



Dissertação de Mestrado

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**VARIAÇÃO ESPACIAL E MULTITEMPORAL DAS
TEMPERATURAS DA SUPERFÍCIE NA CIDADE DO RECIFE**



Elvis Bergue Mariz Moreira

Recife, PE, Brasil, 2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**VARIAÇÃO ESPACIAL E MULTITEMPORAL DAS TEMPERATURAS DA
SUPERFÍCIE NA CIDADE DO RECIFE**

Por

Elvis Bergue Mariz Moreira

Orientadora:

Prof.^ª Dr(a) JOSICLEDA DOMICIANO GALVÍNCIO

Recife, PE, Brasil, 2009



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**VARIAÇÃO ESPACIAL E MULTITEMPORAL DAS TEMPERATURAS DA
SUPERFÍCIE NA CIDADE DO RECIFE**

ELVIS BERGUE MARIZ MOREIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós – Graduação em Geografia. Área de concentração: Geografia Física Aplicada como requisito parcial para obtenção do título de **Mestre em Geografia**

Recife, PE, Brasil, 2009

Moreira, Elvis Bergue Mariz

Variação espacial e multitemporal das temperaturas da superfície na cidade do Recife / Elvis Bergue Mariz Moreira. – Recife: O Autor, 2009.

98 folhas : il., fig., mapas, tab.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CFCH. Geografia, 2009.

Inclui: bibliografia.

- 1. Geografia urbana. 2. Crescimento urbano – Recife (PE). 3. Sensoriamento remoto. 4. Imagens multiespectrais. 5. Temperatura do solo. I. Título.**

911 CDU (2. UFPE
910 ed.) BCFCH2009/45
CDD (22. ed.)

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE
CENTRO DE FILOSOFIA E CIÊNCIAS HUMANAS – CFCH
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS GEOGRÁFICAS –DCG
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

ELVIS BERGUE MARIZ MOREIRA

**Título: “VARIÇÃO ESPACIAL E MULTITEMPORAL DAS TEMPERATURAS À
SUPERFÍCIE NA CIDADE DO RECIFE ”**

BANCA EXAMINADORA

TITULARES:

Orientador: _____
Profa. Dra. Josicléda Domiciano Galvncio (UFPE)

1º. Examinador: _____
Prof. Dr. Bernardo Barbosa da Silva (UFCG)

2º. Examinador: _____
Prof. Dr. Jan Bitoun (UFPE)

APROVADA em 02 de março de 2009

RCMS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO - UFPE

DEDICATÓRIA

A minha mãe,

Célia Moreira, pelo carinho, amor, incentivo e confiança, oferecidos ao longo da minha trajetória.

A minha irmã,

Sandra Moreira, pelas palavras de incentivo, no desenvolvimento deste trabalho.

Amo de coração todos vocês, muito obrigado.

AGRADECIMENTOS

A Dr^a. Josiclêda Domiciano Galvêncio, orientadora da dissertação, pelo conhecimento transmitido, confiança e o apoio em todas as fases da elaboração;

A Capes (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pela bolsa concedida para o desenvolvimento da pesquisa;

Ao Programa de Pós-Graduação em Geografia, pela oportunidade concedida;

Ao laboratório de Geografia Física, pelo espaço cedido;

Aos meus amigos do Mestrado, em especial a Cris e Sara, por todos os momentos vivenciados no decorrer do curso, vocês moram no meu coração;

Aos professores do Mestrado pelos ensinamentos concedidos;

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

RESUMO

MOREIRA, Elvis Bergue Mariz. **Varição espacial e multitemporal das temperaturas à superfície na cidade do Recife**. Recife, 2009, 98p. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Ciências Geográficas – Coordenação de Pós – Graduação em Geografia.

O município do Recife, nos últimos anos 30 anos, teve seu crescimento urbano intensificado, o que resulta substituição de áreas verdes por uma zona urbana edificada, impermeabilizando o solo e contribuindo para o aumento das temperaturas. Portanto mudanças locais causadas por edificações e ocupações inadequadas provocaram alterações no conforto urbano ambiental. O trabalho proposto analisa através de imagens multiespectrais do Landsat-5 TM, a variação espacial e multitemporal das temperaturas na cidade do Recife. Para tanto foram estimados índices de vegetação (IVAS), albedo, emissividade e finalmente temperatura. Foram utilizadas duas imagens referentes às datas 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) apresentou valores médios de 0,164 em 1984 e 0,129 para o ano de 2007. De acordo com os resultados houve uma diminuição de 0,035 concernentes a cobertura vegetal, corroborando desta forma com a intensificação dos espaços urbanos ocorridos nos últimos anos. O valor máximo encontrado para o albedo da superfície foi de 0,25 para o ano de 1984 e 0,33 para o ano de 2007, ano de 1984 apresentou os menores valores. A temperatura da superfície terrestre estimada foi maior para o ano de 2007 sendo 27°C seu valor médio e menor para o ano de 1984 com média de 22,2°C. Os maiores valores de temperatura da superfície em todas as imagens estudadas encontram-se no setor sul onde estar localizado o bairro de Boa Viagem e no centro da Cidade, sofrendo uma variação de aproximadamente 5°C. Em 1984 a temperatura apresentou-se mais concentrada entre 19°C e 24°C e em 2007 ocorreu uma maior variação ficando entre 22°C e 32°C aproximadamente.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, temperatura da superfície, urbanização.

ABSTRACT

MOREIRA, Elvis Berg. **Multitemporal and spatial variation of the temperature supercífie in the city of Recife.** Recife, 2009, 90p. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Department of Geographical Sciences-Coordination of Post - Graduation.

The city of Recife, in recent years 30 years, its growth has intensified urban, which is replacement of green areas by urban building, changing the focus, waterproof the soil and contributing to the increase of temperatures. Therefore local changes caused by inadequate buildings and occupations caused changes in urban environmental comfort. The proposed work examines images of multispectral Landsat-5 TM, the spatial variation of temperatures in the city of Recife. For both were estimated following the methodology of vegetation indices (URI), albedo, emissivity and temperature finally. Images were used two images for the dates 10 June 1984 and August 29, 2007. The Index of the Soil Adjusted Vegetation (URI) showed values of 0,164 and 0,129 for the year 2007. According to the results was a decrease in 0,035 related to plant cover, thus corroborating with the intensification of urban developments in recent years. The maximum value found for the albedo of the surface was 0,480 for the year 1984 and 0,653 for the year 2007, it is observed that the year 1984 presented the lowest values. The estimated temperature of the surface was higher for the year 2007 being 27°C and lower its average value for the year 1984 with an average of 22,2°C. The higher temperature of the surface in all images studied are in the area where is located the southern district of Boa Viagem and the center of the city, under a variation of about 5°C. In 1984 the temperature had to be more concentrated between 19° C and 24°C, and in 2007 there is a greater variation to between 22°C and 32°C approximately.

Keywords: Remote sensing, surface temperature, urbanization.

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	19
3 – REFERENCIAL TEÓRICO.....	22
3.1 – O ESPAÇO URBANO E O CLIMA.....	22
3.2 – CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR.....	28
3.3 – ESCALAS DE CLASSIFICAÇÃO DO CLIMA.....	30
3.4 – ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	31
3.5 – ALBEDO.....	33
3.6 – EMISSIVIDADE.....	36
3.7 – TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE.....	37
4 – MATERIAL E MÉTODOS.....	42
4.1 – CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DO RECIFE.....	42
4.1.2 – CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS ANALISADAS.....	45
4.1.3 – IMAGENS DE SATÉLITE.....	48
4.2 – MÉTODOS	49
4.2.1 – ETAPA 1 (Calibração Radiométrica).....	50
4.2.2 – ETAPA 2 (Reflectância Monocromática).....	51
4.2.3 – ETAPA 3 (Albedo no topo da atmosfera).....	52
4.2.4 – ETAPA 4 (Albedo da Superfície).....	52
4.2.5 – ETAPA 5 (Índices de Vegetação: SAVI e IAF).....	53

4.2.6 – ETAPA 6 (Emissividades).....	53
4.2.7 – ETAPA 7 (Temperatura da Superfície).....	54
5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	55
5.1 – TRANSMISSIVIDADE E EMISSIVIDADE.....	58
5.2 – ÍNDICES DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO.....	58
5.3 – ALBEDO.....	64
5.4 – TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE.....	69
6 – CONCLUSÕES.....	79
7 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 -	Alterações climáticas locais produzidas pelas cidades.....	27
Tabela 3.2 -	Sensoriamento remoto aplicado aos estudos do clima urbano.....	38
Tabela 4.1-	Valores do ângulo de elevação solar, cosseno do ângulo zenital e $\text{PI } d^2$, no dia da passagem do TM Landsat 5.....	49
Tabela 4.2 -	Descrição dos canais do Landsat 5 - TM, intervalos espectrais, coeficientes de calibração e fluxo direcional K correspondentes.....	52
Tabela 5.1 -	Valores estatísticos da emissividade da superfície (mínimo, máximo, médio moda).....	58
Tabela 5.2 -	Valores estatísticos do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), mínimo, máximo, média e moda, para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.....	59
Tabela 5.3 -	Valores estatísticos do albedo da superfície (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.....	64

Tabela 5.4 -	Valores estatísticos da temperatura à superfície (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.....	69
---------------------	---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 -	Representação esquemática da atmosfera urbana.....	31
Figura 3.2 -	Albedos de materiais urbanos.....	35
Figura 4.1 -	Localização da área em estudo destacando a cidade do Recife.....	42
Figura 4.2 -	Modelo digital de elevação da área em estudo.....	43
Figura 4.3 -	Gráfico de temperaturas entre 1961 a 1990.....	44
Figura 4.4 -	Gráfico de precipitações entre 1960 a 1990.....	45
Figura 4.5 -	Mapa da cidade do Recife destacando as áreas que foram analisadas.....	46
Figura 4.6 -	Diagrama com as etapas do processamento das imagens.....	50
Figura 5.1 -	Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5, referente à área de estudo para o dia 10 de junho de 1984.....	56

Figura 5.2 -	Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5, referente à área de estudo para o dia 29 de agosto de 2007.....	57
Figura 5.3 -	Histograma de frequência do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 10 de junho de 1984.....	60
Figura 5.4 -	Histograma de frequência do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 29 de agosto 2007.....	60
Figura 5.5 -	Imagem do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 10 de junho de 1984.....	61
Figura 5.6 -	Imagem do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 29 de agosto de 2007.....	62
Figura 5.7 -	Imagem do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) referente ao manguezal do Pina nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.....	63
Figura 5.8 -	Histograma de frequência do Albedo em 10 de junho de 1984.....	66
Figura 5.9 -	Histograma de frequência do Albedo em 29 de agosto de 2007.....	66

Figura 5.10 -	Imagem do albedo da superfície para o dia 10 de junho de 1984.....	67
Figura 5.11 -	Imagem do albedo da superfície para o dia 29 de agosto de 2007.....	68
Figura 5.12 -	Imagem termal das temperaturas à superfície em 10 de junho de 1984.....	71
Figura 5.13 -	Imagem termal das temperaturas à superfície em 29 de agosto de 2007.....	72
Figura 5.14 -	Imagem termal das temperaturas à superfície em 29 de agosto de 2007.....	74
Figura 5.15 -	Imagem termal das temperaturas à superfície em 29 de agosto de 2007.....	75
Figura 5.16 -	Histograma de frequência da temperatura à superfície em 10 de junho de 1984.....	76
Figura 5.17 -	Histograma de frequência da temperatura à superfície em 29 de agosto de 2007.....	76

Figura 5.18 - Morfologia urbana da *ilha de calor* do estacionamento do shopping Center Recife (8° 07'12''S e 34° 54' 16''O), localizado no bairro de Boa Viagem. Em (A) imagem de detalhe mostrando a morfologia da IC, em (B) a imagem termal com destaque para IC..... 77

Figura 5.19 - Morfologia urbana da *ilha de calor* do bairro de São José (8° 04'10''S e 34° 52'33''O) localizado no centro do Recife. Em (A) imagem de detalhe mostrando a morfologia da IC, em (B) a imagem termal com destaque para IC..... 78

LISTA DE SIGLAS

ASTER	- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection
INMET	- Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	- Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
NOAA	- National Oceanic and Atmospheric Administration
SEBAL	- Surface Energy Balance Algorithm for Land
IVAS	- Índice de Vegetação Ajustado ao Solo
IAF	- Índice de Área Foliar
TM	- Thematic Mapper
MDE	- Modelo Digital de Elevação

LISTA DE SÍMBOLOS

$L_{\lambda i}$	- Radiância espectral
$K_{\lambda i}$	- Irradiância solar espectral de cada banda no topo da atmosfera
Z_i	- Ângulo Zenital do Sol
α_{toa}	- Albedo planetário
α_p	- Radiação solar refletida pela atmosfera
T_{sw}	- Transmissividade atmosférica
ϵ_o	- Emissividade da superfície
ϵ_a	- Emissividade atmosférica
ϵ_{NB}	- Emissividade Termal
d_{T-S}	- Distância relativa Terra-Sol
T_s	- Temperatura da Superfície Terrestre
UA	- Unidade Astronômica

1 – INTRODUÇÃO

As diversas modificações causadas pelo homem no espaço natural ocasionam a formação de um clima urbano e de vários microclimas urbanos, evidenciado principalmente pelas seguintes alterações no ambiente físico-natural: retirada da cobertura vegetal e substituição por áreas construídas, intensa verticalização que em grande quantidade funcionam como barreiras nos fluxos dos ventos, concentração de veículos, impermeabilização do solo, canalização do escoamento superficial, emissão de gases poluentes na atmosfera provenientes de veículos e indústrias (GEIGER, 1961; MENDONÇA, 1994; SANT'ANNA NETO & ZAVANTINI, 2000).

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, denominado clima urbano, um tipo específico de microclima, constitui um exemplo disso.

Nas cidades, as regiões centrais são mais quentes e a periferia registra menor temperatura. Isso decorre 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 diminuição das áreas verdes cria mudanças na atmosfera local, modificando a temperatura, bem como a direção e velocidade dos ventos. Essas áreas 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. (KATO e YAMAGUCHI, 2005).

Nas últimas décadas a cidade do Recife apresentou uma elevada expansão nos ambientes construídos. Fato que se observa pela intensificação na substituição das áreas

verdes, por uma zona urbana edificada, impermeabilizando o solo e contribuindo para o aumento da entrada de calor proveniente dos elementos que possuem capacidade de absorção térmica e que contribuem para o aumento de temperatura nessas áreas.

A partir do sensoriamento remoto via satélite podem-se avaliar as alterações ambientais como índices de vegetação, albedo e temperatura da superfície terrestre que são parâmetros relevante nos processos físicos à superfície 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 mudança climática (Lombardo, 1985).

As disponibilidades de informações concernentes aos aspectos climáticos de um dado lugar são de suma importância, uma vez que o clima é um fator determinante para o ser humano, e sendo por este modificado, deveria ser levado em consideração nos estudos relacionados ao planejamento urbano.

A temperatura da superfície frequentemente tem sido tema de pesquisas em trabalhos científicos (Becker & Li 1990; Kerr et al., 1992; Prata 1994 ; Ulivieri et al., 1994; Sobrino, 1994; Silva et al, 2005) e tem sido bastante utilizada para várias aplicações na meteorologia, climatologia, geografia, planejamento urbano e estudos dos recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície.

A área urbana do Recife apresenta uma superfície bastante heterogênea com diversos elementos que favorecem a absorção da radiação de onda curta, contribuindo de forma direta para o aumento da temperatura local. Apesar dessa heterogeneidade na sua superfície, a cidade ainda não dispõe de informações de temperatura da superfície em toda sua área. Atualmente, encontram-se na cidade do Recife apenas quatro estações, sendo que na área em estudo existe apenas uma estação, pertencente ao INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), localizada no Aeroporto Internacional dos Guararapes.

Diante do exposto, esta pesquisa se propõe detectar alterações ambientais na cidade do Recife mediante parâmetros derivados de imagens Landsat 5-TM, que será possível buscando uma correlação entre os dados obtidos de calibração radiométrica, reflectância monocromática, albedo, os índices de vegetação, emissividades e temperatura da superfície.

Introduzindo assim, no meio acadêmico, novas tecnologias de conhecimento, finalizando com a confecção de mapas de Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), albedo, e temperatura da superfície da cidade do Recife, visando com isto, fornecer uma contribuição aos tomadores de decisão e ao Departamento de Ciências Geográficas da Universidade Federal de Pernambuco.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 – O Espaço Urbano e o Clima

Através do processo da urbanização, as cidades constituíram-se no principal cenário do desenvolvimento das relações humanas. A urbanização considerada em termos de espaço físico construído altera significativamente o clima urbano, considerando-se o aumento das superfícies de absorção térmica, impermeabilização dos solos, alterações na cobertura vegetal, concentração de edifícios que interferem na circulação do ar, contaminação da atmosfera através da emissão dos gases. Seja pela implosão demográfica, seja pela explosão das atividades, os espaços urbanos passaram a assumir a responsabilidade do impacto máximo da atuação humana sobre a organização na superfície terrestre e na deterioração do ambiente (MONTEIRO, 1990).

O conhecimento das feições topográficas do sítio é de extrema importância nos estudos climáticos, pois é possível notar grandes diferenças de microclimas em pequenas distâncias dentro da própria estrutura interna das cidades, que são provenientes da morfologia do solo, presença ou não de vegetação e principalmente ocasionada pela impermeabilização do solo, gerando desta forma alterações térmicas que comprometem a qualidade de vida e o conforto térmico das cidades (MONTEIRO, 1990).

Monteiro (1990), também enfatiza a importância do conhecimento das particularidades do sítio e do espaço urbano decorrente na compreensão da análise climática intra-urbana, bem como a detalhada representação cartográfica como suporte ao estudo do clima urbano.

O estudo pioneiro sobre clima urbano foi publicado em Londres, em 1833, de autoria de Luke Howard (1833). Trata-se de um trabalho onde são analisadas as observações meteorológicas para a cidade de Londres, no período de 1777 a 1831. Nesse trabalho, Howard

refere-se aos efeitos provocados pela ilha de calor no centro de Londres (ele não utiliza a expressão, porém suas observações caracterizam o fenômeno assim).

Em muitos casos, a avaliação da mudança no clima causada por uma implantação humana, é muito difícil. Isto se deve ao fato de que muitas vilas e cidades foram construídas em locais nos quais as condições que governam o clima são muito complexos. Locais na costa que permitem a construção de bons portos, vales que favoreçam o tráfego e o comércio e promotorios que sejam fortalezas naturais, normalmente já possuem um clima bem distinto do seu entorno (LANDSBERG, 1956).

Conforme Geiger (1961):

De maneira geral pode dizer-se que o clima da cidade depende em grande parte da situação topográfica da mesma (...).

Oke (1978) afirma que “(...) em comparação com a paisagem circunvizinha a cidade usualmente provoca um enrugamento, aquecimento e, talvez, ressecamento das condições de superfície.”

Para Lombardo 1985, a superfície da cidade constituída de área edificada influi de maneira tridimensional na interação que existe entre a estrutura urbana e atmosfera. As condições climáticas de uma área urbana extensa e de construção densa são totalmente distintas daquelas dos espaços abertos circundantes, podendo haver diferenças de temperatura, de velocidade do vento, de umidade, de pureza do ar, dentre outros. O desenho físico urbano, desde a escala de edifícios até as áreas metropolitanas, pode ter fortes repercussões nas condições climáticas locais.

Inúmeros pesquisadores demonstraram preocupação em detalhar embasamento geográfico para o estudo do clima urbano no Brasil, sendo os principais, e os mais expressivos os trabalhos realizados por MONTEIRO (1976, 1990), TARIFA (1977), DANNI (1980), LOMBARDO (1985), SAMPAIO (1981), MENDONÇA (1994), SARTORI (1979, 2000).

Lombardo (1990), afirma que, a cidade deve ser considerada parte integral do espaço regional, assim como suas contradições integral. Deve-se analisar as variações do ambiente urbano, nos vários níveis, tais como nos bairros, ruas, casas, ambientes internos. A ação

ecológica natural, associada aos fenômenos urbanos, constitui o conjunto complexo de inter-relações que produzem o clima urbano.

Uma das mais significativas expressões da alteração climática na cidade diz respeito aos valores de temperatura e concentração de poluentes. Esses fenômenos podem ser usados como indicadores da degradação ambiental que frequentemente ocorre nos espaços urbanizados.

Conforme Lombardo (1990), o clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização. É um meso-clima que está incluído no macroclima e que sofre, na proximidade do solo, influências microclimáticas derivadas dos espaços urbanos.

Segundo Monteiro (1990), o ambiente urbano é formado por dois sistemas que se inter-relacionam. São o sistema antrópico (integrado pelo ser humano e suas atividades) e o sistema natural (constituído pelo meio biológico e físico – água, animais, vegetação, solo, etc.). Dentro desse sistema, o ser humano provoca alterações ambientais, de forma rápida e intensa, muitas vezes, nocivas ao meio ambiente e a si próprio.

Segundo Spirn (1995) “ A proporção que as cidades crescem em tamanho e densidade, as mudanças que produzem no ar, no solo, na água e na vida, em seu interior e a sua volta, agravam ao problemas ambientais que afetam o bem estar de cada morador”.

Portanto, observa-se que, a medida que o homem impõe pressões econômicas no solo, implantando desta forma materiais e equipamentos, além do adensamento populacional, contribui de forma direta para a modificação do espaço natural.

Diante destas afirmações, após a segunda Guerra Mundial, surgiram inúmeros estudos voltados à qualidade ambiental das cidades, visando contribuir com melhores condições de conforto térmico e qualidade de vida de toda população.

Segundo Spin (1995), desde o período romano, em que os odores de cozinhas enfumacadas, liberavam uma mescla de vapor e fuligem, gerando desconforto e mal-estar, existia uma preocupação com o clima. Em 1787, já se falava do odor da cidade de Munique e sobre as condições de poluição do ar, e após a Revolução Industrial foram constatadas modificações do clima, devido à urbanização e a maior concentração de poluentes.

Conforme Geiger (1961), os métodos utilizados, normalmente pelos pesquisadores centravam-se na caracterização do clima urbano a partir de uma série de observações simultâneas do ambiente intra-urbano e no espaço rural circundante. Esse tipo de observação dificilmente conseguiria eliminar a influência adicional da situação topográfica e da vegetação, mesmo quando era possível homogeneizar as séries de observação.

