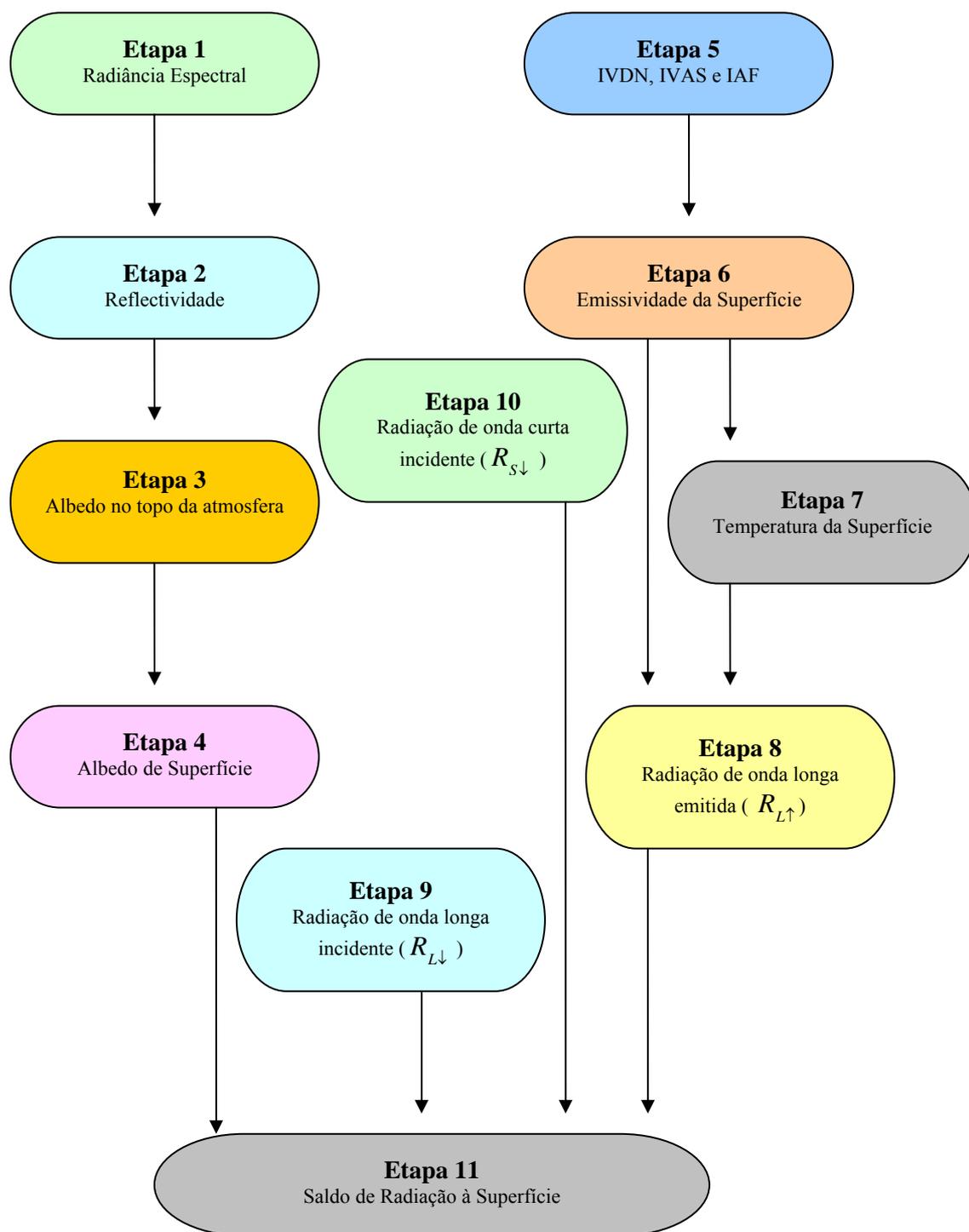


Figura 05: fluxograma com as etapas do processamento das imagens.

3.2.1. ETAPA 1 (Calibração radiométrica)

Constitui o cômputo da radiância espectral de cada banda (L_{λ_i}), ou seja, efetivação da calibração radiométrica, em que o número digital (ND) de cada pixel da imagem é convertido em radiância espectral monocromática ($W.m^{-2}.sr^{-1}.\mu m^{-1}$).

A radiância é a intensidade do fluxo radiante por unidade de ângulo sólido e seu conceito pode ser comparado ao conceito de brilho, ou seja, um objeto é considerado mais brilhante quanto maior for sua “radiância medida”. Essas radiâncias representam a energia solar refletida por cada pixel, por unidade de área, de tempo, de ângulo sólido e de comprimento de onda, medida ao nível do satélite Landsat nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Para a banda 6, denominada banda termal, essa radiância representa a energia emitida por cada pixel. O conjunto da radiância monocromática de todas as sete bandas do TM Landsat 5, é obtida por:

$$L_{\lambda_i} = a_i + \frac{b_i - a_i}{255} ND$$

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas (Tabela 01), ND é a intensidade do pixel que varia de 0-255, e o índice corresponde às bandas espectrais 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7.

Tabela 01: descrição dos coeficientes de calibração máxima (b) e mínima (a), irradiâncias espectrais no topo da atmosfera (T_{oa}) e os intervalos dos comprimentos de onda referentes às bandas do Mapeador Temático (TM).

BANDAS	COMPRIMENTO DE ONDA (μm)	COEFICIENTES DE CALIBRAÇÃO ($Wm^{-2} sr^{-1} \mu m^{-1}$)		IRRADIÂNCIA ESPECTRAL NO TOPO DA ATMOSFERA ($Wm^{-2} \mu m^{-1}$)
		a	b	
1 (azul)	0,45-0,52	-1,5	152,1	1957
2 (verde)	0,52-0,60	-2,8	296,8	1829
3 (vermelho)	0,63-0,69	-1,2	204,3	1557
4 (IV próximo)	0,76-0,79	-1,5	206,2	1047
5 (IV médio)	1,55-1,75	-0,37	27,19	219,3
6 (IV termal)	10,4-12,5	1,238	15,6	-
7 (IV médio)	2,08-2,35	-0,15	14,38	74,52

3.2.2. ETAPA 2 (Reflectância)

A etapa 2 representa o cômputo da reflectância monocromática de cada banda (ρ_{λ_i}), definida como sendo a razão entre o fluxo de radiação solar refletido pela superfície e o fluxo de radiação solar global incidente, que é obtida com a equação (Allen et al., 2002):

$$\rho_{\lambda_i} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda_i}}{K_{\lambda_i} \cdot \cos Z \cdot d_r}$$

Onde L_{λ_i} , é a radiância espectral de cada banda ($\text{Wm}^{-2}\text{sr}^{-1}\mu\text{m}^{-1}$);

K_{λ_i} , é a irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera ($\text{Wm}^{-2}\mu\text{m}^{-1}$) (Tabela 01);

Z , é o ângulo zenital solar;

d_r , é o quadrado da razão entre a distância média terra-sol (r_0) e a distância terra-sol (r) em dado dia do ano (DJ), sendo obtido segundo expressão:

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

Onde $\Gamma = 2\pi(D - 1)/365$ (rad) e D é o dia do ano.

3.2.3. ETAPA 3 (Albedo no topo da atmosfera)

Representa o cômputo do albedo planetário (α_{toa}), isto é, o albedo não ajustado a transmissividade atmosférica, que é obtida pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM-Landsat:

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

Onde, ρ_1 , ρ_2 , ρ_3 , ρ_4 , ρ_5 e ρ_7 são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

3.2.4. ETAPA 4 (Albedo da superfície)

Na etapa 4 obtém-se o albedo corrigido ou albedo de superfície para os efeitos atmosféricos α , através da equação:

$$\alpha_{co} = \frac{\alpha_{toa} - \alpha_p}{\tau_{sw}^2}$$

Onde, α_{toa} , é o albedo planetário;

α_p , é a 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;

τ_{sw} , é a transmissividade atmosférica que para as condições de céu claro é obtida pela equação (Allen et al., 2002):

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

Onde, z é representado pela média da altitude da cidade de Maceió.

3.2.5. ETAPA 5 (índices de vegetação: NDVI, SAVI e IAF)

O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index – NDVI) é obtido através da razão entre a diferença das refletividades do IV-próximo (ρ_{IV}) e do vermelho (ρ_V) pela soma das mesmas (Allen et al., 2002):

$$NDVI = \frac{\rho_{IV} - \rho_V}{\rho_{IV} + \rho_V}$$

Onde, ρ_{IV} e ρ_V , correspondem respectivamente as bandas 4 e 3 do Landsat-TM 5.

O NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Este varia entre -1 e +1 e para superfícies com alguma vegetação é entre 0 e 1. Já para água e nuvens o NDVI geralmente é menor que zero.

Para o cálculo do Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (Soil Adjusted Vegetation Index – SAVI) que é um índice que busca amenizar os efeitos do “background” do solo, é utilizada a expressão (Huete,1998):

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

Onde, L é uma constante de valor igual a 0,5.

Para o cálculo do índice de área Foliar – IAF é necessário utilizar o modelo do SAVI corrigido (savi_sz), onde se eliminam os valores negativos.

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

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

Para o cálculo da emissividade é necessário utilizar o modelo do IAF corrigido, onde se eliminam valores negativos ou iguais a zero.

3.2.6. ETAPA 6 (Emissividade)

Para a obtenção da temperatura na superfície, é utilizada a equação de Plank invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética como um corpo negro, há a necessidade de introduzir a emissividade de cada pixel no domínio espectral da banda termal imageada pelo canal termal ε_{NB} . Por sua vez, quando do cômputo da radiação de onda longa emitida por cada pixel, há de ser considerada a

emissividade no domínio da banda larga ε_0 (5-100 μm). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ε_{NB} e ε_0 podem ser obtidas, para $\text{NDVI} > 0$ e $\text{IAF} < 3$, segundo:

$$\varepsilon_{NB} = 0,97 + 0,00331\text{IAF}$$

$$\varepsilon_0 = 0,95 + 0,01\text{IAF}$$

Para pixels com $\text{IAF} \geq 3$, $\varepsilon_{NB} = \varepsilon_0 = 0,98$.

3.2.7. ETAPA 7 (Temperatura da superfície)

Para a obtenção da temperatura da superfície (T_s) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a emissividade ε_{NB} obtida na etapa anterior. Dessa forma, obtém-se a temperatura da superfície (K) pela expressão:

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

Onde, $k_1 = 607,76 \text{Wm}^{-2} \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$ e $K_2 = 1260,56 \text{K}$ são constantes de calibração da banda termal do Landsat TM-5 (Allen et al., 2002).

3.2.8. ETAPA 8 (Radiação de onda longa emitida)

Através da equação de Stefan-Boltzman é calculado a radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$):

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_0 \cdot \sigma \cdot T_s^4$$

Onde, ε_0 é a emissividade de cada pixel da imagem;

σ é a constante de Stefan-Boltzman cujo valor é $\sigma = 5,67.10^{-8} Wm^{-2} K^{-4}$;

T_s é a temperatura da superfície em Kelvin.

3.2.9. ETAPA 9 (Radiação de onda curta incidente)

A radiação de onda curta incidente $R_{S\downarrow}$ é o fluxo de radiação solar direta e difusa que atinge a superfície terrestre. Para a condição de céu claro ela é dada pela seguinte equação (Bastiaanssen,1995; Morse et al.,2000; Allen et al., 2002):

$$R_{S\downarrow} = S \cdot \cos.Z \cdot d_r \cdot \tau_{sw}$$

Onde, S é a constante solar, sendo igual a $1367 W / m^2$;

Z é o ângulo zenital solar;

d_r é o inverso do quadrado da distância relativa Terra-Sol

τ_{sw} é a transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar.

3.2.10. ETAPA 10 (Radiação de onda longa incidente)

Pela equação de Stefan-Boltzman, acha-se a radiação de onda longa incidente ($R_{L\downarrow}$) emitida pela atmosfera na direção da superfície terrestre:

$$R_{L\uparrow} = \varepsilon_a \cdot \sigma \cdot T_a^4$$

Onde, ε_a é a emissividade atmosférica, obtida por: $\varepsilon_a = 0,85 \cdot (-\ln \tau_{sw})^{0,09}$ (Bastiaanssen, 1995; Allen et al., 2002);

σ é a constante de Stefan-Boltzman

T_a é a temperatura do ar (em Kelvin)

O valor da temperatura do ar para o dia 11 de junho de 1990 foi obtido a partir das normais climatológicas (1961-1990) cedidas pelo Instituto Nacional de Meteorologia - INMET cujo valor para o mês de junho foi $T_a = 297,45K$. Fez-se necessário utilizar as normais climatológicas pela carência de dados registrados no ano em questão. Para o dia 21 de setembro de 1998 e para o dia 03 de setembro de 2003 os valores obtidos foram cedidos também pelo INMET, sendo respectivamente $T_a = 297,85K$ e $T_a = 297,25K$.

3.2.11. ETAPA 11 (Saldo de radiação)

O saldo de radiação foi computado utilizando-se a equação:

$$Rn = R_{s\downarrow} - \alpha R_{s\downarrow} + R_{L\downarrow} - R_{L\uparrow} - (1 - \varepsilon_0).R_{L\downarrow}$$

Onde, $R_{s\downarrow}$ é a radiação de ondas longas incidentes (W/m^2);

α é o albedo corrigido de cada pixel da imagem;

$R_{L\downarrow}$ é a radiação de onda longa emitida pela atmosfera na direção de cada pixel (W/m^2);

$R_{L\uparrow}$ é a radiação de onda longa emitida por cada pixel (W/m^2);

ε_0 é a emissividade de cada pixel da imagem.

Alcançadas todas as etapas acima, para uma análise mais precisa da temperatura da superfície ($^{\circ}C$) e do saldo de radiação (W/m^2) da área urbanizada da cidade de Maceió, foram feitos recortes (Figura 06), nas imagens obtidas a partir do cálculo efetuado, de 1.120 m x 1.120 m tendo uma média de 1.600 dados organizados em 40 colunas, os quais foram gerados gráficos com os valores médios de cada coluna.

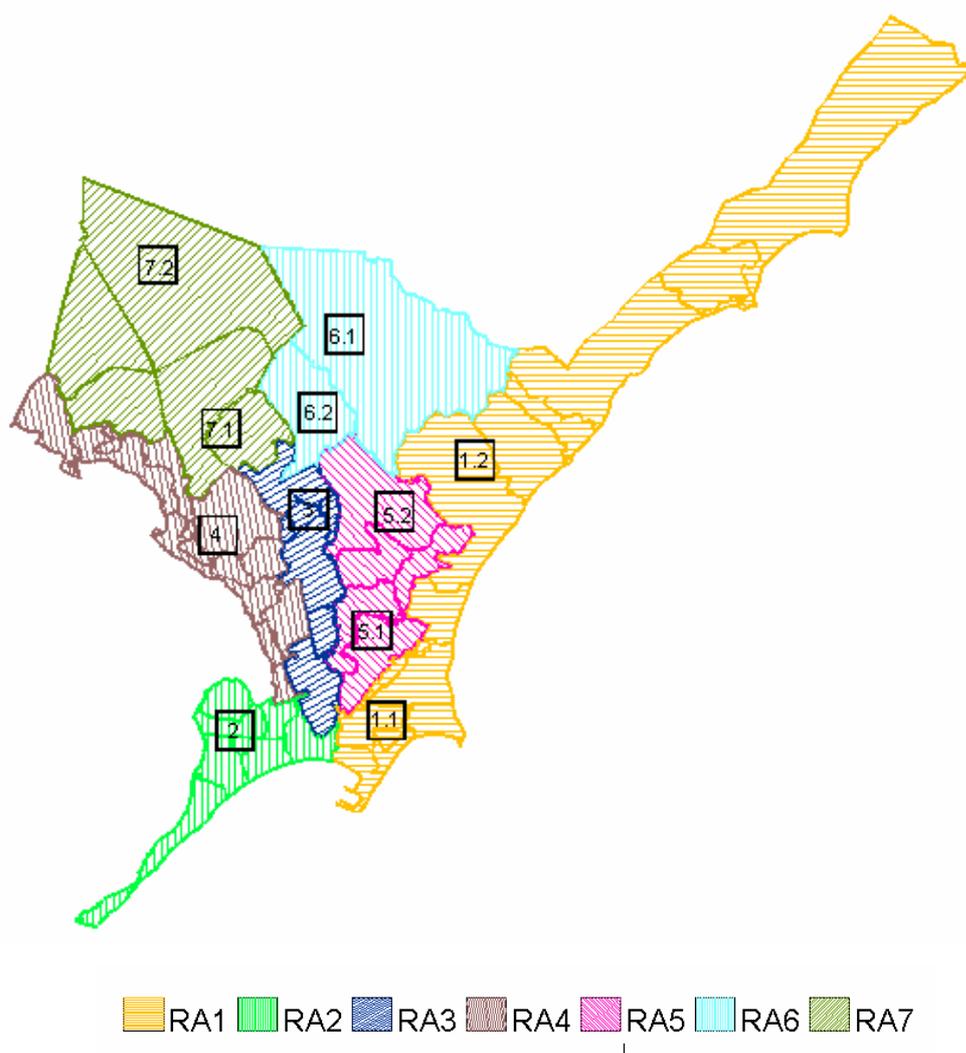


Figura 06: Imagem do município de Maceió delimitando os recortes nas Regiões Administrativas.

Os bairros inclusos nas Regiões Administrativas sofrem variações quando diz respeito à questão urbana, uns são mais densos de edificações que outros, como também na sua tipologia (Tabela 02). Portanto, os recortes serão necessários para uma melhor apreensão da variação da temperatura e do saldo nestes bairros e se realmente a questão da urbanização acelerada em determinados trechos confirma o aumento da temperatura nestas regiões. Nas regiões RA1, RA5, RA6 e RA7 foram trabalhados dois recortes, um numa localidade mais urbanizada e densa e o outro num ponto mais distante e menos populoso. Pode-se tomar como exemplo a RA1, onde o recorte titulado “1.1” engloba bairros como Ponta da Terra, Poço, Pajuçara e Jatiúca e o recorte titulado “1.2” engloba bairros como Jacarecica e Guaxuma que do ponto de vista urbano são bem distintos.

Tabela 02: Descrição dos bairros existentes em cada Região Administrativa.

<i>BAIRROS INCLUSOS NAS REGIÕES ADMINISTRATIVAS</i>	
RA1	* Jaraguá, Pajuçara, Poço, Ponta da Terra, Ponta Verde, Jatiuca, Mangabeiras, Cruz das Almas, Jacarecica, Guaxuma, Garça Torta, Riacho Doce, Pescaria e Ipioca;
RA2	* Pontal da Barra, Trapiche da Barra, Prado, Ponta Grossa, Centro, Levada e Vergel do Lago;
RA3	* Farol, Pitanguinha, Pinheiro, Gruta, Santo Amaro, Ouro Preto, Canaã e Jardim Petrópolis;
RA4	* Bom Parto, Mutange, Bebedouro, Chã de Bebedouro, Chã da Jaqueira, Petrópolis, Santa Amélia, Fernão Velho e Rio Novo;
RA5	* Jacitinho, Feitosa, Barro Duro, São Jorge e Serraria;
RA6	* Antares e Benedito Bentes;
RA7	* Cidade Universitária, Santos Dumont, Clima Bom, Tabuleiro dos Martins e Santa Lúcia.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 03 estão representados os valores da declinação solar, ângulo zenital, ângulo horário, distância relativa Terra-Sol e a temperatura do ar próximo à superfície no dia e hora da passagem do satélite TM Landsat 5 pela cidade de Maceió, nos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

Tabela 03: Valores da declinação solar, ângulo zenital, ângulo horário, distância relativa Terra-Sol e a temperatura do ar próximo à superfície no dia da passagem do TM Landsat 5 pela área de estudo.

<i>Parâmetros/dias</i>	<i>11/06/1990</i>	<i>21/09/1998</i>	<i>03/09/2003</i>
<i>Declinação solar (δ) Graus ($^{\circ}$)</i>	23,0	1,0	7,9
<i>Ângulo Zenital (Z) Graus ($^{\circ}$)</i>	50,5	34,7	38,4
<i>Ângulo horário (ω) Graus ($^{\circ}$)</i>	39	33,7	34
<i>Distância relativa Terra-Sol ($d_{T.S}$) (UA)</i>	0,9692	0,9918	0,9823
<i>Temperatura do ar próximo a superfície (T_0) ($^{\circ}$C)</i>	24,3	24,7	24,1

As Figuras 07, 08 e 09, apresentadas abaixo, são referentes a área de estudo (município de Maceió) nos anos de 1990, 1998 e 2003, respectivamente, vistas na composição falsa cor RGB das bandas 2, 3 e 4 do Mapeador Temático do Landsat 5. De forma geral, observa-se uma variedade de tons: a coloração avermelhada representa áreas com vegetação, as áreas em tons esverdeados representam áreas urbanizadas e no tom azul escuro, no canto direito da imagem vê-se o oceano Atlântico, limitando a costa litorânea da cidade e no canto esquerdo a lagoa Mundaú.

Analisando as imagens é possível perceber que a cidade de Maceió no decorrer dos anos da década de 90 evoluiu consideravelmente no que diz respeito à área construída. Os tons esverdeados na imagem intensificam-se em alguns bairros e em outros é notória a sua expansão, como por exemplo, o bairro do Benedito Bentes indicado abaixo.



Figura 07: Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente a área de estudo para o dia 11 de junho de 1990.



Figura 08: Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente a área de estudo para o dia 21 de setembro de 1998.

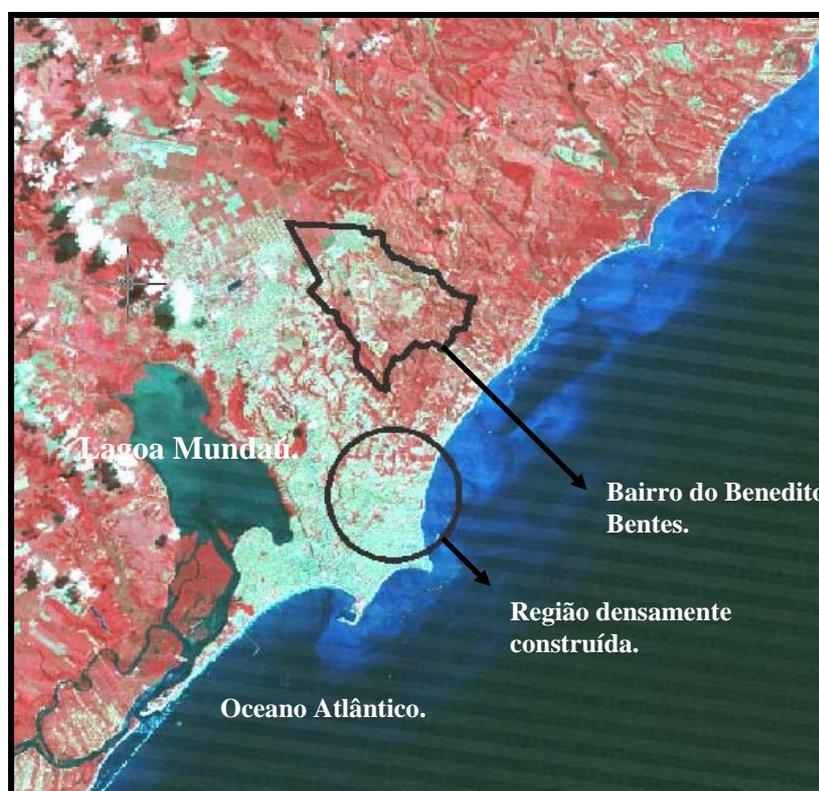


Figura 09: Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente a área de estudo para o dia 03 de setembro de 2003.

