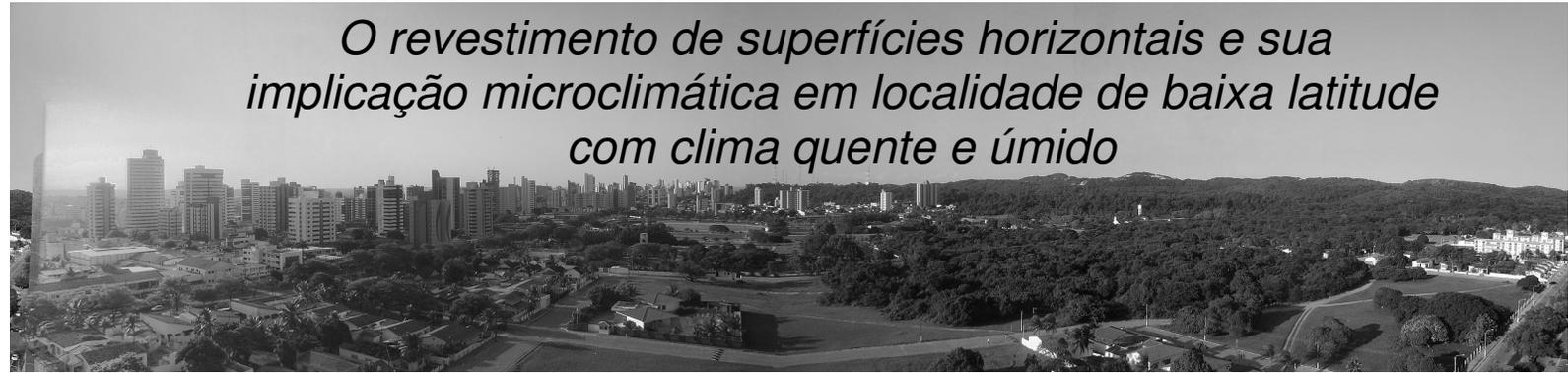


UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



*O revestimento de superfícies horizontais e sua
implicação microclimática em localidade de baixa latitude
com clima quente e úmido*

ANGELINA DIAS LEÃO COSTA

Campinas – SP
2007

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

*O revestimento de superfícies horizontais e sua
implicação microclimática em localidade de baixa
latitude com clima quente e úmido*

ANGELINA DIAS LEÃO COSTA

Orientadora: Profa. Dra. Lucila Chebel Labaki – UNICAMP

Tese de Doutorado apresentada à comissão de Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção de título de Doutor em Engenharia Civil, área de concentração Arquitetura e Construção.

Campinas – SP
2007

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

C823r Costa, Angelina Dias Leão
O revestimento de superfícies horizontais e sua
implicação microclimática em localidade de baixa
latitude com clima quente e úmido / Angelina Dias
Leão Costa.--Campinas, SP: [s.n.], 2007.

Orientador: Lucila Chebel Labaki
Tese (Doutorado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo.

1. Climatologia urbana. 2. Trópicos - Clima. 3.
Climatologia – Medição. 4. Microclimatologia. 5.
Revestimentos. 6. Solos – Efeitos da temperatura.
I. Labaki, Lucila Chebel. II. Universidade Estadual
de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil,
Arquitetura e Urbanismo. III. Título.

Título em Inglês: Horizontal pavement surfaces and its microclimatic
implication in low latitude place with hot and humid
climate

Palavras-chave em Inglês: Urban climate, Horizontal pavement
surfaces, Hot humid climate, Fixed points
measurement

Área de concentração: Arquitetura e Construção

Titulação: Doutora em Engenharia Civil

Banca examinadora: Maurício Roriz, Virgínia Maria Dantas de Araújo,
João Roberto Gomes Faria, Gianna Melo
Barbirato

Data da defesa: 01/06/2007

Programa de Pós-Graduação: Engenharia Civil

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**O revestimento de superfícies horizontais e sua
implicação microclimática em localidade de baixa
latitude com clima quente e úmido**

Angelina Dias Leão Costa

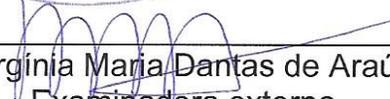
Tese de Doutorado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



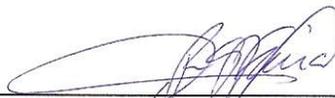
Prof. Dra. Lucila Chebel Labaki
UNICAMP - Presidente e Orientadora



Prof. Dr. Maurício Roriz
UNICAMP – Examinador interno



Prof. Dra. Virginia Maria Dantas de Araújo
UFRN – Examinadora externa



Prof. Dr. João Roberto Gomes Faria
UNESP – Examinador externo



Prof. Dra. Gianna Melo Barbirato
UFAL – Examinadora externa

Campinas, 01 de junho de 2007.

DEDICATÓRIA

Em memória da minha Vovoquinha,
que me deixou inúmeros e preciosos exemplos.

É dedicado aos **meus pais Everton e Nilma,**
os grandes incentivadores na minha busca pelo conhecimento.

Também é dedicado àqueles que, no exercício da profissão que escolheram,
lutam por uma cidade com qualidade ambiental.

AGRADECIMENTOS

Esses agradecimentos começaram a ser escritos ainda em 2005, para que eu citasse todos aqueles sem os quais essa tese não estaria terminada. São muitos a agradecer (uma verdadeira cadeia de relacionamentos foi construída, o que merecia um volume a parte); e hoje compartilho com todas essas pessoas a alegria e satisfação de ser Doutora!

Fazer doutorado na Unicamp e ter de mudar para Campinas me fez passar por novas experiências; tive a oportunidade de nesse tempo construir amizades verdadeiras que me ajudaram a superar muito da saudade de estar “longe de casa” e as barreiras do próprio desafio assumido. Por outro lado estudar a minha cidade de origem, Natal, me conduziu a restabelecer laços ali, construir novos, e estar sempre e literalmente na ponte aérea. Foram quase 03 anos de dedicação, e não foi fácil, mas certamente foi gratificante e muito enriquecedor tanto do ponto de vista intelectual quanto humano!

AGRADEÇO ESPECIALMENTE:

A Deus e a Nossa Senhora, que me deram a força e a proteção necessária para vencer todas as dificuldades.

Aos meus Pais **Everton e Nilma**, pelo apoio incondicional, pelo amor, pela oração, pelo exemplo, pela paciência em momentos de correria e ausência em família enquanto estive em Natal, pelas conversas e preocupação nas inúmeras “crises”, fazendo deles também o meu sonho, e por sempre acreditarem na minha capacidade.

A minha irmã **Helena** por me receber em sua casa em Campinas, pelo seu desprendimento, bondade, amizade e cumplicidade em todos os momentos dessa caminhada, por vezes dura. E ao meu irmão **Enio** por seu amor e imensa paciência em minhas questões de informática. Minha família é a base e a razão de tudo!

À minha orientadora, profa. Dra. **Lucila Chebel Labaki** que me acolheu na UNICAMP desde o 1o dia; por sua paciência, exemplo de simplicidade, serenidade e orientação constante. Sua capacidade de dar conta de tudo é admirável!

À profa. Dra. **Virgínia Maria Dantas de Araújo**, por ter aceito continuar nessa orientação (que vem desde a faculdade), por sua confiança, atenção e acompanhamento cuidadoso em todas as etapas da pesquisa. É um exemplo de competência para mim.

A **Marcos, Isabel e Sandra de Paolis**, que me acolheram em sua casa como membro da família e foram meu porto seguro enquanto estive em Campinas, por todos os momentos compartilhados durante os meses em que morei lá e depois disso, pela amizade verdadeira que nos une, serei eternamente grata!

A **Cláudia Pezzuto**, também doutoranda, pelo ombro amigo de todas as horas, pelas inúmeras conversas, desabaços, saídas (há vida fora do Doutorado!) e pela amizade sincera que construímos.

Aos que fazem o LABCON-UFRN, sem dúvida a minha segunda casa nesse período, por toda a liberdade que me concederam em ir e vir, e pelo apoio que me deram, em especial ao **Prof. Dr. Aldomar Pedrini** e à arquiteta **Renata Matos**, por sua enorme dedicação e paciência – pela elaboração de mapas, montagem dos bancos de dados e empenho nas medições de campo.

Aos estatísticos **José Wilton e Henrique Araújo**, do Departamento de Estatística da UFRN, pelo desenvolvimento e atento acompanhamento estatístico da pesquisa. Pelas incontáveis reuniões de análise e por todas as possibilidades de leitura dos dados que me revelou.

À **Manoel Jozeane, Miguel Cuellar, Cilene Gomes**, todos do INPE-RN, pelo apoio e abertura; e principalmente ao **Eng. Francisco Raimundo (Lampadinha)**

pela valiosa contribuição na montagem das estações meteorológicas, durante as medições de campo.

A **Obadias Pereira e Daniel Celente**, técnicos do LACAF - UNICAMP, pela dedicação no desenvolvimento, montagem e teste das proteções, e pelo cuidado com o envio dos equipamentos para Natal.