Um trabalho que merece grande destaque sobre clima urbano é o de Chandler (1965) sobre Londres, que, assim como nos estudos pioneiros, foi a primeira metrópole a experimentar uma análise especial do seu clima.

De modo geral, os estudos relacionados ao clima urbano, até recentemente, foram colocados sob a perspectiva centrada na investigação dos aspectos meteorológicos, constituindo-se fundamentalmente em avaliar o índice de degradação do ambiente atmosférico gerado pela atividade antrópica no espaço urbano (MONTEIRO, 1976).

Diante do exposto por Chandler, várias críticas foram levantadas, sobretudo por geógrafos e climatologistas, pois havia a necessidade de se caracterizar os elementos constituintes do clima urbano. Entre eles Monteiro (1976), ressalta a necessidade de paralelamente às análises meteorológicas sobre a atmosfera da cidade, penetrar no interior da estrutura urbana, tomando-a como um “fator geográfico”, altamente produto das alterações impostas pelas pressões antrópicas, e conduzida pelos processos dinâmico-funcionais condicionado pelos aspectos de ordem econômica e cultural de uma determinada época em que a sociedade está inserida.

Monteiro ao aplicar os princípios da teoria da representatividade sistêmica, preconizada por Ludwig Von Bertalanffy, baseada na análise rítmica da circulação atmosférica regional, através da identificação dos tipos de tempo, propôs uma metodologia específica para o estudo do clima das cidades, definindo-o de Sistema Clima Urbano.

O Sistema Clima Urbano – SCU subdivide-se em três subsistemas: o Termodinâmico, o Físico-Químico e o Hidrodinâmico, onde cada um desses subsistemas corresponde respectivamente, a um canal de percepção climática: o conforto térmico, a qualidade do ar e impacto meteórico (MONTEIRO, 1976).

Outros conceitos importantes surgiram para análise do clima urbano. Oke (1978) introduziu o conceito do “Sky View Factor” (configuração de céu ou fator céu sensível),

inicialmente utilizado na biologia para estudos da radiação em áreas florestadas, e também utilizados por Olgay (1973) para estudos em ambientes arquitetônicos.

Conforme observa Chandler (1976), apud (Lombardo, 1996):

Com a substituição das superfícies e formas naturais pelas “artificiais”, o ser humano vem modificando as propriedades físicas e químicas, e os processos aerodinâmicos, térmicos, hidrológicos e de intercâmbio de massa que na camada limite atmosférica como conseqüência, as propriedades meteorológicas do ar dentro e imediatamente acima das áreas urbanas ficam profundamente modificadas criando um distinto tipo climático, o clima urbano.

A partir desta proposição teórico-metodológica, o clima urbano pode ser definido, segundo Monteiro (1990), “como um sistema complexo, aberto, adaptativo que, ao receber energia do ambiente maior no qual se insere a transforma substancialmente a ponto de gerar uma produção exportada ao ambiente”.

Poluição do ar, ilha de calor, inundações no espaço urbano, dentre outras formas, assumem destaque nos climas urbanos, refletindo, com isso peculiaridades do clima da cidade.

Mendonça (1994), afirma que “foi a partir da concepção de dinâmica atmosférica e de sua inter-relação com as atividades humanas, enquanto fator de causa e efeito de sua alteração, que o clima em geral, e o clima urbano em particular, passaram a ser tratados sob um enfoque mais geográfico”.

Conforme Mendonça (1994), o conceito de “Sky View Factor”, relacionado com a cobertura da superfície urbana pelas edificações e vegetação urbana, o efeito - oasis ou frescor, derivado de áreas verdes urbanas e o papel da umidade dos solos, atua decisivamente na formação das ilhas de calor.

Sant`anna Neto et al. (2000) defendem que o clima urbano surge da interação do crescimento urbano desmedido com a dinâmica das múltiplas relações e ações antrópicas que vão provocar profundas mudanças na atmosfera local. Além disso, produz alterações no padrão e no índice pluviométrico, que conseqüentemente reflete nas condições ambientais da população, colocando em risco a qualidade de vida dos habitantes. Segundo autores, as cidades dos países não-desenvolvidos, principalmente as localizadas em latitudes tropicais,

notadamente as de médio e de pequeno porte, somente há pouco tempo começaram a despertar a atenção para elaboração dos estudos em ambientes urbanos.

Nesse sentido, Sakamoto (2001) afirma que as variações da temperatura junto à superfície estão relacionadas com as variações na disponibilidade de céu, as quais podem determinar variações térmicas significativas, influenciando principalmente na intensidade da “ilha de calor”.

Segundo Tucci (2002), o clima urbano é proveniente da modificação substancial do clima local que, em relação às condições climáticas das demais áreas circunvizinhas, apresenta maior quantidade de calor e modificações na composição da atmosfera.

Essas alterações variam de cidade para cidade em virtude da intensidade de uso do solo, do processo de crescimento urbano e das características geológicas do lugar, estando sintetizadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 Alterações climáticas localis produzidas pelas cidades

Elementos Poluentes	Comparação com a zona rural
- partículas sólidas	10 vezes mais
- bióxido de enxofre	5 vezes mais
- bióxido de carbono	10 vezes mais
- monóxido de carbono	25 vezes mais
Radiação	
- total sobre uma superfície horizontal	15 a 25% menos
- ultravioleta, no inverno	30% menos
- ultravioleta, no verão	5% menos
- duração da radiação	5 a 15%
Nebulosidade	
- cobertura de nuvens	5 a 10% mais
- nevoeiro no inverno	100% a mais
- nevoeiro no verão	30% a mais
Precipitações	
- quantidade total	5 a 10% a mais

- dias de chuva com 5mm	100% a mais
- queda de neve	5% menos
- dias com neve	14% menos
Temperatura	
- média anual	0,5 a 0,1°C a mais
- mínimas de inverno	1,0 a 2,0°C a mais
- aquecimento de graus-dia	10% a menos
Umidade relativa	
- média anual	6% a menos
- inverno	2% a menos
- verão	8% a menos
Velocidade do vento	
- média anual	20 a 30% a menos
- movimentos extremos	10 a 20% a menos
- calmarias	5 a 20% a menos

Fonte: Landsberg, 1981.

3.2 - Características das Ilhas de Calor Urbano

A ilha de calor é considerada por muitos pesquisadores como uma anomalia térmica, correspondendo a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, chegando a propiciar o surgimento de circulação local. Diante disto constitui-se numa das mais notáveis expressões climáticas, resultante das alterações impostas ao ambiente urbano (LOMBARDO, 1985).

Diversos trabalhos realizados sobre ilhas de calor, entre eles o de Landsberg 1956, Eriksen 1978, Vukovich 1978, Oke 1978, Cech 1976, Lombardo 1985, Danni 1980, Yonetani 1983, Saydelles e Sartori 2004 e Araujo 2006, demonstram que independente da zona climática, nas áreas urbanas a temperatura do ar é mais elevada que nas áreas circunvizinhas.

Com o aumento da temperatura nas cidades, ocorre uma diminuição da umidade relativa. Em dias extremamente quentes, o desconforto térmico associado à umidade relativa baixa provoca um “clima de deserto artificial”. Segundo Eriksen (1978) a elevação das temperaturas pode aumentar a capacidade de absorção do vapor d água. No verão,

principalmente em áreas próximas a corpos d'água, altos valores de pressão de vapor, conjuntamente com aumento da radiação de onda longa, produzem as sensações desconfortáveis de ar aquecido e úmido.

Vukovich (1978) observou e simulou as variações diurnas da circulação da ilha de calor urbana e aquelas associadas com a distribuição de ozônio. A temperatura da superfície e a temperatura da atmosfera superior, bem como os padrões de campos de ventos no dia 08/06/1976 em Santo Louis, foram analisados e comparados com resultados de simulação para um modelo hidrodinâmico tridimensional. Como resultado obteve uma ilha de calor urbana de 2°C de diferença entre as regiões urbana e rural durante o dia, à noite obteve 5°C de diferença.

Eriksen (1978) utilizou técnicas de sensoriamento remoto para estudar a ilha de calor em Hanôver no dia 13/08/1979 e fez a associação com os diferentes usos do solo. Na região central da cidade, onde a concentração de prédios é expressiva, a temperatura variou entre 25 e 26°C, enquanto que nas áreas verdes, parques e jardins, oscilou entre 20 e 21°C.

Oke (1978, 1981 e 1982) destaca a importância da localização geográfica, da topografia, do solo, da vegetação e do uso do solo. Segundo o autor o tamanho da cidade também afeta a formação da ilha de calor, devendo também ser ressaltados, os parâmetros meteorológicos como o vento e a cobertura de nuvens.

Zamparoni (1985) realizou estudo com séries de temperatura do ar de duas cidades de pequeno porte, no norte do estado de Mato Grosso, Brasil. Nesse estudo foi observado que a vegetação nativa e o acelerado processo de asfaltamento e a cimentação de ruas e avenidas estão aquecendo as cidades. Adicionalmente, foi identificado ilhas de calor de até 5°C no centro das cidades.

No intuito de melhorar o conhecimento e análise sobre a formação e dinâmica das ilhas de calor, surgiram nos últimos anos inúmeros modelos matemáticos na tentativa de mensurar o fenômeno, com base nas características de cidades de clima temperado, que ao serem adaptados para análise do clima de cidades tropicais, poderão não surtir o efeito esperado ou mesmo levar a compreensão equivocada do fenômeno, uma vez que as características geológicas e geourbanas das cidades destas latitudes, apresentam-se de forma diferenciada. (SAYDELES, 2004).

3.3 – Escalas de classificação do clima

Independente da classificação em qual se situe, o clima urbano se enquadra em um contexto climático maior, com o qual interage, variando quanto às dimensões do espaço geográfico/atmosférico e quanto ao dinamismo das atividades desenvolvidas pelo homem nas cidades.

A necessidade de dispor de um corpo de conceitos e de uma terminologia simples levou à necessidade de categorias espaciais discretas, sempre arbitrárias e artificiais, pois os fenômenos atmosféricos são, por natureza, contínuos (Oke, 1978). Orlansky (1975) distinguiu os fenômenos de microescala (dimensão típica até 2 km de extensão), mesoescala (2 a 2000 km) e macroescala (> 2000 km). Wanner e Filliger (1989) consideram que os fenômenos urbanos se restringem ao espaço e tempo que medeia entre a microescala (para os elementos individuais) e a mesoescala, para grandes áreas metropolitanas. Segundo Moran et al (2001) os fenômenos urbanos típicos integram-se na mesoescala e Matzarakis e Mayer (1991) considera que essa é a dimensão característica da ilha de calor urbano.

Conforme menciona Andrade (2003), o mesoclima corresponde à influência integrada da cidade (caracterizando-se por vários climas locais), essencialmente ao nível da *Camada Limite Urbana*. Podem considerar-se igualmente como efeitos de mesoescala os efeitos extra urbano, de dimensão aproximada ou superior à da própria cidade (sistemas de brisas, barreiras topográficas, etc.). Desta forma o clima urbano depende dos fenômenos da escala climática superior, Figura 3.1.

Um clima local engloba um mosaico de microclimas, que se repetem com alguma regularidade (Oke, 1981 e 1982) e, idealmente, corresponde a uma unidade climo-topológica.

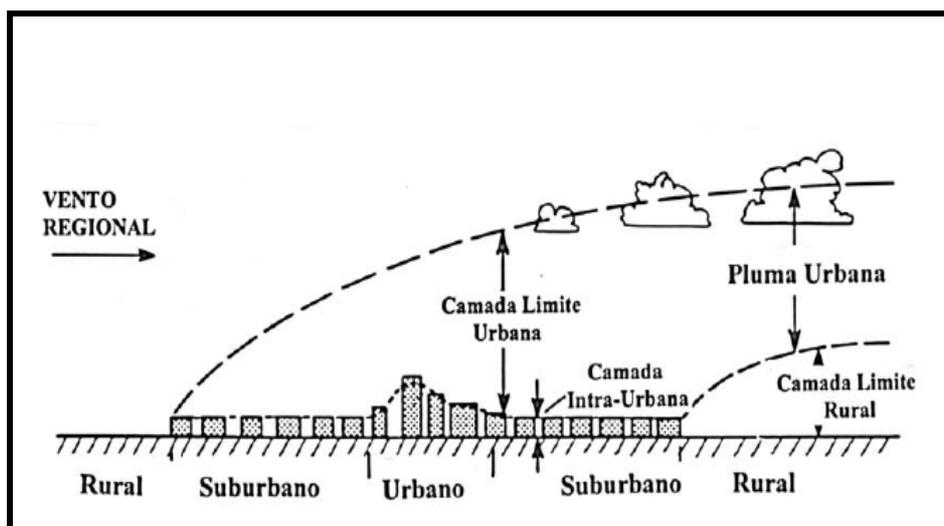


Figura 3.1: Representação esquemática da atmosfera urbana. Fonte: OKE (1978).

Em relação à escala microclimática é o resultado da ação humana nas transformações em seu entorno, propiciando assim alteração e formação de um novo ambiente climático, originado de acordo com as funções humanas desempenhadas no espaço urbano. Assim, os elementos atmosféricos, por efeito da morfologia da área, das atividades desempenhadas pela ação humana, bem como por estarem contidas no âmbito de atuação das esferas climáticas superiores, sofrem inúmeras influências e alterações, que lhe conferem um caráter tipicamente local ou urbano. (MASCARÓ, 1996).

As alterações impostas no ambiente natural das cidades pela ação antrópica gerou uma série de outras características, como os diferentes usos do solo, adensamento urbano construtivo, áreas verdes, verticalização, intensa circulação de veículos e de pessoas que liberam energia antropogênica, são capazes de alterar o meso, o topo e, sobretudo o microclima de um determinado local. (SAYDELLES, 2004).

3.4 - Índices de vegetação

A intensa e desordenada urbanização verificada na maioria das cidades brasileiras tem ocasionado um processo de degradação do meio natural urbano tornando escassa a presença do elemento vegetação nestas áreas. No entanto, é reconhecida, mundialmente, a importância dessas áreas para a saúde, o lazer e o equilíbrio térmico da população urbana. (PARANAGUÁ et. al. 2003

Dentre os parâmetros ambientais que fazem parte dessa pesquisa, os índices de vegetação são de suma importância para o monitoramento de mudanças ambientais. Foram concebidos com o objetivo de ressaltar a resposta espectral da vegetação em função do fechamento do seu dossel sobre o solo (Jackson e Huete, 1991). Segundo Moreira a principal vantagem para o uso do índice de vegetação é a obtenção de uma banda com significado físico, ou seja, o índice de vegetação é um número altamente correlacionado com a fitomassa verde e com o grau de cobertura do solo por vegetação verde.

Parise e Vettorazzi (2005) 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 porcentagem da cobertura da superfície. Isso é concebido por causa da alta absorção dos pigmentos foliares nas regiões espectrais do vermelho e a alta reflectância no infravermelho próximo.

Moreira e Shimabukuro (2004) enfatizam que na literatura são encontrados mais de cinquenta índices de vegetação sendo que a maioria é obtida de medidas da reflectância da faixa do infravermelho e infravermelho próximo do espectro eletromagnético. O índice que utilizado nessa pesquisa é que tem características de eliminar o efeito do solo, SAVI (Índex Vegetation Adjust Soil)

Diante do exposto, diversos autores têm utilizado estes índices para estimativa da fitomassa da cobertura verde (Monteith, 1972; Baret & Guyot, 1991; Daughtry et al., 1992; Gower et al., 1999).

A literatura acadêmica, como por exemplo, (Nucci & Cavalheiro 1999) apontam que as funções das áreas verdes para a população ocorrem se elas se apresentarem em quantidades e qualidades adequadas. Isso implica na necessidade de certa quantidade de espaço verde por habitante, com uma composição e estrutura da vegetação que corresponda às funções desejadas pela população.

Em ambientes construídos (espaços intra-urbanos) as áreas de cobertura vegetal constituem um importante indicador de sustentabilidade, pois garante áreas mais permeáveis, reduzem a poluição atmosférica, contribuem para formação de microclimas, aumentam a circulação do ar, retêm até 70% da poeira em suspensão e se bem projetadas constituem em espaços de lazer. (PARANAGUÁ et. al 2003).

Para que a vegetação possa exercer uma função microclimática, em termos de plano térmico e higrométrico, no meio urbano, é necessário atender a algumas condições. Izard e Guyot (1980) afirmam que se faz necessário que a área verde constitua um efeito de massa dentro da escala da cidade e que essa massa vegetal represente 30% da superfície urbanizada.

Lombardo (1985) enfatiza a relevância do uso de áreas verdes como ferramenta do desenho urbano indicada para exercer o controle e prevenção das conseqüências adversas do clima nas cidades.

Segundo ASSIS (1990), quando uma área possui 20% ou mais de cobertura vegetal, a energia radiante é utilizada predominantemente para evaporar a água e não para aquecer o ar. Oke (1978) enfatiza que uma cobertura vegetal de 30% da superfície em área urbana é suficiente para proporcionar um equilíbrio térmico e as áreas que possuem cobertura inferior a 5%, se assemelham as características de clima desérticos.

De acordo com Kliass apud Assis (1990), área verde urbana é uma categoria que engloba desde parques urbanos até os bairros verdes, passando por áreas institucionais. Essas áreas possuem relevância psicológica e estética, contribuindo para uma melhor qualidade ambiental do meio urbano.

A distribuição espacial da cobertura vegetal em áreas urbanas revela aspectos da qualidade ambiental, podendo indicar qualidade de vida da população que vive nesses espaços. Atualmente, existem diferentes procedimentos para o levantamento da cobertura vegetal em áreas urbanas por meio de trabalho de campo, pela análise de cartas topográficas de grande escala, pela interpretação de fotografias aéreas e através da interpretação e tratamento digital de imagens de satélite de base orbital (LOMBARDO, 1985; NUCCI e CARVALHEIRO, 1999; LUCHIARI, 2001).

Índice de vegetação tem sido bastante utilizado para inferir e monitorar a cobertura e o vigor da vegetação através de imagens de sensores multitemporais, pois eles permitem a estimativa da biomassa ou do índice de vegetação ajustado ao solo (SAVI) (PARISE E VETTORAZI, 2005).

3.5 - Albedo

Estimativas do albedo da superfície por diferentes satélites são apresentadas por Tanre e Duhaut (1990), Daughtry *et al.* (1990), Sauders (1990), Hall *et al.* (1991), Arino *et al.* (1992), Bastiaanssen *et al.* (1998a), Jupp (1998), Grover *et al.* (2000), Fox *et al.* (2000),

Lucht e Lewis (2000), Muramatsu *et al.* (2000), Liang (2000), Parlow, (2000), Roerink e Monenti (2000), Xue *et al.* (2000), Yang (2000), Wang *et al.* (2000), Jacob *et al.* (2002), Leeuwen e Roujean (2002), Pokrovsky e Roujean (2002), Hurtt *et al.* (2003), Pokrovsky *et al.* (2003), Davidson e Wang (2004) e Fang *et al.* (2004).

As áreas urbanas são compostas por diversos materiais que possuem características peculiares, capazes de interferir de forma direta no albedo. Em virtude da elevada heterogeneidade dos materiais e elementos utilizados na expansão das malhas urbanas, expressos pelas diversas formas de uso e ocupação do solo, existem diferentes padrões de reflectividade ou de albedos, Figura 3.2 (Lombardo, 2003). Observa-se na Figura abaixo, que os materiais urbanos que apresentam os maiores valores de albedo correspondem aos mais claros como os concretos (0,10 a 0,35); edificações de cor branca (0,50 a 0,90) e os telhados de alta reflectividade (normalmente de folha de amianto), varia entre 0,60 a 0,70. Apesar de aboserverem menos energia, esses materiais possuem propriedades de absorção térmica fazendo com que a energia fique armazenada.

As áreas que apresentam vegetação, como árvores que possuem baixa reflectividade entre (0,15 – 0,18) e as gramas (com albedo entre 0,25 – 0,30), absorvem muita radiação solar. Portanto, a energia que essas áreas absorvem é empregada para produção de clorofila e eliminada sob forma de evapotranspiração.

Os diferentes padrões de reflectividade, ou de albedos, são altamente dependentes dos materiais empregados na construção civil, pode-se observar que, dependendo do albedo, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície.

As cidades têm sua massa edificada constituída por materiais com diferentes propriedades radiativas, que influenciam – junto com a vegetação e as superfícies pavimentadas ou não – na quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para sua atmosfera, expressas principalmente pelo albedo, pela absortância e pela emitância (MASCARÓ,1996).



Figura 3.2: Albedos de materias urbanos.

A reflectância de radiação de onda curta pela edificação depende tanto do albedo das superfícies refletidas como da sua geometria urbana, sendo um dos principais efeitos da morfologia dos conjuntos arquitetônicos a redução do albedo das superfícies verticais em relação das horizontais, produzindo albedos urbanos médios de 15%, menores que os da área rural, exceto os das florestas.

Segundo Robinove et al. (1981), através de imagens digitais do satélite Landsat é possível derivar imagens de albedo de uma superfície, e caso sejam mostradas uma sequência de imagens de albedo, pode-se analisar mudanças ocorridas numa determinada superfície. Estudos apresentados na Assembleia Geral da ONU (2001), relatam a utilidade no uso de dados de satélite para estimar albedo da superfície, emissividade e temperatura da superfície, como também parâmetros físicos relacionados.

Áreas analisadas por Robinove et al. (1981) mostraram que aumento no albedo é primeiramente devido ao solo exposto, e diminuição no albedo é primeiramente devido ao da umidade do solo e aumento na densidade da vegetação.

Silva et al. (2005) estimou o albedo à superfície nas proximidades da cidade de Petrolina no estado de Pernambuco em 04 de dezembro de 2000 e 04 de outubro de 2001, através de imagens multiespectrais do satélite Landsat 5 – TM. Utilizou-se de procedimentos do algoritmo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land). Foi constatado não haver diferença consideráveis no albedo para os anos estudados, quando se considerou a imagem como um todo. No entanto, algumas áreas ocupadas com cultivos irrigados apresentaram diferenças marcantes de um ano para o outro, resultantes de práticas agrícolas decorrentes.