4.1. TRANSMISSIVIDADE E EMISSIVIDADE

A transmissividade estimada da cidade de Maceió com base na sua altitude foi de 0,7503, sendo assim considerada constante, para efeito de simplificação, para toda a área de estudo. Esta foi obtida pelo cálculo proposto por Allen et al. (2002), segundo a metodologia aplicada na pesquisa.

A emissividade da superfície para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003, apresentou valores médios em torno de 0,969, 0,967 e 0,968 respectivamente, caracterizando uma pequena variação entre os anos. Em áreas densamente habitadas, como mostram as imagens acima, a emissividade da superfície ficou em torno de 0,95 e em áreas menos densas ficaram em torno de 0,96.

A Tabela 04 aponta valores estatísticos da emissividade da superfície de toda a cena nos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003. Os valores mínimos encontrados foram de 0,95 em todas as imagens, os valores máximos e a moda também não sofreram variação, sendo de 0,985 em todos os anos estudados.

No ano de 1998 houve uma maior variabilidade nos valores da emissividade, comparado aos demais anos, como mostra os valores do desvio padrão (0,016) e da variância (0,000256), sendo a menor discrepância verificada para o ano de 1990 com um desvio padrão de 0,014 e uma variância de 0,000196.

Tabela 04: Valores estatísticos da emissividade da superfície (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Emissividade da superfície</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Moda</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância</i>
1990	0,95	0,985	0,969	0,985	0,014	0,000196
1998	0,95	0,985	0,997	0,985	0,016	0,000256
2003	0,95	0,985	0,968	0,985	0,015	0,000225

4.2. ÍNDICES DE VEGETAÇÃO DA DIFERENÇA NORMALIZADA (IVDN)

A Tabela 05 e as Figuras 10, 11 e 12, as quais representam os histogramas dos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003 têm a média

representada pela linha vertical vermelha e apresentam valores estatísticos do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para os anos estudados. Em 1990 foram obtidos valores entre $-0,867$ e $0,846$, com média de $0,188$. Em 1998 os valores variaram entre $-0,635$ e $0,841$ com média de $0,253$ e em 2003 seus valores foram entre $-0,766$ e $0,799$ e valor médio de $0,242$. A moda teve pouca variação entre os anos de 1990 e 1998, já em 2003 se vê uma diminuição do valor desse índice. Percebe-se que houve um aumento do valor médio do IVDN ficando caracterizado aumento da cobertura vegetal.

A variância e o desvio padrão foram maiores para o ano de 1990 com valor de $0,2401$ e $0,49$ respectivamente, constatando-se então, que houve uma maior variabilidade nos valores do IVDN. A menor discrepância verificada entre os anos foi para 2003, sendo de $0,372$ o desvio padrão e de $0,1384$ a variância.

Tabela 05: Valores estatísticos do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) mínima, máxima, médio, moda, desvio padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Moda</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância</i>
1990	-0,867	0,846	0,188	-0,158	0,490	0,2401
1998	-0,635	0,841	0,253	-0,151	0,401	0,1608
2003	-0,766	0,799	0,242	-0,192	0,372	0,1384

As regiões com valores negativos do IVDN correspondem à lagoa Mundaú, ao oceano Atlântico, a rios e riachos, a pequenos açudes encontrados numa análise minuciosa do local e solos úmidos, já que este índice é um grande indicador da quantidade e da condição da cobertura vegetal da superfície. Nas Figuras 13, 14 e 15 está representado o IVDN para os anos de 1990, 1998 e 2003, respectivamente. Constata-se que a cor azul escura representa valores negativos, encontrados em regiões com água, o verde representa valores intermediários do IVDN sendo encontrados em maior quantidade na Região Administrativa 2 (RA2), a cor vermelha é vista em quase toda a área urbana da cidade e o tom amarelo nas regiões com predominância de áreas verdes (cultivo da cana de açúcar ou vegetação rasteira) que é onde são encontrados os valores mais altos do IVDN. É possível perceber pelas imagens, uma intensificação da tonalidade verde dentro da malha urbana da cidade no ano de 2003 se comparado aos anos de 1990 e 1998. A tonalidade avermelhada também teve seu crescimento percebido, principalmente na Região Administrativa 6 (RA6) e na 7 (RA7) e na faixa litorânea da cidade.

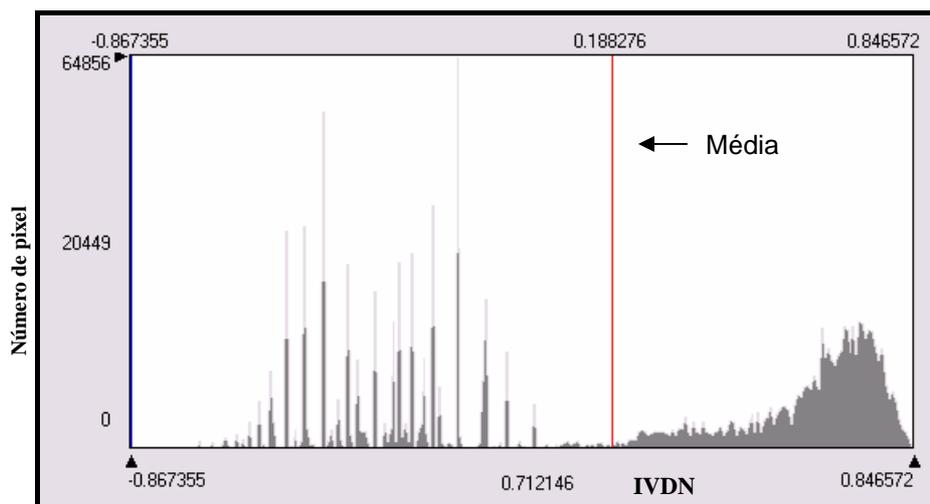


Figura 10: Histograma de frequência do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 11 de junho de 1990.

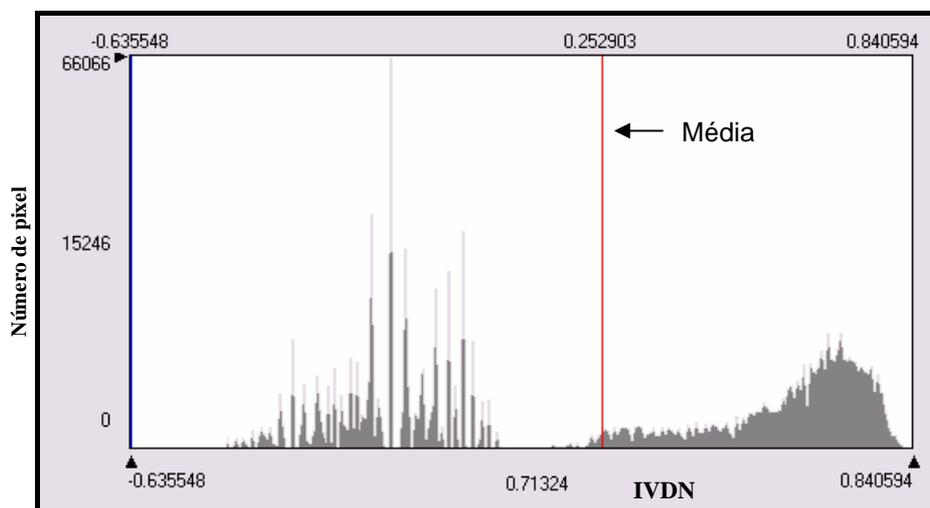


Figura 11: Histograma de frequência do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 21 de setembro de 1998.

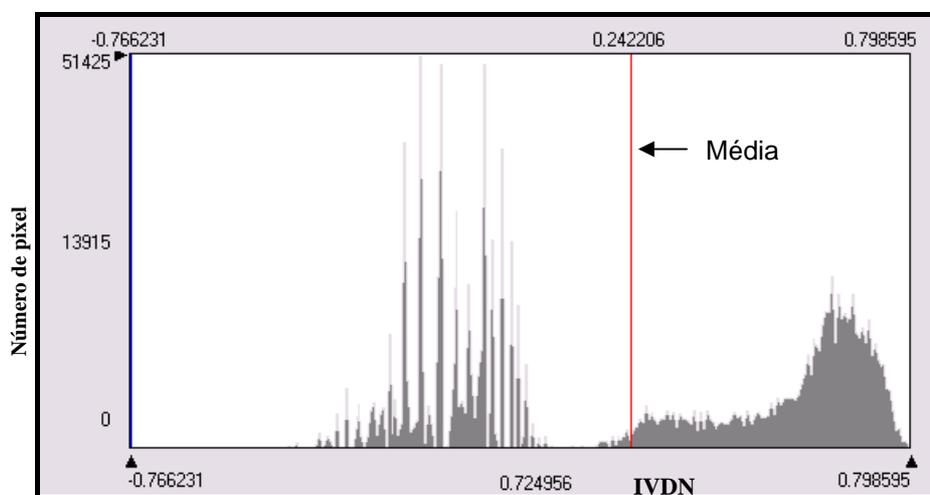
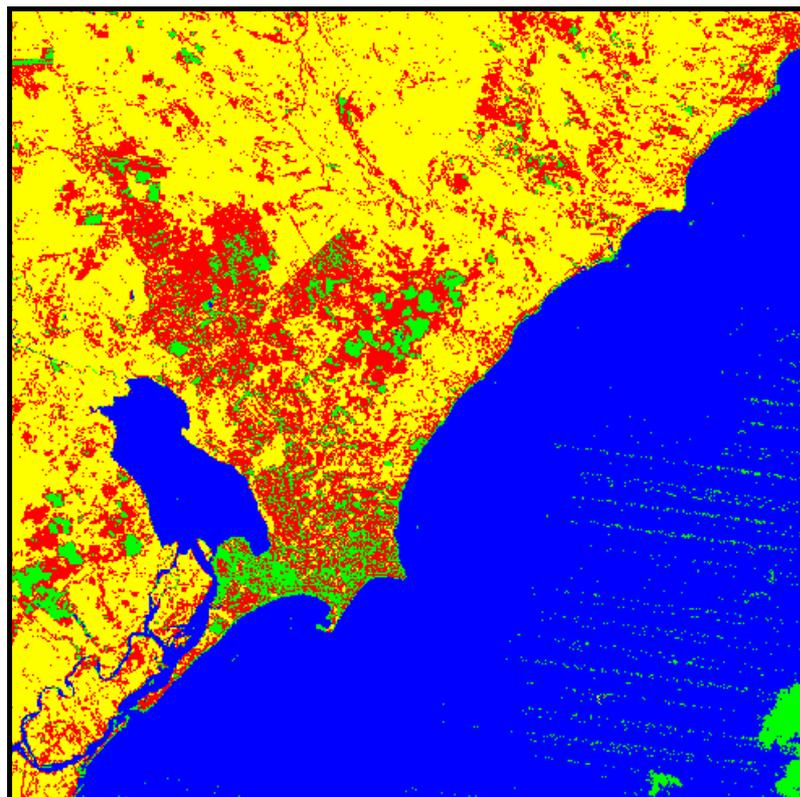
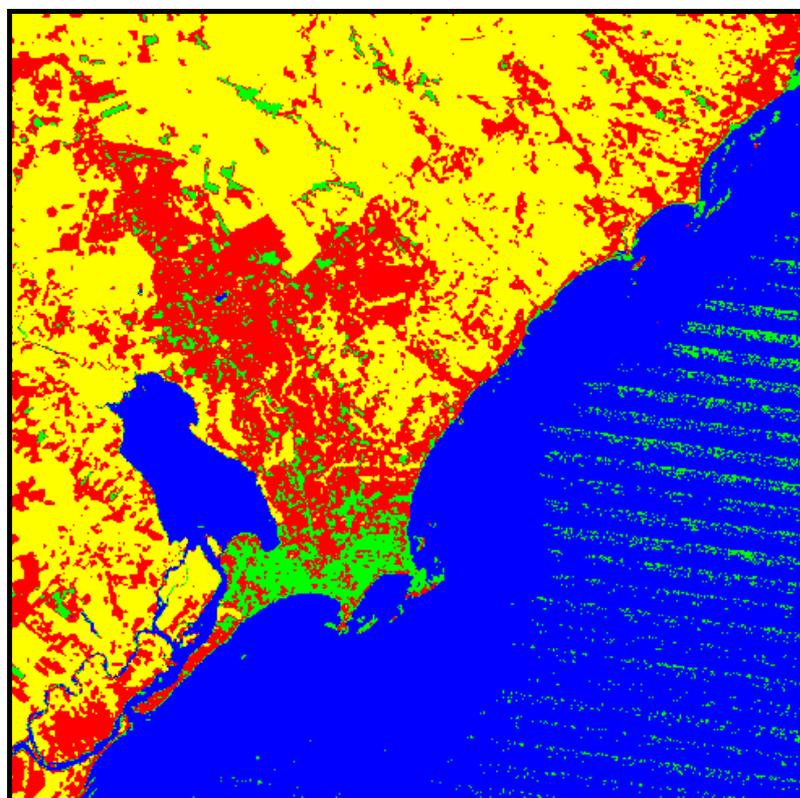


Figura 12: Histograma de frequência do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 03 de setembro de 2003.



■ $NDVI < 0,003$ ■ $0,003 < NDVI < 0,30$ ■ $0,30 < NDVI < 0,60$ ■ $NDVI > 0,60$

Figura 13: Imagem do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para 11 de junho de 1990.



■ $NDVI < 0,003$ ■ $0,003 < NDVI < 0,30$ ■ $0,30 < NDVI < 0,60$ ■ $NDVI > 0,60$

Figura 14: Imagem do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 21 de setembro de 1998.

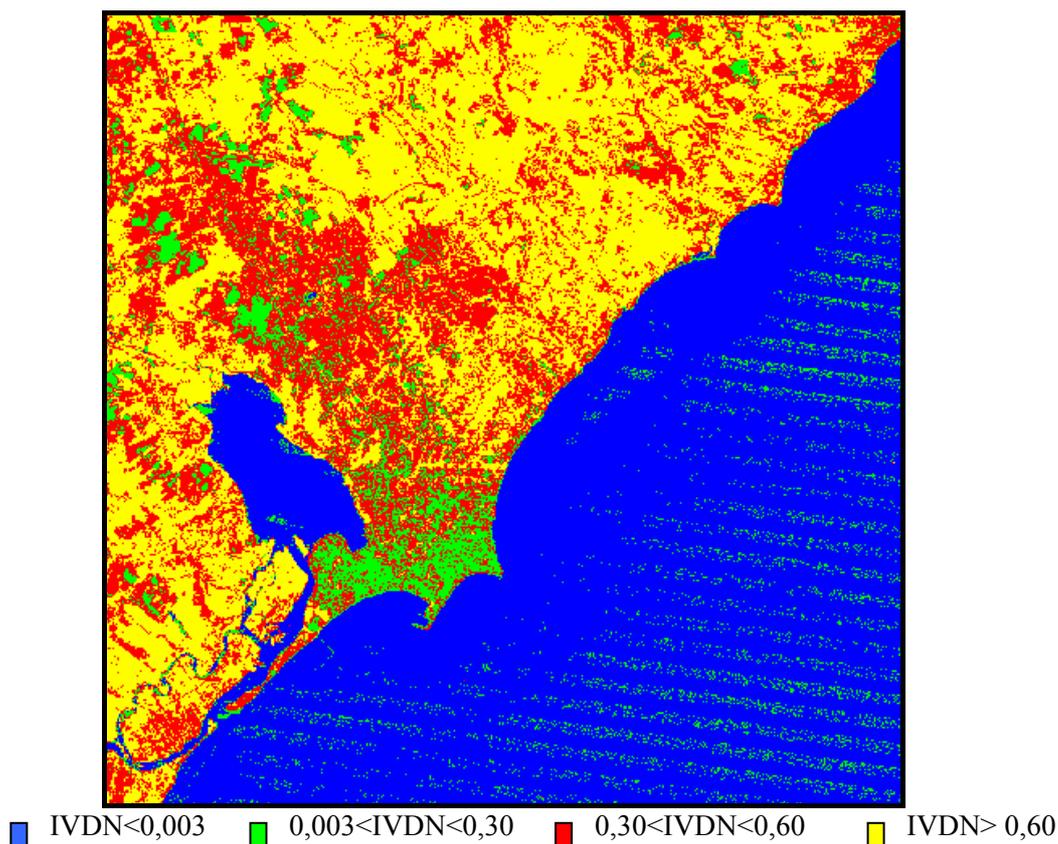


Figura 15: Imagem do Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN) para o dia 03 de setembro de 2003.

4.3. ALBEDO

A Tabela 06 aponta os valores estatísticos do albedo da superfície nos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e finalizando o dia 03 de setembro de 2003. Os valores referentes ao ano de 1990 foram: 2,46% o valor mínimo encontrado, de 33,65% o valor máximo e de 5,55 o seu desvio padrão; para o ano de 1998 os valores foram: 1,97% o valor mínimo, de 29,72% o valor máximo encontrado e 5,37 o desvio padrão e para o ano de 2003 os valores adquiridos foram: 2,68% o mínimo, de 33,92% o máximo e o valor do desvio padrão foi de 6,43. A partir dos valores do albedo da superfície analisados, pode-se concluir que os menores valores do albedo encontrados foi para 1998.

No ano de 2003, ocorreu uma maior variabilidade para os valores estimados do albedo se comparado aos demais anos, sendo de 6,43 o desvio padrão e de 41,34 a variância. Para o ano de 1998 observam-se os menores valores, sendo contatada assim, uma menor discrepância.

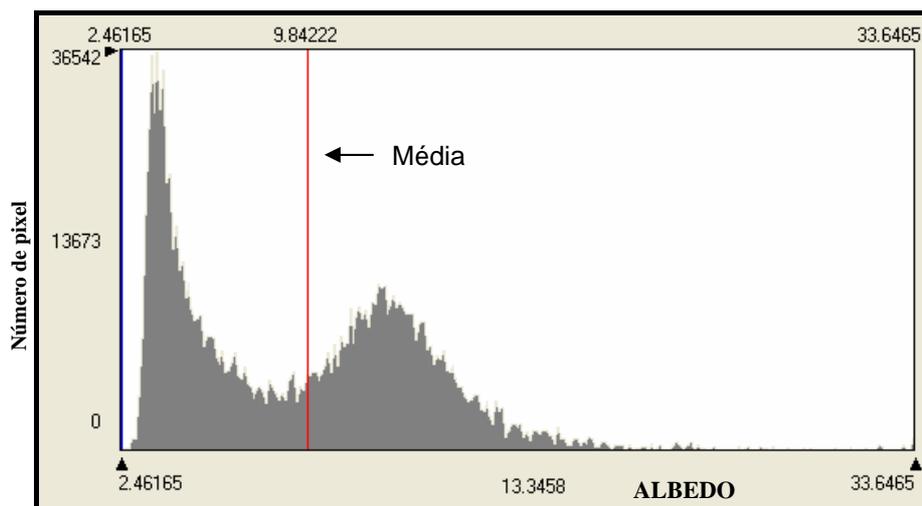
Tabela 06: Valores estatísticos do albedo (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Albedo da Superfície</i>	<i>Mínimo (%)</i>	<i>Máximo (%)</i>	<i>Média (%)</i>	<i>Moda</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância</i>
1990	2,46	33,65	9,84	3,8	5,55	30,8
1998	1,97	29,72	9,95	3,06	5,37	28,84
2003	2,68	33,92	12,06	4,76	6,43	41,34

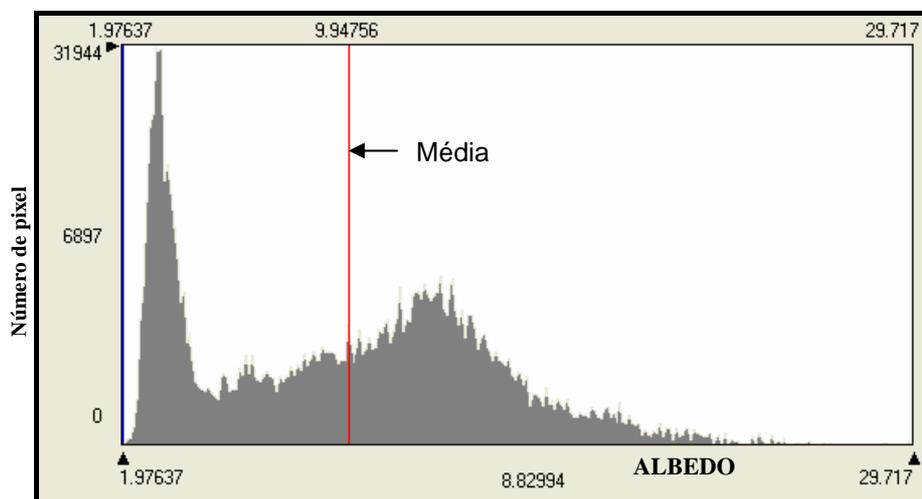
As Figuras 16, 17 e 18, representando os histogramas de frequência do albedo da superfície, mostram que a variação média do albedo entre os anos de 1990 e 1998 foi pequena, sendo apenas de 9,84% e 9,95%, respectivamente; enquanto que o ano de 2003 sofreu uma maior variação em relação aos outros anos estudados, apresentando um valor médio de 12,06% e superior às outras médias obtidas.

As imagens 19, 20 e 21 reforçam esta observação, como também fica percebido que os maiores valores do albedo são encontrados na malha urbana da cidade, representados pela tonalidade amarela (com valores do albedo superiores a 21,96%), a tonalidade vermelha representa valores intermediários do albedo (com seu intervalo variando de 15,98 a 21,96%), sendo observado em maior quantidade no ano de 2003. É analisado pelas imagens um aumento gradativo do albedo entre os anos pesquisados, onde os valores superiores a 15,98% são encontrados mais intensamente com o passar dos anos na cidade à medida que o processo de urbanização foi se intensificando, visto que em áreas com solos expostos ou pavimentados apresentam maior refletividade do que solos com vegetação, devido ao tipo de solo e da pouca capacidade que este tem em reter umidade.