Ao prof. Dr. **Reinaldo Petta** do LAGEOMA – UFRN pela concessão no uso da imagem Ikonos e pela disposição em me ajudar, e aos geógrafos **Clayber e Leandro** pela confecção dos mapas no SIG.

À **Renata Carvalho**, biblioteconomista, pela cuidadosa revisão bibliográfica.

Ao prof. Dr. **Paulo Scarazzato** pelo exemplo de dedicação ao ensino e pelo aprendizado na experiência com o Programa de Estágio a Docência na UNICAMP. A todos da **secretaria** da Pós-graduação da FEC – UNICAMP que foram solícitos durante todo o processo, em especial a **Paula e Noêmia**.

Ao Sr. **Carlos Andrade** que me abriu as portas da concessionária de celular Claro-RN, por seu integral apoio e atenção; bem como a **Josenardo Bezerra, Haruo Tanaka e Carlos Sena**, técnicos da Claro, por todas as vezes que me acompanharam nas visitas às torres, pelas dúvidas tiradas e pela gentileza de sempre.

Ao Sr. **Ricardo Polli**, da Claro-SP, que me permitiu realizar o pré-teste nas torres de Campinas.

A **Capex** que financiou essa pesquisa com uma bolsa de doutorado.

Por fim agradeço sinceramente aos Professores: Dr. **Lutz Katzschner** (Universidade de Kassel - Alemanha), Dr. **Mattheos Santamouris** (Universidade de Atenas – Grécia), Dra. **Denise Duarte** (FAU-USP), Dr. **João Faria** (UNESP), Dr. **Lauro Francisco Filho** (UNICAMP), e em especial a Dra. **Gianna Barbirato** (UFAL), cada um na sua base de pesquisa me auxiliou por meio de inúmeras sugestões feitas ao longo de todo o processo, por sua acessibilidade e pela disponibilização de publicações importantes para o meu Referencial Teórico.

“A sociedade que se formou da reunião de várias aldeias constitui a cidade,
que tem a faculdade de se bastar a si mesma,
sendo organizada não apenas para conservar a existência,
mas também para buscar o bem estar”.

Aristóteles

COSTA, Angelina Dias Leão. **O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido.** 225p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas/ SP, 2007).

RESUMO

A ocupação do solo urbano influencia na qualidade térmica dos ambientes que permeiam as edificações proporcionando a existência de microclimas diferenciados dentro de uma mesma cidade; por outro lado há uma necessidade crescente de se desenvolver novas estratégias de planejamento que utilizem dados fornecidos pela climatologia e permitam a continuidade do crescimento dessas áreas de forma que a população possa viver em um ambiente equilibrado. Nesse sentido, esta tese objetiva analisar a distribuição da temperatura do ar na área urbana de uma cidade de baixa latitude e clima quente e úmido, através da proposição de uma metodologia de medição em pontos fixos, correlacionando-a com os tipos de revestimento da superfície horizontal (cobertura e piso) existentes; tendo Natal/RN como área objeto de estudo. A metodologia sintetiza práticas correntes em estudos de campo, através da tomada de dados em 02 épocas do ano distintas (verão e inverno), hora a hora, durante 07 dias típicos, em 20 pontos fixos distribuídos na cidade, com equipamentos do tipo *loggers* aferindo temperatura e umidade relativa do ar. Foi desenvolvida uma proteção para os equipamentos registradores para medição ao ar livre e utilizou-se de terrenos de torres de telefonia celular para as medições, pioneiramente. Também foram mapeados 0,31km² quanto à ocupação do solo nos entornos dos pontos, com a ajuda do processamento digital de imagem de satélite. Analisaram-se estatisticamente dados dos períodos de verão e inverno separadamente e comparativamente, e os pontos de coleta semelhantes foram agrupados com relação ao comportamento térmico em 05 grupos. Além disso, foi proposto um indicador de composição de revestimento horizontal que, relacionado à temperatura do ar, gerou mapas temáticos confirmando que áreas urbanas com menor porcentagem de área permeável têm suas temperaturas mais elevadas. Verificou-se que a temperatura do ar não é homogênea na cidade; e que as diferenças microclimáticas são pequenas em valores absolutos (o que possivelmente se deve à influência da ventilação predominante Sudeste proveniente do mar), mas são significativas e devem ser consideradas. Concluiu-se ainda que essas diferenças são decorrentes do período, turno e hora de medição e ainda das diversas configurações urbanas encontradas, incluindo os revestimentos das superfícies horizontais existentes na cidade (cobertura e piso), mas os resultados devem ser considerados ponto a ponto. A metodologia de medição em pontos fixos, desenvolvida e testada, pode ser aplicada em cidades localizadas em localidades de baixa latitude e clima quente e úmido, e sugere-se que a taxa de permeabilidade na cidade seja revista, considerando-se a ótica do bairro.

COSTA, Angelina Dias Leão. **Horizontal pavement surfaces and their microclimatic implication in low latitude region with hot and humid climate.** 225p. Thesis (Doctorate in Civil Engineering Universidade Estadual de Campinas, Campinas/ SP, 2007).

ABSTRACT

The occupation of the urban soil influences on the thermal quality of the cities that permeates the constructions providing microclimatic differences inside the same city; on the other hand there is a growing need to develop new planning strategies, so that data supplied by the climatology can be used and allow the continuity of the growth of those areas, so that the population can live in a balanced urban area. In that sense, this thesis aims to analyze the air temperature distribution in the urban area of low latitude cities with hot and humid climate, through the proposition of a measurement methodology in fixed points, correlating it with the types of existent horizontal surfaces pavements (covering and floor); the city of Natal/RN is the study object. The methodology synthesizes average practices in field studies, through hourly data measurement in 02 different seasons of the year (summer and winter), for 07 typical days, in 20 dispersed fixed points in the city, with loggers equipments collecting air temperature and relative humidity data. A protection was developed to equipments for outdoor recording and it was used cellular telephony towers basis for the measurements. Also 0,31km² were mapped as for the occupation of the soil around the points, with digital processing of satellite image. Summer and winter collected data were statistically analyzed, separately and comparatively, and groups of similar points were organized regarding the thermal behavior in 05 groups. An indicator of composition of horizontal covering was proposed and related to the air temperature generated thematic maps, confirming that urban areas with higher temperatures have smaller percentage of permeable area. It was verified that the air temperature is not homogeneous in the city; that the microclimatic differences exist and are small in absolute values (what is possibly due to the influence of the Southeast predominant wind originating from the sea), but they should be considered. It was concluded that although those differences are consequence of the period, shift and hour of measurement and still of the several found urban configurations, including the coverings of the existent horizontal surfaces in the city (covering and floor), but that the results should be considered point to point. The measurement methodology in fixed points developed and tested can be applied in cities with low latitude and hot and humid climate, and in conclusion it is suggested that the permeability percentage in the city must be reviewed considering the particular occupation of neighborhoods.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 3

- Figura 3.1 – Esquema das escalas climáticas
Figura 3.2 – Classificação de Oke para os *UCZ*.
Figura 3.3 – Albedos de materiais urbanos.

Tabela 3.1 – Albedos de diversos materiais encontrados na área urbana

Quadro 3.1 – Objetivos de planejamento e impactos correspondentes

CAPÍTULO 4

- Figura 4.1 - Mapa de localização do Município de Natal no Brasil
Figura 4.2 – Carta solar para Natal
Figura 4.3 – Gráfico do comportamento do Dia Típico da temperatura do ar para Natal
Figura 4.4 - Mapa com divisão dos bairros da cidade por região administrativa
Figura 4.5 – Mapas da evolução da mancha urbana 1969 e 1988.
Figura 4.6 - Mapas da evolução da mancha urbana 1994 e 2002.
Figura 4.7 – Mapa de topografia da cidade
Figura 4.8 – Região metropolitana de Natal
Figura 4.9 - Mapa do macrozoneamento da cidade
Figura 4.10 - Mapa das áreas especiais regulamentadas existentes na cidade.
Tabela 4.1 - Variáveis ambientais nas épocas características.
Tabela 4.2 – Tipo de domicílio por região
Tabela 4.3 – Densidade demográfica por região (nº hab/ha)
Tabela 4.4 – Situação de drenagem e pavimentação por região
Tabela 4.5 – Tipo de lote por região
Tabela 4.6 – Áreas com taxa de permeabilidade e lote padrão diferenciados nas ZPA

Quadro 4.1 – Elementos do clima a serem controlados

Quadro 4.2 – Bairros por região administrativa

CAPÍTULO 5

- Figura 5.1 – Elementos componentes da proteção para equipamento
Figura 5.2 – Localização de Campinas no Brasil
Figura 5.3 – Localização dos pontos de coleta na cidade.
Figura 5.4 – Fotografias dos elementos componentes da proteção do equipamento e da forma de fixação do mesmo na escada.
Figura 5.5 – Gráfico do comportamento médio diário da temperatura do ar para os 04 pontos medidos.
Figura 5.6 - Gráfico do comportamento médio diário da umidade relativa do ar para os 04 pontos medidos.
Figura 5.7 – Conjunto montado para verificar ventilação do sensor
Figura 5.8 – Fotografias das Proteções levemente deformadas e com partes em ferro oxidadas, respectivamente.