Pereira et al. (2006) utilizou imagens do satélite Landsat 7 (ETM+) referente as datas 11/08/1999, 12/09/1999 e 28/09/1999 para estimativas de alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas queimadas. Constatou-se que a alteração do albedo a superfície e a emissão de gases do efeito estufa modificaram significativamente o balanço de radiação e as trocas de energia, criando um forte desequilíbrio ambiental, modificando, desta forma, o clima local.

3.6 - Emissividade

A emissividade é um fator que indica a eficiência de uma superfície em emitir energia, quando comparada com um corpo negro à mesma temperatura. O conhecimento da emissividade é um pré-requisito imprescindível na caracterização de materiais a partir da análise de imagens térmicas, como também na estimativa de temperaturas de superfícies obtidas a partir de dados sensorizados no infravermelho termal (PACHÊCO, 1998). De uma maneira geral, as emitâncias variam com a composição física, química e biológica das superfícies naturais. Entretanto, a faixa espectral de detecção, a irradiância ambiental e a temperatura cinética são fatores que podem alterar a emitância.

Diversos estudos têm destacado a importância da emissividade da superfície terrestre (KORNFIELD & SUSSKIND 1977; CASELLES e SOBRINO 1989; SALISBURY & D`ARIA 1992).

3.7 - Temperatura da superfície (TS)

A temperatura da superfície é diretamente ligada à estimativa de fluxos de radiação de onda longa e indiretamente ligada à dos fluxos de balanço de energia da superfície. É também um fator importante no monitoramento da condições de vegetação, variabilidade bioclimática e nas aplicações de modelos de previsões climáticas globais e regionais, também podendo ser utilizada para o planejamento do clima urbano relacionado ao conforto térmico.

Em virtude da inexistência de um número expressivo de estações meteorológicas nas cidades e de informações de temperatura da superfície torna quase impossível obter informações espaciais de áreas heterogêneas, como por exemplo, a cidade do Recife.

Ao longo dos últimos anos o avanço tecnológico na área de sensoriamento remoto tornou disponível um crescente número de modernos e sofisticados sistemas sensores capazes de gerar imagens em diferentes resoluções espaciais, espectrais e radiométricas. Este salto tecnológico proporcionou também o surgimento de sensores com canais no espectro do infravermelho termal com resoluções espaciais e espectrais que podem permitir a estimativa da temperatura na superfície terrestre (T_{ST}) que é um parâmetro relevante nos processos físicos à superfície terrestre em escala regional e global (LOMBARDO, 1985).

Atualmente, a temperatura da superfície terrestre (T_{ST}) estimada por imagens termais obtidas por sensoriamento remoto, tem sido tema de várias pesquisas científicas (Becker & Li 1990; Kerr et al., 1992; Prata 1994 ; Ulivieri et al., 1994; Silva et al, 2005, Moreira 2007) sendo bastante exigida para várias aplicações na meteorologia, climatologia, geografia, planejamento urbano e estudos dos recursos naturais, principalmente na estruturação de modelos de balanço de energia, parâmetros biofísicos e bioclimáticos da superfície.

Segundo Mendonça (1994), “O campo térmico das cidades, enquanto subdivisão do clima urbano tem sido aquele no qual mais se tem empregado as imagens de satélites, notadamente no estudo das temperaturas da superfície (...)”. Isto se deve ao desenvolvimento de satélites com alta resolução espacial.

Oke e Voogt (2003) afirmam que o advento da tecnologia de sensoriamento remoto termal, através de satélites e de plataformas em aeronaves, tornou acessível possibilidades de obtenção das temperturas da superfície, identificação de ilhas de calor urbano, bem como a compreensão de suas combinações com os arranjos urbanos.

O estudo pioneiro das ilhas de calor urbano, por meio de imagens termais, foi realizado, segundo Oke & Voogt (2003), o qual combinou os dados de satélite com medições de temperatura junto à superfície urbana.

A partir deste, com o desenvolvimento dos satélites NOAA/AVHRR e do Landsat (no infravermelho termal), desencadeou-se uma série de estudos relacionados ao campo térmico das cidades, tendo em vista que estes equipamentos constituem-se ferramentas eficientes e de alto grau de acurácia para realização dos mesmos.

A nível internacional, aplicação do sensoriamento remoto nos estudos de clima urbano, em especial do campo térmico, apresentam-se bastante variados, Tabela 3.2. No Brasil, estes estudos já ganham uma certa repercussão, tendo em vista que o primeiro estudo sobre o fenômeno das ilhas de calor urbano na metrópole de São Paulo utilizando esta técnica de sensoriamento remoto foi realizado por Lombardo (1985).

Tabela 3.2 - Sensoriamento remoto aplicado aos estudos do clima urbano

Estudos	Plataforma-sensor	Aplicação
Balling e Brazel (1988)	AVHRR	Relação entre Temperatura da superf. e uso do solo urb.
Dousset (1989)	AVHRR	Conex. entre temp. do ar e da superf. em áreas urbanas
Henry (1989)	HCMM	Análise das ilhas de calor usando sensoriamento remoto
Carnahan e Larson (1990)	LandsatTM	Diferenças resfriamento e aquecimento urbano-rural
Dousset (1991)	AVHRR	Classif. Multiespectral do uso do solo urb. e temp.superf.
Johnson et. al. (1991)	Base-soloIRT	Modelos de ilha de calor em superfície urbanas
Eliasson (1992)	AGEMA	Correlação entre temp. da superf. e fator céu visível
Kim (1992)	Landsat TM	Modelagem do balanço de energia em áreas urbanas
Stoll e Brazel (1992)	Aircraft	Avaliação da relação temp do ar e superf. em areas urbanas.
Gallo (1993a, 1993b)	AVHRR	Uso do NDVI no estudo das ilhas de calor urbano
Lee (1993)	AVHRR	Avaliação das ICU superf. do ar nas cidades Koreanas
Quattrochi e Ridd (1994)	TIMS	Respostas termais diurnas e noturnas das superf. urbanas

Shoshany (1994)	Thermal Scanner	Extração de temp. do cume das casas na análise da ICU
Aniello (1995)	Landsat TM	Distribuição espacial das temp. superf. urb. coberta por vegetação
Gallo e Tarpley (1996)	AVHRR	Uso do NDVI no estudo das ilhas de calor urbano
Lino e Hoyano (1996)	MSS	Modelagem de balanço energético usando sensoriamento remoto
Lougeay et al.	Landsat TM	Padrões de temp. associadas com uso do solo
Nichol (1996)	Landsat TM	Padrão espacial de temperaturas da superfície em relação com a morfologia urbana
Owen et. al. (1998)	AVHRR	Uso de dados térmicos e NDVI na análise das alterações das temperaturas urbanas
Voogt e Oke (1998)	AGEMA	Anisotropia térmica em áreas urbanas
Carlson e Sanchez (1999)	AVHRR	Alterações dos microclimas urbanos associados com a urbanização
Hafner e Kidder (1999)	AVHRR	Padrões SUHI e UHI associado com a inércia térmica e disponibilidade de umidade
Hoyano et. al (1999)	Base-solo, térmica	Mensuração do fluxo de calor sensível dos edifícios
Parlow (2000)	Landsat TM	Modelagem do balanço de energia em áreas urbanas usando métodos multiespectrais
Wald e Baleynaud (2000)	Landsat TM	Avaliação da qualidade do ar usando sensoriamento térmico
Quattrochi et al. (2000)	ATLAS	Usando sens. remoto térmico e SIG na avaliação das ICU
Voogt (2000)	AGEMA	Modelagem do fluxo de calor sensível e estimativa da rugosidade térmica da superfície usando sens. remoto térmico e observações junto ao solo
Voogt e Grimmond (2000)	GEMA	Anisotropia térmica urbana na escala local
Moreira (2007)	Landsat 7	Distribuição espacial das temperaturas a superfície na cidade do Recife

Continuação: Tabela 3.2 - Sensoriamento remoto aplicado aos estudos do clima urbano.

Fonte: Oke & Voogt (2003, p. 374). **Adaptação:** Moreira, E.B

Lombardo (1985), utilizou para o estudo do campo térmico imagens do satélite NOAA/AVHRR, que permitiu a identificação das maiores temperaturas dos elementos urbanos no centro da cidade de São Paulo. Em virtude da resolução do satélite ser de 1KM, o estudo foi bastante generalizado, não permitindo um maior detalhamento das características térmicas do ambiente intra-urbano. Mesmo diante dessas dificuldades tecnológicas o estudo foi considerado um marco para o referido ano, sendo impulsionador para os estudos posteriores.

Trabalhos realizados com imagens de Landsat por Vidal e Perrier (1989), demonstraram que a temperatura da superfície captada por um sensor aproximadamente entre 10h00min e às 11h00min local, e entre 13 e 14h00min podem ser consideradas para o restante do dia, principalmente em dia céu claro.

O clima da cidade de Londrina-PR, foi estudado por Mendonça (1994), utilizando imagens do satélite NOAA/AVHRR para caracterização da mancha urbana e sua variação térmica em escala regional. Também utilizou as imagens do Landsat 7 (banda 6, termal) para um maior detalhamento das características da paisagem intra-urbana, considerando a resolução de 60 metros desta banda, que foram comparados com dados de mini-estações meteorológicas, posicionados a 1,5 metros da superfície.

Cunico et al (2002) verifica os efeitos na temperatura do ar, causados por diferentes formas de uso do solo, em escala topoclimática, em áreas distribuídas no centro da cidade de Curitiba. Os autores observaram que os ambientes de maior adensamento urbano correspondem aos de aquecimento mais rápido da temperatura do ar. Já em áreas verdes houve um retardamento no aquecimento em cerca de 2h 30min.

Segundo Oke e Voogt (2003), estudos sobre o balanço de energia e as relações entre uso do solo e temperatura de superfície, utiliza-se de imagens (de plataformas aéreas e orbitais) na faixa do infravermelho termal, banda 6 que compreende a faixa entre 10,4 μm e 12,5 μm , pois a mesma apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação, água, concreto, zinco, dentre outros.

Andrade (2003), utilizou dados termais do satélite Landsat 5 para análise comparativa do fenômeno ilha de calor urbana no verão e inverno na cidade de São José dos Campos. No verão foi identificada uma ilha de calor urbana com variações entre 21°C e 28°C, no

inverno as temperaturas foram mais amenas com variações entre 21°C e 27°C. Diante dos resultados encontrados o autor concluiu que apesar de no inverno as temperaturas serem mais amenas, as ilhas de calor permanecem evidentes.

Saydelles (2005), estudou o campo térmico e as ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS, através de dados do satélite Landsat 7. Encontrou temperaturas entre 8° C e 10°C nas áreas de maior altimetria e 21°C e 23°C nas áreas de maior adensamento urbano com elevado índice de edificações. Conclui que os fatores de ordem geográfica e a utilização dos solos rurais controlam o comportamento térmico da área de estudo em escala mesoclimática. Em escala topoclimática afirma que a configuração do campo térmico da área em estudo é influenciada tanto pelos fatores geográficos de meso-escala quanto pela própria estrutura e função desempenhada pelo espaço urbano.

Teza e Batista (2005), utilizaram imagen do ASTER para identificação do fenômeno ilhas de calor nas metrópoles brasileiras, detectaram variações entre 26°C e 42°C na cidade de São Paulo em 19/03/2002, variações entre 28°C e 41°C na cidade do Rio de Janeiro em 25/04/03, e na cidade de Belo Horizonte detectou variações entre 31°C e 42°C no dia 25/03/01.

Araujo (2006), empregou dados multitemporais do satélite Landsat 5 para estimativa da temperatura em Maceió. 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.

Moreira (2007), analisando a distribuição espacial das temperaturas na área urbana da cidade do Recife através de imagens do satélite Landsat 5 (banda 6, termal). O autor encontrou amplitude térmica em torno de 8° C nas áreas onde o predomínio do concreto é mais acentuado. Estas áreas apresentaram temperaturas superiores a 28°C , enquanto que as áreas onde o elemento vegetação é mais intenso as temperaturas ficaram em torno de 22°C.

4. - MATERIAL E MÉTODOS

4.1 – MATERIAL

4.1.1. CARACTERIZAÇÃO DA CIDADE DO RECIFE

O objeto do estudo é a cidade do Recife, capital do estado de Pernambuco, localizada no litoral do Nordeste brasileiro Figura 4.1, mais precisamente no centro leste da região, compreendendo uma área de 218km². A cidade está localizada na latitude 34° 54' W e 8° 2' S, estando boa parte da mancha urbana situada sobre uma planície flúvio-marinha, sua altitude média varia entre 4 e 10 metros aproximadamente, podendo ser confirmado pelo MDE representado na Figura 4.2.

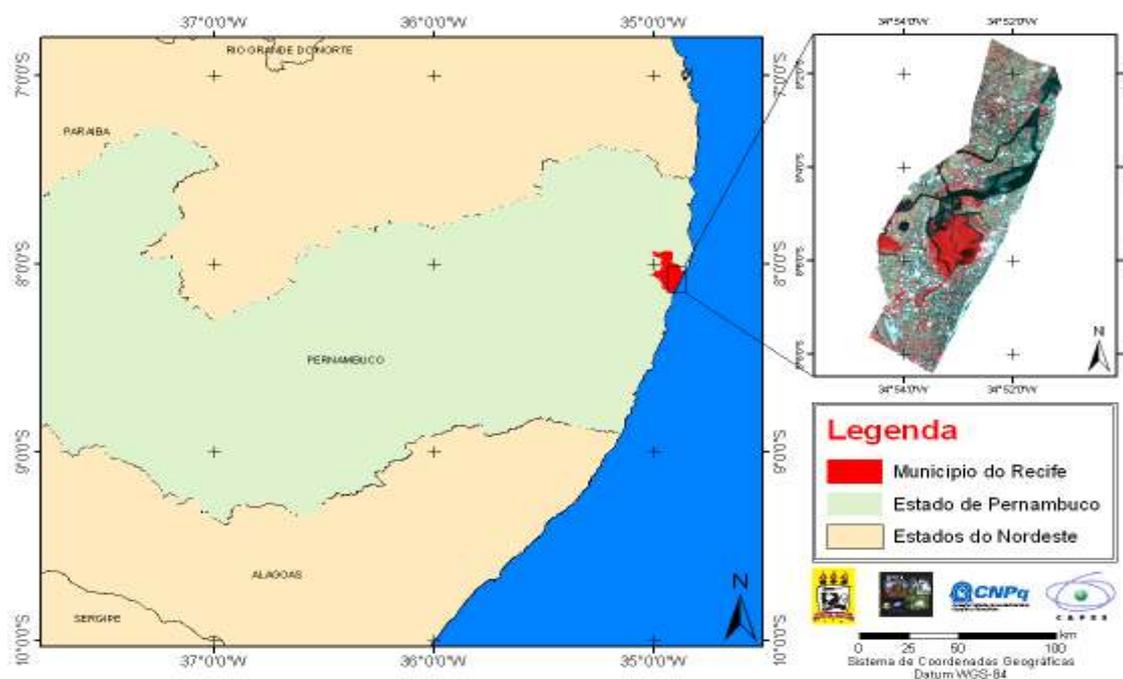


Figura 4.1: Localização da área em estudo destacando a cidade do Recife.

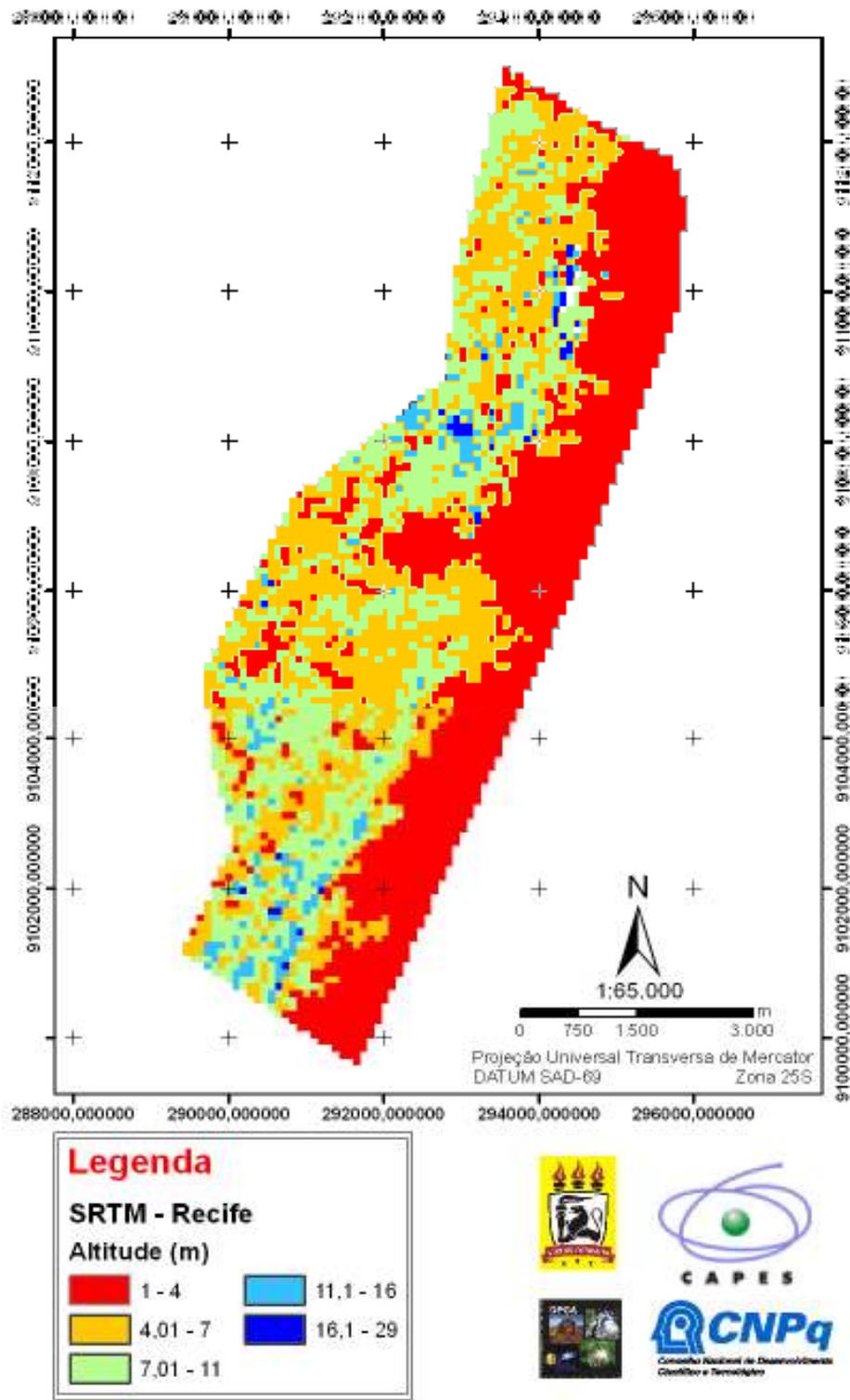


Figura 4.2: Modelo digital de elevação da área em estudo.

O clima da cidade é caracterizado por ser quente e úmido (AS') com chuvas de outono a inverno, seguindo a classificação de Koppen. A região estudada, por está situada em Zona de baixa latitude, apresenta temperatura do ar médias mensal em torno de 25°C, sendo os meses de janeiro e fevereiro os mais quentes com temperaturas superiores a 26°C. Os meses de julho e agosto apresentam temperaturas iguais ou inferiores a 24°C Figura 4.3. A umidade relativa do ar apresenta valores médios anuais de 84% (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET).

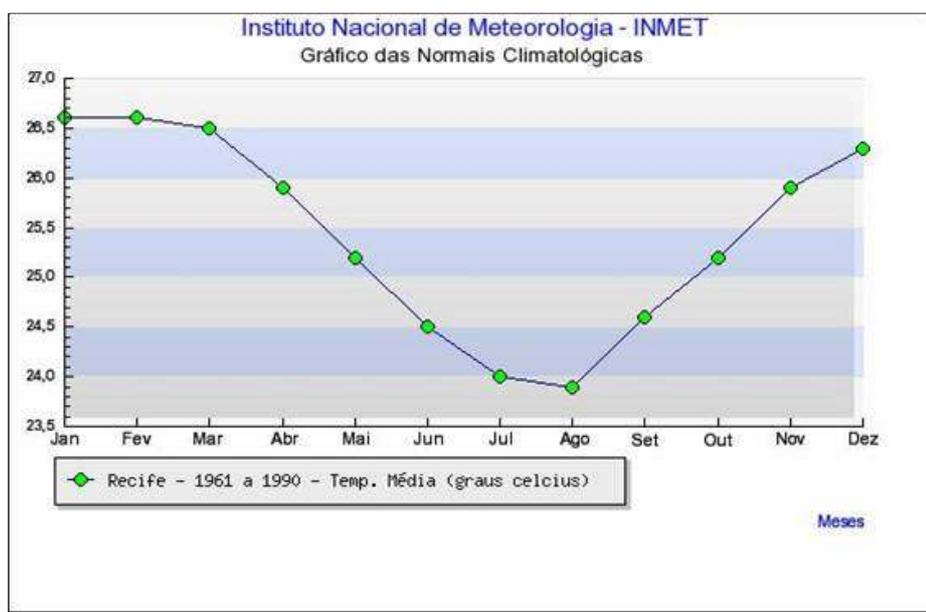
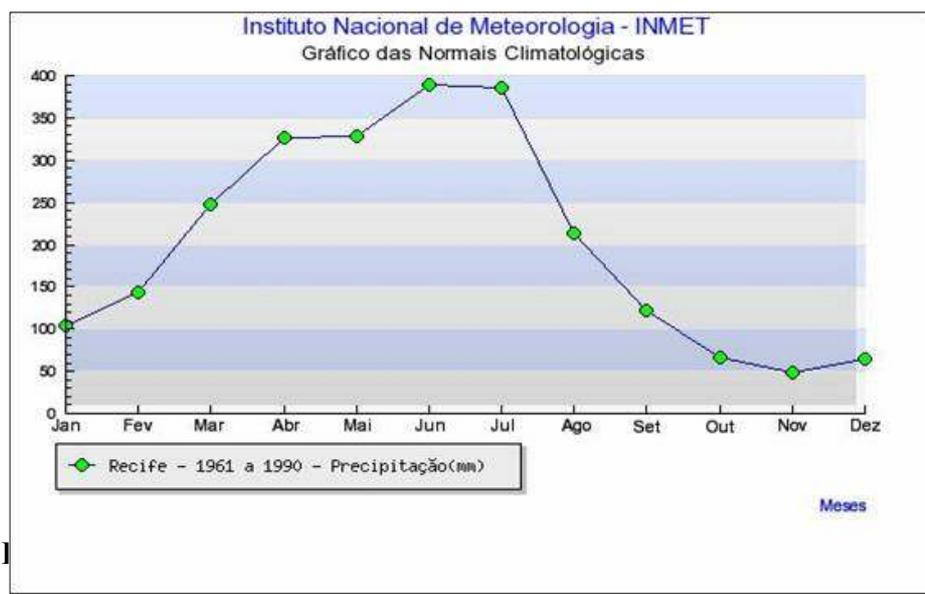


Figura 4.3: Gráfico de temperaturas entre 1961 a 1990.