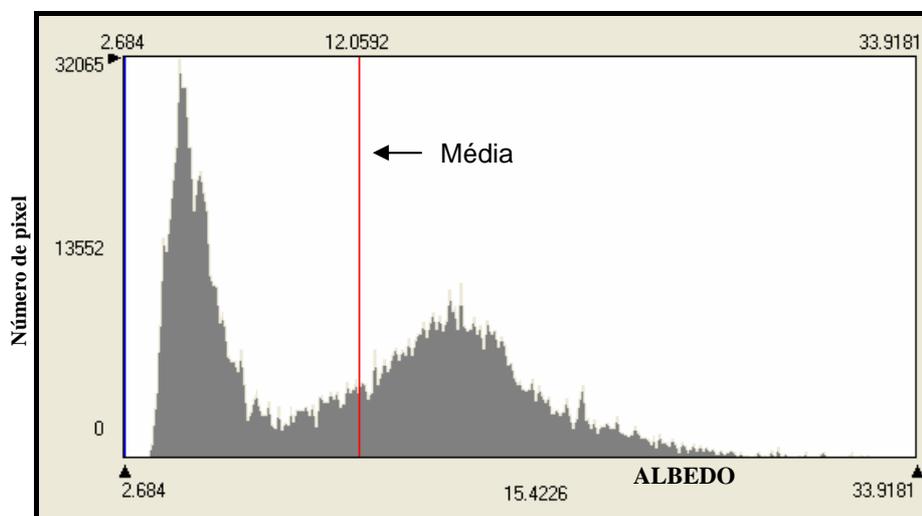
Os menores valores do albedo foram encontrados em sua totalidade na água, indicados pelas regiões com tonalidades azul escura e verde, significando que maior parte da área apresenta o albedo menor que 9,88% e entre 9,88% a 15,98% respectivamente.



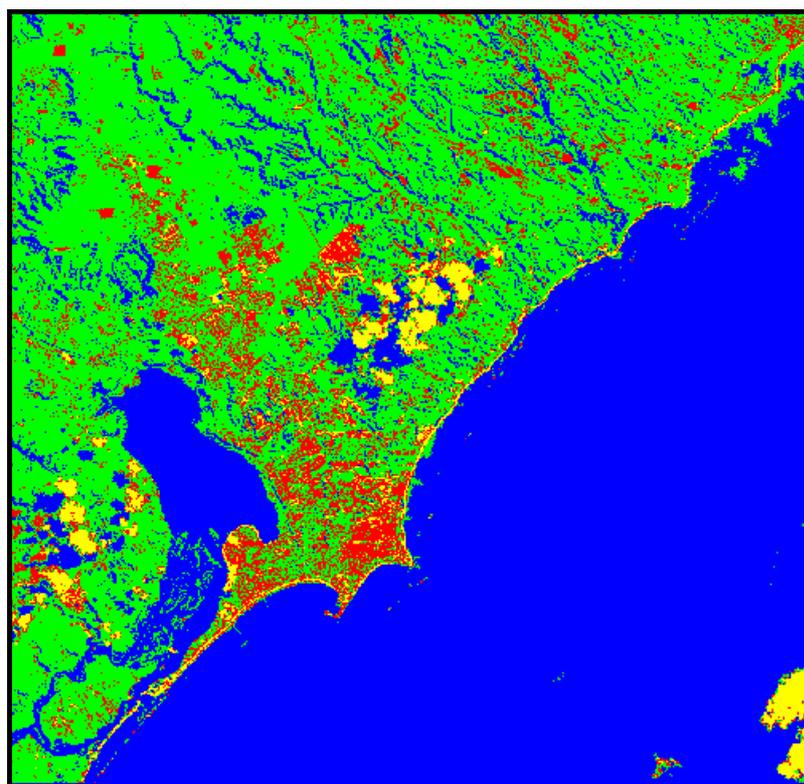
1990. **Figura 16:** Histograma de frequência do albedo da superfície para o dia 11 de junho de



1998. **Figura 17:** Histograma de frequência do albedo da superfície para o dia 21 de setembro de

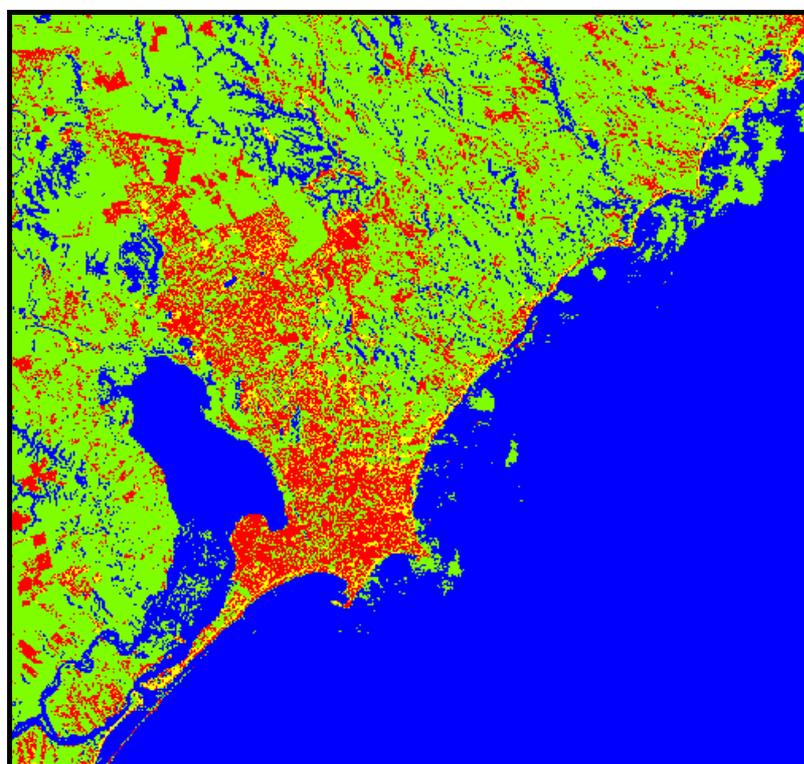


2003. **Figura 18:** Histograma de frequência do albedo da superfície para o dia 03 de setembro de



■ $\alpha < 9,88\%$ ■ $9,88\% < \alpha < 15,98\%$ ■ $15,98\% < \alpha < 21,96\%$ ■ $\alpha > 21,96\%$

Figura 19: Imagem do albedo da superfície para o dia 11 de junho de 1990.



■ $\alpha < 9,88\%$ ■ $9,88\% < \alpha < 15,98\%$ ■ $15,98\% < \alpha < 21,96\%$ ■ $\alpha > 21,96\%$

Figura 20: Imagem do albedo da superfície para o dia 21 de setembro de 1998.

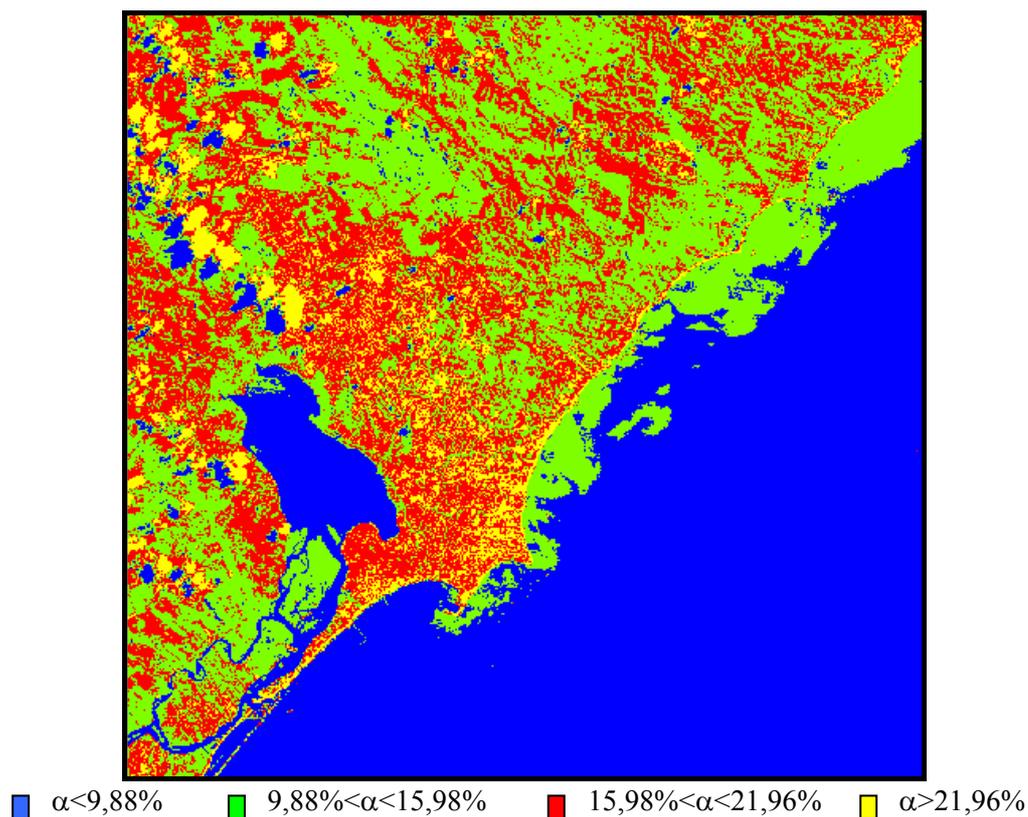


Figura 21: Imagem do albedo da superfície para o dia 03 de setembro de 2003.

4.4. TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Na Tabela 07 são apontados os valores estatísticos: mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e a variância da temperatura da superfície para os dias de 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003, onde percebe-se com mais clareza que as temperaturas mais elevadas ocorreram justamente no ano de 1998, tendo seu valor mínimo de 24,3°C, máximo de 32,2°C e média de 26,9°C seguido do ano de 2003 com temperaturas de 21,9°C o valor mínimo, de 32,4°C o máximo e de 24,9°C a média obtida e por fim as temperaturas relacionadas ao ano de 1990, naturalmente por setembro apresentar no hemisfério sul uma estação climática mais quente do que no mês de junho, que é inverno.

No ano de 1998 houve uma maior variabilidade nos valores da temperatura da superfície com relação aos outros anos como mostra os valores do desvio padrão (2,34) e da variância (5,4756). Em 1990, fica verificado a menor discrepância de valores do desvio padrão(1,33) e da variância (1,7689).

Tabela 07: Valores estatísticos da temperatura na superfície (mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>	<i>Mínimo (°C)</i>	<i>Máximo (°C)</i>	<i>Média (°C)</i>	<i>Moda</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância</i>
1990	22,1	29,3	24,2	23,17	1,33	1,7689
1998	24,3	32,2	26,9	24,82	2,34	5,4756
2003	21,9	32,4	24,9	23,17	1,86	3,4596

As Figuras 23, 24 e 25 representam as imagens da temperatura da superfície (Ts) para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003. Analisando as figuras, constata-se que nas áreas com tonalidade azul escuro encontram-se as menores temperaturas, tendo seus valores inferiores a 23,8°C, as áreas com tonalidade verde representam os valores intermediários da temperatura que variam de 24°C até 27°C aproximadamente. A tonalidade avermelhada das imagens representa os valores que variam de 26,5°C a 30°C e os tons amarelos são os superiores a 29°C ou 30°C.

Nos comparativos das imagens pode-se ver entre os anos estudados que os menores valores da temperatura foram observados em 1990 e os maiores valores em 1998, podendo ser comprovado pelas médias diárias obtidas juntamente com o INMET – Instituto Nacional de Meteorologia e pelos dados de precipitação dos meses referentes aos anos estudados na pesquisa, que os valores médios diários para os anos de 1998 e 2003 foram de: 24,7°C e 24,1°C respectivamente. Para o ano de 1990, foram utilizadas as Normais Climatológicas entre os anos de 1961 a 1990, cedida pelo INMET cujo valor médio para o mês de junho foi de 24,3°C. Os dados de precipitação confirmam esta análise, pois no mês de setembro de 1998 precipitou muito pouco se comparado ao mesmo mês no ano de 2003 como mostra a Figura 22. Em todas as imagens observadas, percebe-se que as maiores temperaturas estão dentro da malha urbana da cidade, sofrendo uma variação de aproximadamente 26,5°C a 32°C.

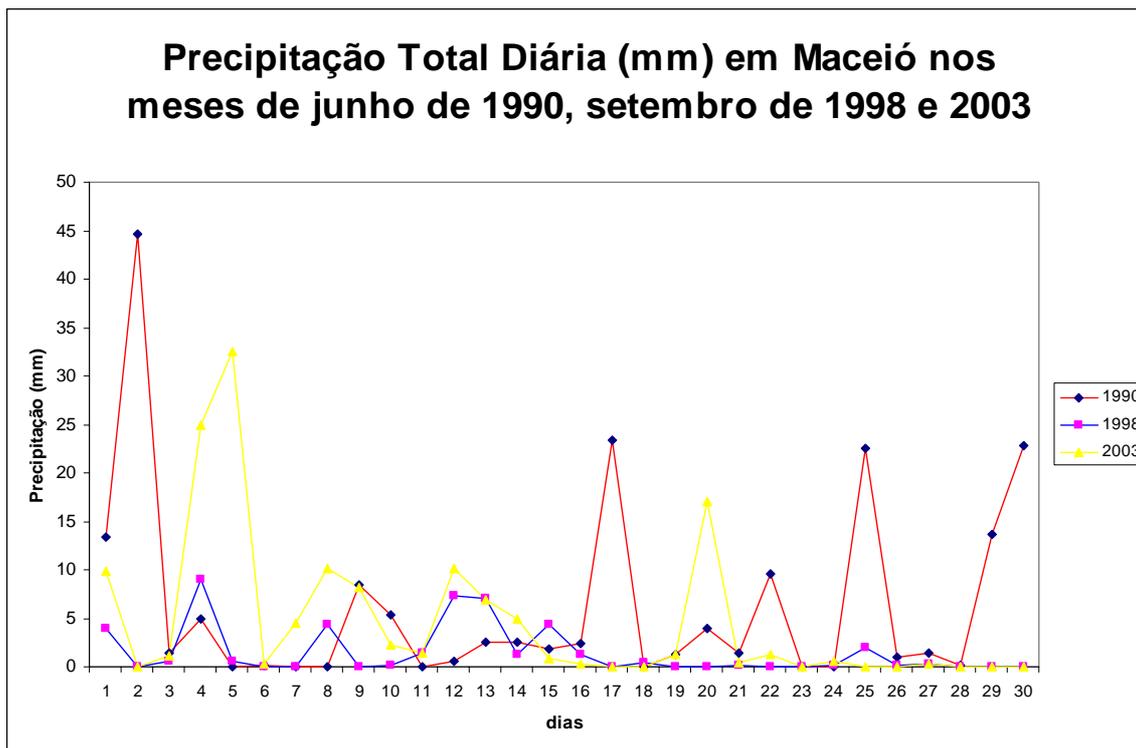


Figura 22: Dados de precipitação total diária (mm) nos meses de junho de 1990 e setembro de 1998 e 2003.

As regiões mais quentes da cidade observadas nas figuras, estão concentradas em quase toda a Região Administrativa 2 e na parte inferior das Regiões Administrativas 1, 3, 4 e 5, ou seja, onde encontra-se o maior adensamento da malha urbana, exceto para o ano de 1998, onde observa-se uma homogeneidade das temperaturas nos bairros, como mostram as figuras comparativas 23 e 25.

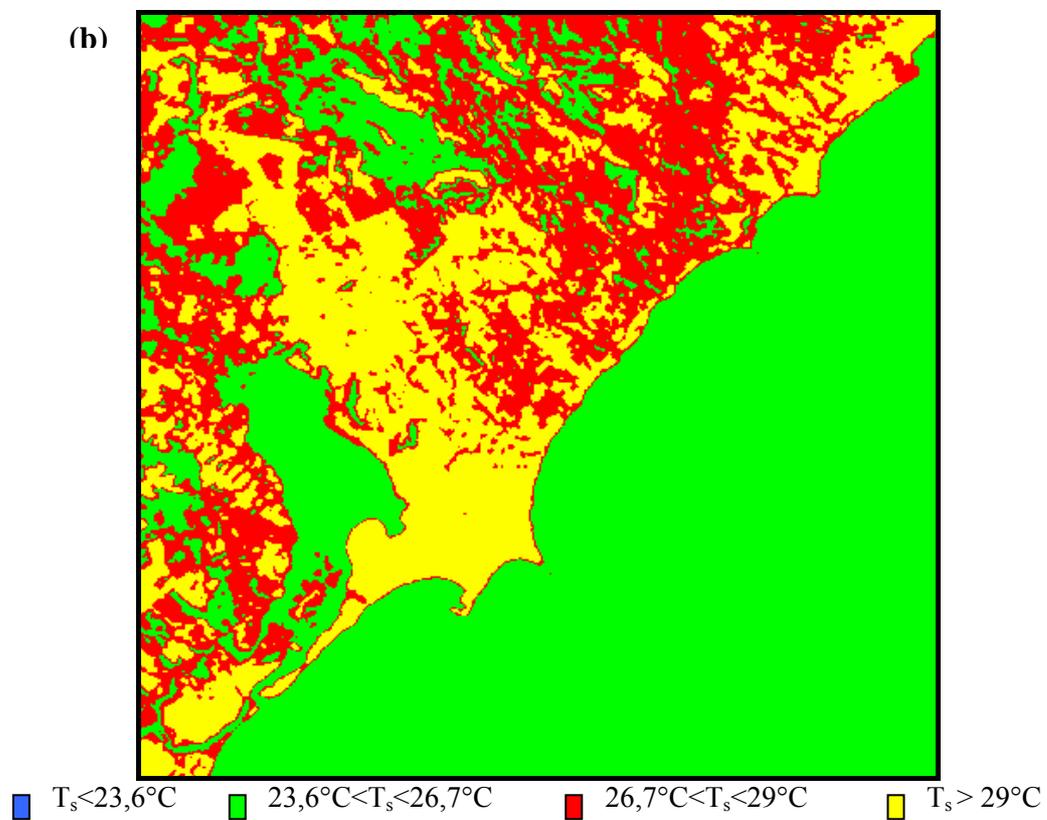
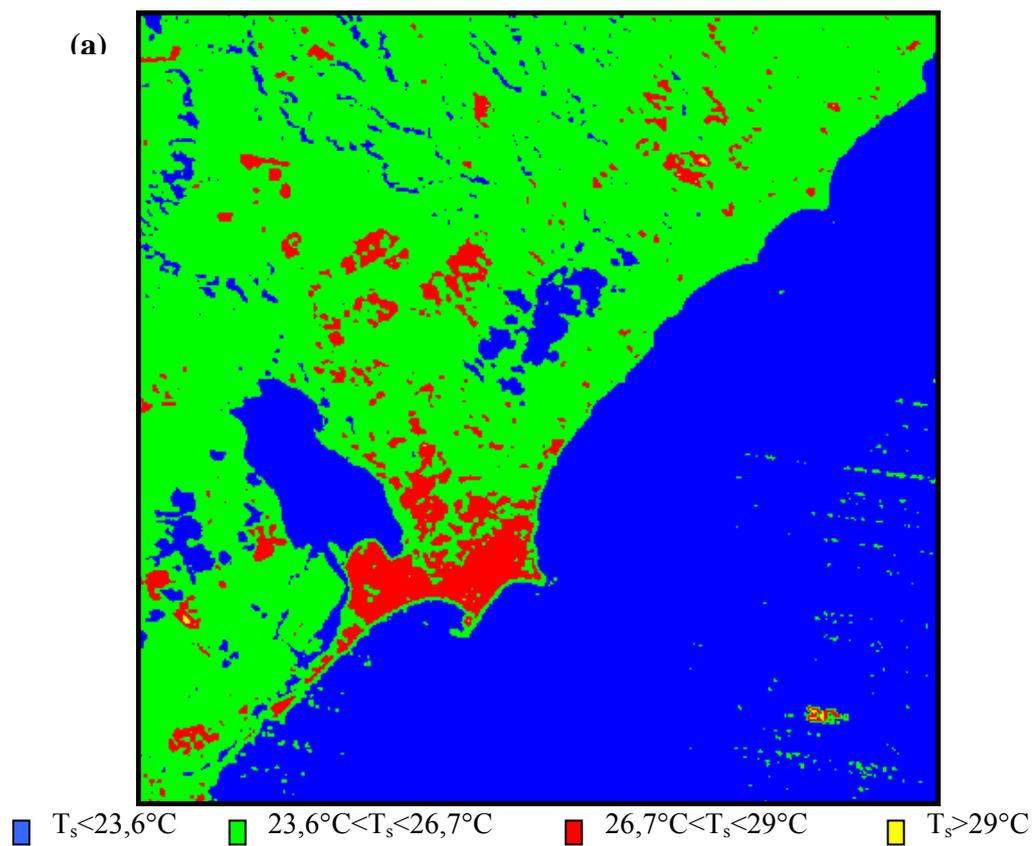


Figura 23a e b: Imagem da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.