Figura 5.9 – Fotografia com vista dos equipamentos no teste de calibração realizado no INPE

Figura 5.10 – Gráfico da temperatura média do ar horária por marca de equipamento no período de verão

Figura 5.11 – Gráfico da temperatura do ar média por marca de equipamento no período de inverno

Figura 5.12 – Mapa de localização dos pontos de coleta de dados na área urbana de Natal.

Figura 5.13 – Vista da fachada frontal padrão para construção de *site*

Figura 5.14 – Planta baixa padrão para construção de *site* (medidas ajustáveis para terreno real).

Figura 5.15 – Fotografias do equipamento instalado na escada e detalhe de fixação

Figura 5.16 – Composição da área de análise do entorno de cada ponto de coleta

Tabela 5.1 – Confiabilidade dos equipamentos

Tabela 5.2 – Pontos A e B medidos no teste A.

Tabela 5.3 – Ponto C e de Referência medidos no teste A

Tabela 5.4 – Valores médios por ponto para temperatura e umidade relativa do ar.

Tabela 5.5 – Valores de velocidade do ar

Tabela 5.6 - Estatísticas da temperatura do ar segundo a marca do equipamento – período de Verão

Tabela 5.7 - Estatísticas da temperatura do ar segundo a marca do equipamento – período de Inverno

Tabela 5.8 - Informações de cada ponto de coleta.

Quadro 5.1 - Pontos de coleta por região administrativa

Quadro 5.2– Imagens dos sites da Região Norte

Quadro 5.3 – Imagens dos sites da Região Sul (a)

Quadro 5.4 – Imagens dos sites da Região Sul (b)

Quadro 5.5 – Imagens dos sites da Região Leste

Quadro 5.6 – Imagens dos sites da Região Oeste

CAPÍTULO 6

Figura 6.1 – Mapa com imagem de satélite do ponto N

Figura 6.2 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto N)

Figura 6.3 – Mapa com imagem de satélite do ponto O

Figura 6.4 - Mapa com classificação supervisionada (Ponto O)

Figura 6.5 - Mapa com imagem de satélite do ponto P

Figura 6.6 - Mapa com classificação supervisionada (Ponto P)

Figura 6.7 – Mapa com fotografia aérea do ponto Q

Figura 6.8 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto Q)

Figura 6.9 – Fotografia do entorno do Ponto D

Figura 6.10 - Fotografia do entorno do ponto G

Figura 6.11 - Fotografias do entorno do Ponto K

Figura 6.12 - Fotografias do entorno do Ponto EST03, detalhe da terraplanagem em execução

Figura 6.13 - Fotografia do entorno do Ponto EST REF
Figura 6.14 – Mapa com fotografia aérea do ponto A
Figura 6.15 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto A)
Figura 6.16 – Mapa com fotografia aérea do ponto B
Figura 6.17 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto B)
Figura 6.18 – Mapa com fotografia aérea do ponto C
Figura 6.19 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto C)
Figura 6.20 – Mapa com fotografia aérea do ponto D
Figura 6.21 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto D)
Figura 6.22 – Mapa com fotografia aérea do ponto E
Figura 6.23 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto E)
Figura 6.24 – Mapa com fotografia aérea do ponto F
Figura 6.25 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto F)
Figura 6.26 – Mapa com fotografia aérea do ponto G
Figura 6.27 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto G)
Figura 6.28 – Mapa com fotografia aérea do ponto K
Figura 6.29 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto K)
Figura 6.30 – Mapa com fotografia aérea do Ponto EST03
Figura 6.31 – Mapa com classificação supervisionada (EST03)
Figura 6.32 – Mapa com fotografia aérea do ponto ESTREF
Figura 6.33 – Mapa com classificação supervisionada (ESTREF)
Figura 6.34 – Fotografia do entorno do ponto H
Figura 6.35 – Mapa com fotografia aérea do ponto H
Figura 6.36 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto H)
Figura 6.37 – Mapa com fotografia aérea do ponto I
Figura 6.38 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto I)
Figura 6.39 – Mapa com fotografia aérea do ponto J
Figura 6.40 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto J)
Figura 6.41 – Mapa com fotografia aérea do ponto EST027
Figura 6.42 – Mapa com classificação supervisionada (EST027)
Figura 6.43 – Mapa com fotografia aérea do ponto L
Figura 6.44 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto L)
Figura 6.45 – Mapa com fotografia aérea do ponto M
Figura 6.46 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto M)

Tabela 6.1 – Porcentagem de área permeável e impermeável por ponto, por região.

Tabela 6.2 – Composição da área permeável do entorno de cada ponto em porcentagem

Tabela 6.3 – Composição da área impermeável do entorno de cada ponto em porcentagem

CAPÍTULO 7

Figura 7.1 – Gráfico com comportamento médio da temperatura do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta no período de verão.

Figura 7.2 – Gráfico com comportamento médio da umidade relativa do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta, no período de verão.

Figura 7.3 – Gráfico da Temperatura do ar média nos pontos de forma ordenada
Figura 7.4 – Gráfico da Umidade relativa do ar média nos pontos de forma ordenada
Figura 7.5 – Comportamento médio da temperatura do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.6 – Comportamento médio da umidade relativa do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.7 – Gráficos da temperatura do ar média no intervalo 6h-18h nos pontos de coleta
Figura 7.8 – Gráficos da umidade relativa do ar média no intervalo 6h-18h nos pontos de coleta
Figura 7.9 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar
Figura 7.10 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar
Figura 7.11 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.12 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.13 – Gráfico tipo rosa dos ventos para o ponto EST03
Figura 7.14 – Gráfico tipo rosa dos ventos para o ponto EST027
Figura 7.15 – Gráfico tipo rosa dos ventos para o ponto EST REF
Figura 7.16 – Gráfico tipo rosa dos ventos para todos os 03 pontos juntos.
Figura 7.17 – Gráfico com comportamento médio da temperatura do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta no período de inverno.
Figura 7.18 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta, no período de inverno.
Figura 7.19 – Gráfico da Temperatura do ar média nos pontos de forma ordenada.
Figura 7.20 – Gráfico da Umidade relativa do ar média nos pontos de forma ordenada.
Figura 7.21 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.22 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.23 – Gráficos da Temperatura do ar horária nos pontos no intervalo 6h-18h
Figura 7.24 – Gráficos da Umidade relativa do ar horária nos pontos no intervalo 6h-18h
Figura 7.25 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar, ao longo do dia
Figura 7.26 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar, ao longo do dia
Figura 7.27 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.28 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.
Figura 7.29 – Gráfico tipo Rosa dos ventos para o ponto EST03
Figura 7.30 – Gráfico tipo Rosa dos ventos para o ponto EST 027

Figura 7.31 – Gráfico do tipo Rosa dos ventos para a média entre os pontos EST03 e EST027.

Figura 7.32 – Gráfico dos diferenciais de temperatura do ar dos pontos de coleta em relação ao ponto de referência em ordem crescente.

Figura 7.33 - gráfico com diferenciais de temperatura do ar dos pontos em relação ao ESTREF em ordem crescente para o período de inverno.

Figura 7.34 – Agrupamento dos pontos com base no perfil médio de temperatura e umidade nos períodos de verão e inverno (método de ward/ distância euclidiana)

Figura 7.35 – Gráfico do processo de ligação – Dendograma

Figura 7.36 – Perfil médio de temperatura do ar e intervalos de confiança para grupos homogêneos de pontos nos períodos de verão e inverno

Figura 7.37 – Perfil médio de umidade relativa do ar e intervalos de confiança para grupos homogêneos de pontos nos períodos de verão e inverno

Figura 7.38 – Mapa síntese do agrupamento

Figura 7.39 – Mapas estrela resultantes da análise de campo, com as médias gerais por ponto, por período.

Tabela 7.1 – Temperatura do ar Média para um intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de medição, no período de verão.

Tabela 7.2 – Umidade relativa do ar Média para um intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de medição, no período de verão.

Tabela 7.3 – Temperaturas e umidades relativas do ar médias por regiões administrativas, por ponto

Tabela 7.4 – Temperatura do ar Média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição

Tabela 7.5 - Umidade Média do ar, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição

Tabela 7.6 - Médias de temperatura do ar por ponto para cada turno

Tabela 7.7 – Valores médios de velocidade e direção dos ventos

Tabela 7.8 – Temperatura Média do ar para um intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de medição, no período de inverno.

Tabela 7.9 - Umidade relativa do ar média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de coleta, no período de inverno

Tabela 7.10 – Temperatura do ar média por região, com intervalo de confiança

Tabela 7.11 – Umidade relativa do ar média por região, com intervalo de confiança

Tabela 7.12 - Temperatura Média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição, no período de inverno

Tabela 7.13 - Umidade relativa do ar média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição - Julho – Natal - RN

Tabela 7.14 - Temperatura do ar e umidade relativa médias, no período de inverno.