Durante todo o ano a cidade apresenta duas estações climáticas. A estação chuvosa correspondente aos meses de maio a agosto e a estação ensolarada que se inicia em setembro, indo até o mês de abril. O índice pluviométrico anual médio encontra-se acima de 1.600 mm. Os meses de outubro, novembro e dezembro apresentam os menores índices pluviométricos entre 50 mm, e os meses de junho e julho com índice superior a 350 mm, Figura 4.4.



A cidade mantém acelerado o crescimento da sua população tendo, na segunda metade do século XX, ultrapassado a casa a casa do um milhão de habitantes. Conforme o IBGE (2007) em 1970 a população era 1.060.700 mil e no ano de 2007 possuía 1.533.580. Diante disto, assegura-se que a mancha urbana apresenta-se, com um solo bastante influenciado por pressões econômicas, apresentando-se com elevado grau de adensamento construtivo.

4.1.2 - CARACTERÍSTICAS DAS ÁREAS ANALISADAS

No intuito de melhor compreender a variação espacial da temperatura da superfície na cidade do Recife, torna-se necessário o estudo da dimensão, estrutura e funções desenvolvidas no espaço urbano pelas diversas atividades humanas.

De acordo com a literatura nacional e internacional, conforme já mencionado na Revisão da Literatura, as áreas urbanas que registram os valores de temperatura mais elevados coincidem com os espaços densamente urbanizados, com pavimentação asfáltica das ruas, edificações mais altas, maior densidade populacional, fluxo constante de pessoas e pedestres e, principalmente, pela baixa presença de cobertura vegetal.

A área analisada compreende boa parte da mancha urbana Figura 4.5, onde estão localizados os bairros de Boa viagem, Imbiribeira, Pina, Brasília Teimosa, São José, Santo

Antônio, Recife, Santo Amaro, Cabanga, Ilha de Joana Bezerra, Ilha do Leite, Paissandu, Torreão, Soledade e Boa Vista.

O bairro de Boa Viagem (cor rosa) localizado na zona sul da cidade do Recife, apresenta os maiores valores de densidade populacional em torno de 13.296 hab/Km², com uma população total superior aos 100.000 habitantes. Caracteriza-se por apresentar a maior concentração de edificações, destacando-se com elevados edifícios, na maioria destinados a uso residencial e empresarial. Apresenta o solo bastante explorado com elevado adensamento construtivo, destacando-se com a maior concentração de edificações verticais da cidade. edificações verticais. ruas asfaltadas com grande circulação de veículos e pessoas, destacando-se a Avenida Boa Viagem, Conselheiro Aguiar e Domingos Ferreira, que vêm dar respaldo às novas atividades que ali passam a se instalar, criando uma nova polaridade, um novo centro dinâmico de comércio e serviços habitado por uma seleta camada populacional.

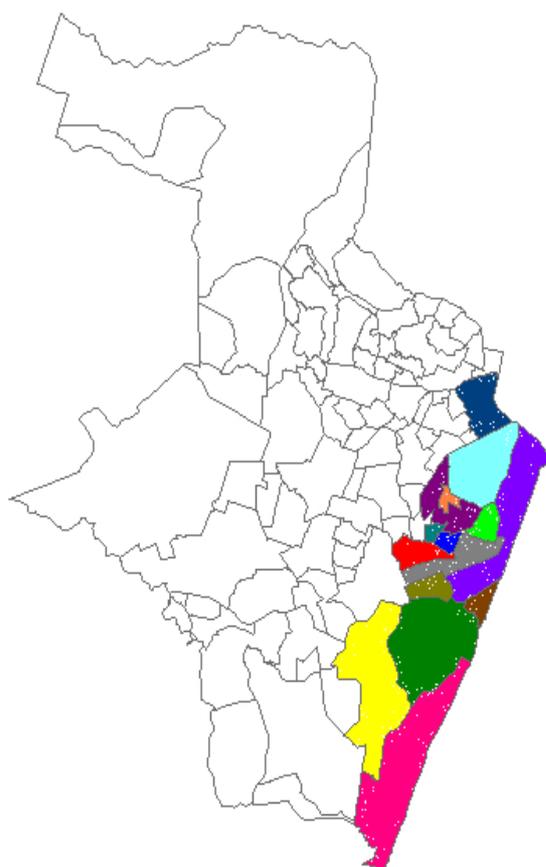


Figura 4.5 - Mapa da Cidade do Recife, destacando as áreas estudadas

Estas condições, aliadas ao fato de que neste bairro, todas as ruas possuem pavimentação asfáltica e intenso fluxo de pessoas e veículos atreladas a baixa presença de vegetação (salvo algumas praças e terrenos baldios desocupados na orla), fruto de um crescimento urbano desordenado e sem planejamento, certamente influencia na temperatura do ar e da superfície local e na configuração da ilha de calor, modificando o clima da cidade e o conforto ambiental.

Ainda na zona sul encontra-se o bairro da Imbiribeira, com uma área de 6,7 Km², com densidade demográfica em torno de 7.000 hab/Km² e uma população total de 46.471 (Atlas da cidade do Recife, 2006).

Sua morfologia apresenta áreas estuarinas, destacando-se a Lagoa do Araçá e o Parque do Rio Jordão. É cortado por grandes eixos rodoviários (Av. Mascarenhas de Moraes e Av. Recife) e o eixo sul do metrô. Na paisagem surgem os conjuntos habitacionais, o Ginásio de Esporte Geraldo Magalhães (Geraldão), os galpões industriais e grande concentração de comércio e serviços nos principais eixos. A cobertura do ginásio de esporte e os galpões possuem coberturas de zinco e amianto, materiais bastante propícios a absorção de energia e consequentemente ao aumento das temperaturas podendo formar ilhas de calor.

O bairro do Pina, também situado ao sul do Recife, apresenta uma área de 6,2 Km² e uma densidade demográfica em torno de 4.422 hab/Km². Destaca-se por apresentar a maior concentração de mangues preservados da cidade conhecido como Parque dos Manguezais.

Essas áreas de grande cobertura vegetal possivelmente exercem influência nas temperaturas locais, pois grande parte da radiação que é incidente nestas áreas é absorvida pelos corpos d' água e vegetação, sendo o restante da radiação refletida para atmosfera, propiciando temperaturas amenas e criando ilhas de frescor. Fato que será comprovado nos resultados deste trabalho onde serão estimadas as temperaturas da superfície.

Na área central da cidade estão localizados os bairros do Recife, Santo Antonio, São José, Santo Antonio, Cabanga e Ilha de Joana Bezerra. Estes bairros fazem parte do centro histórico do Recife e apresentam uma população remanescente com moradias edificadas em alagados à margem do rio Capibaribe. Estas áreas apresentam características semelhantes, com edifícios comerciais, comércio, fluxo de pessoas, antigos casarões, ruas estreitas e

asfaltadas, calçadas, galpões com cobertura de alumínio e amianto, além de baixa presença de vegetação.

Na parte norte da imagem encontram-se localizados os bairros de Santo Amaro e Campo Grande. Com mais de 30.000 habitantes e compreendendo os mais populosos da Zona Centro Principal.

Apresentam um elevado adensamento construtivo, com a presença de edifícios de serviços, mercados, hospitais, fábricas e vilas residenciais. As ruas em sua maioria são asfaltadas com concreto, não apresentam quantidades expressivas de árvores. Moreira (2006), utilizando estações meteorológicas portáteis, fez comparação entre a temperatura do ar em diferentes bairros de Santo Amaro e Curado. Encontrou no bairro de Santo Amaro temperatura do ar 5°C sugere à que foi registrada no bairro do Curado, que apresenta uma expressiva concentração de áreas verdes.

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

4.1.3 - IMAGENS DE SATÉLITE

Para a realização deste trabalho foram utilizadas duas imagens digitais do sensor Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, referente às datas 10/06/1984 e 29/08/2007, órbita 214 e ponto 66.

Na Tabela 4.1 estão representados os valores da declinação solar, ângulo zenital solar, distância relativa Terra Sol e a temperatura do ar próximo à superfície no dia e hora da passagem do satélite TM Landsat 5 na cidade do Recife, referente aos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

Tabela 4.1 - Valores do ângulo de elevação solar, cosseno do ângulo zenital e $PI \cdot d^2$, no dia da passagem do TM Landsat 5.

<i>Parâmetros/dias</i>	<i>10/06/1984</i>	<i>29/08/2007</i>
<i>Ângulo de elevação solar (graus)</i>	42.9863	55.3315
<i>Cosseno do Ângulo Zenital (Z)</i>	0.681823467	0.822456895
<i>PI * d²</i>	3.238204815	3.204337877

As imagens foram obtidas no site de geração de imagens do INPE em formato geotiff com projeção/datum UTM/SAD-69. Este satélite possui uma resolução espacial de 30x30 metros exceto a banda 6, com 120x120 metros cobrindo cada *pixel* uma área de 900m², resolução temporal de 16 dias e radiométrica de oito bits. As sete bandas de cada uma das imagens foram empilhadas e depois recortadas através do software ERDAS Imagine 9.1. Em virtude da grande nebulosidade encontrada na área de estudo, foi realizado um recorte na imagem.

4.2 - MÉTODOS

No processamento das imagens se desenvolveu modelos através do programa Erdas e da ferramenta Model Maker, versão demonstrativa cedido para o desenvolvimento da pesquisa pela Universidade Federal de Campina Grande – UFCG através do Departamento de Ciências Atmosféricas, tendo como resultado as imagens necessárias para a obtenção da temperatura da superfície terrestre.

No diagrama abaixo Figura 4.6 estão representadas todas as etapas e modelos elaborados para desenvolvimento da pesquisa.

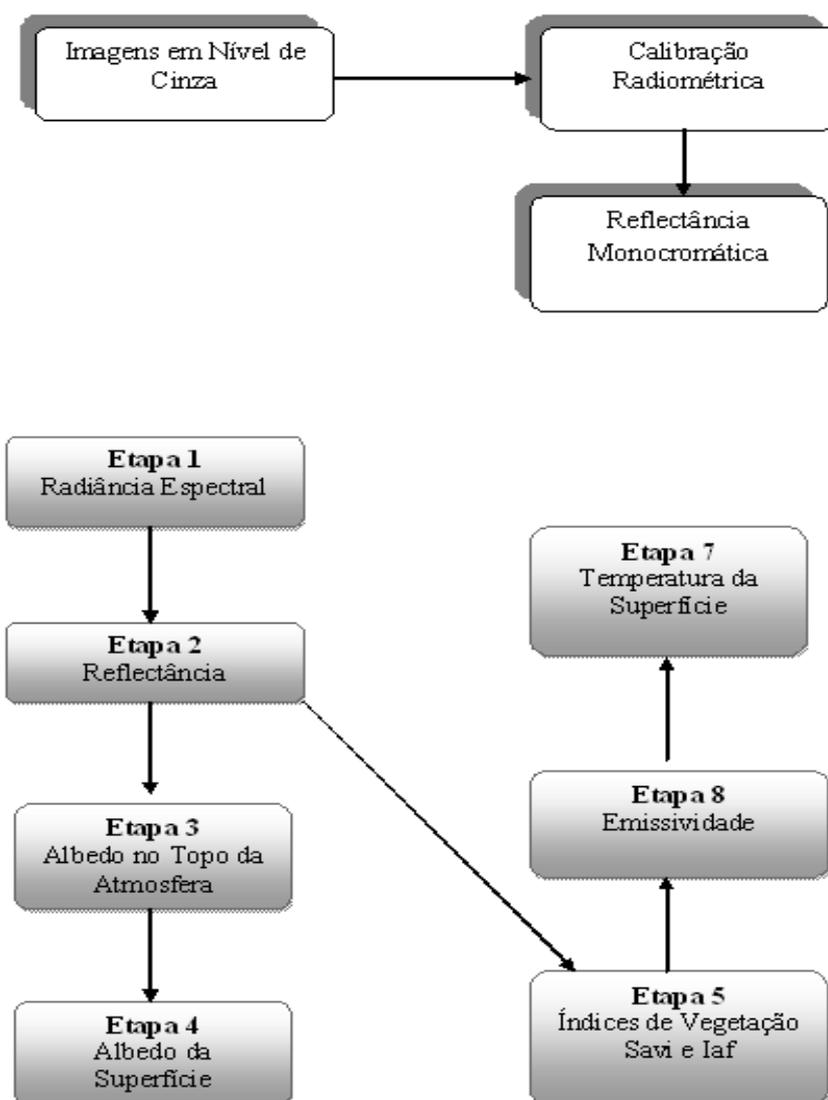


Figura 4.6 - Diagrama com as etapas do processamento das imagens.

4.2.1 - Etapa 1 (Calibração radiométrica)

O processo de calibração radiométrica representa a conversão do número digital, ND, de cada pixel da imagem em radiância espectral monocromática. A radiância representa 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. Nesse processo, utilizou-se a seguinte relação, como apresentada por Markham & Baker (1987):

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

Onde a e b são as radiâncias espectrais mínimas e máximas (Tabela 4.2), 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 4.2: Descrição dos canais do Landsat 5 – TM, intervalos espectrais, coeficientes de calibração e fluxo direcional K correspondentes, segundo MARKHAM & BAKER (1987).

Descrição dos canais	Comprimento de onda (μm)	Coeficientes de calibração ($\text{W m}^2 \text{sr}^{-1} \mu\text{m}^{-1}$)	K ($\text{W m}^2 \mu\text{m}^{-1}$)
1 (azul)	0,45 - 0,52	-1,500 152,100	1957
2 (verde)	0,53 - 0,61	-2,800 296,800	1829
3 (vermelho)	0,62 - 0,69	-1,200 204,300	1557
4 (infra-vermelho próximo)	0,78 - 0,90	-1,500 206,200	1047
5 (infra-vermelho médio)	1,57- 1,78	0,370 27,190	219,3
6 (infra-vermelho termal)	10,4 - 12,5	1,238 15,600	-
7 (infra-vermelho médio)	2,10 - 2,35	-0,150 14,380	74,52

4.2.2 - Etapa 2 (Reflectância monocromática)

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):

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

Em que L_{λ_i} , é a irradiância 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 ($\text{Wm}^{-2} \mu\text{m}^{-1}$);

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.

4.2.3 - Etapa (Albedo no topo da atmosfera)

Representa o cômputo do albedo planetário (α_{toa}), isto é, o albedo corrigido os efeitos atmosféricos, que é obtido pela combinação linear das reflectâncias monocromáticas dos canais reflectivos do TM-Landsat 5, qual seja.

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

Onde $\rho_1, \rho_2, \rho_3, \rho_4, \rho_5$ e ρ_7 são as reflectâncias monocromáticas das bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7.

4.2.4 - Etapa (Albedo da superfície)

Na etapa 4 obtém-se o albedo da superfície ou o albedo corrigido os efeitos atmosféricos, que é calculado segundo expressão:

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

em que α_{toa} é o albedo planetário, α_p é a refletividade da atmosfera, que varia entre 0,025 e 0,04, mas para o modelo SEBAL (Surface Energy Balance Algorithm for Land) é

recomendado o uso do valor de 0,03, T_{sw} é a transmissividade atmosférica no domínio da radiação solar para condições de céu claro é obtida pela equação (Allen et al., 2002):

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

em que z é representado pela média da altitude da cidade do Recife, já que é pouco variável. Foi utilizada a média de 10 metros de altitude para a área analisada.

4.2.5 - Etapa (Índices de vegetação: SAVI e IAF)

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 utilizado a expressão (Huete, 1988.)

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

onde L é uma constante que depende do tipo de solo e o valor mais utilizado é 0,5.

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

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

4.2.6 - Etapa 6 (Emissividade)

Para a obtenção da temperatura à superfície, utilizou-se a equação de Planck invertida, válida para um corpo negro. Como cada pixel não emite radiação eletromagnética com 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 pôr cada pixel, há de ser considerada a emissividade no domínio da banda larga ϵ_0 (5-100 μ m). Segundo Allen et al. (2002) as emissividades ϵ_{NB} e ϵ_0 podem ser obtidas, para NDVI>0 e IAF <3, segundo:

$$\epsilon_0 = 0,95 + 0,01IAF$$

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

Nos pixels da área de estudo correspondente a corpos d'água (SAVI < 0 e, portanto, IAF = 0) $\epsilon_{NB} = \epsilon_0 = 0,98$ (Allen et al.,2002).

4.2.7 - Etapa 7 (Temperatura da superfície)

Para a obtenção da temperatura à superfície (T_s) são utilizados a radiância espectral da banda termal $L_{\lambda 6}$ e a emissividade ϵ_{NB} obtida na etapa anterior, como apresentado pela seguinte equação:

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

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 - 7 (Allen et al., 2002.; Silva., 2005).

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As Figuras 5.1 e 5.2, são referentes a área de estudo (parte da cidade do Recife) nos anos de 1984 e 2007 respectivamente. As imagens estão na composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 do Mapeador Temático do Landsat 5. Em geral, observa-se uma variedade de tons: a coloração avermelhada representa as áreas com vegetação, as áreas em tons esverdeados representam áreas urbanizadas e o tom azul escuro representa os corpos hídricos. Analisando as imagens é possível perceber que a cidade do Recife no decorrer dos anos 80 evoluiu muito no que tange a área construída. Os tons verdes na imagem intensificam-se em alguns bairros deixando claro sua expansão, como por exemplo o bairro de Boa Viagem, indicado pelo quadro tracejado na imagem.

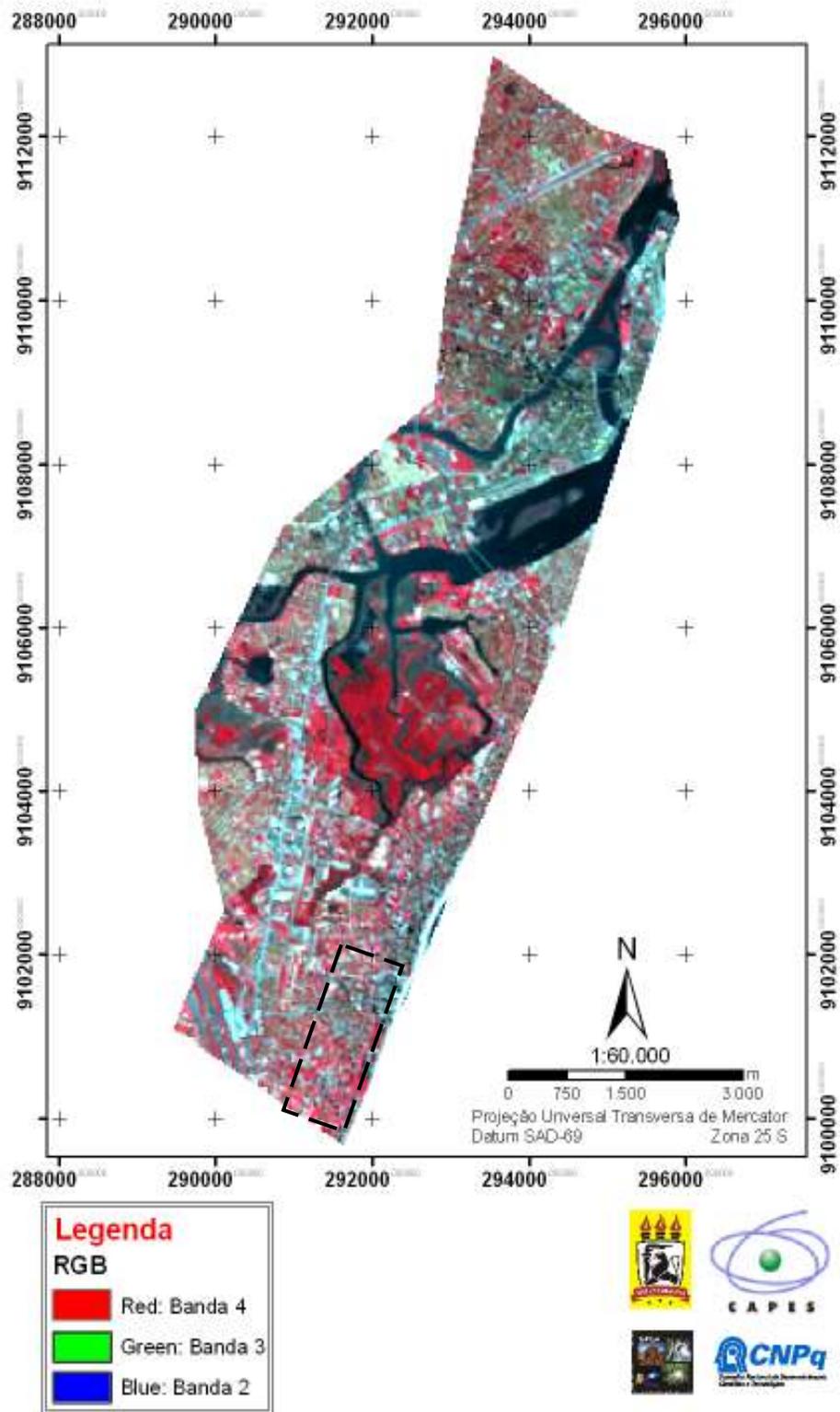


Figura 5.1 - Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente à área de estudo para o dia 10 de junho de 1984.