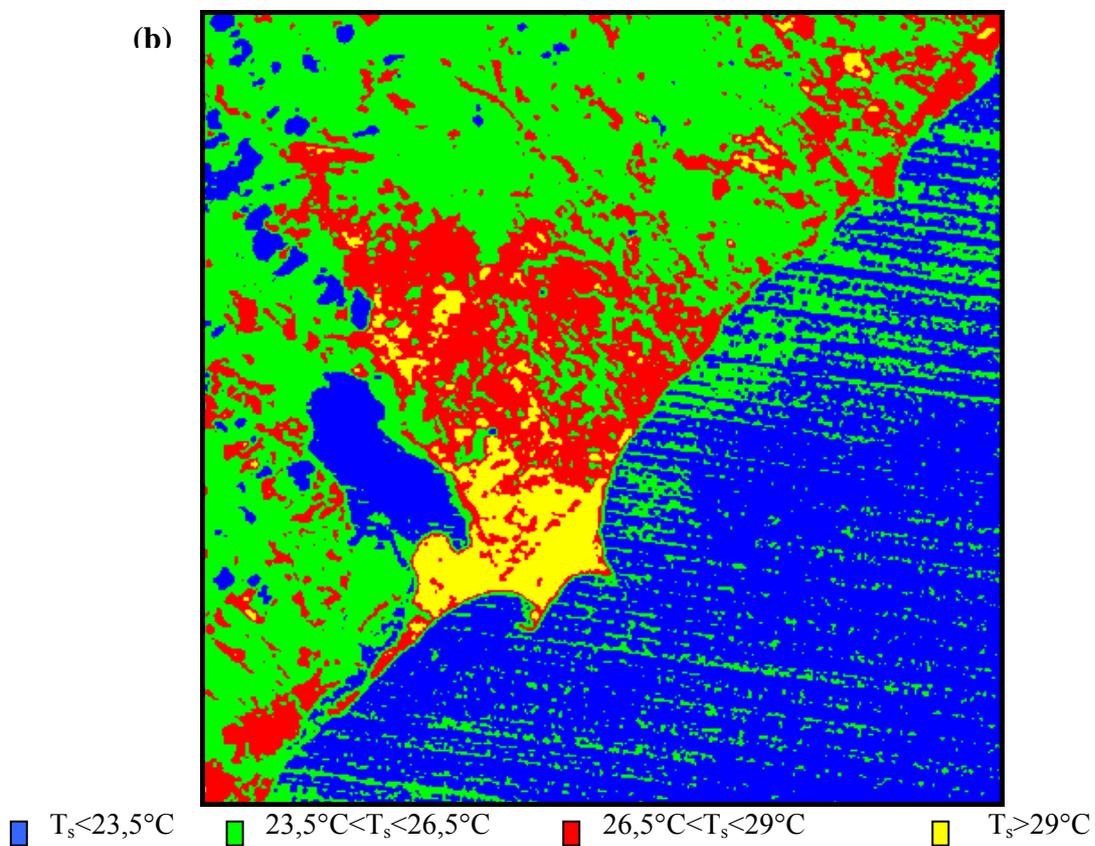
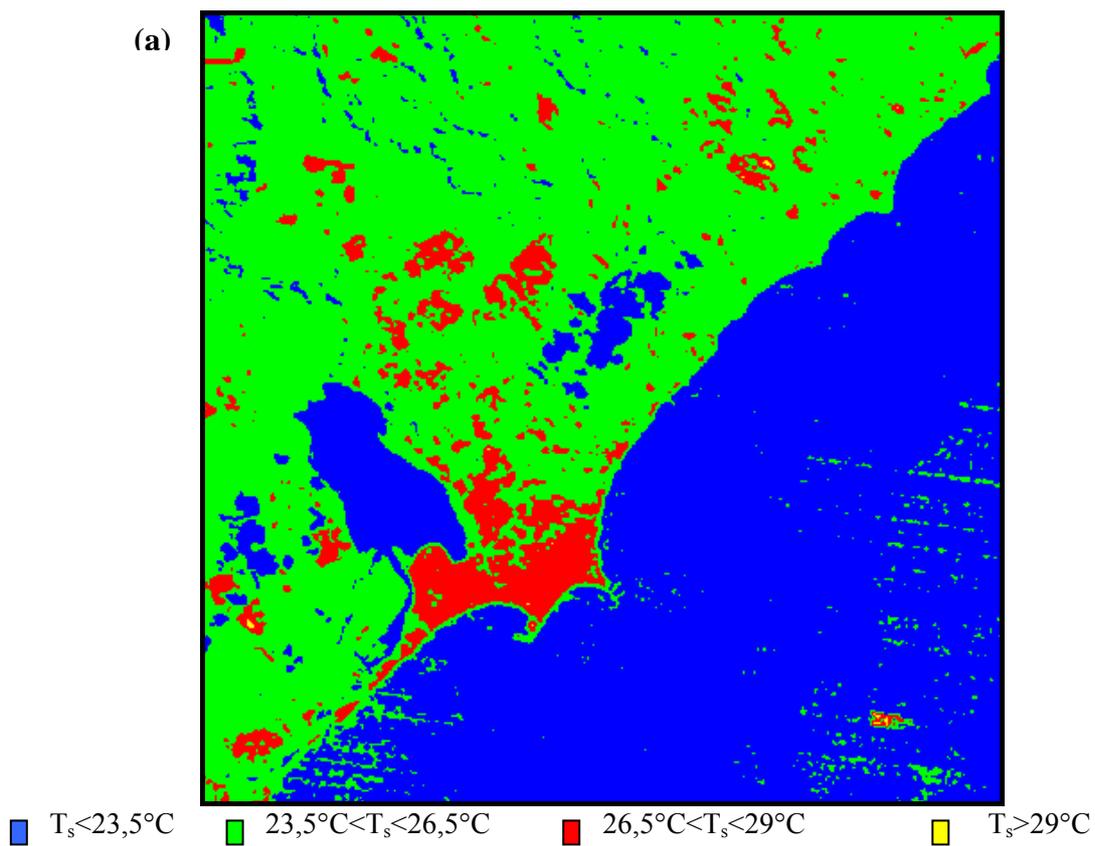


Figura 24a e b: Imagem da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 03 de setembro de 2003 (b) respectivamente.

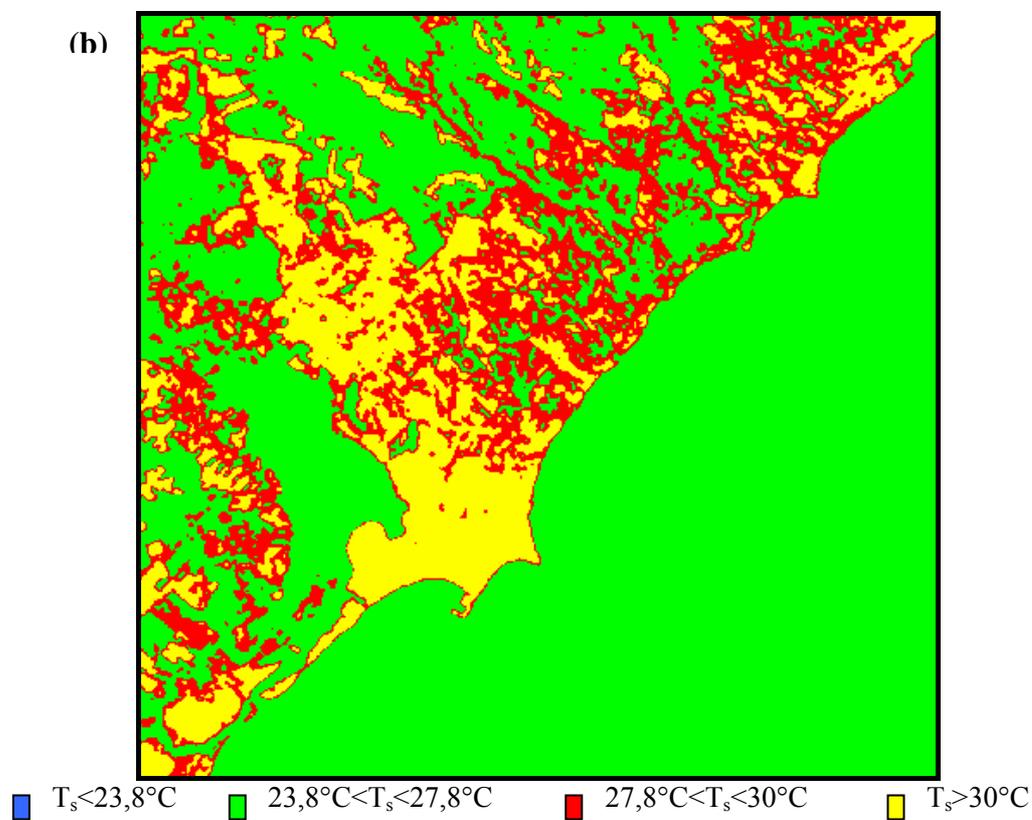
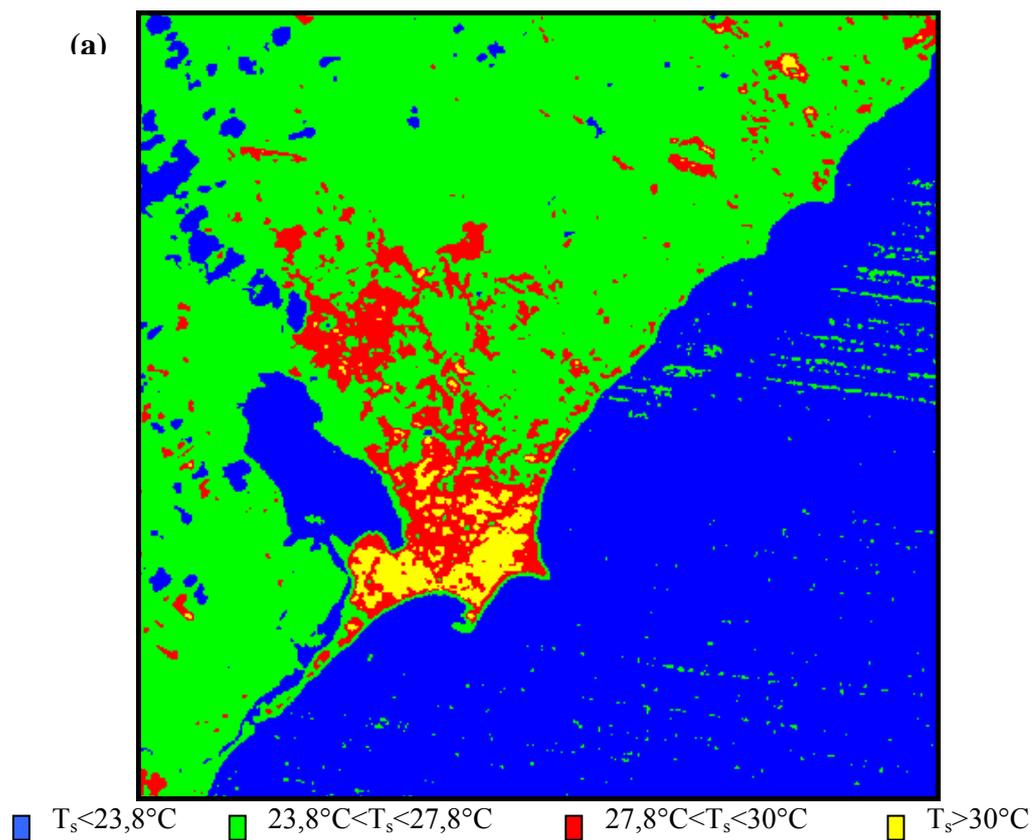


Figura 25a e b: Imagem da temperatura da superfície para o dia 03 de setembro de 2003 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.

Tôrres (2005) realizou um estudo sobre os espaços públicos urbanos e os microclimas formados no centro histórico, de serviços e comércio de Maceió-AL, no período de outubro e novembro de 2002 e em janeiro de 2003, avaliando a qualidade climática de quatro praças (pontos) distintas do centro da cidade a parti de medições móveis realizadas nos horários de 09:00h, 12:00h, 15:00h e 18:00h, em dias de céu claro. As médias de temperatura obtidas foram de 30,1°C para a praça Rodolfo Lins, de 28,8°C para a praça Marechal Deodoro, de 29,8°C para a praça da Independência e de 28,3°C para a praça Palmares. De acordo com os resultados apresentados por Torres, estes validam, pela proximidade dos resultados, os valores estimados da temperatura da superfície para o ano de 2003 obtidos nesta pesquisa para a mesma região estudada (Região Administrativa 2).

As Figuras 26, 27 e 28 representam os histogramas de frequência da temperatura da superfície cuja média é destacada pela linha vertical vermelha indicada em cada figura. Encontram-se os menores valores de temperatura abaixo da média em todas as figuras, sendo a causa à região oceânica e lagunar vistas na imagem.

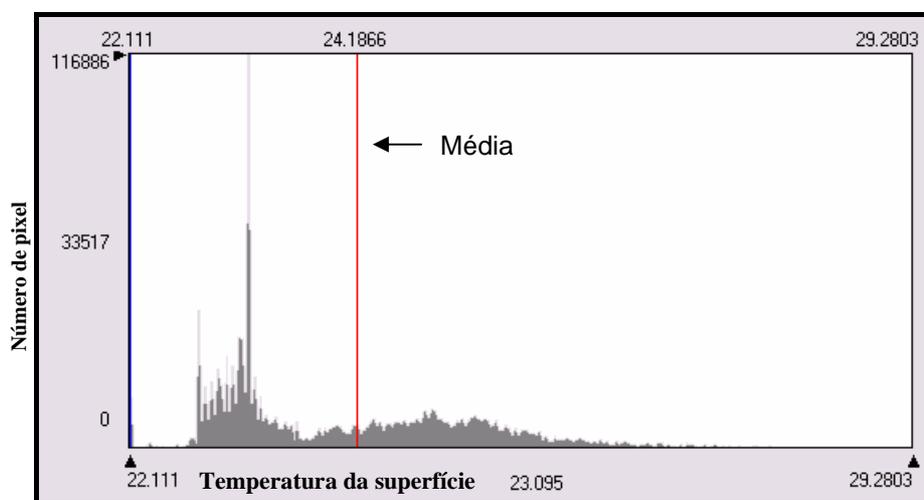


Figura 26: Histograma de frequência da temperatura da superfície para o dia 11 de junho de 1990.

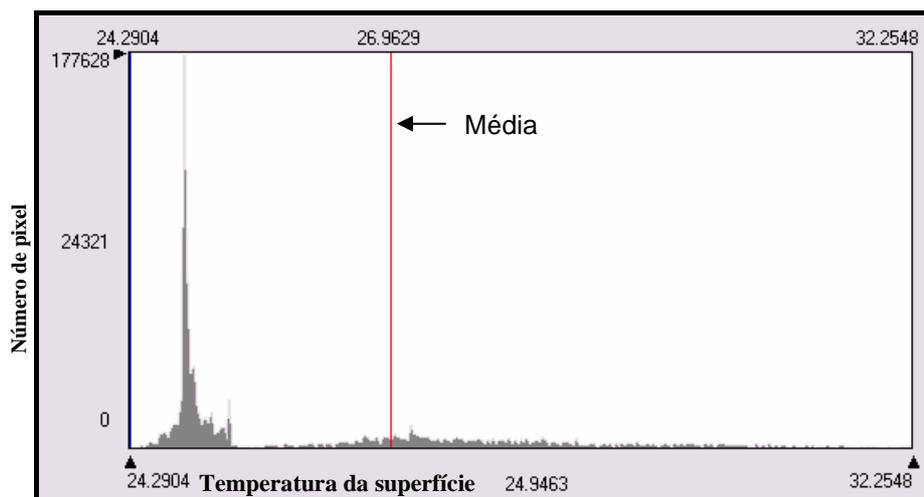


Figura 27: Histograma de frequência da temperatura da superfície para o dia 21 de setembro de 1998.

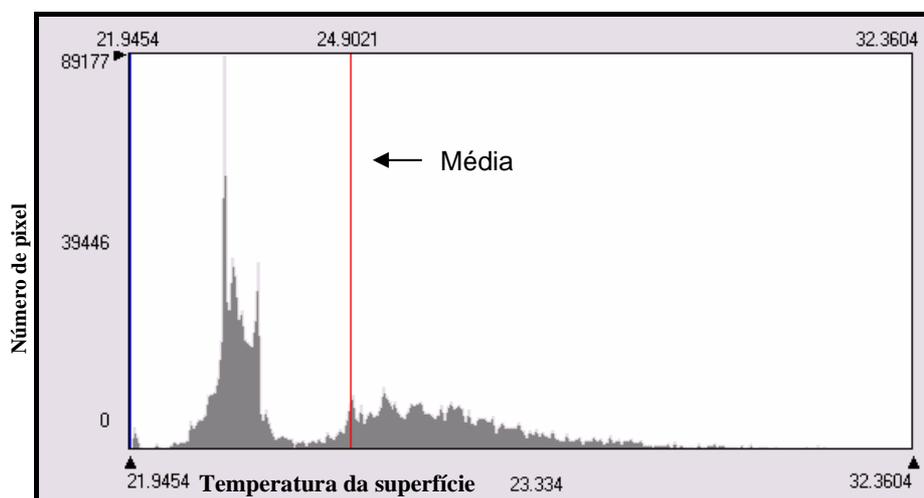


Figura 28: Histograma de frequência da temperatura da superfície para o dia 03 de setembro de 2003.

Segundo Oke (1996) Apud Barbirato et al. (2001), o clima urbano é uma modificação substancial do clima de uma determinada localidade, resultado das condições próprias do meio ambiente urbano, seja pela sua rugosidade, tipo de ocupação do solo, orientação, permeabilidade do solo e propriedades dos materiais constituintes, entre outros fatores.

Lombardo (1997) afirma também que a cidade modifica o clima através de alterações complexas na superfície, podendo alterar a ventilação, umidade e precipitações, resultando, na maioria das vezes, em condições adversas.

Analisando a temperatura da superfície pelos recortes feitos em cada Região Administrativa (RA) explicado na metodologia e levando em consideração análises de outros estudos referentes à temperatura no ambiente urbano, pode-se concluir melhor que em bairros cujo adensamento urbano foi intenso, obtiveram-se maiores valores de temperatura em detrimento aos que tiveram uma intensa expansão horizontal, ou seja, independente da maioria das características vinculadas a cada Região Administrativa da cidade, esta não interferiu nos resultados do cálculo da temperatura, onde os que caracterizaram o aumento ou diminuição da temperatura nos recortes foram às alterações ocorridas na superfície construída. Por exemplo, na Região Administrativa 1 (RA1), observando os dois recortes dentro da mesma área, é possível perceber que a variação existente é de aproximadamente 1°C para o ano de 1990 e 2°C para os anos de 1998 e 2003 tendo os valores mais altos nas regiões densamente urbanizadas.

De forma geral, os valores da temperatura obtidos no dia 11 de junho de 1990 se comparado com o dia 03 de setembro de 2003, percebe-se um aumento na temperatura da superfície que pode ter sido ocasionado pelo crescimento e desenvolvimento da cidade de Maceió como também, por cada uma das imagens representarem estações climáticas distintas, a primeira é referente ao inverno e a segunda ao mês da primavera.

As Tabelas 08, 09, 10, 11, 12, 13 e 14 apontam os valores mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e a variância dos recortes em cada região administrativa estudada para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003 e as Figuras 29, 30, 31, 32, 33, 34 e 35 mostram os gráficos que determinam o perfil da temperatura para cada pixel analisado nos recortes reforçando a análise. Nestas figuras é possível ver a variação dos dados estimados, indicados pelas curvas, mais detalhadamente.

A temperatura média estimada da superfície na RA1.1 e RA1.2 para o ano de 1990, sofreu menor variação se comparado aos outros anos tendo uma média de 1°C de diferença entre as duas regiões. Em 1998 e 2003 a variação ficou em torno de 2°C como aponta a Tabela 08. A maior variância encontrada foi no ano de 1998 na RA1.2, tendo seu valor em torno de 2,2801, podendo ser comprovada a sua variação pela Figura 29.

Tabela 08: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 1, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA1)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 1.1 - 1990	24,9	29	27	27,23	0,76	0,5776
RA 1.2 - 1990	23,9	27,3	25,4	25,74	0,46	0,2116
RA 1.1- 1998	28,8	32,2	31,8	32,24	0,70	0,49
RA 1.2 - 1998	26,9	32,2	29,6	32,23	1,51	2,2801
RA 1.1 - 2003	27,6	31,8	29,9	30,27	0,78	0,7569
RA 1.2 - 2003	25,6	29,1	27,2	26,89	0,66	0,16

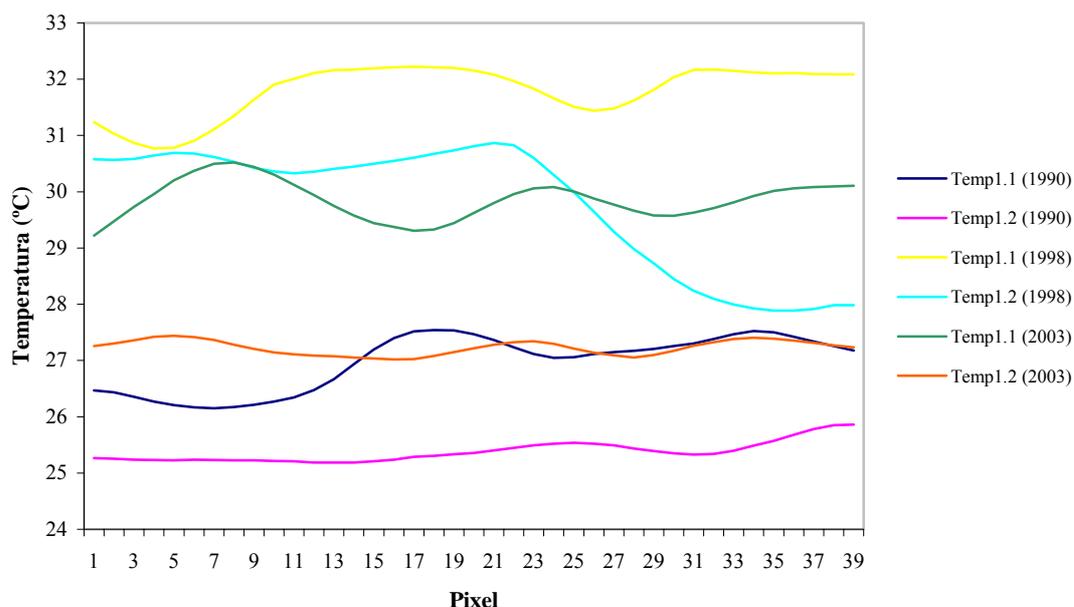


Figura 29: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 1 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na Tabela 09 encontram-se os valores da temperatura para a RA2. O maior valor médio encontrado foi de 32,18°C para o ano de 1998, sendo o maior valor da temperatura observado nos recortes, e em 1990 e 2003 foram de 28°C e 27,4°C, respectivamente. A maior variabilidade dos valores da temperatura é encontrado no ano de 2003, sendo de 0,99 o desvio padrão e de 0,9801 a variância. Na Figura 30 percebe-se nitidamente pelas curvas referentes a cada ano analisado que em 1998 a temperatura da superfície manteve-se com médias maiores em todos os pixels e em 1990 as menores médias.