Tabela 7.15 - Estatísticas da temperatura e umidade dos grupos homogêneos de pontos segundo o período

Tabela 7.16 - Valores médios entre os dados de verão e inverno nos grupos

Quadro 7.1 - Modelo de regressão múltipla com Pontos Dummy - Estima a temperatura em função do Ponto - Verão ($R^2 = 89,0\%$)

Quadro 7.2 - Modelo de regressão múltipla com Pontos Dummy - Estima a temperatura em função do Ponto - Inverno ($R^2 = 79,6,0\%$)

Quadro 7.3 - Esquema de ligação dos pontos passo a passo

Quadro 7.4 – Comentários acerca do mapa estrela.

Equação 7.1

Equação 7.2

Equação 7.3

CAPÍTULO 8

Figura 8.1 - Curva de correlação entre a temperatura do ar e o ICR – Verão

Figura 8.2 - Curva de correlação entre a temperatura do ar e o ICR – Inverno

Figura 8.3 – Gráfico do agrupamento segundo os fatores densidade, ICR, área permeável e temperatura do ar média no verão e inverno.

Figura 8.4 – Mapas resultantes da krigagem entre a temperatura média do ar às 5h e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Figura 8.5 – Mapas resultantes da krigagem entre a temperatura média do ar às 13h e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Figura 8.6 – Mapas resultantes da krigagem entre a temperatura média do ar no turno da madrugada e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Figura 8.7 – Mapas resultantes da krigagem entre a temperatura média do ar no turno da manhã e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Figura 8.8 – Mapas resultantes da krigagem entre a temperatura média do ar no turno da tarde e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Figura 8.9 – Mapas resultantes da krigagem entre a temperatura média do ar no turno da noite e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Figura 8.10 – Mapa resultante da krigagem entre a temperatura média do ar em todos os turnos e períodos, e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta.

Tabela 8.1 – Correlações existentes entre as componentes do ICR e a temperatura do ar.

Tabela 8.2 – Valores calculados de ICR por ponto de coleta.

Tabela 8.3 - Correlações do ICR com a temperatura segundo período e turno.

Tabela 8.4 – Cálculo da regressão do ICR com a temperatura do ar - ($R=0,572$)

Tabela 8.5 – Cálculo da regressão do ICR com a temperatura do ar, sem os pontos discrepantes (D,K e P) - ($R=0,743$)

Tabela 8.6 – Valores médios das variáveis que entraram no agrupamento

Quadro 8.1 – Bairros com pontos de coleta de dados por região administrativa

Quadro 8.2 – Bairros com entorno dos pontos de coleta representativos por região administrativa

Equação 8.1

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

RN	Rio Grande do Norte
FAPERN	Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Norte
<i>UCL</i>	<i>Urban Canopy Layer</i>
<i>UBL</i>	<i>Urban Boundary Layer</i>
<i>UCZ</i>	<i>Urban Climate Zone</i>
<i>IAUC</i>	<i>Internacional Association for Urban Climate</i>
EUA	Estados Unidos da América
<i>GPS</i>	<i>Geographical Positioning Systems</i>
<i>UTM</i>	<i>Universal Transverse Mercator</i>
N	Norte
S	Sul
L	Leste
O	Oeste
SE	Sudeste
NE	Nordeste
NO	Noroeste
SO	Sudoeste
RMN	Região Metropolitana de Natal
SM	Salários mínimos
Art.	Artigo
ZPA	Zona de Proteção Ambiental
Av.	Avenida
R.	Rua
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
UNICAMP	Universidade Estadual de Campinas
UFRN	Universidade Federal do Rio Grande do Norte
LACAF	Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada da UNICAMP
LABCON	Laboratório de Conforto Ambiental da UFRN
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Hab.	Habitante
Lat.	Latitude
Long.	Longitude
EST	Estação
EST REF	Estação de Referência
RGB	Padrão <i>Red-Green-Blue</i>
Sen.	Seno
Cos.	Cosseno
DP	Desvio Padrão
Mín.	Mínimo
Máx.	Máximo
ICR	Indicador de Composição de Revestimento horizontal

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	05
2. OBJETIVOS E HIPÓTESES DE PESQUISA	09
2.1. OBJETIVOS.....	09
2.1.1. Objetivo geral	09
2.1.2. Objetivos específicos	09
2.2. JUSTIFICATIVAS.....	09
2.3. HIPÓTESES.....	11
3. REFERENCIAL TEÓRICO.....	13
3.1. CLIMA URBANO E SEUS CONDICIONANTES.....	13
3.1.1. Escalas climáticas	13
3.1.2. Clima urbano	17
3.1.3. Materiais de revestimentos das superfícies horizontais	18
3.2. ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O ASSUNTO.....	25
3.3. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ÁREAS URBANAS.....	29
3.4. QUESTÕES LEGAIS RELATIVAS AO CONFORTO TÉRMICO URBANO....	31
3.4.1. A impermeabilização do solo e sua implicação microclimática	34
4. CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA CIDADE OBJETO DE ESTUDO.....	41
4.1. O CLIMA DA REGIÃO.....	41
4.2. O USO E A OCUPAÇÃO DO SOLO NA CIDADE – QUADRO ATUAL.....	46
4.3. LEGISLAÇÃO MUNICIPAL APLICADA.....	56
5. METODOLOGIA.....	65
5.1. PARÂMETROS TÉRMICOS.....	65
5.1.1. Períodos e horários de medição	66
5.1.2. Variáveis e instrumentos de medição	66
5.1.3. Proteções para os equipamentos e pessoal envolvido	68
5.2. TESTES INICIAIS.....	69
5.2.1. Teste A – Interferência	69
5.2.2. Teste B – Proteções	76
5.2.3. Teste C – Calibração	79
5.3. PARÂMETROS FÍSICO-AMBIENTAIS.....	84
5.3.1. Escolha dos pontos de coleta	84
5.3.2. Caracterização do site padrão	91
5.4. PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL GEO-REFERENCIADA.....	97
5.5. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS.....	101

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS ESPACIAIS: VARIÁVEIS FÍSICAS.....	105
6.1. REGIÃO NORTE.....	106
6.1.1. Entorno do Ponto N.....	106
6.1.2. Entorno do Ponto O.....	106
6.1.3. Entorno do Ponto P.....	106
6.1.4. Entorno do Ponto Q.....	106
6.2. REGIÃO SUL.....	111
6.2.1. Entorno do Ponto A.....	111
6.2.2. Entorno do Ponto B.....	111
6.2.3. Entorno do Ponto C.....	111
6.2.4. Entorno do Ponto D.....	111
6.2.5. Entorno do Ponto E.....	112
6.2.6. Entorno do Ponto F.....	112
6.2.7. Entorno do Ponto G.....	112
6.2.8. Entorno do Ponto K.....	113
6.2.9. Entorno do Ponto EST 03.....	113
6.2.10. Entorno do Ponto EST REF.....	114
6.3. REGIÃO LESTE.....	125
6.3.1. Entorno do Ponto H.....	125
6.3.2. Entorno do Ponto I.....	125
6.3.3. Entorno do Ponto J.....	125
6.3.4. Entorno do Ponto EST 027.....	126
6.4. REGIÃO OESTE.....	131
6.4.1. Entorno do Ponto L.....	131
6.4.2. Entorno do Ponto M.....	131
7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS AMBIENTAIS: VARIÁVEIS CLIMÁTICAS.....	139
7.1. PERÍODO CARACTERÍSTICO DE VERÃO.....	140
7.1.1. Pontos de medição.....	140
7.1.2. Regiões administrativas.....	145
7.1.3. Horários de medição.....	147
7.1.4. Turnos de medição.....	152
7.1.5. Velocidade e direção dos ventos.....	155
7.2. PERÍODO CARACTERÍSTICO DE INVERNO.....	158
7.2.1. Pontos de medição.....	158
7.2.2. Regiões administrativas.....	162
7.2.3. Horários de medição.....	164
7.2.4. Turnos de medição.....	169
7.2.5. Velocidade e direção dos ventos.....	171
7.3. ANÁLISE COMPARATIVA.....	173
7.3.1. Formulação de modelo para variabilidade de temperatura do ar.....	173
7.3.2. Agrupamento de pontos por análise de Cluster.....	179
7.3.3. Análise do mapa-estrela.....	186

8. CONTRIBUIÇÕES PARA LOCALIDADE DE BAIXA LATITUDE COM CLIMA QUENTE E ÚMIDO.....	189
8.1. PROPOSIÇÃO DE PARÂMETROS DE AMENIZAÇÃO CLIMÁTICA PARA REGIÕES DE BAIXA LATITUDE COM CLIMA QUENTE E ÚMIDO.....	189
8.1.1. Indicador de revestimento horizontal.....	192
8.2. A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR NA ÁREA OBJETO DE ESTUDO.....	199
9. CONCLUSÕES.....	209
8.3. COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES.....	209
8.4. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	210
REFERÊNCIAS.....	213
APÊNDICES.....	221
APÊNDICE 1 – Cronograma de atividades para os períodos de medição	221
APÊNDICE 2 – Análise estatística complementar ao teste de calibração	223
APÊNDICE 3 – Tabela coordenadas em UTM para os pontos de coleta	225

1. INTRODUÇÃO

“Cada cidade é única em relação a sua localização geográfica, história, cultura e expressão arquitetônica. Essa diversidade, que faz as viagens tão interessantes, faz o estudo do clima urbano especialmente desafiante”.