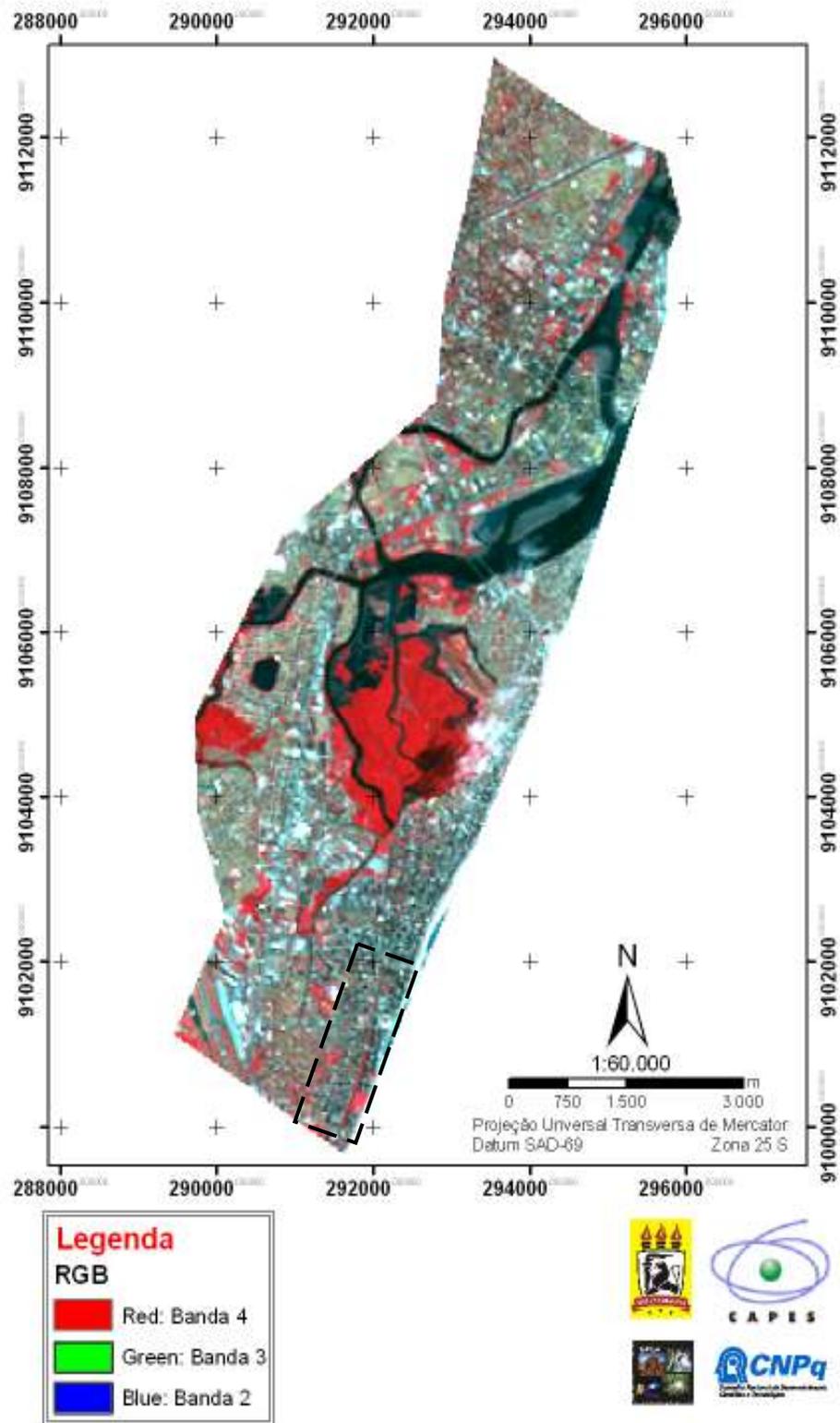


Figura 5.1 - Composição falsa cor RGB das bandas 4, 3 e 2 da imagem do satélite TM Landsat 5 referente à área de estudo para o dia 29 de agosto 2007.

5.1 - TRANSMISSIVIDADE E EMISSIVIDADE

A transmissividade atmosférica sobre a cidade do Recife, obtida com base na sua altitude local foi de 0,7502, sendo assim considerada constante, para efeito de simplificação, para toda a área de estudo.

A emissividade da superfície para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007, apresentou valores médios em torno de 0,973, respectivamente, caracterizando que não houve alteração.

A Tabela 5.1 informa os valores estatísticos da emissividade da superfície de toda a cena nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Os valores mínimos encontrados foram de 0,971 e 0,97, respectivamente, os valores máximo e a moda não sofreram alteração 0,98 e 0,97, nas datas.

Em área terrestre a emissividade varia em função da presença de água no solo e/ou cobertura vegetal. A emissividade do solo varia de 0,85 a 0,99, dependendo do tipo do solo e de sua umidade, enquanto que a vegetação tem valor em torno de 0,98 (Salisbury e D'Aria, 1992). Diante disto, pode-se afirmar de acordo com os valores encontrados na Tabela 5.1, que os resultados deste trabalho estão de acordo com os autores supracitados.

Tabela 5.1: Valores estatísticos da emissividade da superfície (mínimo, máximo, médio e moda)

<i>Emissividade da superfície</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Moda</i>
1984	0,97	0,98	0,973	0,97
2007	0,97	0,98	0,97	0,973

5.2 - ÍNDICE DE VEGETAÇÃO AJUSTADO AO SOLO (IVAS)

A Tabela 5.2 apresenta os valores mínimo, máximo, média e moda para as datas 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Em 1984 foram obtidos valores entre -0,152 e 0,554, com média de 0,164. Em 2007 os valores variaram entre -0,329 e 0,531 com média de 0,129. A moda foi de 0,097 e 0,167, respectivamente. As Figuras 5.3 e 5.4 representam os

histogramas para as datas em apreço, respectivamente. A média representada pela linha vertical vermelha e apresentam os valores estatísticos do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS). Em 1984, a vegetação apresentou-se bem distribuída em quase toda área, com valores entre 0,01 a 0,45 e no ano de 2007, houve uma redução de vegetação com valores entre 0,01 a 0,41.

Tabela 5.2: Valores estatísticos do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) mínima, máxima, média e moda, para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

<i>Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS)</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Moda</i>
1984	-0,152	0,554	0,164	0,097
2007	-0,329	0,531	0,129	0,167

As Figuras 5.5 e 5.6 mostram o IVAS para os anos de 1984 e 2007 respectivamente. A cor branca na imagem representa as áreas com valores do IVAS negativos que correspondem a lagoa do Araçá, aos rios e canais localizados no manguezal do Pina, a cor azul representa os valores entre 0,02 a 0,10 e o tom verde apresenta os valores intermediários entre 0,10 a 0,18. A cor verde é vista em quase toda a área, o tom vermelho com valores entre 0,18 a 0,30, representa as áreas com certa cobertura vegetal e a tonalidade amarela representa as áreas com maior predominância de vegetação (destacando-se o manguezal do Pina, representado pelo círculo preto) onde são encontrados os valores mais altos do IVAS $> 0,30$.

No comparativo das Figuras 5.5 e 5.6, nota-se que o tom vermelho representado na imagem pelas áreas com vegetação entre 0,18 e 0,30 apresenta-se mais intenso na Figura 5.5 e percebe-se claramente que houve uma redução dessas áreas, Figura 5.6. Essa redução de vegetação é reflexo da intensificação da substituição dos ambientes naturais por ambientes artificiais evidenciado nos últimos anos na cidade do Recife.

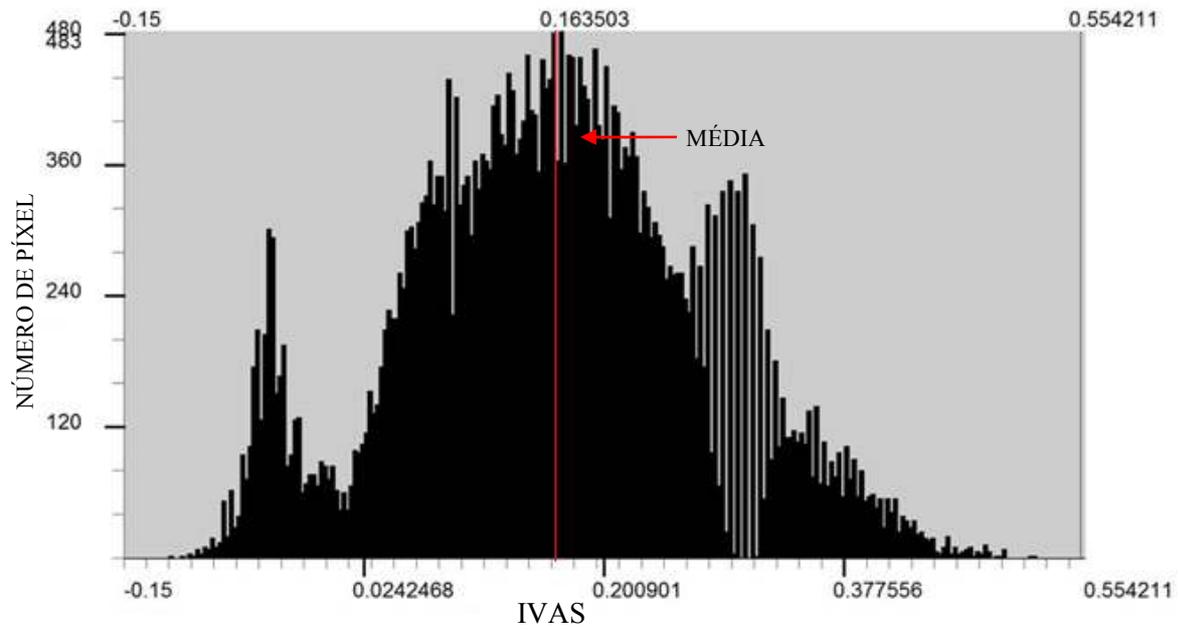


Figura 5.3: Histograma de frequência do Índice de vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 10 de junho de 1984.

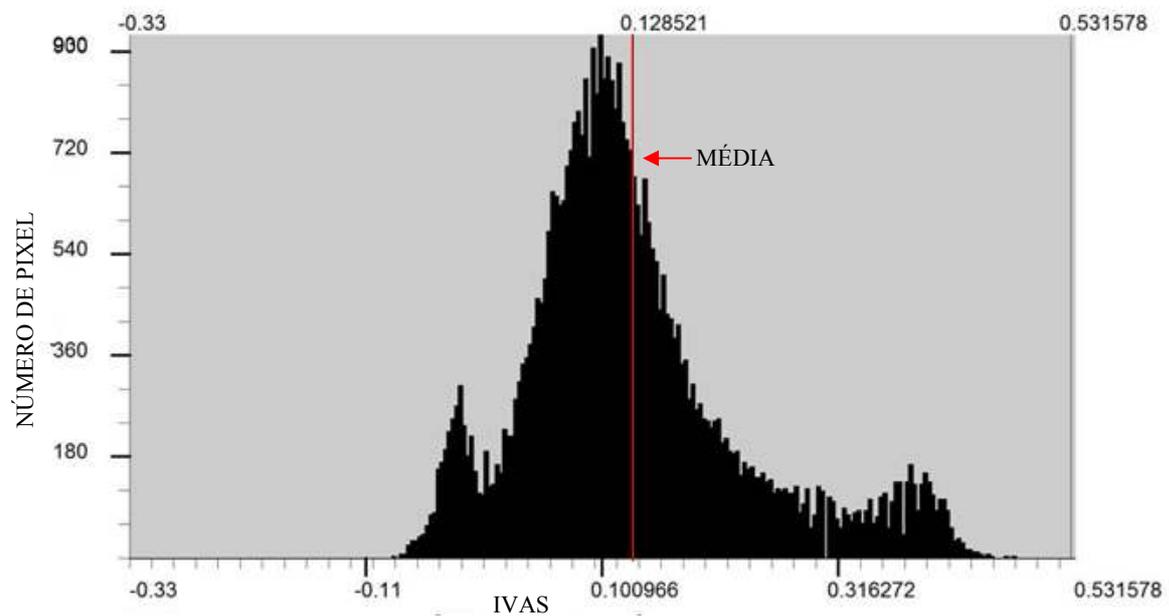


Figura 5.4: Histograma de frequência do Índice de vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 29 de agosto de 2007.

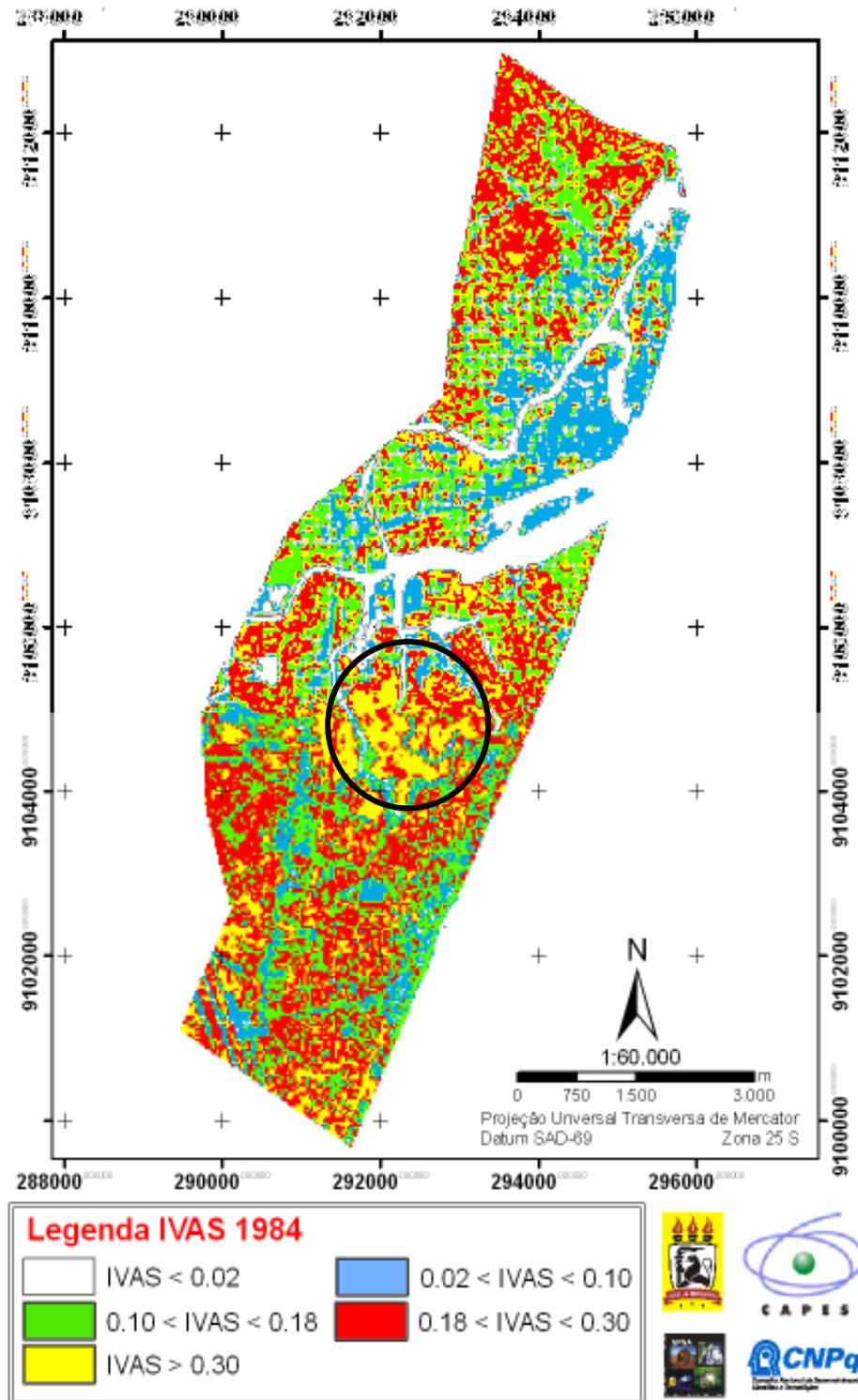


Figura 5.5: Imagem do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 10 de junho de 1984.

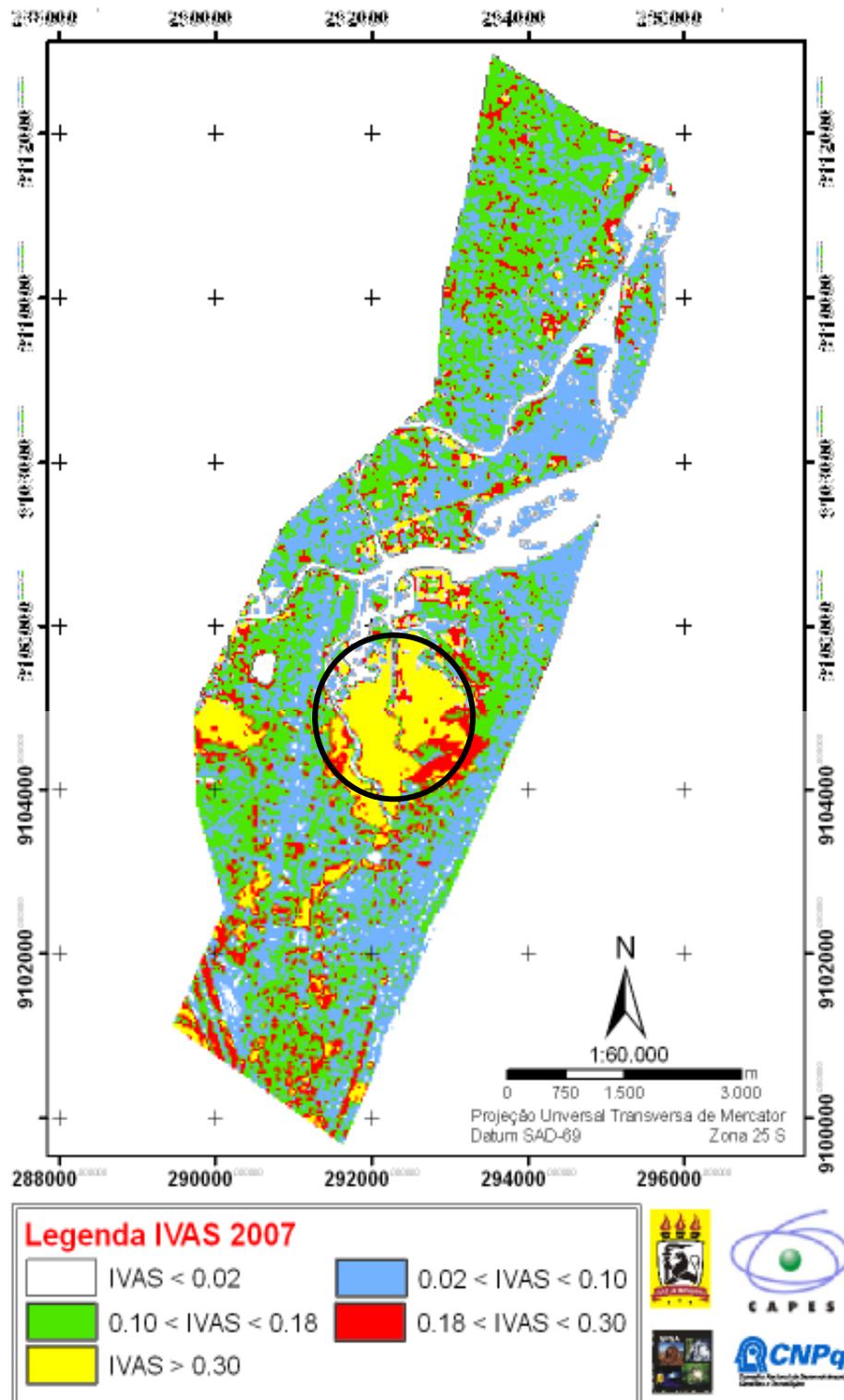


Figura 5.6: Imagem do Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS) para o dia 29 de agosto de 2007.

Segundo (Oke, 1973) é recomendável para adequado balanço térmico em áreas urbanas, índice de cobertura vegetal em torno de 30%, em áreas onde o índice de arborização é inferior a 5%, as características climáticas se assemelham a regiões desérticas. Salienta-se que este índice foi baseado nas cidades canadenses, possivelmente, nas regiões tropicais esse índice deveria ser maior.

Como apresentado acima, a área analisada que compreende boa parte da mancha urbana do Recife possui 12,9% de cobertura vegetal, sendo a maior concentração no manguezal do Pina, com 2,2% . Se o processo de redução da vegetação continuar nesta proporção apresentada neste estudo, em um futuro próximo Recife estará com o clima semelhante ao desértico, conforme critérios utilizados por Oke (1978).

A Figura 5.7 representa o IVAS referente ao manguezal do Pina nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. A média foi de 0,19 para o ano de 1984 e 0,22 para 2007. Visualmente pode-se perceber que a tonalidade amarela representada pelas áreas com valores $> 0,33$ de cobertura vegetal, apresenta-se mais intensa na imagem de 2007.

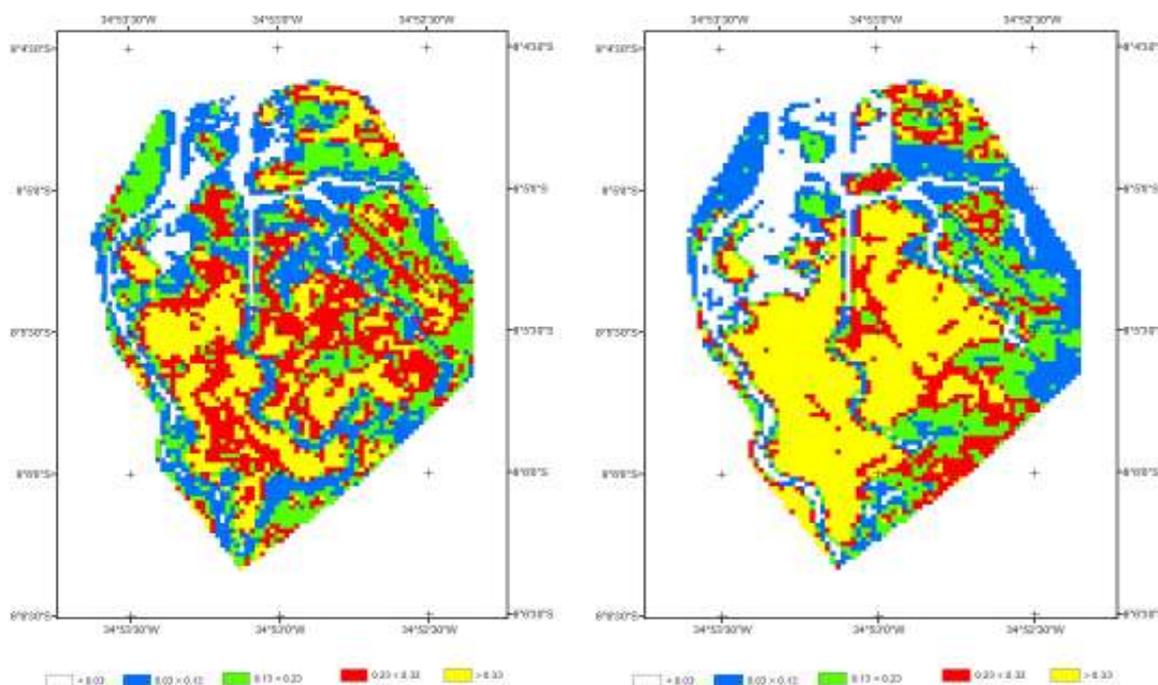


Figura 5.7: Imagem do Índice de vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), referente ao manguezal do Pina, nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

As áreas de alta densidade ocupacional das baixas latitudes são as que mais necessitam dos benefícios proporcionados pela cobertura vegetal para a melhoria da qualidade de vida dos habitantes e adequado balanço térmico (LOMBARDO, 1985).