Tabela 09: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 2, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA2)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 2 - 1990	25,7	28,9	28	28,11	0,58	0,3364
RA 2 - 1998	30,7	32,2	32,2	32,25	0,26	0,0676
RA 2 - 2003	25,1	30,3	27,4	26,73	0,99	0,9801

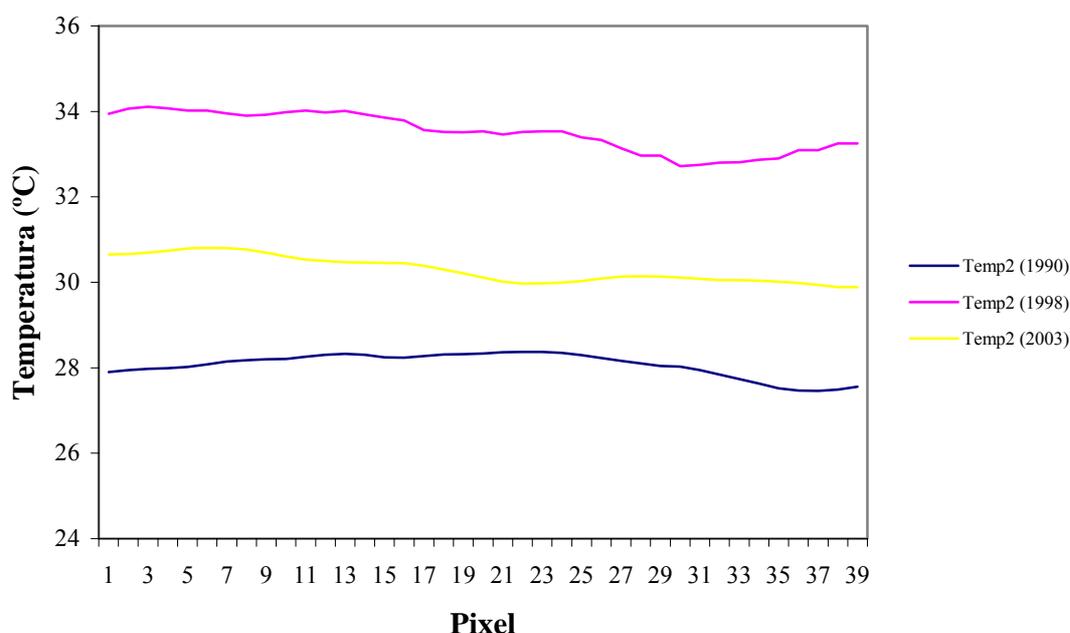


Figura 30: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 2 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

A temperatura média obtida na RA3 foi em torno de 25,9°C para 1990, 30,3°C para 1998 e por fim, 30,3°C para 2003, tendo pouquíssima variação entre os últimos anos analisados. A Figura 31 indica pelas curvas que os valores da temperatura sofreram maiores variações no ano de 1998 se comparado aos demais anos, sendo comprovada esta análise pela Tabela 10 onde o valor do desvio padrão foi de 1,19 e a variância de 1,4161. As menores discrepâncias foram verificadas para o ano de 1990, sendo de 0,57 o desvio padrão e de 0,3249 a sua variância.

Tabela 10: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 3, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA3)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 3 - 1990	24,4	27,7	25,9	26,29	0,57	0,3249
RA 3 - 1998	27,4	32,2	30,3	32,24	1,19	1,4161
RA 3 - 2003	27,7	31,5	30,3	30,58	0,77	0,5929

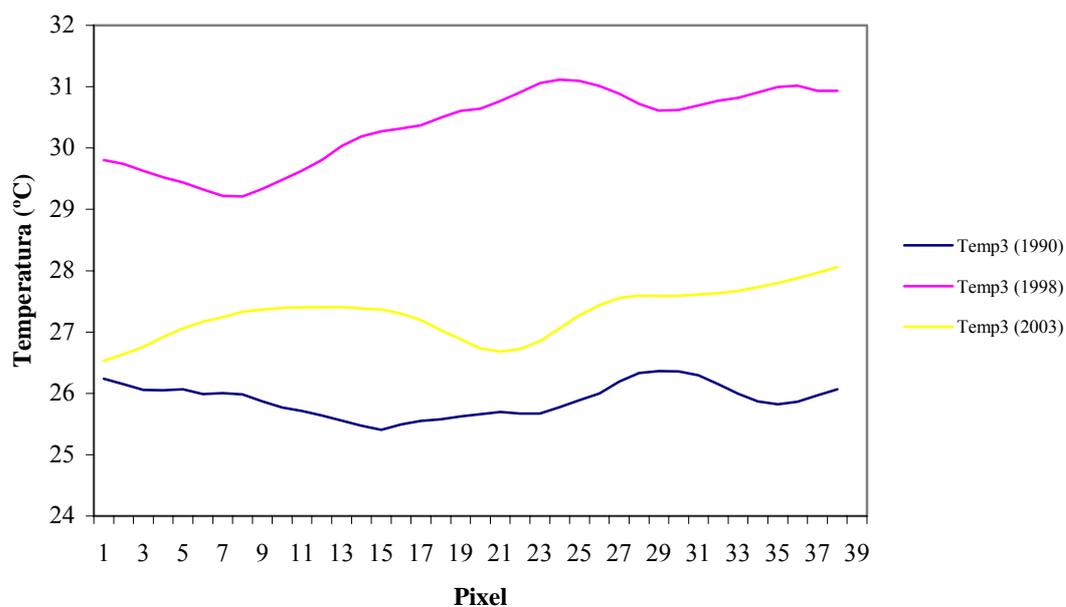


Figura 31: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 3 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na Tabela 11 é possível perceber que na RA 4 as temperaturas médias observadas nos anos de 1990, 1998 e 2003 foram de 24,8°C, 28°C e 25,7°C, respectivamente, sendo constatado o valor médio mais alto em 1998. Na Figura 32 observa-se pelo perfil das curvas que a maior variabilidade nos valores estimados da temperatura foi para o ano de 1998 como mostra o desvio padrão (1,40) e a variância (1,96) e que a menor discrepância entre os valores foi verificada no ano de 1990, com um desvio padrão de 0,62 e a variância de 0,3844.

Tabela 11: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 4, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA4)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 4 - 1990	23,5	26,3	24,8	25,28	0,62	0,3844
RA 4 - 1998	25,6	31,7	28	26,33	1,40	1,96
RA 4 - 2003	24,3	28	25,7	24,84	0,90	0,81

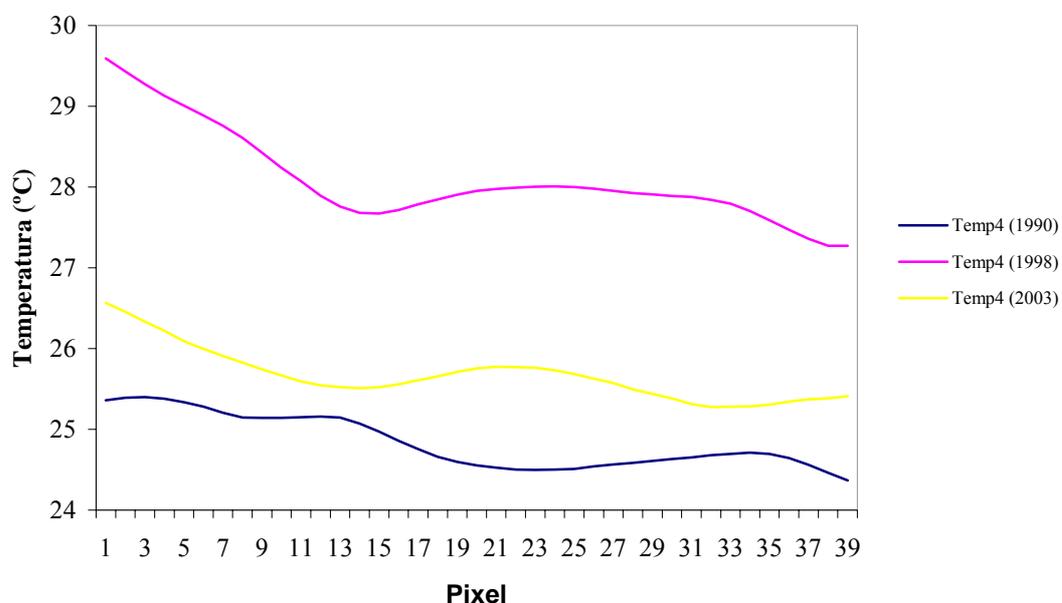


Figura 32: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 4 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na RA5 a variação dos valores estimados da temperatura entre as regiões para os mesmos anos estudados foram de aproximadamente 1°C como mostra a Tabela 12 e os maiores valores médios encontrados da temperatura na superfície foram no ano de 1998, com média de 29,2°C para o recorte titulado RA5.1 e 30,8°C no recorte RA5.2, sendo reforçada esta análise pela Figura 33 que aponta curvas referentes a cada Região. No ano de 1998 na RA5.2 ocorreu uma maior variabilidade nos valores, sendo de 1,42 o desvio padrão e de 2,0164 a variância.

Tabela 12: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 5, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA5)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 5.1 - 1990	24,3	27,6	25,7	25,34	0,77	0,5929
RA 5.2 - 1990	23,2	27,4	25	25,29	0,72	0,5184
RA 5.1 - 1998	25,9	32,2	29,2	32,23	1,40	1,96
RA 5.2 - 1998	27,7	32,2	30,8	32,24	1,42	2,0164
RA 5.1- 2003	26	30,2	28,6	28,64	1,15	1,3225
RA 5.2 - 2003	25,3	29,8	27,2	26,47	1,04	1,0816

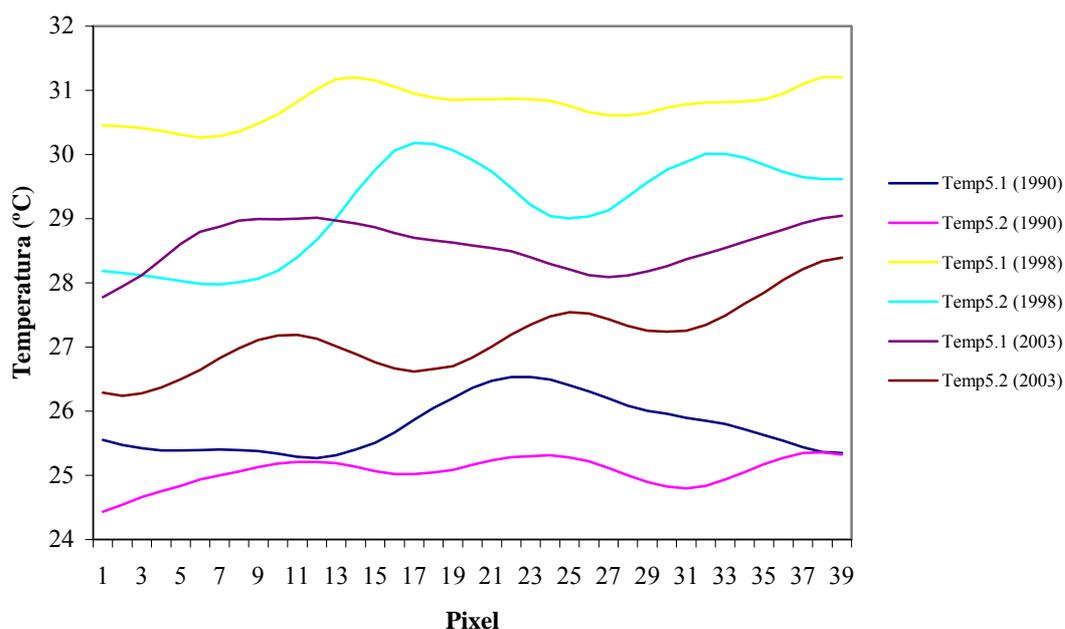


Figura 33: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 5 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na RA6 observa-se que em 1990 e 2003 não houve uma variação apreciável entre os recortes do mesmo ano e em 1998 a variação sofrida foi pequena, chegando apenas a 1,5°C de diferença como mostra a Tabela 13. A Figura 34 mostra que a maior variabilidade dos valores obtidos foi na RA6.1 do ano de 1998, tendo sua variância de 3.4969 e o desvio padrão de 1,87 enquanto que no mesmo ano na RA6.2 foi de apenas 0.8464 a sua variância e o desvio padrão de 0,92.

Tabela 13: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 6 ,Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA6)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 6.1 - 1990	23,9	27,4	25,4	27,21	0,99	0,9801
RA 6.2 - 1990	24,1	27,8	25,8	25,27	0,68	0,4624
RA 6.1 - 1998	26,5	32,2	28,3	27,13	1,87	3,4969
RA 6.2 - 1998	27,7	32,2	29,9	29,91	0,92	0,8464
RA 6.1 - 2003	25,3	29,1	27,4	25,76	0,94	0,8836
RA 6.2 - 2003	24	29,5	27,3	26,99	0,90	0,81

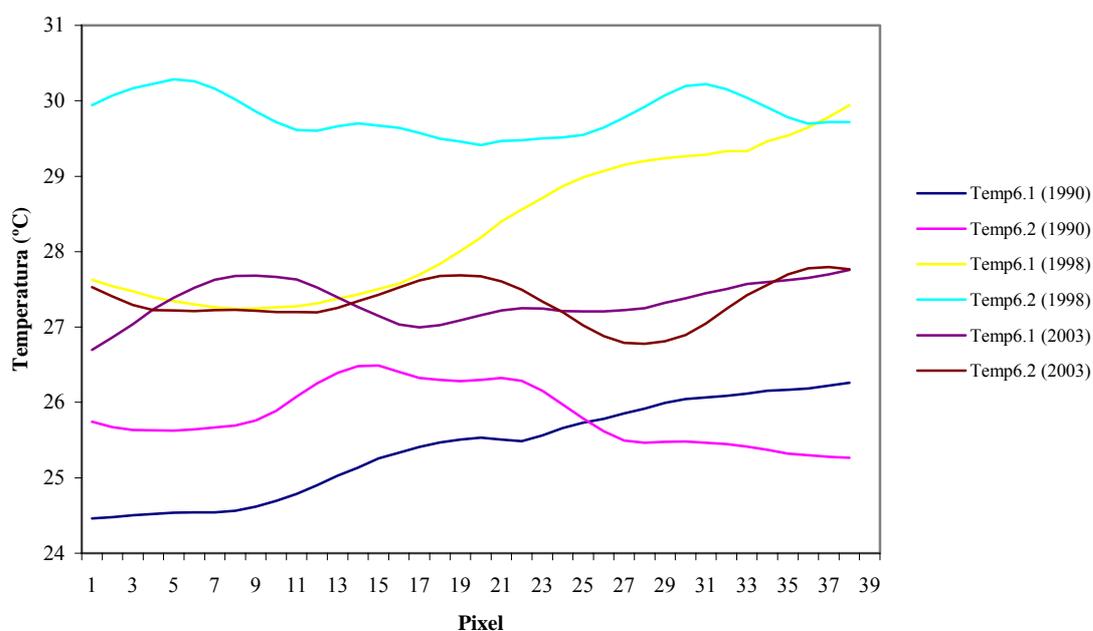


Figura 34: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 6 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na Tabela 14 observa-se que na RA7 a variação dos valores estimados da temperatura na superfície entre as regiões do mesmo ano estudado é maior em 2003 chegando a 2,3°C a diferença entre as médias. Para os anos de 1990 e 1998 a variação foi em torno de 1°C. A maior temperatura encontrada foi no ano de 1998 com valor médio de 31,2°C na RA7.1. Na Figura 35 é possível perceber que nos recortes RA7.1 e RA7.2 de 1990 e RA7.2 de 2003 a variação entre os valores mínimo e máximo é bem menor do que nos outros recortes da mesma Região Administrativa, sendo comprovada esta análise pelos valores da variância e do desvio padrão representados na Tabela 14.

Tabela 14: Valores estatísticos da temperatura da superfície para os recortes da Região Administrativa 7, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Temperatura da Superfície</i>						
Regiões Administrativas (RA7)	Mínimo (°C)	Máximo (°C)	Média (°C)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 7.1 - 1990	24,9	28,2	26,1	25,90	0,62	0,3844
RA 7.2 - 1990	24,1	27,8	25	25,29	0,54	0,2916
RA 7.1 - 1998	28,6	32,2	31,2	32,24	0,93	0,8649
RA 7.2 - 1998	26,9	32,2	29,3	32,23	1,36	1,8496
RA 7.1 - 2003	25,5	30,9	28,4	28,44	0,87	0,7569
RA 7.2 - 2003	25,3	27,6	26,2	26,24	0,40	0,16

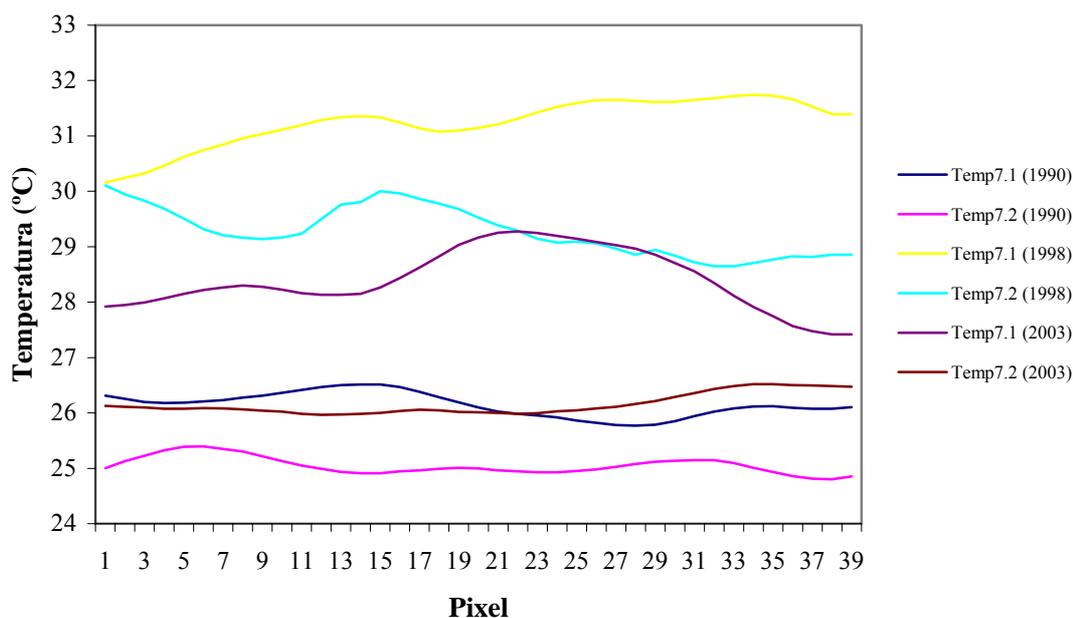


Figura 35: Perfil da temperatura da superfície com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 7 para os anos de 1990, 1998 e 2003

Analisados os recortes das Regiões Administrativas, pode-se constatar que a temperatura da superfície é maior em bairros cujo adensamento urbano foi maior e menor em bairros que apenas expandiu de forma horizontal. Foi possível perceber também que as características vinculadas a cada Região Administrativa da cidade não tiveram interferência direta e clara resultados do cálculo da temperatura, onde o que caracterizou o aumento ou diminuição da temperatura nos recortes foi às alterações ocorridas na superfície construída.

4.5. SALDO DE RADIAÇÃO

No ano de 1990 os valores estatísticos mínimo, máximo, médio, moda, desvio padrão e a variância encontrados de R_n são ligeiramente inferiores aos dos anos de 1998 e 2003 como mostra a Tabela 15. O aumento do valor do saldo de radiação ocorrido nos anos de 1998 e 2003 está ligeiramente ligado à estação climática. Enquanto no inverno a região dos trópicos encontra-se distanciada do Sol devido a sua declividade, neste mesmo período, no verão esta se encontra mais próxima dos raios solares. Por isso que para o dia 11 de junho de 1990 os valores de R_n encontram-se abaixo da média em relação aos dias 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003, próximo ou na primavera.

No ano de 2003 houve uma maior variabilidade nos valores do saldo de radiação se comparado aos demais anos como mostra os valores do desvio padrão (33,99) e da variância (1155,32). No ano de 1998 foi verificada a menor discrepância entre os valores estimados, sendo de 19,52 o desvio padrão e de 381,03 a sua variância.

Tabela 15: Valores estatísticos do saldo de radiação (mínimos, máximos, médios, moda, desvio padrão e variância), para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Saldo de Radiação</i>	<i>Mínimo (W/m²)</i>	<i>Máximo (W/m²)</i>	<i>Média (W/m²)</i>	<i>Moda</i>	<i>Desvio padrão</i>	<i>Variância</i>
1990	534,1	756,3	586,3	549,70	33,86	1146,50
1998	726,1	834,3	763,1	738,39	19,52	381,03
2003	702,9	849,9	752,3	849,28	33,99	1155,32

Na Tabela 16 encontram-se dispostos os valores médios, da radiância, da reflectividade, da emissividade da superfície, do albedo planetário, do albedo da superfície, do IVDN, da transmissividade atmosférica, da radiação de onda longa emitida e incidente, da radiação de onda curta incidente e por fim o valor da temperatura da superfície em °C, obtidos para o cálculo do saldo de radiação na superfície para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

O valor do balanço de radiação de onda curta incidente ($R_{s\downarrow}$) foi estimado de acordo com a equação utilizada por Bastiaanssen (1995), Allen et al. (2002) e Silva et al. (2002) e considerado constante para toda a área de estudo devido ao fato de não existir variação na transmissividade atmosférica entre os anos. A maior magnitude de $R_{s\downarrow}$ encontrado foi de $836,3 \text{ W/m}^2$ para o dia 21 de setembro de 1998 seguido por $789,6 \text{ W/m}^2$ para 03 de setembro de 2003 e por fim $632,3 \text{ W/m}^2$ para 11 de junho de 1990.

Para o balanço de radiação de onda longa emitida pela superfície ($R_{L\uparrow}$) os valores encontrados para os anos de 1990, 1998 e 2003 foram de $429,2 \text{ W/m}^2$, $440,2 \text{ W/m}^2$ e $433,3 \text{ W/m}^2$ respectivamente. O valor de maior magnitude foi obtido em 1998, assim como o maior valor de $R_{s\downarrow}$. O balanço de radiação de onda curta incidente pela superfície ($R_{L\downarrow}$) sofreu uma pequena variação entre os anos estudados, sendo de $337,2 \text{ W/m}^2$ para 1990, 339 W/m^2 para 1998 e $336,3 \text{ W/m}^2$ para 2003. A amplitude entre os anos de 1990 e 1998 foi de $1,8 \text{ W/m}^2$ e entre os anos de 1998 e 2003 foi de $2,7 \text{ W/m}^2$ sendo as menores dentre os componentes do balanço de radiação.