(OKE, 2005).

As cidades são organismos extremamente dinâmicos, onde ocorrem interações entre o homem e a natureza estabelecendo complexa diversidade de tipologias morfológicas e relações climáticas, que se tornam evidentes pela formação de microclimas na sua área urbana. A materialidade física da cidade e as atividades dela decorrentes promovem alterações nos balanços energético, térmico e hídrico resultantes, trazendo como consequência modificações importantes nas propriedades físicas e químicas da atmosfera, propiciando assim, a criação de condições climáticas distintas das áreas não urbanizadas (MONTEIRO; MENDONÇA, 2003).

Atualmente há uma necessidade crescente de se desenvolver novas estratégias de planejamento que permitam a continuidade do crescimento das áreas urbanas de forma sustentável para que a população viva num ambiente equilibrado.

Neste sentido, desvendar as causas e efeitos dessas alterações (principalmente térmicas) é um desafio inadiável para os pesquisadores do ambiente construído, uma vez que a qualidade do espaço urbano depende desse conhecimento, e de sua aplicação nos processos de gestão e planejamento das cidades, podendo-se com isso se elevar os níveis de conforto ambiental e reduzir desperdícios de energia.

Contudo, a integração entre planejamento urbano e climatologia é recente e ainda carece de uma linguagem comum entre os pesquisadores, que possibilite a tradução do conhecimento adquirido em propostas concretas adequadas ao clima.

Nos dias de hoje, o urbanismo bioclimático se enquadra no planejamento do desenvolvimento sustentável, cujo objetivo é melhorar a qualidade de vida das pessoas aproveitando ao máximo todos os recursos disponíveis e controlando os efeitos prejudiciais ao meio ambiente em todas as suas escalas (HIGUERAS, 2006).

Sabe-se que os inúmeros padrões de urbanização existentes numa cidade determinam a qualidade térmica dos ambientes que permeia as edificações (a camada intra-urbana), em particular a qualidade das áreas abertas por onde circulam os pedestres. Autores como Spirn (1995) defendem que o sucesso ou fracasso dos espaços públicos está relacionado ao conforto ambiental “experimentado” por essas pessoas nesses ambientes. Dessa forma, a existência de microclimas intra-urbanos é um fator indicador de qualidade do espaço urbano.

No momento em que se elaboram sistematicamente Planos Diretores em muitas cidades do país e há preocupações especiais com as áreas metropolitanas, torna-se absolutamente necessário que os estudos não se atenham somente aos aspectos econômicos, mas tenham ênfase na qualidade ambiental. No entanto, a produção científica da área de pesquisa não tem conseguido penetração a ponto de conseguir promover ações junto ao poder público.

Assim, se realizado de maneira sistemática, o monitoramento da temperatura do ar na cidade, que é uma das variáveis mais alteradas nesse processo de urbanização, pode ser um instrumento eficaz para o diagnóstico e a hierarquização dos parâmetros morfológicos que interferem mais intensamente na formação dos microclimas; princípio que é plenamente aceito na comunidade científica.

Por outro lado, Mills (2006) situa que a maioria dos estudos de campos sobre o assunto foi conduzida em regiões de latitudes médias (especialmente na Europa e América do Norte); e muito poucos trabalhos na África, Ásia ou regiões em desenvolvimento.

Assim, a escolha da cidade de Natal no RN, como área de estudo não é somente para dar continuidade a uma pesquisa pré-existente (COSTA, 2003), mas ocorre principalmente em função da latitude do lugar e da existência de pouquíssimos estudos para regiões de clima quente e úmido.

Essa pesquisa é proposta como contribuição para análise climática dos espaços urbanos abertos, e poderá servir de subsídio para o estudo do conforto térmico dos mesmos; orientando inclusive na elaboração da legislação (especialmente de Planos Diretores).

A tese está dividida em 09 capítulos. O primeiro a introduz; o capítulo 02 aborda os objetivos e justificativas da pesquisa e o 03 apresenta o referencial teórico com a revisão bibliográfica relativa a aspectos do clima e conforto térmico urbano e de sensoriamento remoto em áreas urbanas, apresenta estudos realizados sobre o assunto, além de questões legais.

O capítulo 04 apresenta a área objeto de estudo, a cidade de Natal/RN, quanto ao seu clima, uso e a ocupação do solo e legislação municipal vigente. A metodologia é abordada no capítulo 05 e subdividida em: Parâmetros térmicos, físicos, de classificação digital geo-referenciada e estatísticos; além de apresentar alguns testes que precederam as medições de campo.

O capítulo 06 apresenta e analisa os dados espaciais relativos às variáveis físicas para cada ponto de coleta, resultantes de sua caracterização de uso e ocupação. E o capítulo 07 apresenta e analisa os dados ambientais referentes às variáveis climáticas, por período climático característico de verão e inverno, e comparativo entre os dois; propõe um modelo para variabilidade da temperatura do ar e agrupa os pontos estudados.

O capítulo 08 apresenta algumas contribuições para localidade de baixa latitude com clima quente e úmido, propõe parâmetros para a amenização climática e caracteriza a

espacialização da temperatura do ar na cidade; já o 09 traz as conclusões, comprova as hipóteses de pesquisa e levanta questões para a discussão e sugestões para futuros trabalhos, fazendo uma relação entre os dados espaciais e ambientais.

2 . OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

Neste capítulo são apresentados objetivos e hipóteses para a pesquisa, bem como levantadas as justificativas para o estudo.

2.1. OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo geral

O objetivo geral desta tese é analisar a distribuição da temperatura do ar na área urbana de uma cidade de baixa latitude e clima quente e úmido, através da proposição de uma metodologia de medição em pontos fixos, correlacionando-a com os tipos de revestimento da superfície horizontal (cobertura e piso) existentes; tendo Natal/RN como área objeto de estudo.

2.1.2. Objetivos específicos

- 1- Classificar os diferentes padrões de uso e ocupação do solo (com especial atenção aos tipos de revestimento), encontrados na cidade área objeto de estudo, com o auxílio do sensoriamento remoto;
- 2- Fazer um levantamento de dados de variáveis climáticas (temperatura do ar e umidade relativa do ar) nas quatro regiões administrativas de Natal;
- 3- Caracterizar o comportamento térmico da cidade (distribuição da temperatura do ar);
- 4- Correlacionar a temperatura do ar encontrada com os tipos de revestimento da superfície horizontal (cobertura e piso) existentes;
- 5- Desenvolver uma metodologia de medição em pontos fixos que possa ser aplicada em cidades localizadas em localidades de baixa latitude e clima quente e úmido.

2.2. JUSTIFICATIVAS

A tese relaciona o tipo de revestimento das superfícies horizontais e as mudanças microclimáticas em localidades de baixa latitude com clima quente e úmido, tendo como exemplo a cidade de Natal, capital do Rio Grande do Norte, no Nordeste do Brasil.

Constituindo-se em uma ampliação e desdobramento de pesquisa desenvolvida anteriormente em Costa (2003), a presente investigação justifica-se não só pela localização estratégica da cidade área objeto de estudo (em região de baixa latitude, ainda carente de estudos dessa natureza), mas também pelo seu tipo de clima (quente e úmido) que está presente em grande parte do território nacional. Aliado a isso tem-se o fato de não existir para Natal/RN uma caracterização térmica espacializada, ou seja, um estudo que demonstre espacialmente, por meio de mapas, como se distribui a temperatura do ar na cidade.

Um fator importante a considerar é que também por suas belezas naturais e sua amenidade climática, a cidade objeto de estudo apresenta hoje intensa e crescente atividade turística, tanto nacional quanto internacional, sendo essa uma de suas principais fontes de recursos econômicos. Derivada dessa atividade, ocorre ainda uma forte especulação imobiliária, inclusive com grandes investimentos estrangeiros, o que algumas vezes têm colocado em choque os interesses econômicos e a questão ambiental, principalmente no que diz respeito à ocupação otimizada do solo urbano, bem como da faixa litorânea.

Em regiões tropicais de baixa latitude, em especial as cidades de clima quente e úmido, o desconforto térmico causado pelos efeitos da urbanização e do crescimento populacional reflete-se em proporções maiores. Portanto, torna-se importante a ampliação dos conhecimentos na área de Climatologia Urbana de modo a subsidiar o planejamento e o desenho das cidades para a melhoria das condições de conforto térmico e de salubridade nos espaços urbanos (BARBIRATO; BARBIRATO; ALMEIDA, 2006).