Em geral, a cobertura vegetal apresenta-se bastante reduzida e mal distribuída na maior parte da área analisada, evidenciando que a intensificação da urbanização na cidade do Recife nos últimos anos tem contribuído de forma direta para sua degradação e como consequência provoca alterações no clima em escala local.

Pode-se constatar que devido à baixa taxa arbórea na cidade do Recife, se torna mais emergente a necessidade de implantação de áreas verdes, visando contribuir não só com o bem estar das pessoas, mas para o equilíbrio térmico e controle desmedido desse elemento.

5.3 - ALBEDO

Na Tabela 5.3 estão representados os valores estatísticos do albedo da superfície nos dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Os valores referentes ao ano de 1984 foram: 0,021 o valor mínimo encontrado, de 0,480 o valor máximo, a média e a moda obtiveram iguais valores de 0,112; para o ano de 2007 os valores foram: 0,018 o valor mínimo, de 0,653 o valor máximo, a média de 0,121 e a moda foi de 0,122. A partir dos valores de albedo da superfície analisados, pode-se concluir que os menores valores foram para o ano de 1984.

Tabela 5.3: Valores estatísticos do albedo (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

<i>Albedo da Superfície</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>	<i>Média</i>	<i>Moda</i>
1984	0,021	0,250	0,112	0,112
2007	0,018	0,335	0,121	0,122

As Figuras 5.8 e 5.9 representam os histogramas de frequência do albedo da superfície, mostram que a variação máxima do albedo entre os anos de 1984 e 2007 foi 0,02 a 0,25 e de 0,01 a 0,33, respectivamente. Pressupõe-se que esse aumento nos valores máximos do albedo pode ser atribuído ao elevado adensamento construtivo que a cidade vem sofrendo nos últimos anos.

As Figuras 5.10 e 5.11 reforçam esta observação, ficando percebido que os maiores valores do albedo são encontrados nas áreas onde o adensamento construtivo é mais intenso, representados pela tonalidade amarela com valores superiores a 0,24% indicados através do círculo preto representados na imagem de 2007. A tonalidade azul representa valores do albedo variando entre 0,08% a 0,12%, a tonalidade verde valores intermediários do albedo com intervalos variando de 0,12% a 0,17%, sendo observado em maior quantidade no ano de 2007. A tonalidade vermelha representa os valores entre 0,18% a 0,25%, mais presente na imagem de 2007. Os valores máximos do albedo apresentaram um aumento de 0,08% entre os anos estudados. Este aumento sugere interferências no microclima local. Os menores valores do albedo foram encontrados na água, indicados pelas áreas com tonalidades azul claro com valores $< 0,08$. A maior parte da área apresenta o albedo entre 0,12% a 0,16%.

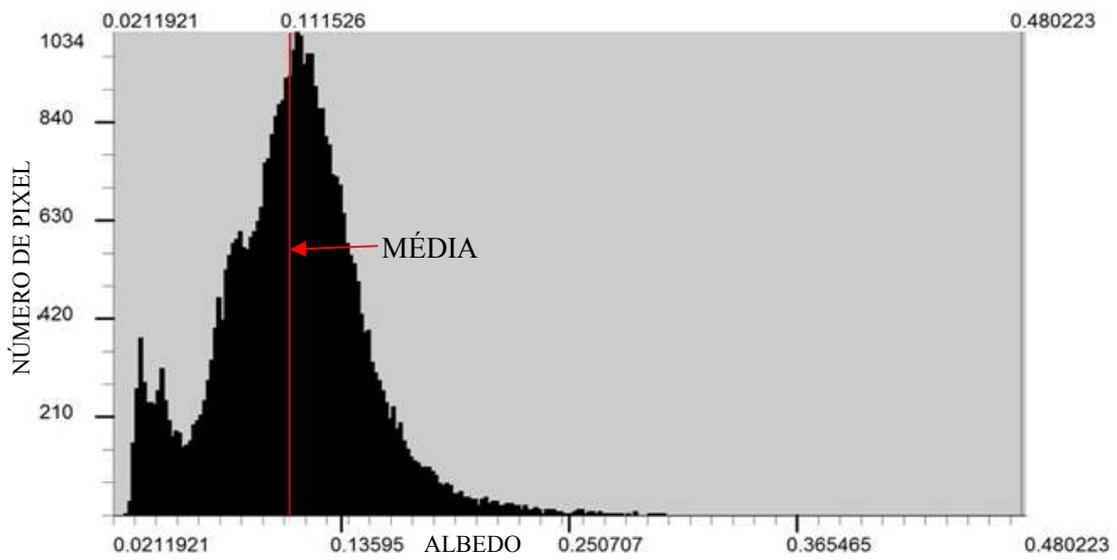


Figura 5.8: Histograma de frequência do Albedo em 10 de junho de 1984.

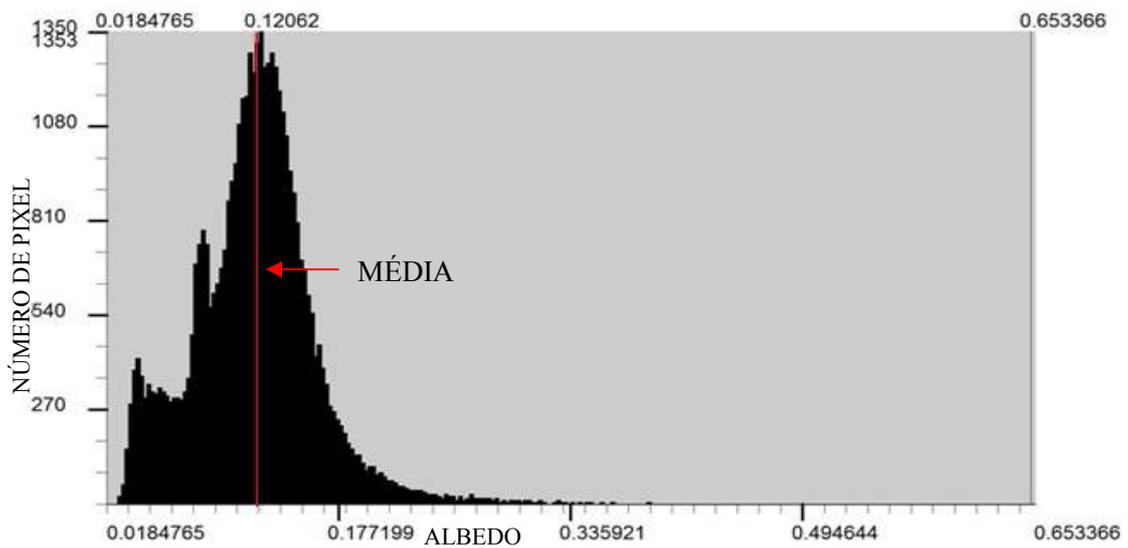


Figura 5.9: Histograma de frequência do Albedo em 29 de agosto de 2007.

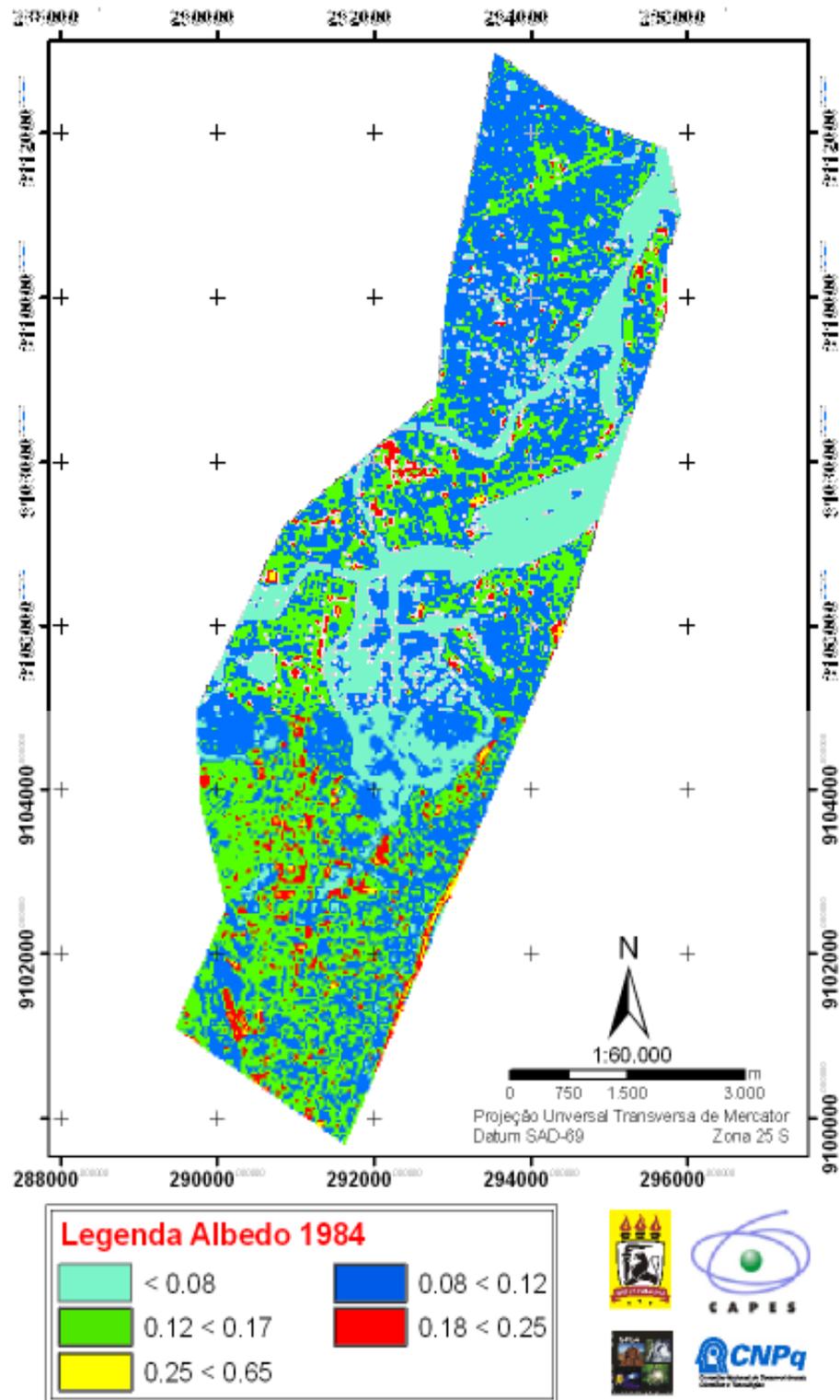


Figura 5.10: Imagem do albedo da superfície para o dia 10 de junho de 1984.

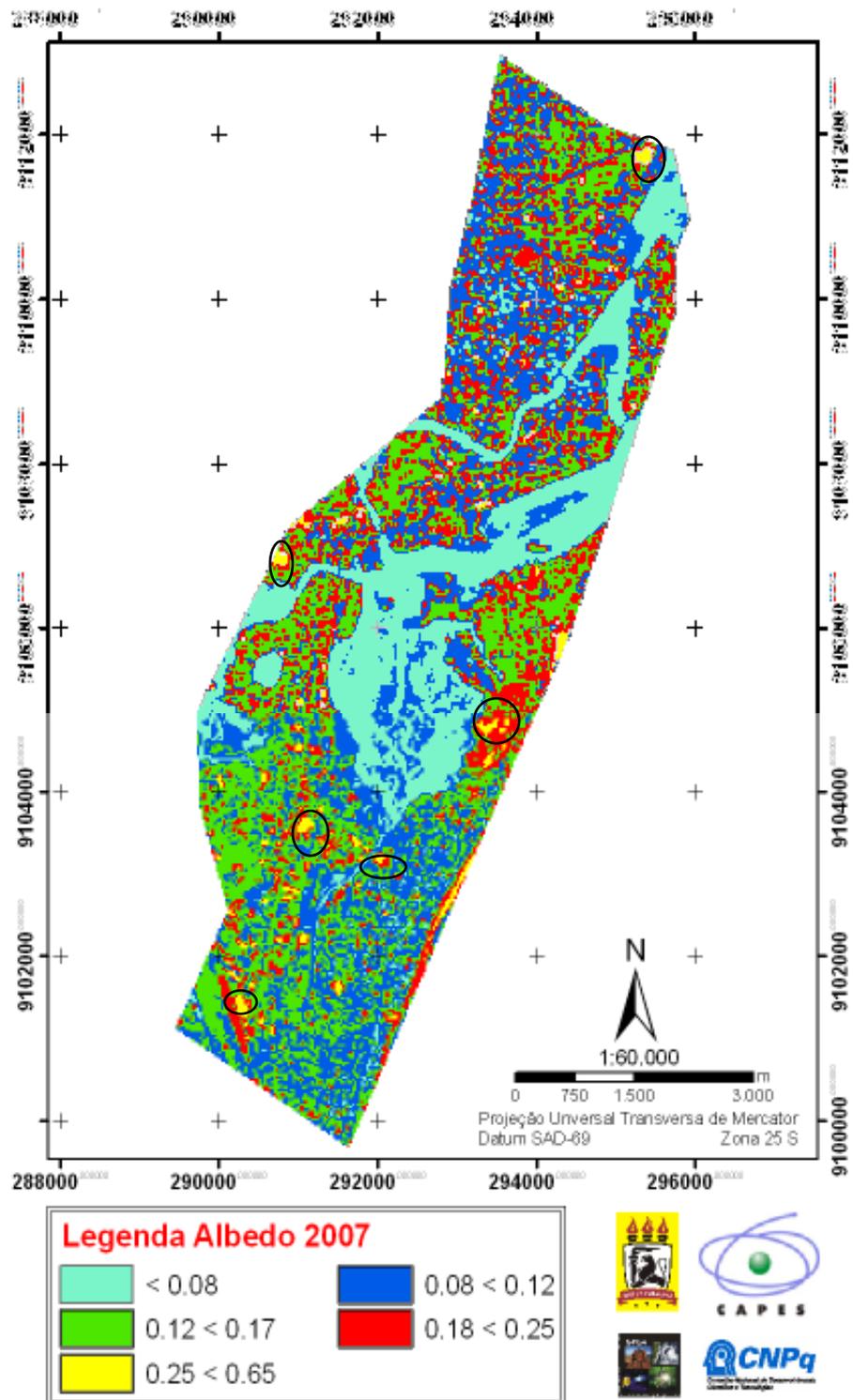


Figura 5.11: Imagem do albedo da superfície para o dia 29 de agosto de 2007.

5.4 - TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Na Tabela 5.4 são apresentados os valores estatísticos: mínimo, máximo, média e moda da temperatura da superfície para os dias 10 de julho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Percebe-se visualmente que, as temperaturas mais elevadas ocorreram no ano de 2007, tendo seu valor mínimo de 18,7°C, máximo de 33°C, média de 27°C e a moda de 28,29°C.

Tabela 5.4 - Valores estatísticos da temperatura na superfície (mínimo, máximo, média e moda), para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007.

<i>Temperatura da Superfície</i>	<i>Mínimo (°C)</i>	<i>Máximo (°C)</i>	<i>Média (°C)</i>	<i>Moda</i>
1984	14,94	25,7	22,2	22,48
2007	18,7	33	27	28,29

As Figuras 5.12 e 5.13 representam as imagens da temperatura da superfície (Ts) para os dias 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Na Figura 5.12 verifica-se que nas áreas com tonalidade azul escuro encontram-se as menores temperaturas, tendo seus valores inferiores a 19°C. As áreas com tonalidades azul claro representam os valores de Ts entre 19,5°C até 21°C, aproximadamente; o tonalidade verde corresponde aos valores intermediários que variam de 21°C até 22°C, aproximadamente. A tonalidade amarela na imagem representa os valores que variam de 22°C até 23°C e os tons vermelhos representam as temperaturas entre 23°C até 25°C, aproximadamente. As áreas que se destacaram com as menores temperaturas foram o manguezal do Pina e alguns pontos de reserva de vegetação. Essas áreas funcionam como verdadeiros oásis ou ilhas de frescor. Em virtude de a vegetação apresentar propriedades que intercepta a radiação solar, bloqueando totalmente os raios solares ou filtrando. Segundo Robinete apud Mascaró, (1996) há uma diferença de 3°C a 4°C entre uma área sob um grupo de árvores e uma área sem vegetação, totalmente aberta à radiação solar.

Os corpos hídricos também funcionam como ilhas de frescor, levando em consideração que não refletem a energia recebida na faixa do infravermelho e apresenta baixa reflectância (no máximo 5% na faixa do azul) na região do visível. Evidenciando com isso

um aumento da radiação solar absorvida, o que poderia aumentar a T_s . No entanto, grande parte dessa radiação absorvida é utilizada na evaporação. Daí ser verificada diminuição da T_s em relação a outras áreas. Além disso, os ventos que circulam nestas áreas hídricas resfriam e transmitem para as áreas circunvizinhas. As temperaturas intermediárias 21°C e 23°C correspondem boa parte da área analisada. A área do aeroporto, o estacionamento do shopping e o bairro de Santo Antonio localizado no centro do Recife que apresentam o solo bastante impermeabilizado com concreto destacaram-se com as maiores temperaturas. Isso em virtude do concreto possuir propriedades de absorção térmica, que faz com que o calor que é irradiado fique concentrado contribuindo para o aumento das temperaturas. Salienta-se que a falta de umidade da superfície também contribui para o aumento da T_s .

Na Figura 5.13, o tom azul refere-se aos menores valores de temperatura entre 18°C até 23°C , aproximadamente, encontrados nas áreas do manguezal do Pina e os corpos hídricos. A tonalidade azul claro refere-se às áreas com temperaturas entre $23,6^{\circ}\text{C}$ até $25,5^{\circ}\text{C}$ aproximadamente; a tonalidade verde representa os valores intermediários entre $25,6^{\circ}\text{C}$ até $27,3^{\circ}\text{C}$, aproximadamente. A tonalidade amarela representa os valores de temperaturas entre 27°C e 28°C , aproximadamente e o vermelho apresenta as maiores temperaturas, variando entre 29°C até 33°C , aproximadamente.

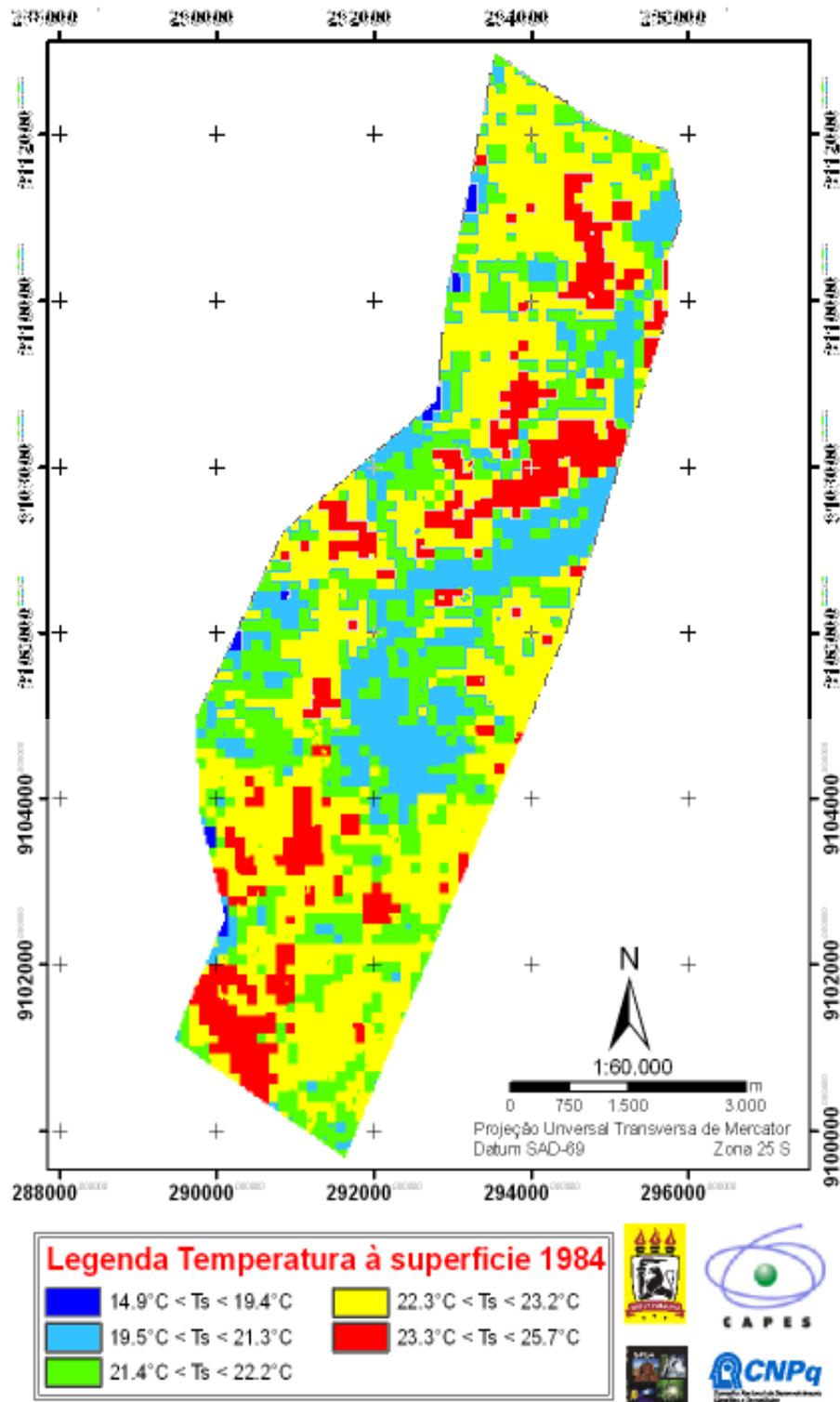


Figura 5.12: Imagem termal das temperaturas à superfície em 10 de junho de 1984.