Tabela 16: Valores médios obtidos para o cálculo do saldo de radiação dos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Parâmetros</i>	<i>Unidades</i>	<i>1990</i>	<i>1998</i>	<i>2003</i>
Radiância (B1)	mW/cm ² .µm.sr	35,82	46,75	43,00
Radiância (B2)	mW/cm ² .µm.sr	26,50	35,94	32,08
Radiância (B3)	mW/cm ² .µm.sr	14,78	21,65	20,18
Radiância (B4)	mW/cm ² .µm.sr	29,72	42,27	36,43
Radiância (B5)	mW/cm ² .µm.sr	3,46	5,67	4,86
Radiância (B6)	mW/cm ² .µm.sr	8,71	8,99	8,80
Radiância (B7)	mW/cm ² .µm.sr	0,61	1,095	0,95
Reflectividade (B1)	-	0,09	0,06	0,10
Reflectividade (B2)	-	0,07	0,05	0,08
Reflectividade (B3)	-	0,05	0,04	0,07
Reflectividade (B4)	-	0,14	0,10	0,16
Reflectividade (B5)	-	0,08	0,07	0,09
Reflectividade (B7)	-	0,04	0,04	0,05
Emissividade da Superfície	-	0,969	0,997	0,968
Albedo Planetário (Toa)	-	0,085	0,059	0,084
Albedo da Superfície	%	8,9	5,1	9,0
Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN)	-	0,188	0,253	0,242
Transmissividade atmosférica	-	0,7503	0,7503	0,7503
Radiação de onda curta incidente (R _s ↓)	W/m ²	632,3	836,3	789,6
Radiação de onda longa emitida (R _L ↑)	W/m ²	429,2	440,2	433,2
Radiação de onda longa incidente (R _L ↓)	W/m ²	337,2	339	336,3
Temperatura da Superfície (°C)	°C	24,2	26,9	24,9
Saldo de radiação (R _n)	W/m ²	586,3	763,1	752,3

Nas Figuras 36, 37 e 38 estão representados os histogramas de frequência do saldo de radiação onde a média é indicada pela linha vermelha vertical. Assim como os maiores valores de temperatura foram vistos no dia 21 de setembro de 1998, para os valores de R_n ocorre o mesmo tendo sua média em torno de 763,1 W/m² enquanto que em 1990 foi de 586,3 W/m² e em 2003 de 752,3 W/m².

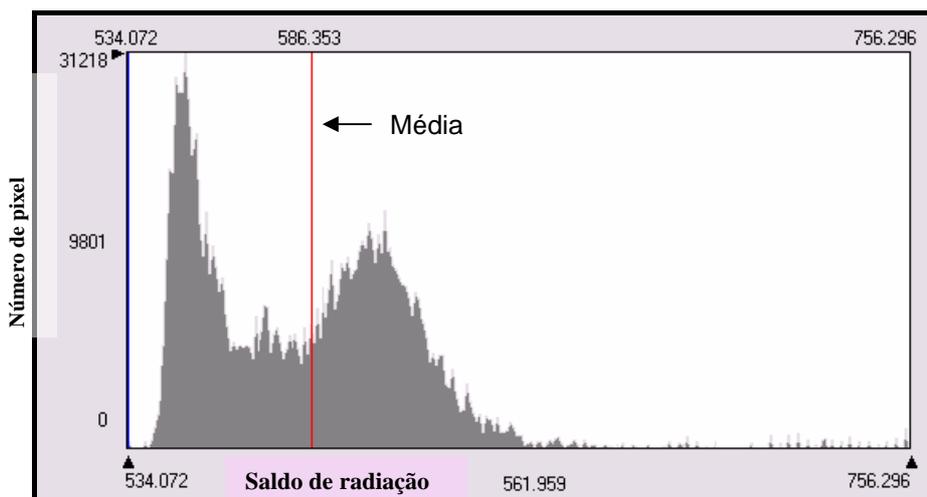


Figura 36: Histograma de frequência do saldo de radiação para o dia 11 de junho de 1990.

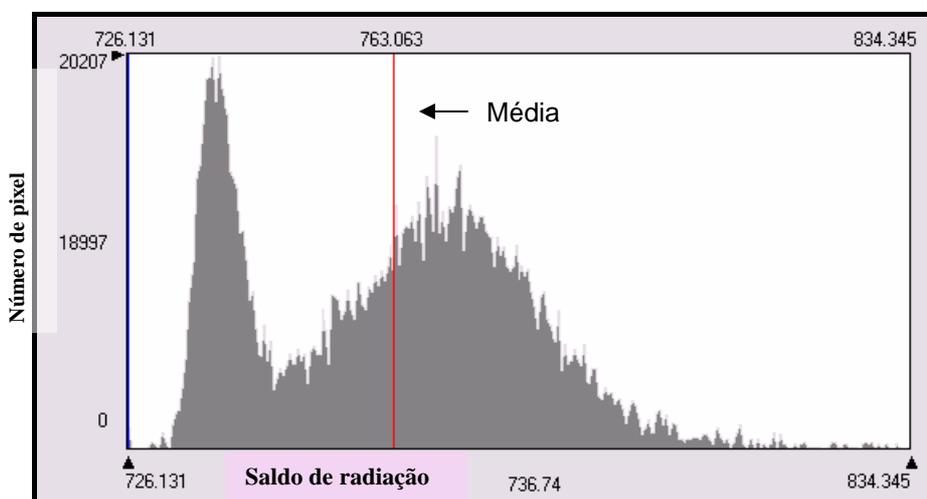


Figura 37: Histograma de frequência do saldo de radiação para o dia 21 de setembro de 1998.

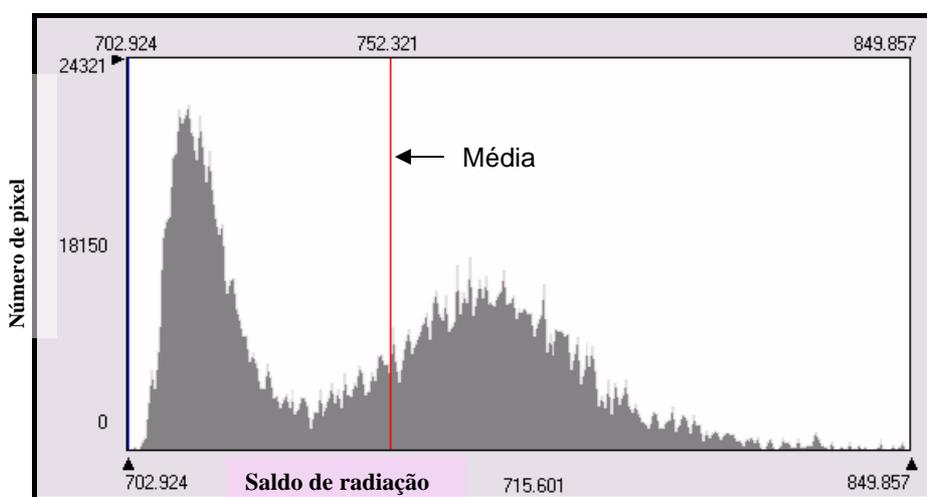


Figura 38: Histograma de frequência do saldo de radiação para o dia 03 de setembro de 2003.

Nessa pesquisa o saldo de radiação foi obtido para dias com céu claro, tendo pouca nebulosidade nas imagens representadas pelos dias 11 de junho de 1990 e 03 de setembro de 2003 e nenhuma nebulosidade para o dia 21 de setembro de 1998. As Figuras 39, 40 e 41 representam o saldo de radiação à superfície (R_n) para os anos estudados, onde a tonalidade azul escuro indica valores inferiores a $600,9 \text{ W/m}^2$ entre os mesmos intervalos utilizados para as imagens de 1990 e 2003. A tonalidade verde indica valores intermediários de $600,9 \text{ W/m}^2$ a $710,3 \text{ W/m}^2$, a cor vermelha valores entre $710,3 \text{ W/m}^2$ a $760,9 \text{ W/m}^2$ e valores acima de $760,3 \text{ W/m}^2$ na cor amarela. Para a análise entre os anos de 1990 e 1998, os menores valores variaram em $590,5 \text{ W/m}^2$ e os maiores acima de $781,9 \text{ W/m}^2$. No comparativo entre os anos de 1998 e 2003, foram encontrados valores inferiores a $753,6 \text{ W/m}^2$ e superiores a $802,6 \text{ W/m}^2$.

Numa análise geral, observa-se entre as imagens que os menores valores estimados do saldo de radiação à superfície são encontrados em 1990 e os maiores valores em 1998 e 2003. No comparativo entre os anos de 1998 e 2003 não é percebido uma variação de R_n na superfície significativa devido à semelhança entre as imagens, contudo, entre os anos de 1990 e 1998 esta variação é notória assim como acontece em 1990 e 2003, onde os maiores valores de R_n não estão representados nas imagens comparativas referentes ao ano de 1990, estes somente são vistos em sua totalidade em 1998 e 2003, apresentando apenas pelo tom verde, algumas manchas na região oceânica e na lagoa Mundaú.

Na literatura são encontradas formas variadas de qualificação e quantificação das alterações climáticas nas áreas urbanas, em particular sobre os efeitos da radiação solar no aquecimento das superfícies construídas. (Hasenack e Becke, 1993; Lombardo, 1988).

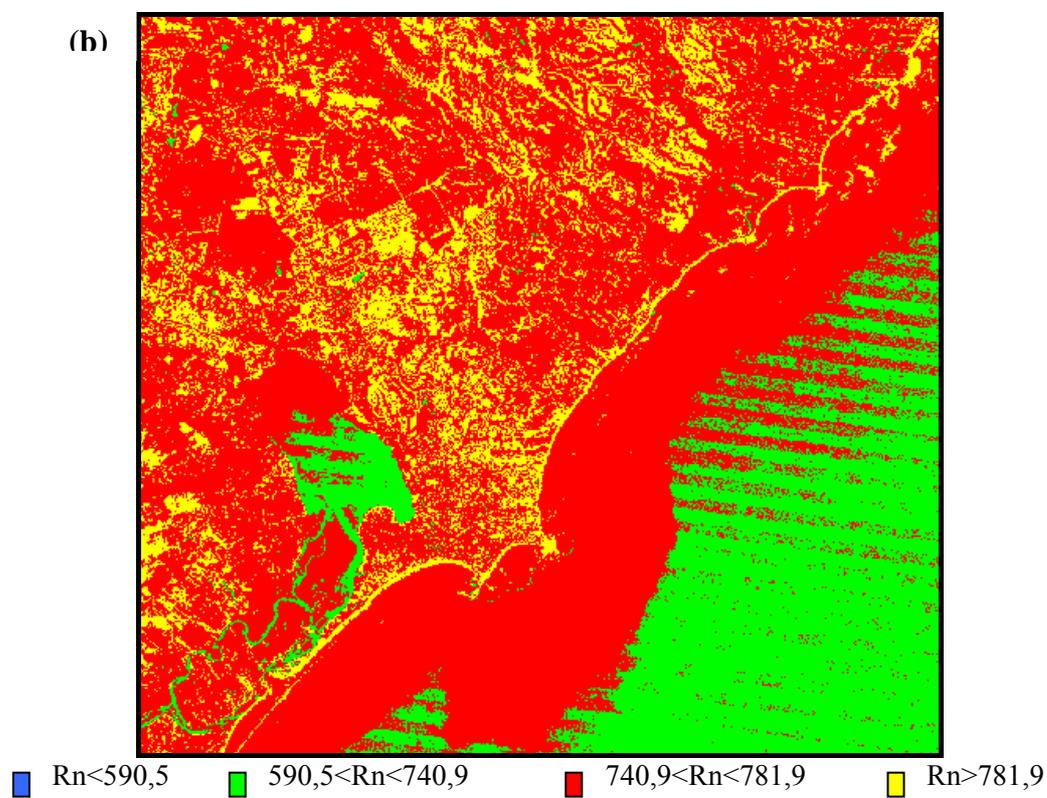
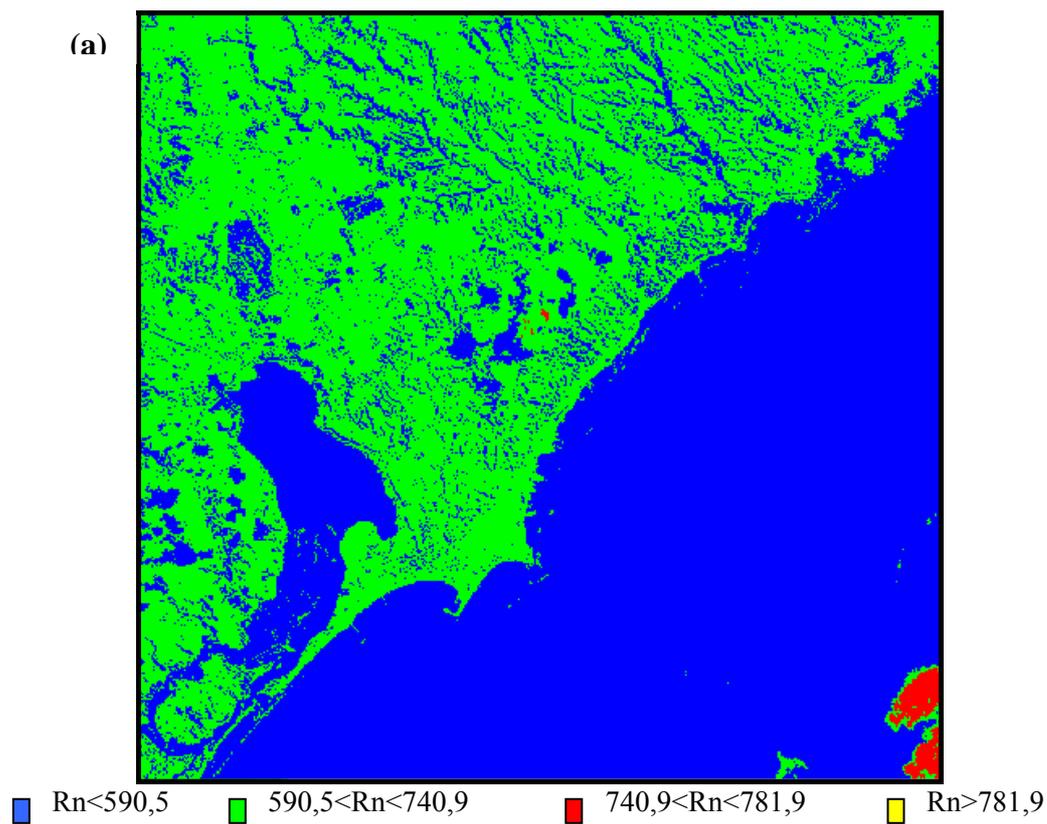


Figura 39a e b: Imagem do saldo de radiação para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.

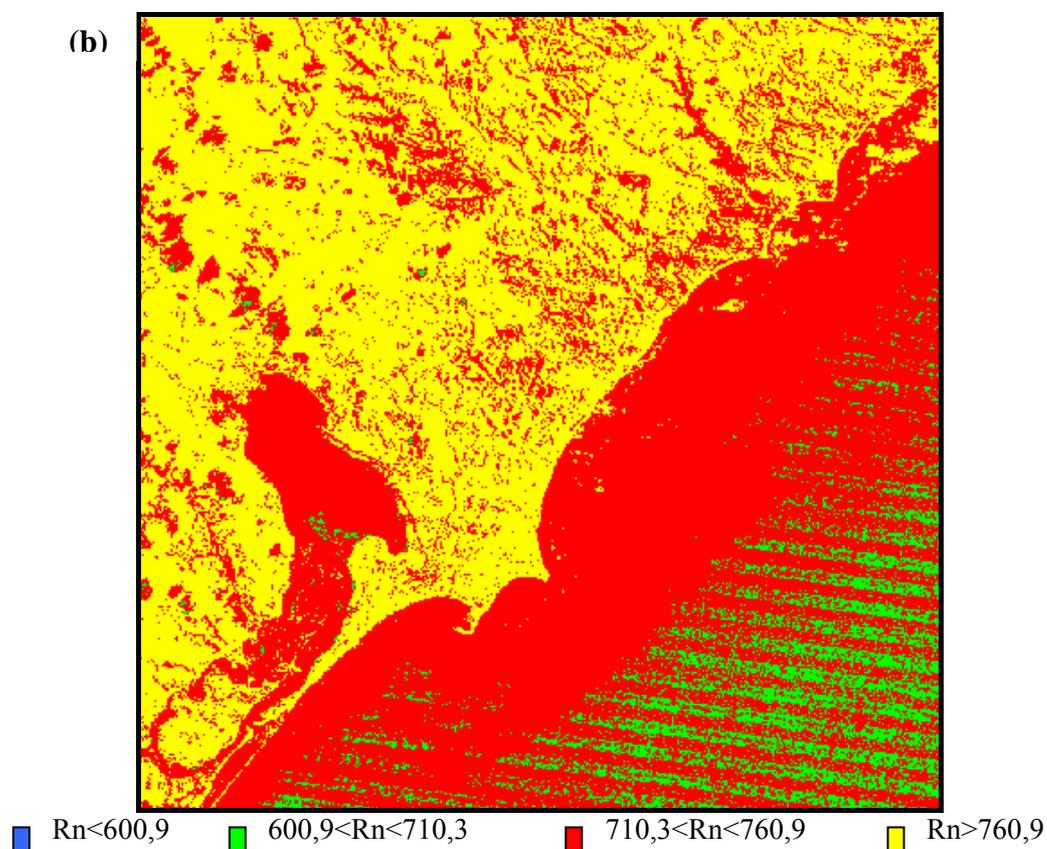
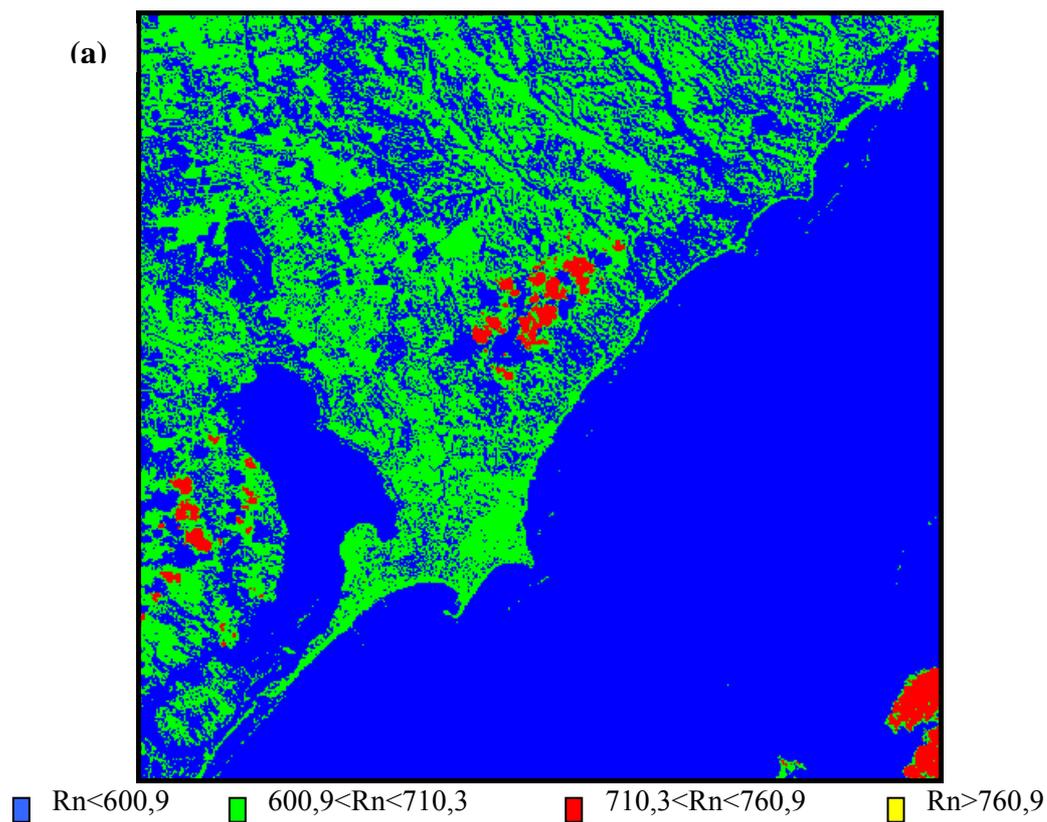


Figura 40a e b: Imagem do saldo de radiação para o dia 11 de junho de 1990 (a) e 03 de setembro de 2003 (b) respectivamente.

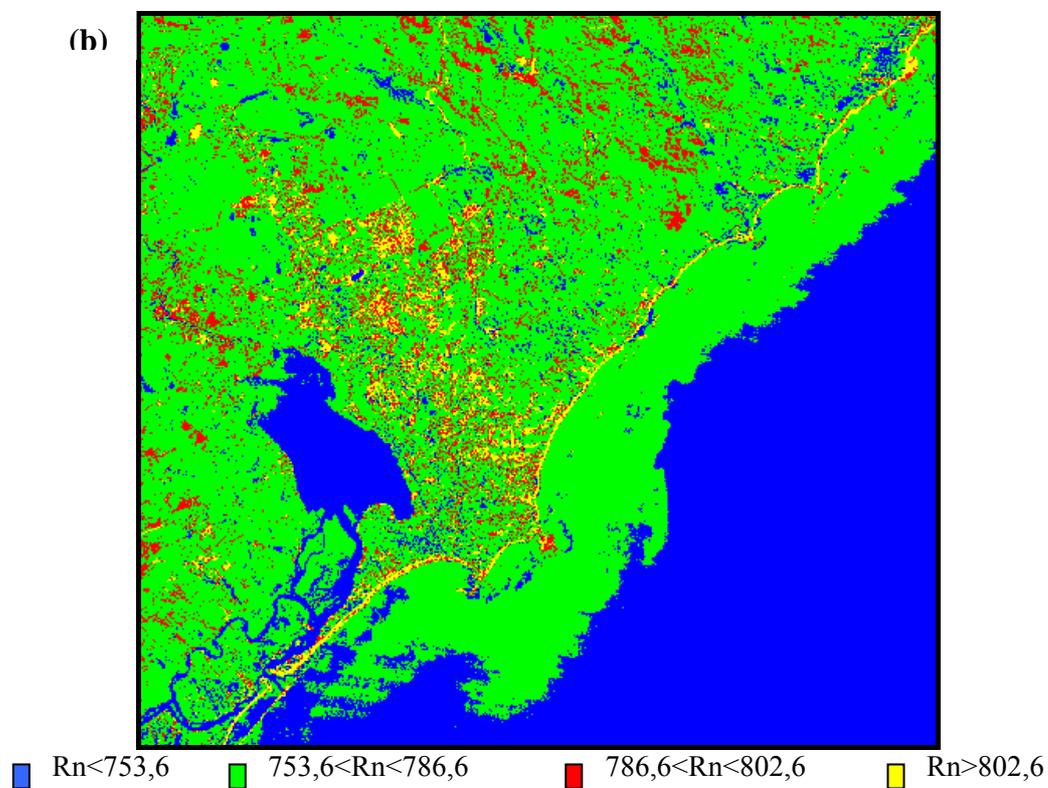
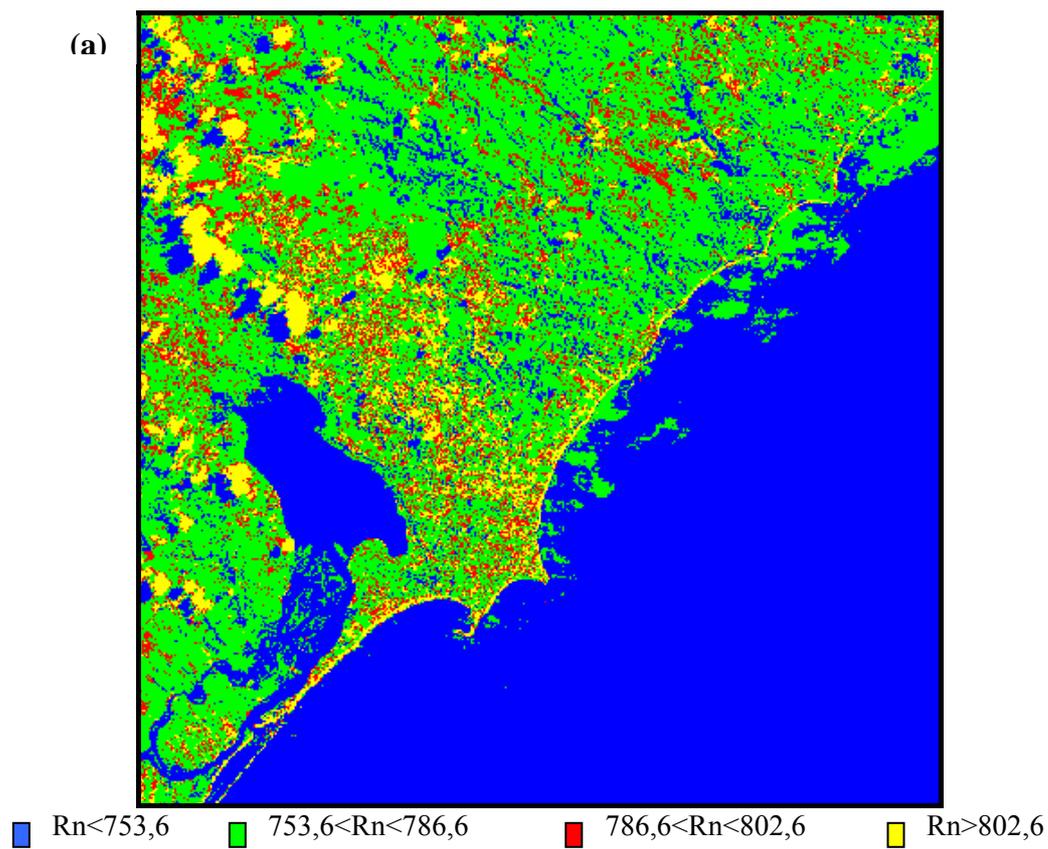


Figura 41a e b: Imagem do saldo de radiação para o dia 03 de setembro de 2003 (a) e 21 de setembro de 1998 (b) respectivamente.