Nesse sentido, os resultados dessa tese fornecem subsídios para os planejadores urbanos e para a revisão da própria legislação vigente na busca por um equilíbrio ambiental em meio aos processos de ocupação urbana.

Além disso, a metodologia proposta é inovadora, já que trata de uma tentativa de agregar alguns procedimentos adequados para a medição em pontos fixos, e pode ser aplicada em regiões de latitudes semelhantes, muito embora sirva também para outras latitudes, e para cidades de mesmo tipo de clima.

Outra contribuição relevante diz respeito às parcerias estabelecidas para o andamento do trabalho, que permitiram aproximar profissionais de outras áreas dando à tese um caráter interdisciplinar; possibilitando ainda que alguns resultados sejam aproveitados pelos colaboradores envolvidos e façam parte de um estudo maior, envolvendo a Região Metropolitana de Natal, o Projeto SIG Natal, financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa no Rio Grande do Norte – FAPERN¹; uma vez que gera um banco de dados físico-ambientais que caracteriza a cidade de Natal em termos térmicos.

2.3. HIPÓTESES

Como hipóteses a serem testadas tem-se que:

- a) A temperatura do ar não se comporta de maneira uniforme em todos os pontos de coleta espalhados pela cidade e isso decorre do tipo de ocupação presente no seu entorno;
- b) Os revestimentos das superfícies horizontais existentes na cidade (cobertura e piso) influenciam na temperatura do ar;
- c) Áreas urbanas com menor porcentagem de revestimento permeável apresentam também temperaturas do ar mais elevadas.

¹ O projeto SIG Natal é o Projeto de Desenvolvimento Científico Regional (DCR) da bolsista Cilene Gomes, que ainda está em andamento e objetiva contribuir para a concepção e implementação de um sistema de informação geo-referenciada para o município de Natal e sua região metropolitana.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Este capítulo traz um levantamento documental atualizado para algumas questões que permeiam a climatologia urbana e o sensoriamento remoto a ela aplicado, abordados pelo ponto de vista do conforto ambiental. Foi dividido em 04 partes: a primeira trata do clima urbano, definindo-o e identificando os fatores da urbanização que o condicionam; a segunda parte apresenta estudos recentes com seus aspectos metodológicos e conclusões enfatizados; a terceira introduz conceitos relativos ao sensoriamento remoto aplicado a áreas urbanas; e a última levanta algumas questões legais relativas ao conforto térmico urbano.

3.1. CLIMA URBANO E SEUS CONDICIONANTES

3.1.1. Escalas climáticas

Um estudo climático pode, segundo Oke (2004), se situar nas escalas: micro, local e meso (Figura 3.1). A micro-escala, na qual se insere este estudo, considera que toda superfície ou objeto detém seu próprio microclima. Nela a temperatura das superfícies pode variar em muitos graus em pequenas distâncias e a natureza dos elementos meteorológicos está condicionada fundamentalmente pelos fatores do entorno imediato muito mais que pelos fatores locais. Os estudos microclimáticos comparam o comportamento do clima em diferentes pontos do tecido urbano; trabalhando com dados diários e horários durante períodos de tempo de episódios típicos.

A escala local equivale ao clima também chamado “local”. Nesta escala, trabalha-se com dados de 30 anos de médias climáticas e com parâmetros da evolução urbana. Em geral, estes dados são fornecidos por estações meteorológicas ou aeroportos localizados no perímetro da malha urbana.

A escala mesoclimática equivale ao clima regional que é decorrente, sobretudo, da formação topográfica e da latitude. Recebe influência das massas térmicas, que, além de suas características originais, durante sua trajetória recebem influência de outras massas térmicas e do mar. Estes dados normalmente são fornecidos por estações

meteorológicas e descrevem o clima genérico de um estado ou de um país, com detalhes de insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura e umidade.

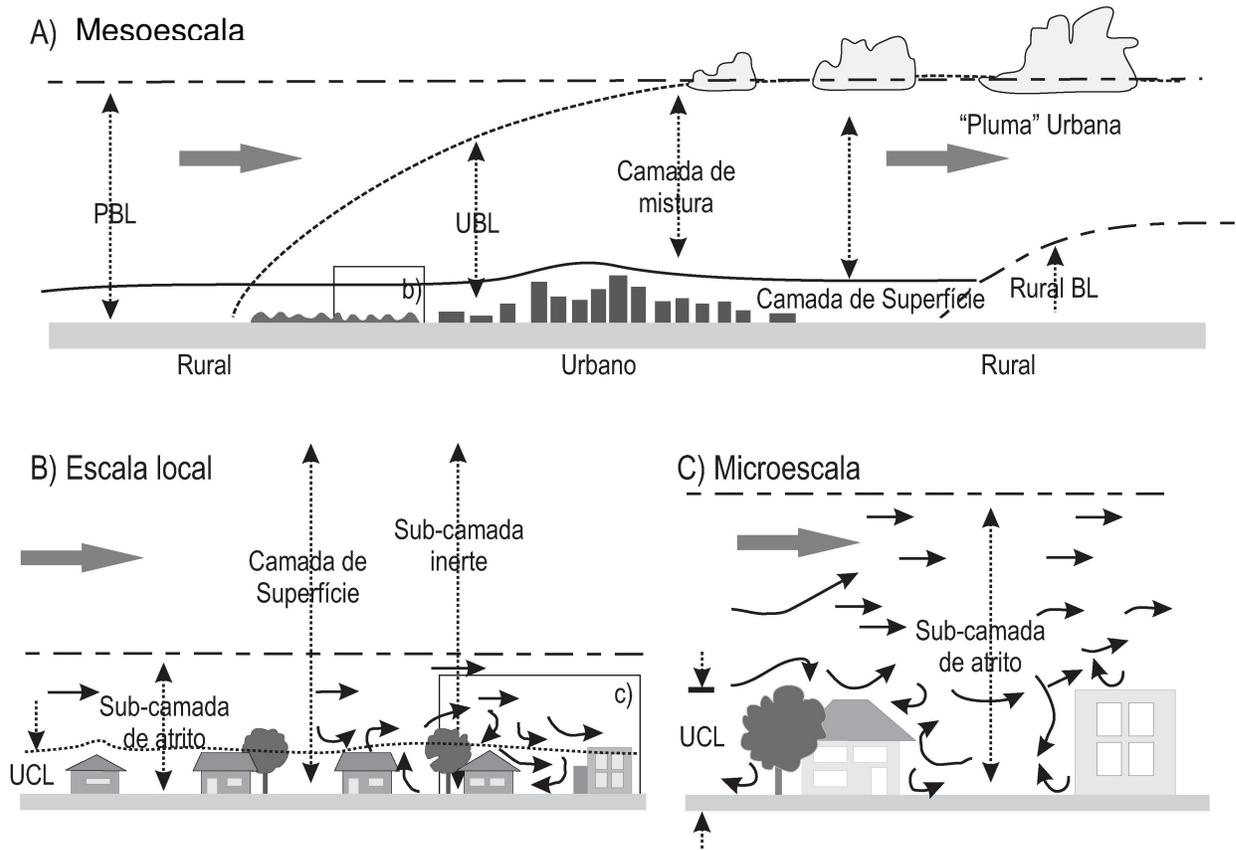


Figura 3.1 – Esquema das escalas climáticas

Fonte: Adaptado de Oke (2004).

No âmbito da micro-escala localiza-se a *Urban Canopy Layer* – UCL, que segundo Grimmond (2006) é definida como a camada que inclui uma variedade de edifícios e árvores, até o nível das coberturas, ocorre nas ruas (*canyons*) entre os edifícios - produzida pelos processos microclimáticos. Já a *Urban Boundary Layer* - UBL é um fenômeno local de média escala cujas características são determinadas parcialmente pela presença da malha urbana (OKE, 1987). A UBL é a porção acima da UCL e suas características são modificadas pela presença da cidade.

Georgakis; Santamouris (2006) também definem que o ar que circula do ambiente rural para o urbano ajusta novas condições limites definidas pela cidade, cujo resultado é chamado *'obstructed sub-layer'* ou *urban canopy sub-layer*, que se estende da superfície do solo até acima dos edifícios, enquanto que a *'free surface layer'* ou *UBL*, fica acima do topo dos telhados. A *canopy sub-layer* tem características próprias de circulação e é determinada principalmente pela interação entre a circulação e os efeitos locais únicos de topografia, geometria e dimensões das edificações, ruas, tráfego e outros fatores como a presença de árvores.

Oke (2004) apresenta ainda outra definição: Zona Climática Urbana ou *Urban Climate Zone – UCZ*. Sua importância não está na sua absoluta precisão em descrever o terreno, mas na sua habilidade em classificar áreas padrões nos bairros, que é a mesma capacidade de modificar o clima local e identificar potenciais transições nas diferentes zonas. Ele divide a *UCZ* conforme se observa na figura 3.2.