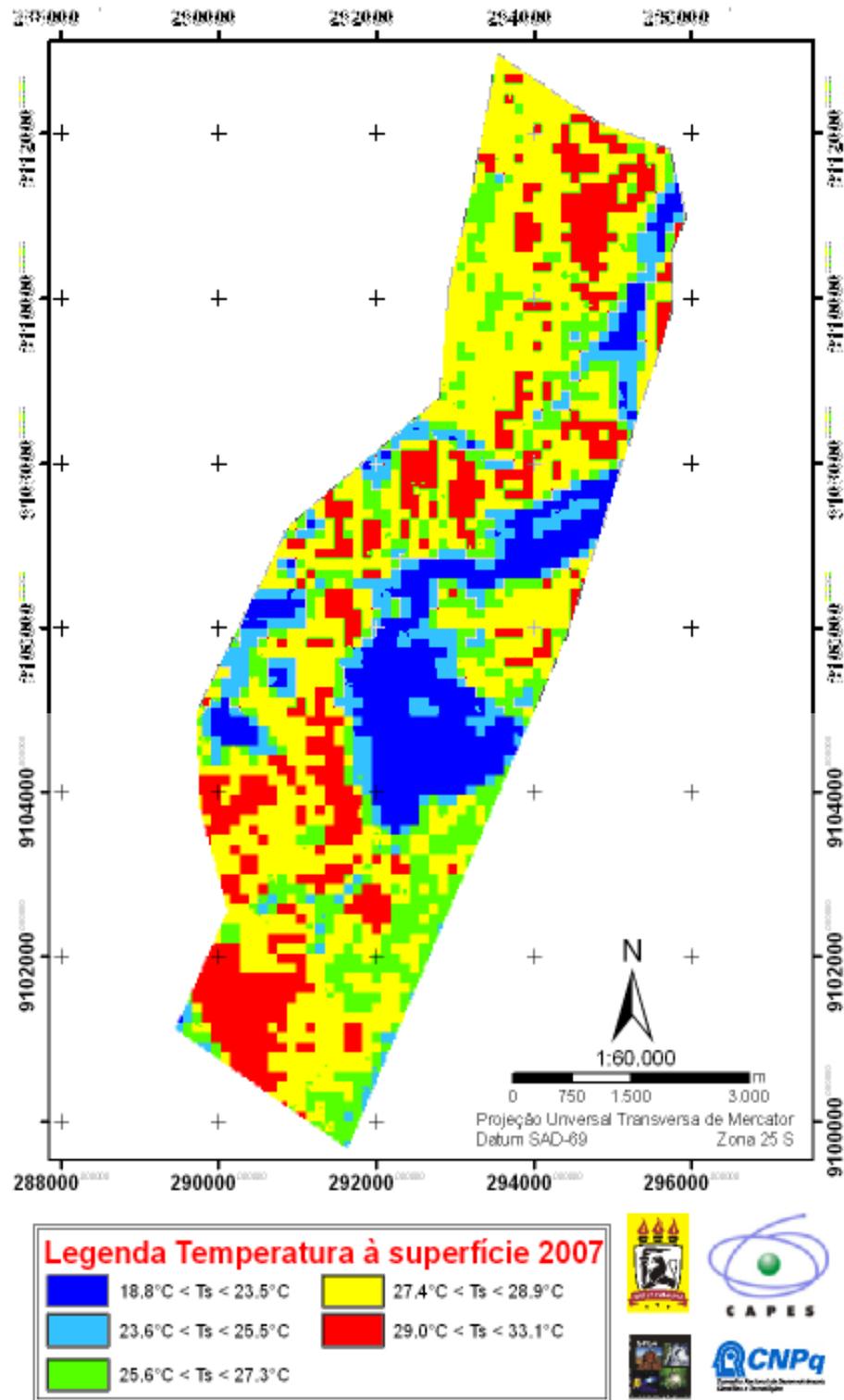


Figura 5.13: Imagem termal das temperaturas à superfície em 29 de agosto de 2007.

Analisando as Figuras 5.12 e 5.13, observa-se que houve um aumento de 4°C nas menores temperaturas do Recife e 8°C nas maiores temperaturas entre 10 de junho de 1984 e 29 de agosto de 2007. Evidenciando que, a intensificação da substituição dos espaços naturais por ambientes artificialmente construídos (asfalto, concreto, telhas de amianto e de zinco, dentre outros) tem aumentado a entrada de calor proveniente desses materiais que possuem alta absorção térmica, contribuindo desta forma para o aumento de temperatura. Em termos quantitativos o ano de 2007 apresentou um maior número de áreas com temperaturas elevadas podendo ser consideradas como ilhas de calor urbanas, ocorrendo assim um incremento nas maiores temperaturas de 8°C.

Percebe-se que a intensificação do adensamento construtivo na cidade do Recife e a redução da cobertura vegetal têm contribuído de forma direta para o aumento das temperaturas, principalmente no setor norte e sul, onde o elemento vegetação tem apresentado uma maior redução. A área do manguezal do Pina, apresentou aumento de 1°C nas temperaturas de 2007. Este aumento pode ser atribuído às características naturais da área de manguezal na data da passagem do satélite e/ou aumento da radiação solar. Causado pela diminuição do ângulo zenital solar no final de agosto, em relação ao início de junho.

Na análise comparativa das Figuras 5.14 e 5.15 referente à imagem termal das temperaturas para os anos em apreço, verifica-se que na imagem de 2007 houve um predomínio em quase toda área da cor vermelha representada pelas temperaturas >23°C. Pressupõe-se que esse aumento está associado há pelo menos dois fatores: expansão das edificações/diminuição de áreas verdes e sazonalidade da radiação solar.

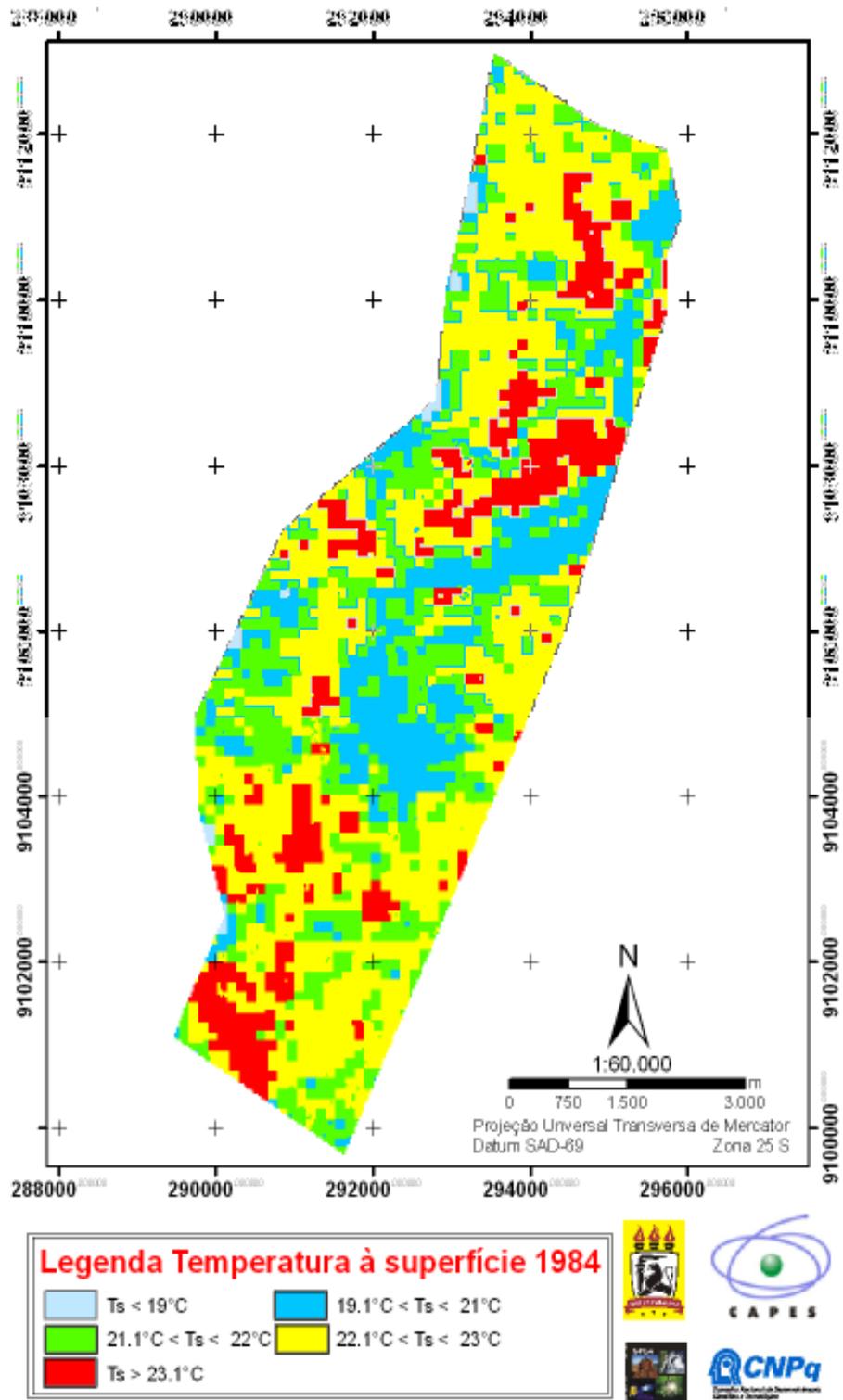


Figura 5.14: Imagem termal das temperaturas à superfície em 29 de agosto de 2007.

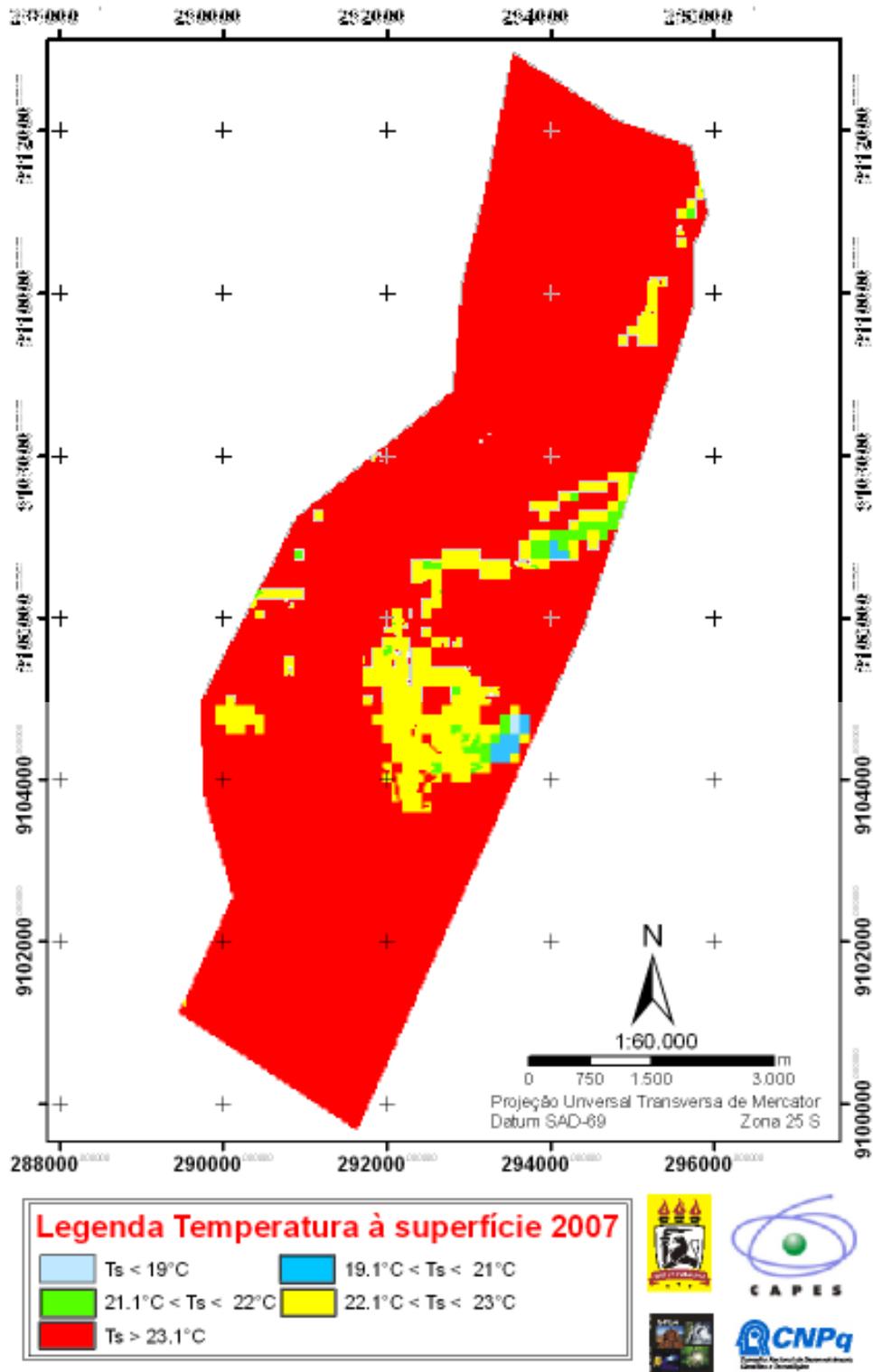


Figura 5.15: Imagem termal das temperaturas à superfície em 29 de agosto de 2007.

As Figuras 5.16 e 5.17 representam os histogramas de frequência da temperatura da superfície cuja média é destacada pela linha vertical vermelha indicada em cada figura. Nota-se que em 1984 a temperatura apresentou-se mais concentrada entre 19°C e 24°C e em 2007 ocorre uma maior variação ficando entre 22°C e 32°C, aproximadamente.

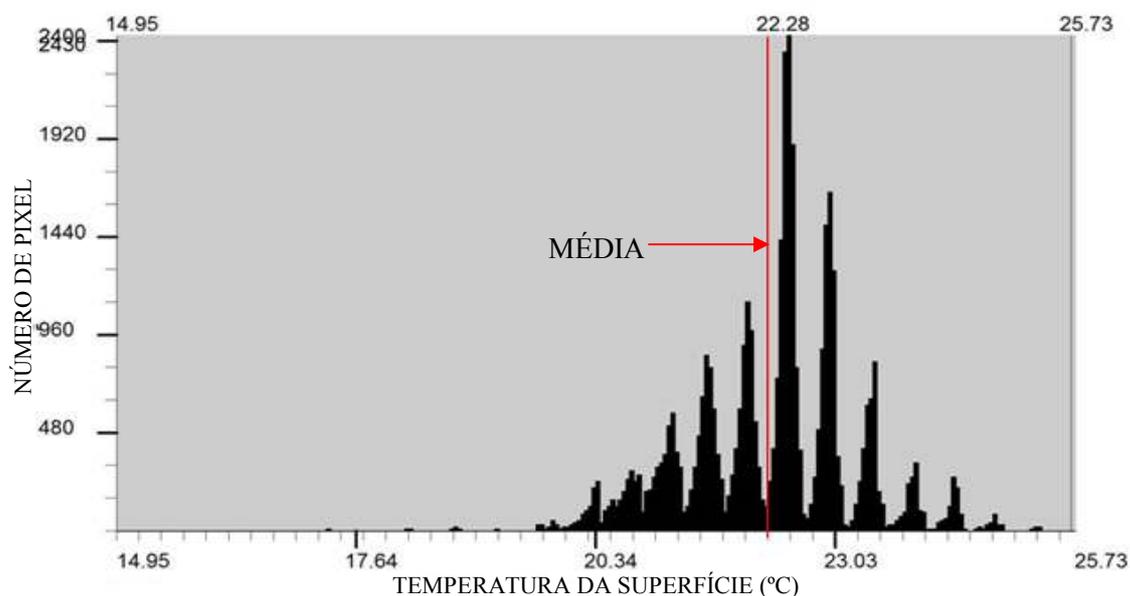


Figura 5.16: Histograma de frequência da temperatura à superfície em 10 de junho de 1984.

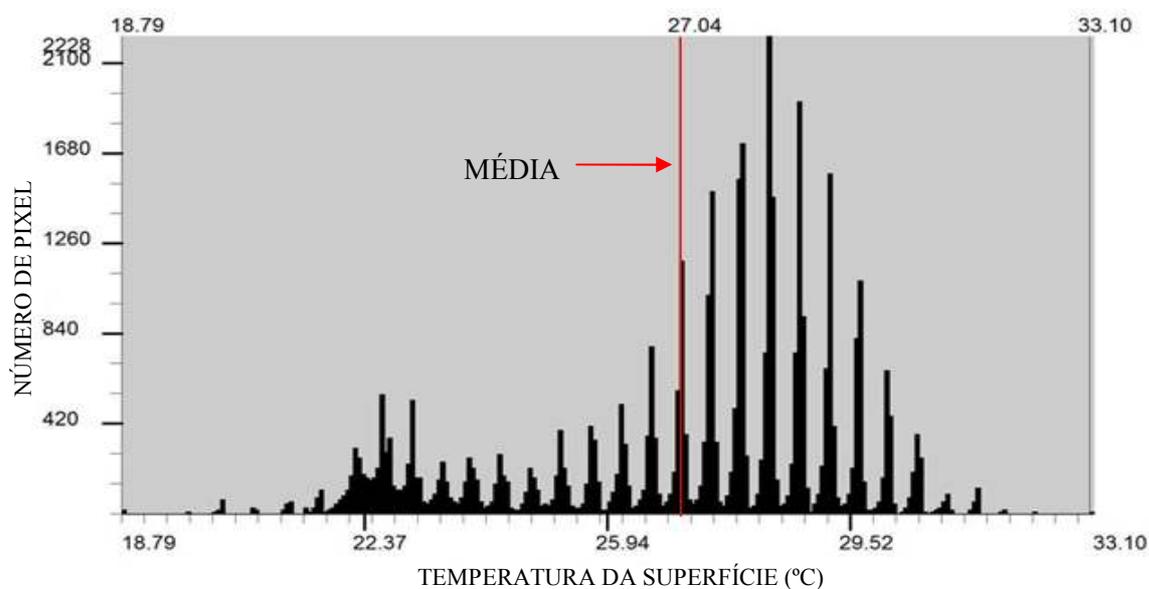
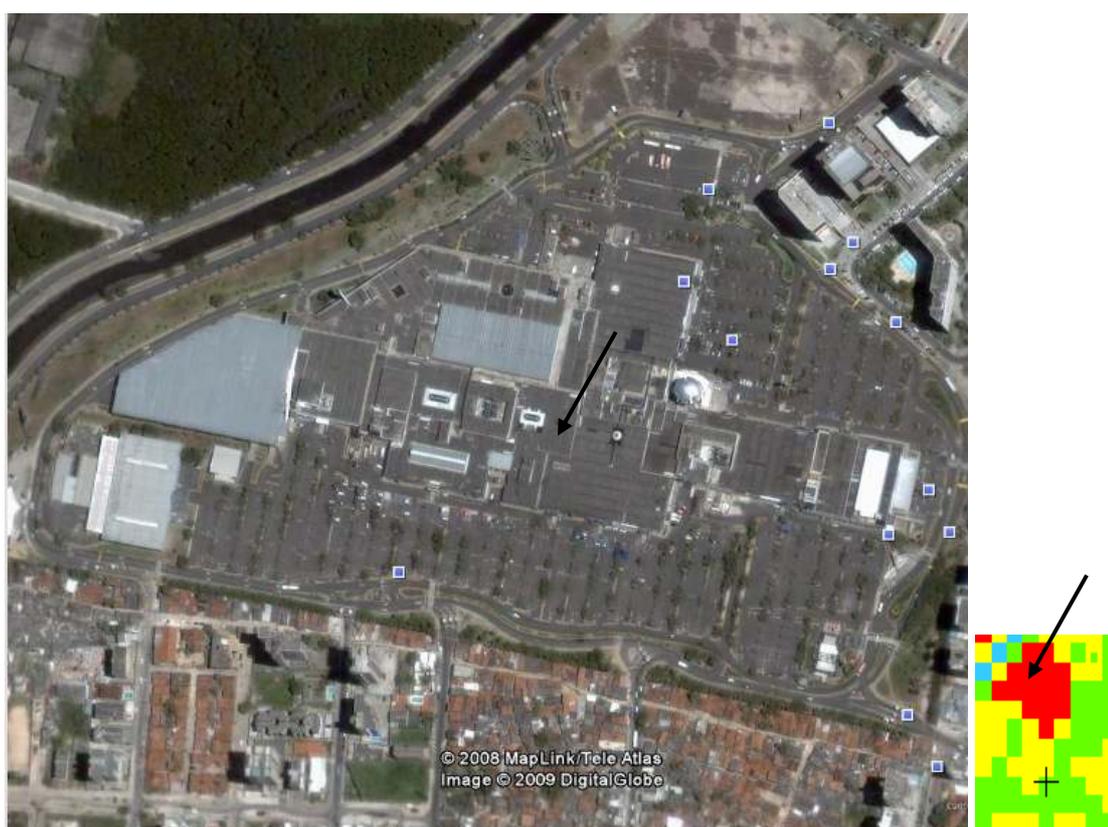


Figura 5.17: Histograma de frequência da temperatura à superfície em 29 de agosto de 2007.

As áreas que se destacaram com as maiores temperaturas Figuras 5.18 e 5.19, podendo ser consideradas como ilhas de calor, foram as que apresentaram estruturas com telhas de cimento, amianto e asfalto. Monteiro (1976), Lombardo (1985), Lima (2005), Paiva (2005) destacam que esses materiais são responsáveis pela formação da maioria das ilhas de calor das cidades. Esses tipos de materiais possuem alta reflectância o que aumenta significativamente a irradiação de calor para a atmosfera (Teza e Baptista, 2005). Portanto esta alta irradiação emitida para atmosfera interfere de forma direta no balanço de energia local causando um reflexo imediato na temperatura (Serrato et al.,2002).