As Tabelas 17, 18, 19, 20, 21, 22 e 23 apresentam os valores mínimos, máximos, as médias, moda, desvio padrão e a variância dos recortes em cada região Administrativa estudada nos dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003. Observando o saldo de radiação à superfície pelas tabelas, pode-se perceber que a diferença dos valores médios obtidos pela análise entre os dias 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003, que não houve mudanças significativas de um ano para o outro em nenhuma das regiões Administrativas estudadas. Já para o dia 11 de junho de 1990, os valores médios de R_n aparecem em todos os gráficos (Figuras 42, 43, 44, 45, 46, 47 e 48) bem inferiores mantendo-se entre $599,3 \text{ W/m}^2$ a $620,9 \text{ W/m}^2$ enquanto que em 1998 os valores médios foram de $769,9 \text{ W/m}^2$ a $789,2 \text{ W/m}^2$ e em 2003 entre $771,2 \text{ W/m}^2$ a $794,1 \text{ W/m}^2$.

As Figuras 42, 43, 44, 45, 46, 47 e 48 determinam os valores médios das 40 colunas dos recortes efetuados. Pelo comportamento das curvas é possível ver nitidamente a diferença dos valores médios do saldo de radiação para o ano de 1990 em detrimento aos de 1998 e 2003 que se apresentam de forma semelhante, tanto no contorno do perfil como os valores obtidos, reforçando a análise feita anteriormente pelas tabelas referentes.

Na Região Administrativa 1 (RA1) observando a Tabela 17 e a Figura 42, constata-se uma pequena variação dos valores médios do saldo de radiação entre os anos de 1998 e 2003, sendo de $772,2 \text{ W/m}^2$ na RA1.1 e $772,6 \text{ W/m}^2$ na RA1.2 e $782,2 \text{ W/m}^2$ na RA1.1 e de $779,9 \text{ W/m}^2$ na RA1.2, respectivamente. Em 1990 encontram-se os menores valores médios de Rn e a maior variabilidade de dados confirmada pelo valor da variância que foi de 362,5 na RA1.1.

Tabela 17: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 1, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Saldo de Radiação</i>						
Regiões Administrativas (RA1)	Mínimo (W/m^2)	Máximo (W/m^2)	Média (W/m^2)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 1.1 - 1990	566,7	692,8	612,9	607,60	19,04	362,52
RA 1.2 - 1990	567,1	646,5	602,5	598,45	13,74	188,79
RA 1.1 - 1998	731,9	834,3	772,2	768,33	15,43	238,08
RA 1.2 - 1998	734,7	819,6	772,6	768,54	12,62	159,26
RA 1.1 - 2003	737	849,9	782,2	776,26	18,09	327,25
RA 1.2 - 2003	736,1	849,9	779,9	779,64	17,07	291,38

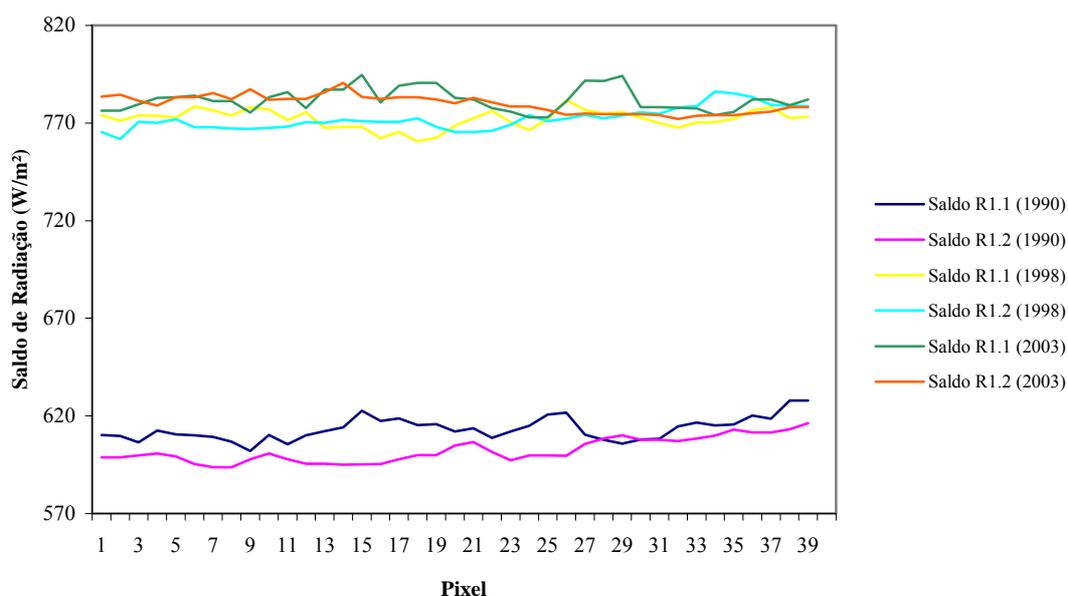


Figura 42: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 1 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na Tabela 18 constata-se que o saldo de radiação da RA2 foi mais alto em 2003 com o valor médio de $782,2 \text{ W/m}^2$, máximo de $849,9 \text{ W/m}^2$ e mínimo de $730,7 \text{ W/m}^2$ enquanto que em 1990 os valores variaram de $573,2 \text{ W/m}^2$ a $686,1 \text{ W/m}^2$ entre o mínimo e o máximo e $607,3 \text{ W/m}^2$ o valor médio. Em 1998 os valores variaram entre $730,1 \text{ W/m}^2$ a $832,9 \text{ W/m}^2$ e valor médio de $769,9 \text{ W/m}^2$. Analisando o desvio padrão e a variância, os maiores valores estimados foram para o ano de 2003, onde na Figura 43 fica percebida uma maior variabilidade dos valores de R_n , sendo de 16,90 o desvio padrão e de 285,61 a variância.

Tabela 18: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 2, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Saldo de Radiação</i>						
Regiões Administrativas (RA2)	Mínimo (W/m^2)	Máximo (W/m^2)	Média (W/m^2)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 2 - 1990	573,2	686,1	607,3	609,38	14,09	198,53
RA 2 - 1998	730,1	832,9	769,9	769,07	14,73	216,97
RA 2 - 2003	730,7	849,9	782,2	776,31	16,90	285,61

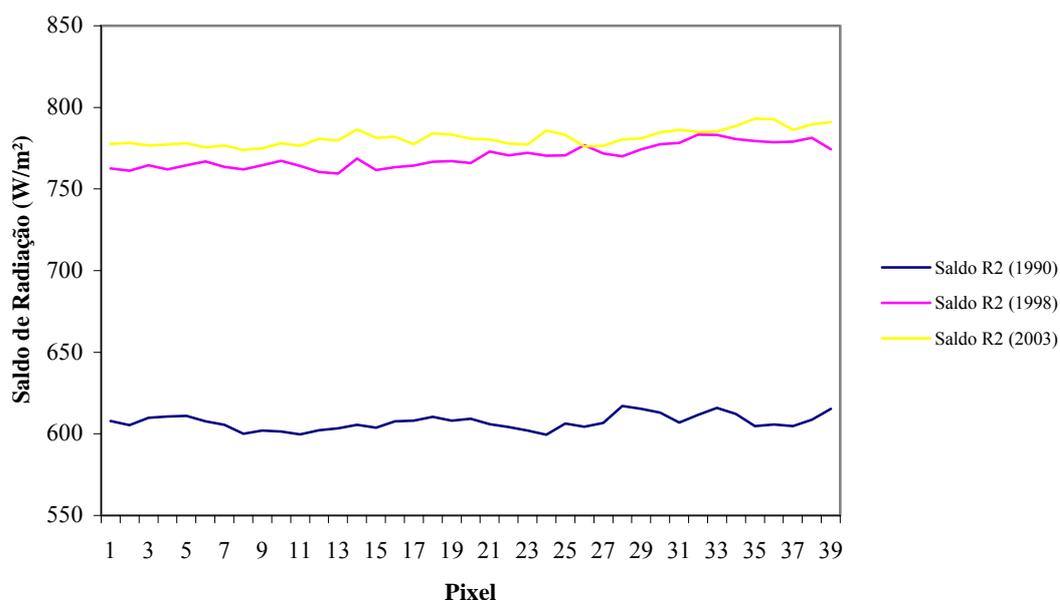


Figura 43: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 2 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

O valor do saldo de radiação à superfície na RA3 foi em torno de $615,5 \text{ W/m}^2$ para 1990, $780,6 \text{ W/m}^2$ para 1998 e por fim de $786,2 \text{ W/m}^2$ para 2003, sofrendo uma variação mínima entre os últimos anos analisados conforme aponta a Tabela 19. A variância foi maior em 2003, sendo de $930,25$, estando nitidamente visível a variabilidade dos valores pela curva referente ao ano de 2003 visto na Figura 44. A menor dispersão de valor verificada foi em 1998 como mostra o desvio padrão ($22,49$) e a variância ($505,80$).

Tabela 19: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 3, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

Regiões Administrativas (RA3)	Saldo de Radiação					
	Mínimo (W/m^2)	Máximo (W/m^2)	Média (W/m^2)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 3 - 1990	556,1	697,9	615,5	594,90	23,22	539,17
RA 3 - 1998	732,2	834,3	780,6	833,95	22,49	505,80
RA 3 - 2003	702,8	849,9	786,2	849,28	30,50	930,25

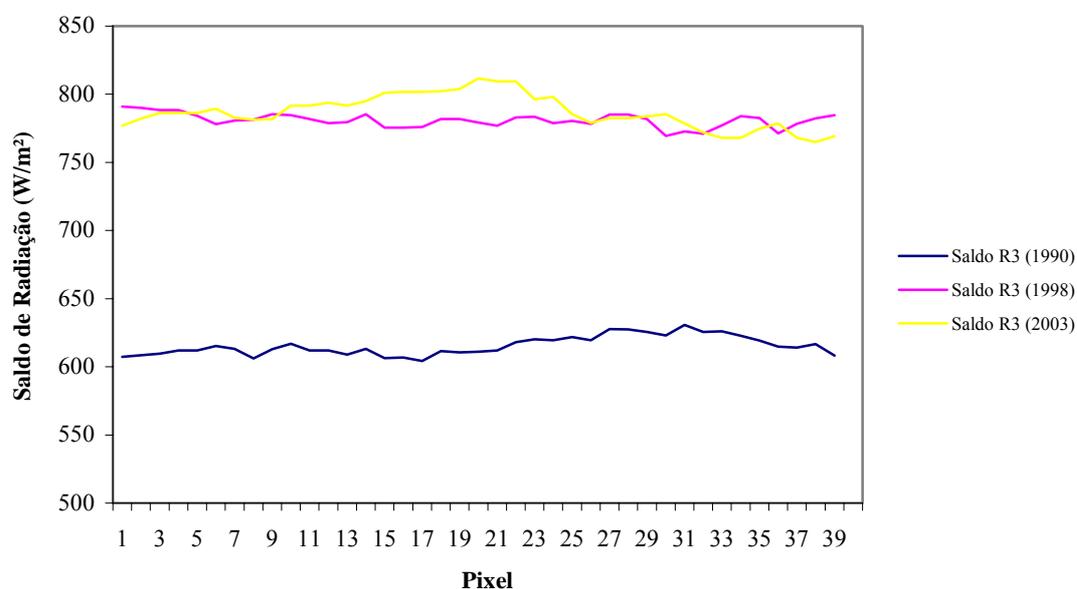


Figura 44: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 3 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na Tabela 20 constata-se que na RA 4 o Rn médio observado para os anos de: 1990, 1998 e 2003 foram de 603,9 W/m², 722,9 W/m² e de 771,2 W/m², respectivamente. Sendo encontrado o maior valor médio estimado em 2003. O menor valor do saldo de radiação na superfície foi observado no ano de 1990, sendo de 559,5 W/m² o valor mínimo, de 685,7 W/m² o valor máximo e de 603,9 W/m² o valor médio. Na Figura 45 é possível perceber pelo perfil das curvas que os valores médios de Rn obtidos para 1998 e 2003 são bem próximos, enquanto que em 1990 são bem inferiores. A variância e o desvio padrão cujo valor sofreu maior variabilidade foi em 1998 conforme aponta a Tabela 20.

Tabela 20: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 4, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

Regiões Administrativas (RA4)	Saldo de Radiação					
	Mínimo (W/m ²)	Máximo (W/m ²)	Média (W/m ²)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 4 - 1990	559,5	685,7	603,9	604,82	16,65	277,22
RA 4 - 1998	741,2	834,4	722,9	776,12	12,38	153,26
RA 4 - 2003	716,3	837,4	771,2	764,06	17,77	315,77

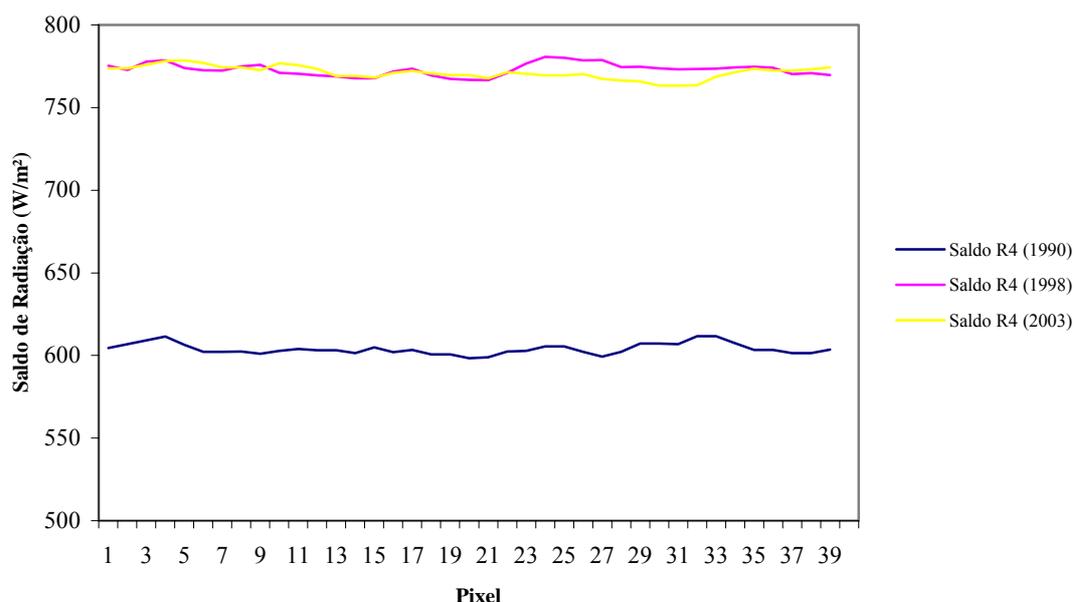


Figura 45: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 4 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na RA5 o maior valor médio encontrado foi de 790,6 W/m² em 2003 e o menor de 599,3 W/m² em 1990, apontado na Tabela 21. A maior variabilidade do valor de Rn ocorreram em 1990 na RA5.2 como mostra o valor do desvio padrão (25,25) e da variância (637,56), sendo comprovada na Figura 46 pela curva referente a essa variação.

Tabela 21: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 5, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Saldo de Radiação</i>						
Regiões Administrativas (RA5)	Mínimo (W/m²)	Máximo (W/m²)	Média (W/m²)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 5.1- 1990	566,5	691,3	615,9	605,52	20,06	402,40
RA 5.2 - 1990	544,1	690,8	599,3	599,71	25,25	637,56
RA 5.1 - 1998	747	834,3	784,2	780,45	16,90	285,61
RA 5.2 - 1998	739,3	834,3	781,3	780,52	18,44	340,03
RA 5.1 - 2003	741,4	849,9	790,6	783,36	21,08	444,37
RA 5.2 - 2003	737,4	849,8	783,3	758,90	24,40	595,36

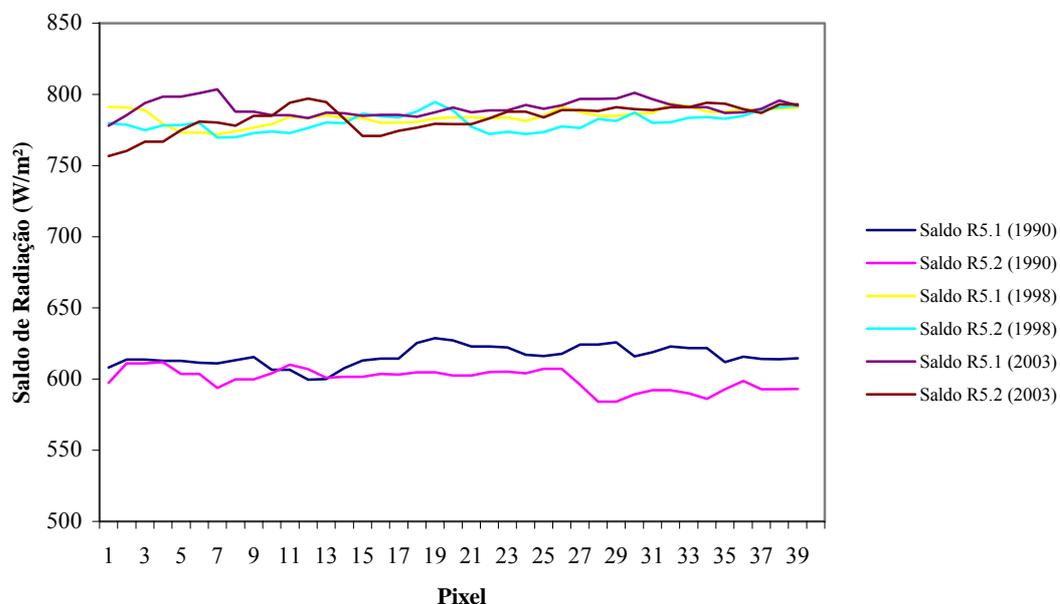


Figura 46: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 5 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Observando a Tabela 22 é possível perceber pelos valores do saldo de radiação obtido na RA6, que o menor valor médio estimado foi de 609,8 W/m² na RA6.2 no ano de 1990 e o maior valor médio de 794,1 W/m² no ano de 2003 na RA6.2. O maior valor da variância encontrado foi de 703,84 e o menor de 539,63, referentes aos recortes da RA6.2 e RA6.1 do ano de 1990, respectivamente. Na Figura 47 é notória a proximidade entre as curvas do mesmo ano analisado.

Tabela 22: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 6, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

<i>Saldo de Radiação</i>						
Regiões Administrativas (RA6)	Mínimo (W/m²)	Máximo (W/m²)	Média (W/m²)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 6.1 - 1990	580,8	695,3	615,1	593,74	23,23	539,63
RA 6.2 - 1990	542,8	710,8	609,8	600,55	26,53	703,84
RA 6.1 - 1998	750,1	834,3	783	776,09	12,94	167,44
RA 6.2 - 1998	748,9	834,4	789,2	834,01	19,11	365,19
RA 6.1 - 2003	731,1	849,8	781,7	770,10	26,30	691,69
RA 6.2 - 2003	722,9	849,8	794,1	849,36	24,52	601,23

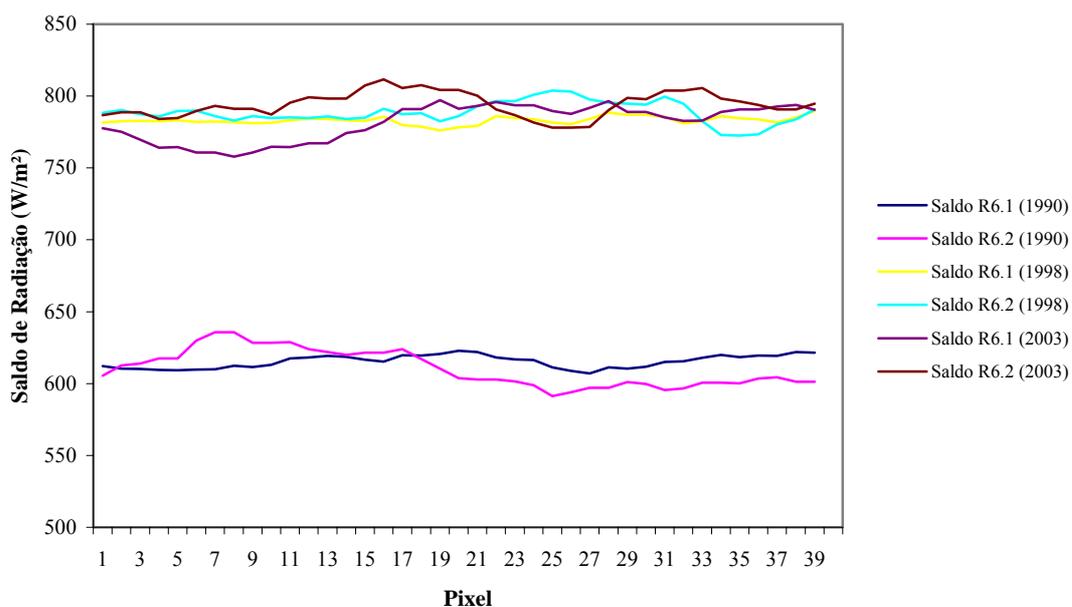


Figura 47: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 6 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

Na Tabela 23 encontram-se os valores estatísticos do saldo de radiação da RA7 dos anos de 1990, 1998 e 2003. O maior valor médio estimado foi de 794,1 W/m² para a RA7.1 do ano de 2003 e o menor valor de 612,2 W/m² para a RA7.2 do ano de 1990. Na Figura 48 constata-se que a maior variabilidade nos valores ocorreram no ano de 1990 na RA7.1 conforme foi comprovado pela Tabela 23 cujo valor da variância foi de 380,64 e do desvio padrão de 19,51.