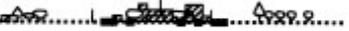
Zona Climática Urbana (UCZ)	Imagem	Classe de rugosidade	Relação H/W	% construída (impermeável)
1. Desenvolvimento urbano intenso com destacado grupo de edifícios altos revestidos. Ex.: torres da <i>downtown</i>		8	>2	>90
2. Intenso desenvolvimento com alta densidade urbana. Edifícios de 2-5 andares, separados ou próximos, de tijolo ou pedra. Ex.: centro antigo		7	1-2.5	>85
3. Altura desenvolvida, média densidade urbana com grupos próximos de casas, comércio e apartamentos. Ex: Moradia urbana		7	0.5-1.5	70-85
4. Alto desenvolvimento, baixa densidade com grandes e baixos edifícios e estacionamentos pavimentados. Ex: Shoppings, supermercados.		5	0.05-0.2	70-95
5. Médio desenvolvimento, baixa densidade suburbana, com casas de 1-2 andares. Ex.: Residências suburbanas		6	0.2-0.6 Acima de >1 com árvores	35-65
6. Uso misto com largos edifícios na paisagem aberta. Ex.: Instituições como hospitais, universidades e aeroportos		5	0.1-0.5 Depende das árvores	<40
7. Desenvolvimento semi-rural com casas dispersas na propriedade. Ex.: Fazendas, propriedades.		4	>0.05, Depende das árvores	<10

Figura 3.2 – Classificação de Oke para os UCZ.

Fonte: Adaptado de Oke (2005).

3.1.2. Clima urbano

O clima urbano é um sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO, 2003). Ele ocorre na Zona Climática Urbana, correspondendo às características do clima original da região onde se assenta a cidade, modificado localmente pela ação antrópica através da construção de estruturas artificiais. Suas principais características consistem: no aumento da temperatura, na diminuição da umidade relativa, em uma maior nebulosidade e precipitação, e uma diminuição da velocidade do vento além do aumento da turbulência (GARCÍA, 1999).

O centro da urbanização pelos seus atributos de massa de edificações, desenvolvimento vertical, grau de impermeabilização, concentração de tráfego de veículos e pessoas, aparelhagem de condicionamento interno de ar, dentre outros, configura-se como uma parte importante na estrutura do chamado Sistema Clima Urbano. Para Givoni (1989) a temperatura externa, a velocidade do vento e a radiação solar que cada edifício individualmente é exposto não são conseqüências do clima regional e sim do microclima, modificado pela estrutura da cidade, principalmente pelo entorno em que está situado.

Embora os componentes microclimáticos que mais podem ser modificados pelo desenho da paisagem sejam o vento, a radiação e a precipitação (BROWN; GILLESPIE, 1995), a principal evidência do processo de urbanização nas modificações climáticas é a chamada Ilha de Calor, que apresenta temperaturas mais altas que o entorno menos edificado. A ilha de calor representa o fenômeno mais significativo do clima urbano e sua intensidade depende das condições micro e meso-climáticas locais de cada cidade.

Vários estudiosos do clima urbano apontam causas da formação desse fenômeno (JAUREGUI, 1984 e OKE, 1982):

- a maior capacidade de acumular calor em função das propriedades dos materiais de construção;

- a redução do fluxo de calor latente e o aumento do calor sensível em função da reduzida superfície líquida e das áreas verdes na área urbana, resultando na diminuição da umidade e menor evaporação;
- a redução do fator de visão do céu por elementos urbanos (edifícios) resultando em menores perdas de radiação de ondas longas nas ruas e *canyons* urbanos contribuindo para o aumento das inundações urbanas provocadas, em parte, pela impermeabilização do solo e de episódios de poluição atmosférica, uma vez que a geometria dos prédios produz o aprisionamento do ar e uma superfície de grande aspereza.

Na Alemanha, Katzschner; Bosch; Rottgen (2002) definiram o clima urbano ideal como sendo uma situação atmosférica dentro da *UCL* com uma grande variação no tempo e no espaço para desenvolver condições térmicas não homogêneas para o homem em uma distância de 150m. Deve ser livre de poluição do ar e de estresse térmico por meio de sombreamento e ventilação (áreas tropicais) ou proteção dos ventos (climas moderados e frios).

3.1.3. Materiais de revestimento das superfícies urbanas

A quantidade de energia solar que cada ponto da superfície recebe é determinada pela latitude, o principal fator geográfico no meio que expressa a distância ao local a partir da linha do Equador. Já a capacidade de armazenamento de calor varia segundo a natureza do solo (BARDOU; ARZOUMANIAN, 1984).

Em qualquer superfície revestida de material com grande inércia térmica o calor é recebido durante o dia e se propaga em profundidade, o que permite que se dissipe lentamente durante a noite. Já em um solo de escassa condutividade térmica, o ar esquenta durante o dia e não há armazenamento, o que faz com que a noite haja menos calor.

No clima úmido, muita energia é usada na evaporação, e menos no aquecimento de superfícies e do ar. As áreas vegetadas e os corpos d'água urbanos influenciam nas

trocas de calor latente e na transformação da radiação solar absorvida, que em áreas urbanas sofrem uma grande diminuição, em favor de trocas de calor sensível, devido ao processo sistemático de impermeabilização do solo, canalização das águas superficiais e diminuição da cobertura vegetal.

Ocorre ainda que as superfícies urbanas, formadas por materiais impermeáveis têm reduzida capacidade de retenção de água. As águas pluviais escoam rapidamente por paredes e ruas em direção às galerias. Assim, há menos oportunidade de evaporação e a energia calorífica fica disponível para aquecer o ar (LOWRY, 1967).

Em se tratando de áreas verdes, sabe-se que interferem na composição do microclima de forma parecida com as massas d'água. Absorvem energia em forma de calor e a utiliza no processo de fotossíntese liberando energia em forma de oxigênio e gás-carbônico, renovando o ar atmosférico e produzindo vapor d'água, que umidifica o ar.

Segundo Santamouris (2001) a evapotranspiração é o mecanismo pelo qual as árvores contribuem para a diminuição da amplitude térmica urbana. A incidência do vento sob a arborização reduz as diferenças de temperatura do ar e umidade relativa entre as áreas sombreadas e ensolaradas, evidenciando assim o papel importante do sombreamento na caracterização do microclima urbano, e na melhora das condições ambientais adversas e do conforto humano. Neste sentido, a vegetação ajuda a atenuar condições extremas de frio ou de calor intenso (MASCARÓ, 1996).

O fator que mais contribui para o aumento da temperatura do ar é tipo de revestimento das superfícies construídas/pavimentadas (MIZUNO ET AL, 1990). Para eles o raio de influência das condições de uso do solo ao redor de um ponto varia de 50m a 200m (micro escala) a 1,5km (escala local). Esses mesmos autores ao estudar os efeitos do uso do solo na distribuição horizontal das temperaturas em ambientes urbanos, concluíram que somente uma superfície gramada sem o fator de sombreamento provocado pelas árvores, pouco contribui para a redução de temperaturas.

Já Givoni (1989) afirma que em áreas densamente ocupadas a maior parte das trocas por radiação se dá nas superfícies das coberturas e não no nível do solo ou nos fechamentos verticais.

Assim, o papel dos materiais de construção é decisivo no ganho térmico. Sua performance é determinada pelas características óticas e térmicas, sendo o albedo e a emissividade seus mais significantes fatores (DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004). Albedo é uma medida da refletância solar de um corpo ou de uma superfície. É a razão entre a radiação electromagnética reflectida e a quantidade incidente. A proporção depende da frequência da radiação considerada: se não estiver especificada, refere-se a uma média ao longo do espectro solar. Também depende do ângulo de incidência da radiação. O albedo pode variar de 0 a 1, quando não é expresso em percentagem

A emissividade de um corpo se determina pela relação entre a energia irradiada pelo mesmo e aquela irradiada pelo corpo negro a igual temperatura. Seus valores estão compreendidos entre 0 e 1 e dependem tanto da natureza do corpo quanto de sua temperatura.

A percentagem de energia refletida de volta para a atmosfera, depende das características do material e da cobertura da superfície, assim, mais radiação será absorvida e mais calor será emitido pela superfície dependendo do material empregado. A figura 3.3 e a tabela 3.1 apresentam alguns exemplos.



Figura 3.3 – Albedos de materiais urbanos.

Fonte: HEAT ISLAND GROUP. Adaptado de <http://www.epa.gov/heatisland/>. Acessado em 10/maio/2006.