A

B

Figura 5.18: Morfologia urbana da *ilha de calor* do estacionamento do shopping Center Recife ($8^{\circ} 07' 12'' S$ e $34^{\circ} 54' 16'' O$), localizado no bairro de Boa Viagem. Em (A) imagem de detalhe mostrando a morfologia da IC, em (B) a imagem termal com destaque para IC.



A

B

Figura 5.19: Morfologia urbana da *ilha de calor* do bairro de São José ($8^{\circ} 04'10''S$ e $34^{\circ} 52'33''O$). Em (A) imagem de detalhe mostrando a morfologia da IC, em (B) a imagem termal com destaque para IC.

6 - CONCLUSÕES

6.1 - 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 de mínima e de máxima obtida. Apenas no resultado do valor médio, este teve uma pequena variação.

2. O Índice de Vegetação Ajustado ao Solo (IVAS), referente à área de estudo, apresentou uma pequena variação entre as datas com médias de 0,164 para o dia 10 de junho de 1984 e 0,129 para o dia 29 de agosto de 2007, ficando evidenciado uma sensível perda de cobertura vegetal. Esta perda é resultado da retirada da vegetação para construções em especial no setor sul, onde se encontra o bairro de Boa Viagem.

3. O albedo da superfície (α) teve um aumento no valor máximo de 0,25 em dia 10 de junho de 1984 para 0,33 em 29 de agosto de 2007. Os maiores valores do albedo nas imagens analisadas foram encontrados nas áreas onde a urbanização é mais intensa como no bairro de Boa Viagem e na parte central da cidade, 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 2007 em comparação com o de 1984, cuja média foi de 22,7°C em 1984 e 27°C em 2007. Os maiores valores de temperatura da superfície em todas as imagens estudadas encontram-se no setor sul e no centro da cidade com uma variação de aproximadamente 5°C.

5. Em 1984 a temperatura apresentou-se mais concentrada entre 17°C e 25°C e em 2007 ocorreu uma maior variação ficando entre 19°C e 32°C aproximadamente. A imagem termal de 2007 comparada com a imagem de 1984 destacou-se com temperaturas superiores a 23°C em quase toda área.

6. Os recortes analisados na imagem mostram que a temperatura da superfície é maior nas áreas em que há um predomínio do concreto, cobertura de zinco e amianto e menores em áreas onde esses elementos não são intensos.

7. – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G., TASUMI, M & TEREZZA. R. Sebal (Surface Energy Balance Algorithms for Land) – Advanced Training and User Manual – Idaho Implementation, version 1.0, 2002.

ANDRADE, H.– Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa. Dissertação de Doutoramento em Geografia Física , Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa: 435. (2003)

ANDRADE, L.L. Análise comparativa do fenômeno ilha urbana de calor no verão e inverno por meio de dados termais do satélite Landsat 5 em São José dos Campos –SP. VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação – Universidade do Vale do Paraíba (2006).

ARAUJO, T.L. Estimativa da temperatura e do saldo de radiação à superfície terrestre em Maceió-AL utilizando imagens TM/Landsat 5. Dissertação de Mestrado em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas (2006).

ARINO, O.,G. DEDIEU e P.Y. DESCHAMPS, 1992: Determination of land surfac espectral reflectances using Meteorosat and NOAA/AVHRR shortwave channel data. International Journal of Remot Sensing, vol. 13, No. 12, 2263-2287.

ALCOFORADO, M.J – Aplicação da Climatologia ao Planejamento urbano. Alguns apontamentos. Finisterra – Revista Portuguesa de Geografia XXXIV (67-68): 83-94(1999).

ASSIS, E. S. da. Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor: análise de desempenho de áreas verdes urbanas em clima tropical. 1990. 164 f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Arquitetura e urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1990

AYOADE, J.O. Introdução à Climatologia para os Trópicos, 3ª ed. Rio de Janeiro-RJ: Bertrand Brasil S.A.,1991. 332p.

BARET, F., & GUYOT, G.. Potentials and limits of vegetation indices of LAI and APAR assessment. Remote Sensing Environment, v.35, p.161-173, 1991.

BECKER, F.Z.-L.LI. Toward a Local Split-Window Method Over Land Surfaces. Int. Journal Remote Sensing, v 11, n, 369-393, 1990.

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

CASELLES, V.; SOBRINO, J.A. Determination of frosts in orange groves from NOAA-9 AVHRR data. Remote Sensing of Environment, v.29, p.135-146, 1989.

CECH, I.; WEISBERG, R.; HACKER, C. and LANE, R.; Relative contribution of land uses to the Urban Heat Problem in the Coastal Subtropics, Journal of Biometeorológico, 20, nº.1, pp. 9-18, 1976.

CHANDLER, T. J. – The Climate of London, Hutchinson & Co., Londres, 1965.

CHORLEY, R.J. & BARRY. R.G. *Amosfera, Tiempo y Clima*. Barcelona-Spain: Omega, S.A, 1972. 395p.

CUNICO, C; GLUFKE, D; KROKER, R; RAKSSA,M; DANNI-OLIVEIRA, I.M; FRAGA, N. (2002). Episódios chuvosos e seus impactos em Curitiba/PR (1999-2000). *Anais do VSBCG*, Curitiba, pg. 615-623

DANNI, I. M. – A ilha térmica de Porto Alegre. *Contribuição ao estudo do clima urbano*, *Boletim Gaúcho de Geografia, Série Geo*, 8, p. 33-48, maio 1980.

DAUGHTRY, C.S.T., KUSTAS, W.P., MORAN, M.S., PINTER, P.J.JR, JACKSON, R.D., BROWN, P.W., NICHOLS, W.D e GAY, L.W., 1990: Spectral estimates of net radiation and soil heat flux. *Remote Sensing of Environment*, vol. 32, 111-124.

DAUGHTRY, C.S.T., GALLO, K.P., GOWARD, S.N., PRINCE, S.D., & KUSTAS, W.D. Spectral estimates of absorbed radiation and phytomass production in corn and soybean canopies. *Remote Sensing Environment*, v.39, p.141-152, 1992.

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

ERIKSEN, W. – *Klimatologisch – “Okologische Crapekte der umweltbelastung Hannovers Stadtklima und Lutverunreinigung”*, in *Hannover und sein Unland*, Jannover, 1978.

FANG, H., S. LIANG, M.CHEN, C. WALTHALL e C.DAUGHTRY, 2004: Statistical comparison of MISR, ETM+ and MODIS land surface reflectance and albedo products of the BARC land validation core site, USA. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 25, No. 2, 409-422.

FOX, N.I., SAICH, P e. COLLIER, C.G.: Estimating the surface water and radiation balance in an upland area from space. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, No. 16, 2985-3002 (2000).

GEIGER, R. *Manual de microclimatologia: O Clima da Camada de Ar junto ao solo*. 4ª ed. Lisboa: Gulbenkian, 1961, 556p.

GOWER, S.T., KUCHARIK, C.J., NORMAN, J.M. Direct and indirect estimation of leaf area index, APAR, and net primary production of terrestrial ecosystems. *Remote Sensing of Environment*, v. 70, p. 29-51, 1999.

GROVER, K.D., STEVEN, D.M. e. RONDEAUX, G: Estimating albedo from limited spectral and angular data. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, No. 1, 155-165 (2000).

HAL, F.G., P.J. SELLERS, D.E. STREBEL, E.T. KANEMASU, R.D. KELLY, B.L. BLAD, B.J. MARKHAM, J.R. WANG e HUENNRICH, F: Satellite remote sensing of surface energy and mass balance: results from FIFE. *Remote Sensing of Environment*, vol. 35, 187-199 (1991).

HOWARD, L. (1833) *The Climate of London Deduced from Meteorological Observations Made in the Metropolis and at Various Places around It*. 2ed. 3 vols. London: J. & A. Arch, Cornhill; Longman & Co.

HUETE, A. R. A soil adjusted vegetation index (SAVI). *Remote Sensing of Environment*, v. 25, p. 295-309, 1988.

HURTT, G., XIAO, X., KELLER, M., PALACE, M., ASNER, G.P., BRASWELL, R., E.S. BRONDÍZIO, M. CARDOSO, C.J.R. CARVALHO, M.G. FEARON, L. GUILDS,

S.HAGEN, S. HETRICK, B. MOORE III, C. NOBRE, J.M. READ, T.SÁ, A. SHLOSS, G. VOURLITIS e A.J. WICKEL: IKONOS imagery for the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA). *Remote Sensing of Environment*, vol. 88, 111-127 (2003).

IZARD, GUYOT. *Tecnología y arquitectura*. Barcelona: Gustavo Gillis, 192 p,1980.

JACOB, F.,WEISS M, BARRET, F., e. HAUTERCOUR, O: Mapping short-wave albedo of agricultural surfaces using airborne POLDER data. *Remote Sensing*, vol. 24, No. 11, 2221-2236 (2002).

JACKSON, R.D.; HUETE, A.R. Interpreting vegetation indices. *Preventive Veterinary Medicine*, v. 11, n.2, p.185-200, 1991.

JUPP, D.L.B: Directional radiance and emissivity measurement models for remote sensing of the surface energy balance. *Environment Modelling Software*, vol. 13, 341-351(1998).

KATO, S., YAMAGUCHI, Y. 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 Environment*, vol. 99, p.44-54,2005.

KORNFIEDK, J.; SUSSKIND, J. On the effect of surface emissivity on temperature retrievals. *Monthly Weather Review*, 105 (12): 1605-1608, Dec.1977.

LANDSBERG, H.E. – *The Climate of Towns*, in *Man's Role in Changing the Face of the Earth*, pp. 585-601. Edited by William L. Thomas Jr., Published for the Wernergrem Foudation for Antropological Research and the National Science Foundation, The University of Chicago Press, 1956.

_____, *The urban climate*. New York: Academic Press, 1981.277p.

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

LIANG, S: Narrowband to broadband conversion of land surface albedo algoritms. *Remote Sensing of Environment*, vol. 76, 213-238 (2000).

LIMA, L.P. de. *Clima e forma urbana: métodos de avaliação do efeito das condições climáticas locais nos graus de conforto térmico e no consumo de energia elétrica em edificações*. 2005.154p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Curitiba, Paraná, 2005.

LOMBARDO, M.A. *Ilha de Calor nas Metrôpoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucite, 1985. 244p.

_____, *O Clima e a Cidade*, Boletim Climatológico, Ano 1, n.2, p.31-34, 1996.

_____, *et al.* Análise do Fenômeno de Ilhas de Calor Urbanas, por meio da Combinação de dados Landsat e Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XI., 2003, Belo Horizonte. **Anais...**, Belo Horizonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, 2003. p.. 1741-1748.

LUCHIARI, A. Identificação da Cobertura Vegetal em Áreas urbanas por meio de produtos de sensoriamento remoto e de um sistema de informação geográfica. *Revista do Departamento de Geografia USP*,14- 47-58, 2001.

LUCHT, W. e LEWIS, P: Theoretical noise sensitivity of BRDF and albedo retrieval from the EOS – MODIS and MISR sensors with respect to angular sampling. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 21, No. 1, 81-98 (2000).

MARKHAM & Backer. Thematic mapper band pass solar exoatmospherical irradiances. *International Journal of Remote Sensing*, v. 8, n.3, p. 517-523, 1987

MASCARÓ, L. *Ambiência Urbana*. Porto Alegre: Sagra-D.C. Luzzatto, 1996. 199p.

MATZARAKIS, A. & MAYER, H. The Extreme Heat Wave in Athens in July 1987 from the Point of View of Human Biometeorology. *Atmospheric Environment*, v.25B, n.2.p. 203-211, 1991.

MENDONÇA, F.A. e VERRÍSSIMO, M.E.Z (1994). *O Clima e o Planejamento Urbano de cidades de porte médio e pequena-proposição metodológica para estudo e sua aplicação à cidade de Londrina-PR*. Tese de Doutorado em Geografia USP, pg. 300.

MONTEIRO, C. A. de F. *Teoria e Clima Urbano*, IGEOG, USP, Séries Teses e Monografias nº.25, São Paulo, 1976.

_____, Por um Suporte Téorico e Prático para Estimular Estudos Geográficos de Clima Urbano no Brasil . *Geosul*, Ano V, n. 9, p.7-19, 1º Semestre. 1990.

MOREIRA, E.B. Espacialização das temperaturas à superfície na cidade do Recife, utilizando imagens TM – Landsat 7. *Revista de Geografia, UFPE-DCG/NAPA*, v.24, n 03, ISSN 0104-5490 (2007).

_____, Análise dos topoclimas urbanos do Recife: o caso dos bairros de Santo Amaro e Curado. *Anais da ANPEGE*, 2006.

MOREIRA, M.A; SHIMABUKURO, Y.E. Cálculo do índice de vegetação a partir do sensor AVHRR In: Aplicações ambientais brasileiras dos satélites NOAA E TIROS-N. São Paulo, Oficina de Textos, cap. 4:79-101, 2004.

MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. J. Appl. Ecol. V.9, p.747-766, 1972.

MORAN, M.S. et. all. A Refined Empirical Line Approach for Reflectance Factor Retrieval from Landsat-5 TM and Landsat-7 ETM+. Remote Sensing Environment, v.78, p. 71-82, 2001.

MURAMATSU, K., FURUMI, S e FUJIWARA, N: Patter decomposition method in the albedo space for landsat TM and MSS and data analysis. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, No. 1, 99-119 (2000).

NUCCI, J. C.; CAVALHEIRO, F. Cobertura vegetal em áreas urbanas: conceito e método. GEOUSP, n.6, p. 29-36, 1999.

KERR, H.Y., LAGOURADE, J.P.& IMBERNOM, J. Accurate land surface temperature retrieval from AVHRR data with use of an improved split window algorithm. Remote Sensing of Environment, 40, 1-20, 1992.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2 nd ed. London: Ethuen & CO, 1978. 372p.

_____, Canyon Geometry and the Nocturnal Urban Heat Island: Comparasion of Scale Model and Field Observations. Journal of Climatology, v.1, p. 237-254, 1981.

_____, The Energetic Basis of the Urban Heat Island. Quat. J.R. Met. Soc. v.108, n.455, p. 1-24, 1982.

OKE, T.R. & VOOGT, J. A. Thermal Remote Sensing of Urban Climates. Remote Sensing of Environment, v.86, p.370-384, 2003.

OLGYAY, V. Design With Climate, 4ed. New Jersey-USA: Princeton University Press, 1973. 190p.

ORLANSKI, I. (1975). A rational subdivision of scales for atmospheric processes. Bulletin of the American Meteorological Society, 56(5):527–530.

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

PAIVA, C.M. Estimativa do balanço da energia e da temperatura da superfície via satélite NOAA-AVHRR. 218p. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Civil) – COPPE 2005.

PARANAGUÁ, et al. Belém Sustentável. Belém: Imazon, 2003. 112p. Restau – Image Restoration 0.0.15. Dmitry Fedorov, Leila M. G. Fonseca 2002. Divisão de Processamento de Imagens. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais.

PARISE, F.J.O.; VETTORAZZI, C.A. Análise de dados de produção em um pomar jovem de laranjeiras Hamlin : I. Relações com a resposta espectral. Revista Brasileira de Floricultura, v.27, n.1, abr.2005.

PARLOW, E.:. Spation – Temporal investigation of net radiation and heat fluxes – results from a satellite data Analysis. 51 st International Astronautical Congress, Rio de Janeiro, Brazil (2000).

PEREIRA, G.; MORAES, E.C.; ARAI, E.; OLIVEIRA, L.G.L. FERREIRA, J.N. Estimativas de alterações do albedo de superfície e da emissão de gases do efeito estufa em áreas

queimadas inferidas através de imagens Landsat. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21 a 26 de abril de 2007. novembro de 2006.

POKROVSKY, I., O e ROUJEAN, J.L: Land surface albedo retrieval via kernel based BRDF modeling: I. Statistical inversion method and model comparison. Remote Sensing of Environment, vol. 84, 100-119 (2002).

POKROVSKY, I., POKROVSKY, O e ROUJEAN, J.L. Development of an operational procedure to estimate surface albedo from the SEVIRI/MSG observing system by using POLDER BRDF measurements I. Data quality control and accumulation of information corresponding to the IGBP land cover classes. Remote Sensing of Environment, vol. 87, 198-214 (2003).

PRATA, A. J. Land surface determination from satellites. Advances in Spaces Research, 14 (3), 315-326, 1994.

RAO, A. R. Stochastic Analysis of Annual Rainfall Affected by Urbanization, J. Appl. Meteorology, 19, 41-52, 1980.

ROBINOVE, C.J.; CHAVEZ, P.S.; GEHRING, D.; HOLMGREN, R. Arid Land Monitoring Using Landsat Albedo Difference Images. Remote Sensing of Environment. v. 11, p.113-156.1981.

ROBINETTE, GARY O. Plants and their environmental functions. Washington, DC: Department of the Interior, National Park Service, 1972. 141p

ROERINK, G.J., SU, Z e MENENTI, M.: S-SEBI: A Simple Remote Sensing Algorithm to Estimate the Surface Energy Balance. Physical Chem. Earth (B), vol. 25, No. 2, 147-157. (2000).

SALISBURY, J. W & D'ARIA, D. M. Emissivity of Terrestrial Materials in the 8-14 μ m Atmospheric Window. *Remote Sensing of Environment*. 42: 83-106, 1992.

SAMPAIO, A.H.L. Correlação entre uso do solo e Ilhas de calor no Ambiente Urbano: O caso de Salvador. 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia/FFLCH/USP, São Paulo, 1981.

SAUDERS, R.W., 1990: The determination of broad band albedo from AVHRR visible and near infrared radiances. *International Journal of Remote Sensing*, vol. 11, 49-67.

SANT'ANNA NETO, J.L & ZAVATINI, J.A. (Orgs.) Variabilidade e Mudanças Climáticas: Implicações Ambientais e Socioeconômicas. Maringá: Eduem, 2000. 259p.

SARTORI, M. da G.B. O Clima de Santa Maria, RS: do Regional ao Urbano. 1979. 166 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Departamento de Geografia / FFCH/USP, São Paulo, 1979.

_____, Clima e Percepção. 2000. Tese (Doutorado em Geografia) – Departamento de Geografia/FFLCH/USP, São Paulo, 2000.

SAYDELLES, A.P. Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria. 2005, 219f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SAYDELLES, A.P. & SARTORI, M. da G.B. Estudo da Insolação Direta na Área Central do Perímetro Urbano de Santa Maria-RS. *Geografia*, v. 29, n. 3, p.453-468, 2004.

SAKAMOTO, L. Os Microclimas e a “Configuração do Céu” na Área Central. In: TARIFA, JR. & AZEVEDO, T.R. de (Orgs.). Os climas da Cidade de São Paulo: Teoria e Prática. São Paulo: Pró-Reitoria de Cultura e Extensão. Universidade de São Paulo: Laboratório de Climatologia, FFLCH/USP. GEOUSP – (Coleção Novos Caminhos), v.4, p. 165-187, 2001.

SERRATO, F.B.; CASTILHO, F.J.G.; GARCIA, R.G.; VALCARCEL, E.C. Radiación y temperatura em el período 1990-1999 en el campo experimental de “Elardal” Murcia: studio preliminar. Papeles de Geografia, v.35, p.17-25,. ISSN: 0213-1781, 2002.

SILVA, B. B. da, Lopes, G. M. & Azevedo, P. V. Balanço de radiação em áreas irrigadas utilizando imagens Landsat 5 – TM. Revista Brasileira de Meteorologia, v.20, n.2, p.243-252, 2005.

SOBRINO, J.A, LI, Z.L., STOLL, M.P, & BECKER, F. Improvements in the split-window technique for land surface temperature determination. IEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 32 (2), 243-253, 1994.

SPIRN, A. W. O Jardim de Granito: A natureza do Desenho da Cidade. São Paulo: Editora da USP, 1995.345p.

TANRE, D.C e P. DUHAUT, 1990: Description of a computer code to simulate the satellite signal in the solar spectrum: the 5S code. International Journal of Remote Sensing, vol. 11, 659-668.

TARIFA, J. R. Análise comparativa da temperatura e umidade na área urbana e rural de São José dos Campos (SP), Brasil. Geografia, 2(4), 59-60, Rio Claro, 1977.

TEZA, C.T.V. BAPTISTA, G.M. DE M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. Anais XII SBSR, Goiânia, Brasil, 16 – 21 abril 2005, INPE, p. 3911 – 3918.

TUCCI, C.E.M. (2002). Flood Control and Urban Drainage Management in Brasil. Institute of Hydraulic Research. Federal University of Rio Grande do Sul – Porto Alegre – RS Brazil. Water Waterlines, vol. 20 n.4, april, pg. 8.

ULIVIERI, C., CASTRONUOVO, M.M, FRANCONI, R., & CARDILO, A. A split-window algorithm for estimating land surface temperature from satélites. Advances in spaces Research, 14 (3), 59-65. 1994.

VIDAL, A.; PERRIER, A. Analysis of a simplified relation for estimating daily evapotranspiration from satellite thermal IR data. International Journal of Remote Sensing, vol 10. P. 1.327-1.327-1.337, 1989.

VUKOVICH, F.M. An analysis of the ground temperature and reflectivity pattern about St.Luis, Missouri, using HCMM satellite data. Journal of Climate and Applied Meteorology, v.22, p.560-571, jan.1978.

WANNER, H. and P. FILLIGER, 1989: Orographic influence on urban climate. Weather and Climate, 9, 22-28.

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

XUE, Y; LLEWELLYN-JONES, D.T; LAWRENCE, S.P e. MUTLOW, C.T: On the Earth's surface energy exchange determination from ERS satellite ATSR data: Part 2. Short – wave radiation. International Journal of Remote Sensing, vol. 21, No. 18, 3415-3426 2000.

YANG, L: Integration of a numerical model and remotely sensed data to study urban/rural land surface climate processes. *Comput. & Geosciences*, vol. 26, 451-468 2000.

YONETANI, T. – **Enhancement and Initiation of a Cumulus by a Heat Island**, *J. METEOROL. Soc. of Japan*, 61, 244-253, 1983.

ZAMPARONI, C.A.G.P. **Ilha de calor em Barra do Garças e Tanguara da Serra MT: Uma contribuição ao estudo de clima urbano em cidades de pequeno porte em área tropical**. Dissertação de Mestrado, Dep. Geografia, F.F.L.C.H., USP, São Paulo (1985).