Tabela 23: Valores estatísticos do saldo de radiação à superfície para os recortes da Região Administrativa 7, Mínimo, Máximo, Médio, moda, Desvio Padrão e variância, para os dias 11 de junho de 1990, 21 de setembro de 1998 e 03 de setembro de 2003.

Regiões Administrativas (RA7)	Saldo de Radiação					
	Mínimo (W/m ²)	Máximo (W/m ²)	Média (W/m ²)	Moda	Desvio padrão	Variância
RA 7.1 - 1990	572,8	703	620,9	610,45	19,51	380,64
RA 7.2 - 1990	578,7	672,1	612,2	607,14	12,87	165,64
RA 7.1 - 1998	738,3	834,3	780,6	776,96	16,88	284,93
RA 7.2 - 1998	741	834,3	780,4	769,83	13,65	186,32
RA 7.1 - 2003	743,2	849,8	794,1	794,85	17,80	316,84
RA 7.2 - 2003	749	849,9	783,2	767,95	15,92	253,45

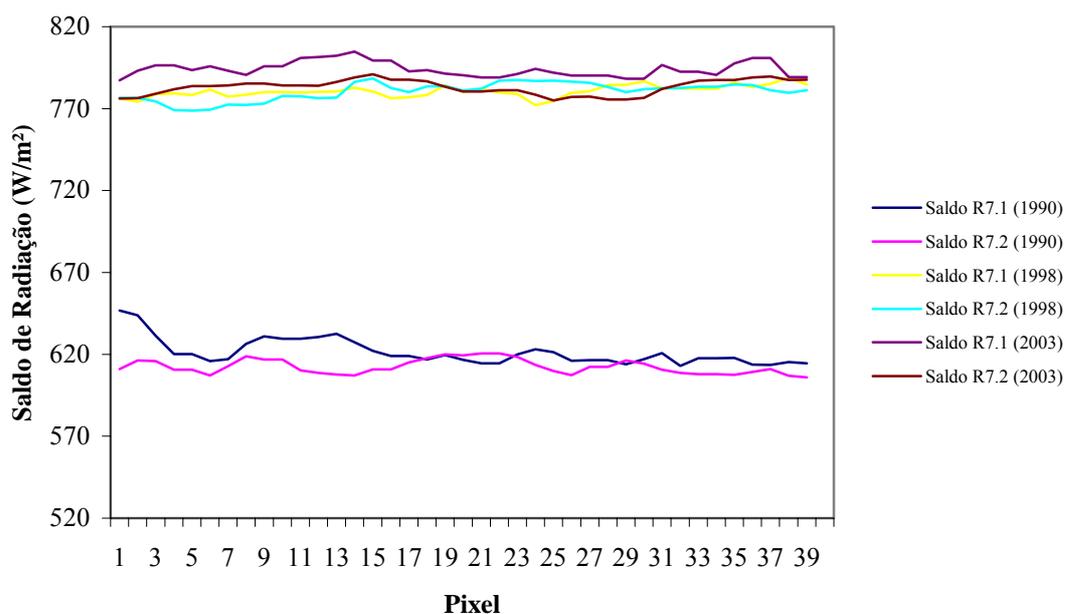


Figura 48: Perfil do saldo de radiação instantâneo com os respectivos valores médios dos dados dos recortes da Região Administrativa 7 para os anos de 1990, 1998 e 2003.

De forma geral, as maiores dispersões de dados entre os valores máximos e mínimos de R_n ocorreram no entre os anos de 2003 (RA1.2, RA2, RA3, RA4, RA5.1, RA6.1 e RA7.2) e 1990 (RA1.1, RA5.2, RA6.2 e RA7.1) para os recortes analisados da região urbana da cidade. Os recortes referentes ao saldo de radiação das Regiões Administrativas não indicam grandes diferenças entre seus valores. Para 1990 a variação foi de $599,3 \text{ W/m}^2$ a $620,9 \text{ W/m}^2$, para 1998 foi de $722,9 \text{ W/m}^2$ a $789,2 \text{ W/m}^2$ e em 2003 os valores foram em torno de $771,2 \text{ W/m}^2$ a $794,1 \text{ W/m}^2$. Ou seja, independente das características urbanas existentes entre as regiões analisadas, os valores estimados do saldo de radiação não sofreram alterações significativas. A diferenciação se dá pelo tipo de superfície e a refletividade que esta tem com o meio.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

Com base na análise e discussão dos resultados obtidos referentes à área de estudo, induzem as seguintes conclusões:

1. A emissividade da superfície não sofreu variação entre os valores estatísticos da mínima e da máxima obtida. Apenas no resultado do valor médio, esta teve uma pequena variação.
2. O Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IVDN), referente à área total de estudo, apresentou uma pequena variação entre os anos com médias de 0,188 para o dia 11 de junho de 1990, 0,253 para o dia 21 de setembro de 1998 e 0,242 para o dia 03 de setembro de 2003, ficando percebido um aumento da cobertura vegetal. Como hipótese, este aumento é referente ao entorno da cidade e não na malha urbana onde houve um decréscimo da cobertura vegetal.
3. O albedo da superfície (α) teve um aumento na sua média de 9,84% para 11 de junho de 1990, de 9,95% para 21 de setembro de 1998 e de 12,06% para 03 de setembro de 2003. Os maiores valores do albedo nas imagens analisadas foram encontrados dentro da malha urbana de Maceió e não no seu entorno, sendo confirmado pelas médias obtidas, podendo-se concluir que com o passar dos anos o processo de urbanização na cidade foi intensificando-se, tendo sua superfície modificada pelos materiais construtivos que apresentam maior refletividade do que solos vegetados que possuem pouca capacidade de reter umidade.
4. A temperatura da superfície (T_s) apresentou os maiores valores em 1998 em comparação com os de 1990 e 2003 cuja média foi de 24,19°C em 1990, 26,96°C

em 1998 e 24,90°C em 2003. Os maiores valores da temperatura da superfície em todas as imagens estudadas encontram-se dentro da malha urbana da cidade, sofrendo uma variação de aproximadamente 26,5°C a 32°C.

5. Os recortes das Regiões Administrativas analisadas mostram que a temperatura da superfície é maior em bairros cujo adensamento urbano foi intenso e menores em bairros que apenas tiveram sua expansão de forma horizontal.
6. As características vinculadas a cada Região Administrativa da cidade não interferiram nos resultados do cálculo da temperatura, onde o que caracterizou o aumento ou diminuição da temperatura nos recortes foi às alterações ocorridas na superfície construída.
7. O saldo de radiação (Rn) obtido pela área total da imagem para os anos de 1990, 1998 e 2003 foram de 586,35 W/m², 763,06 W/m² e 752,32 W/m² respectivamente. Os valores estatísticos de Rn para o dia 11 de junho de 1990 foram de uma maneira geral menores, devido à referente estação climática vinculada ao período do imageamento.
8. Nos recortes referentes às regiões Administrativas, é possível perceber que não houve mudanças significativas entre os anos de 1998 e 2003. Já em 11 de junho de 1990, os valores médios de Rn aparecem em todos os gráficos bem inferiores mantendo-se entre 599,34 W/m² a 620,96 W/m² enquanto que em 1998 os valores médios foram de 769,88 W/m² a 789,18 W/m² e em 2003 entre 771,22 W/m² a 794,15 W/m².
9. Os valores de Rn analisados em toda a malha urbana da cidade não mostraram diferenças significativas, concluindo que independente das características urbanas existentes entre uma região e outra os valores do saldo de radiação para solos pavimentados e edificações não sofrem alterações significativas. A diferenciação esta no tipo de superfície e a refletividade que esta tem com o meio.

5.2. RECOMENDAÇÕES

1. Que sejam considerados como continuidade da pesquisa, os principais tipos de solo da região estudada para uma avaliação mais eficiente dos parâmetros analisados.
2. Em trabalhos futuros seja considerada a utilização do Modelo de Elevação Digital (MED) para um melhor detalhamento e avaliação da pesquisa.
3. Que sejam feitos os cálculos para a obtenção da calibração radiométrica com os valores correspondentes aos coeficientes de calibração (radiância mínima - a e máxima - b) sugeridas por Allen et al.. (2002) para imagens adquiridas a partir do ano 2000.
4. Que sejam feitas medições de campo em pontos georreferenciados da temperatura da superfície (Ts) e saldo de radiação (Rn) no dia da passagem do satélite sobre a região estudada para que se possa fazer uma análise comparativa mais eficiente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACCIOLY, Luciano José de Oliveira et al. **Avaliação de Mudanças no Albedo do Núcleo de Desertificação do Seridó através de Imagens do Landsat TM**. In: X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Foz do Iguaçu-Brasil, 2001, INPE. Anais, p. 549-556.

ALLEN, R.G., TASUMI, M. and TREZZA, R.. **SEBAL (Surface Energy Balance Algorithms for Land)**. Advance Training and Users Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 97p., 2002.

ALMEIDA, Carlos Alberto Soares de; PINTO, Hilton Silveira; JR. Jurandir Zullo; HAMADA, Emilia e PELLEGRINO, Giampaolo Queiroz. **O processamento Digital de Imagens NOAA-AVHRR para a estimativa de Temperatura de Superfície em Campo de Trigo Irrigado**. In: Seminário Internacional de Informatização da Agropecuária, AGROSOFT95, Juiz de Fora-Brasil, 2002.

ALVA, E. N. **Metrópoles da América Latina: Processos e Políticas**. MELLO E SILVA, S. B. de; GMÜNDER, U. (orgs.). Metrópoles e desenvolvimento sustentável. Salvador: ICBA, 1996. p. 39-54.

ANTONIO, Raphaela Nogueira. **Estimativa da temperatura da superfície terrestre utilizando dados do NOAA-AVHRR**. In: Seminário Internacional de Informatização da Agropecuária, AGROSOFT95, Juiz de Fora-Brasil, 2002.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 332 p.

BARBIRATO, Gianna M. et al. **Comparações entre escalas climáticas de análise urbana**. In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP-Brasil, 2001. Anais.

BARBIRATO, Gianna M. et al. **Análise de perfis térmicos urbanos em Maceió-AL**. In: IX Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído (ENTAC), Foz do Iguaçu, Paraná-Brasil, 2002. Anais, p. 319-325.

BARBUGLI, Renata; RORIZ, Maurício. **Mapeamento das temperaturas do ar na cidade de Araraquara, São Paulo, Brasil.** In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió, Alagoas-Brasil, 2005. Anais, p. 112-122.

BEZERRA, Marcus Vinícius Cândido. **Balço de energia em áreas irrigadas utilizando técnicas de sensoriamento remoto e imagens Landsat 5-TM.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-graduação em Meteorologia. Universidade Federal de Campina Grande-PB, 2004.

BRILHANTE, O. M. **Gestão e avaliação da poluição, impacto e risco na saúde ambiental.** In: BRILHANTE, O. M. ; CALDAS, L. Q. de A. Gestão e avaliação de risco em saúde ambiental. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, 1999. p. 19-73.

CAVALHEIRO, F. **Urbanização e alterações ambientais.** TAUKA, S. M. (org.). Análise ambiental: uma visão multidisciplinar. São Paulo: Editora da UNESP, 1995. p. 114-124.

COELHO, A. P. **Aspectos da poluição do ar e o meio ambiente brasileiro. SUPREN – Superintendência de Recursos Naturais e Meio Ambiente.** Recursos Naturais, meio ambiente e poluição. Rio de Janeiro: F. IBGE, 1997. P. 155-169.

CORRÊA, Marcelo de Paula. **Uma avaliação preliminar de medidas experimentais de albedo UVB.** In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 2005. INPE. Anais, p.3325-3332.

COSTA, A. D L. (<http://www.ufrn.br/davinci/abril/angelina.htm>) . Arquivo consultado em 2004.

COSTA, Aline Nogueira; ALVES, Maria da Glória. **Monitoramento da expansão urbana de Campos dos Goytacazes-RJ, utilizando geoprocessamento.** In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 2005, INPE. Anais, p.3731-3738.

DASH, P.; GOTTSCHKE, F. M.; OLESEN, F. S. and FISCHER, H. **Land surface temperature and emissivity estimation from passive sensor data: theory and practice-current trends.** Int. Journal remote sensing, vol. 23, nº13, 2563-2594, 2002.

DESSAY, Nadine et al. **Relações entre a vegetação e a cobertura de nuvens a partir dos dados NDVI NOAA AVHRR GAC e ISCCP no Brasil para o período 1984-1993.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro-Brasil, 2000, Anais, p. 3883-3891.

DI PACE, F.T. **Estimativa do balanço de radiação a superfície terrestre utilizando imagens TM-LANDSAT-5, modelo de elevação digital.** 2004. Tese (doutorado). DCA/UFCG. Campina Grande.

DUCHIADE, M. P. **Poluição do ar e doenças respiratórias: uma revisão.** Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 8 (3), p. 311-330, jul./set. 1992.

FARIA, João Alberto Gomes de. **O uso de imagens de satélite em estimativas de temperaturas do ar na camada intra-urbana.** In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió, Alagoas-Brasil, 2005. Anais, p. 669-678.

FERNANDES, Patrícia L.; BARBIRATO, Gianna M. **Análise microclimática do centro urbano de Maceió-AL.** In: VI Encontro Nacional e III Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, São Pedro, SP-Brasil, 2001. Anais.

FONTANA, Denise Cybis et al. **Monitoramento e previsão de safras no Brasil.** In: IX Simpósio Latino-Americano em Percepición Remota, Puerto Iguazú-Argentina, 2000.

FORMAGGIO, Antonio Roberto, et al. **Dados TM/LANDSAT na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão, Estado de São Paulo.** In: XI SBSR, Belo Horizonte-Brasil, 2003, INPE. Anais, p.93-100.

GALLEGO, L. P. **Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro (um ensaio em climatologia urbana).** Tese de Doutorado. São Paulo: Departamento de Geografia da USP, 1972. 104 p.

GALVÃO et al. **Indicadores de saúde e ambiente.** Informe Epidemiológico do SUS, Brasília, ano VII, n. 2, p. 45 – 53, abr/jun. 1998.

GUYOT, Gérard and GU, Xing-Fa. **Effect of Radiometric Corrections on NDVI-Determined from SPOT-HRV and Landsat-TM Data.** Remote sens. Environ. 49:169-180 (1994).

GUSSO, Aníbal; FONTANA, Denise Cybis. **Ensaio comparativo sobre métodos de monitoramento da temperatura da superfície terrestre no estado do Rio Grande do Sul com uso dos satélites NOAA.** In: XI SBSR, Belo Horizonte-Brasil, 2003, INPE. Anais, p.1185-1192.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. SPRING. (<http://www.dpi.inpe.br/spring>)

KARNIELI, A. , et al. **A mono-window algorithm for retrieving land surface temperature from Landsat TM data its application to the Israel-Egypt border region.** INT. J. remote sensing, vol.22, no. 18, p. 3719-3746, 2001.

Kato, Soushi; Yamaguchi, Yasushi. **Analysis of urban heat-island effect using ASTER and ETM⁺ Data: Separation of Anthropogenic heat discharge and natural heat radiation from sensible heat flux.** Remote Sensing of Environmet, vol. 99, p.44-54, 2005.

LEITÃO, Mário de M. V. B. R. et al. **Estimativas do Albedo em três ecossistemas da floresta Amazônica.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, V. 6, nº2, p. 256-261, 2002.

LILLESAND, T.M. and KIEFER, R.W.. **Remote sensing and image interpretation.** Wiley and Sons, Inc. New York. 1979.

LOPES, Helio Leandro et al. **Utilização dos parâmetros físicos albedo e temperatura na identificação de áreas degradadas na Bacia do Rio Brígida-PE.** In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 2005, INPE. Anais, p.3119-3127.

MARTINS, J. A. **O papel oculto do transporte no espaço subdesenvolvido.** Dissertação de Mestrado. Rio de Janeiro: PET/COPPE/UFRJ, 1991. 124p.

MING, Tsay Chu; LIU, William Tse Horng. **Estimativa de albedo, temperatura e NDVI do estado de São Paulo através dados AVHRR do satélite NOAA.** In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Rio de Janeiro-Brasil, 2000. Anais, p. 3843-3849.

MONTEIRO, C. A. de F. **Teoria e clima urbano.** São Paulo: Instituto de Geografia da USP, 1976. 180 p.

MONTEIRO, C. A. de F. **A interação homem-natureza no futuro da cidade.** In: CHRISTOFOLETTI, A. et al. (orgs). Geografia e meio ambiente no Brasil. São Paulo – Rio de Janeiro: Editora Hucitec. União Geográfica Internacional - Comissão Nacional do Brasil, 1995. 371-395.

MORSE, A.; TASUMI, M.; ALLEN, R.G. and 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, 2000.

MOURA, Rildo Gonçalves; et al. **Comparação entre os perfis de radiação solar dentro de ambiente de floresta para dias com diferentes coberturas de nebulosidade.** In: VIII Congresso Argentino de Meteorologia. IX Congresso Latino Americano e Ibérico de Meteorologia, Buenos Aires – Argentina, 2001. Anais, p. 2447-2452.

MOURA, V. **Imagens multitemporais TM/Landsat-5 da época de pré-plantio na estimativa de áreas destinadas a culturas de verão.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-graduação em sensoriamento remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). 2000.

NAKAMURA, Joventina Claro da Silva; NOVO, Evlyn Márcia Leão de Moraes . **Mapeamento da mancha urbana utilizando imagens de média resolução: sensores CCD/CBERS2 e TM/Landsat5 – estudo de caso da cidade de Rio Branco-Acre.** In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 2005, INPE. Anais, p.3843-3850.

OLIVEIRA, José Clênio Ferreira de. **Efeitos diretos e indiretos de variáveis meteorológicas na saúde e qualidade de vida da população urbana da cidade de Maceió-AL.** Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-graduação e desenvolvimento e Meio Ambiente – PRODEMA, Universidade Federal da Paraíba e Universidade Estadual da Paraíba. 2004.

ORTIZ, M. J.; FORMAGGIO, A. R.; EPIPHANIO, J. C. N. **Classification of croplands through integration of remote sensing, GIS and historical database.** International Journal of Remote Sensing, V.18, nº1, 95-105. 1997.

PACHÊCO, Admilson P. **Emissividades de superfícies no infravermelho termal.** In: IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos-Brasil, 1998. Anais, p. 1307-1313.

PAIVA, Célia Maria. **Estimativa do Balanço de energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR.** 2005. Tese (doutorado), Programas de Pós-graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

PALLONE FILHO, Wander José et al. **Avaliação do potencial de utilização de imagens AVHRR/NOAA-14 para o monitoramento de estiagem no estado de São Paulo.** In: XIII Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Santa Maria,RS-Brasil, 2003. Anais, p. 1073-1074.

PERES, Leonardo e CAMARA, Carlos. **Inversão da equação de transferência radiativa para a estimativa da emissividade e da temperatura da superfície terrestre utilizando dados do satélite MSG: êxitos e dificuldades.** In: XII Congresso brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR, 2002. Anais, p. 3091-3101.

SILVA, Bernardo Barbosa da Silva; BEZERRA, Marcus Vinícius Cândido. **Determinação dos componentes do balanço de energia à superfície com técnicas de sensoriamento remoto e dados de superfície.** In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 2005, INPE. Anais, p.3325-3332.

SIRKIS, A. **Ecologia urbana e poder local.** Rio de Janeiro: Fundação Ondazul, 1999. 318p.

SOUZA, José Leonaldo; ESCOBEDO, João Francisco e TORNERO, Maria Terezinha Trovareli. **Albedo e estimativas do saldo de radiação em feijão-vagem sob cobertura de plástico e ambiente externo.** Publicado na revista de Pesquisas Agropecuárias brasileiras, v. 34, nº10. p. 1763-1774, Brasília, 1999.

SOUZA, J. L.; LIMA, F. Z. **Clima de impactos ambientais, levantamento Ambiental e relatório, no meio ambiente de área carvalho – O. M. Classificação e caracterização físico-hídrica de solos de proteção ambiental de Piaçabuçu-AL.** Relatório técnico, Maceió-AL, p. 180-238, 1995.

TEZA, Cláudio Tavares Viana; BAPTISTA, Gustavo Macedo de Mello. **Identificação do fenômeno ilhas de calor por meio de dados ASTER on demand 08–Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras.** In: XII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Goiânia-Brasil, 16-21 de abril de 2005, INPE. Anais, p.3911-3918.

TÔRRES, Simone Carnáuba; PASSOS, Isabela da Silva; BARBIRATO, Gianna Melo. **Espaços públicos urbanos e microclimas: Avaliação climática no centro histórico de comércio e serviços de Maceió-AL.** In: VIII Encontro Nacional e IV Encontro Latino Americano sobre Conforto no Ambiente Construído, Maceió-AL, 2005. Anais, p. 2106-2115.

Voogt, J. A.; Oke, T. R. **Thermal remote sensing of urban climates.** Remote Sensing of Environmet. Vol. 86, p. 370-384, 2003.

WUKELIC, G. E., GIBBONS, D. E., MARTUCCI, L. M. AND FOOTE, H. P.. **Radiometric Calibration of Landsat Thematic Mapper Thermal Band.** Department of Energy by Battelle Memorial Institute. 1989.

XAVIER, Alexandre Cândido. **Estimativa de propriedades biofísicas de plantações de eucaliptos a partir de dados Landsat-TM.** Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos. 1998.