Tabela 3.1 – Albedos de diversos materiais encontrados na área urbana

CLASSE	MATERIAL	ALBEDO	EMISSIV.
SOLOS	<i>Úmido escuro cultivado</i>	5-15	-
	<i>Areia seca</i>	25-35	84-91
	<i>Areia molhada</i>	20-30	-
VEGETAÇÃO	<i>Gramma</i>	20-30	90-95
	<i>Floresta coníferas</i>	5-16	97-98
ÁGUA	<i>c/ Ângulo solar alto</i>	5	92-97
	<i>c/ Ângulo solar baixo</i>	95	92-97
SUPERFÍCIES URBANAS	<i>Asfalto</i>	5-15 (*5-20)	95
	<i>Concreto</i>	10-50 (*10-35)	71-90
	<i>Tijolo</i>	20-50 (*20-40)	90-92
	<i>Pedra</i>	20-35	85-95
	<i>Cascalho</i>	8-18	92
	<i>Cerâmica</i>	10-35	90
	<i>Ardósia</i>	10	90
	<i>Palha</i>	15-20	-
	<i>Ferro conrrugado</i>	10-16	13-28
	<i>Pintura branca</i>	50-90	85-95
	<i>Pintura vermelha/marrom /verde</i>	20-35	85-95
	<i>Pintura preta</i>	2-15	90-98

Fonte: Adaptado de Brown; Gillespie (1995)/ * Valores de Oke (1987)

Robinette apud Santamouris (2001) encontrou temperaturas superficiais de 38^oC (no gramado), 61^oC (no asfalto) e 73^oC (gramado artificial) e o próprio Santamouris (2001) encontrou temperaturas próximas de 63^oC (asfalto) e 45^oC (pavimentos brancos).

A presença de superfícies escuras, particularmente telhados e pavimentos, absorvem a radiação solar durante o dia e re-irradiam o calor à noite; além disso, a substituição do solo natural e da vegetação por materiais de construção reduzem o potencial de diminuição da temperatura do ar por evapotranspiração e sombra (SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006).

Nesse sentido, o emprego de superfícies urbanas com alto albedo é uma alternativa para a redução das temperaturas de verão (SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006). O uso de materiais apropriados, chamados materiais “frios” pode gerar condições de conforto durante o período. Eles se caracterizam pela alta reflectividade à radiação de onda curta e alto fator de emissividade a radiação de onda longa; e reduzem a radiação solar absorvida pelas envoltórias das edificações e estruturas urbanas deixando suas superfícies mais frias.

O uso de materiais “frios” no desenvolvimento do planejamento urbano pode contribuir para diminuir as temperaturas superficiais que afetam as trocas térmicas com o ar, como preconizam Bretz; Akbari (1997). Os materiais “frios” comercialmente encontrados incluem: revestimentos de telhado (elastômero, acrílico, dentre outros), membranas “*cool single ply*”, telhas reflexivas e coberturas metálicas (SYNNEFA; SANTAMOURIS; LIVADA, 2006).

As características físicas do material que afetam o albedo são a cor e a textura da superfície. Partindo desse princípio, Doulos; Santamouris; Livada (2004) concluíram que materiais “frios” podem ser caracterizados como possuidores de superfície clara e lisa, sejam mármore, mosaico e/ou pedra; já os materiais “quentes” são aqueles rugosos e escuros, como o asfalto, etc.

Superfícies com temperaturas baixas contribuem para a diminuição da temperatura do ar ambiente; e essas reduções podem ter impactos significantes na consumo de energia das áreas urbanas, fato importante para o clima quente e úmido (DOULOS; SANTAMOURIS; LIVADA, 2004). Justamente por isso, materiais e pinturas usados em

áreas de baixa latitude deveriam ser escolhidos para aumentar a reflexão, e o arranjo geométrico dos edifícios, desenhado para minimizar a penetração do sol da tarde nas ruas.

Já em relação à emissividade, Oke et al. (1991) apud Doulos, Santamouris; Livada (2004) afirmam que a influência é menor. Quando a emissividade cresce de 0.85 para 1.0 há um pequeno aumento de 0.4°C na temperatura do ar entre o ambiente urbano e o rural para cada *canyon*.

Há, contudo, uma necessidade estética/ preferência de se utilizar produtos que não sejam brancos, por isso uma palheta de revestimentos frios não brancos também está sendo desenvolvida, e em geral o albedo comercialmente aceitável para produtos de cobertura cresceu (de 0.05-0.25 para 0.30-0.45), de acordo com Akbari et al. (2005).

Aliado a isso, Kinouchi et al. (2004) apud Synnefa; Santamouris; Apostolakis (s.d.) desenvolveu um novo tipo de pavimento que combina alto albedo com baixo brilho, baseado na aplicação de pintura no asfalto convencional. Medições de campo mostraram que a temperatura máxima da superfície pintada foi 15°C menor que a convencional.

Enfim, o uso de materiais com aumento do albedo nas envoltórias dos edifícios e no ambiente urbano gera benefícios diretos na escala da cidade, que incluem: a redução das temperaturas superficiais e a diminuição da necessidade de demanda de energia para resfriamento no verão (para condicionamento de ar), e o aumento do conforto térmico de edifícios não condicionados artificialmente (AKBARI et al., 1997), além do aumento da contribuição da refletância solar na redução da temperatura do ar e na transferência de calor.

Na seqüência são apresentados alguns importantes estudos realizados na área.

3.2. ESTUDOS REALIZADOS SOBRE O ASSUNTO

A pesquisa do clima urbano iniciou-se com um estudo de Luke Howard para Londres em 1818 (CHANDLER, 1965), e desde então vem sendo desenvolvida (Landsberg, 1981 e Arnfield, 2003 apud Oke, 2005), sendo contudo mais recente nos países de clima tropical. De acordo com Oke (2005), os modos de investigação ou a prática empregada neste tipo de estudo podem envolver:

- conceitualização,
- elaboração de teorias,
- observações de campo,
- modelagem (estatística, de escala e numérica),
- validação de modelos,
- aplicação no design urbano e no planejamento,
- impactos de assentamento (pós-implementação),
- programa de desenvolvimento e modificação.

Algumas dessas vertentes já estão largamente estudadas, no entanto, as quatro últimas ainda têm muito a desenvolver. Assim, o autor levanta a necessidade de se padronizar não só procedimentos como também nomenclaturas, métodos de trabalho e análise, de forma que a transmissão da tecnologia desenvolvida possa ser melhor compreendida e aproveitada para as diversas realidades.

O advento da Associação Internacional de Clima Urbano – IAUC, com sede em Londres, representa um esforço na divulgação e sistematização de pesquisas na área. A complexidade do assunto se agrava pela falta de uma linguagem comum que resulte em propostas de planejamento e desenho urbano adequados ao clima, o que poderia trazer como benefícios principais o conforto térmico para os habitantes e a redução no consumo de energia.

Por outro lado, climatologistas urbanos demonstram interesse em estudos para cidades tropicais em países em desenvolvimento embora lamentem a lacuna de interação com o planejamento urbano. Essa linha de pesquisa tem por base estudos dos

pesquisadores Oke, Landsberg e Chandler; e mais recentemente da escola alemã de planejamento, da qual Katzschner (1997) faz parte.

Diversas metodologias são aplicadas para realizar estudos sobre as variações climáticas urbanas, dentre elas combinações entre dados das estações meteorológicas ou medidas em pontos fixos, medidas móveis em transectos, sensoriamento remoto e modelos matemáticos.

A medição em pontos fixos (técnica que foi utilizada nesta pesquisa) correlacionada com diversos parâmetros urbanos foi analisada por diversos autores em cidades brasileiras, dentre os quais destacam-se: Souza (1996) em São Carlos/SP; Katzschner et al. (1999) em Salvador/BA; Duarte (2000) em Cuiabá/MT; Pezzuto; Labaki; Francisco Filho (2005) em Campinas/SP; e Costa (2003) em Natal/RN. Já no âmbito internacional têm-se trabalhos bastante atuais, como Bai; Mikami (2006), Heisler et al. (2006) e Drebs Vadja, Tuomenvista (2006), dentre outros.

Em 1990 Sezerino; Monteiro (1990) introduziram no Brasil o conceito de campo térmico urbano como sendo um fenômeno de extensão tanto noturna quanto diurna, útil na percepção das mudanças de temperatura do ar no recinto urbano. A experiência presta-se a uma abordagem de conforto ambiental, mas demonstra bem que a simples “plotagem” das variáveis do clima sobre a malha urbana tanto em projeção horizontal quanto vertical não produzem informações suficientemente aplicáveis ao planejamento urbano, a não ser quando associadas a uma classificação de uso do solo.

Oke (2004) concorda quando afirma que os mais importantes fatores da estrutura urbana são: dimensões dos edifícios e espaços entre eles, largura e espaçamento das ruas, cobertura do solo (edificações, pavimentações, água, solo exposto), tecido urbano (construído e materiais naturais) e o metabolismo urbano (calor, água e poluentes advindos da atividade humana).

Barbirato (1998) estudando Maceió/AL observou pequenas alterações da temperatura do ar em valores absolutos, entre áreas urbanas de morfologias distintas (principalmente após o pôr-do-sol) o que lhe permitiu concluir que há pouca influência da estrutura vertical urbana em regiões de altas umidades relativas. A autora analisou o ambiente térmico da cidade através de medições com transectos móveis de temperatura do ar em 03 áreas com diferentes configurações de uso do solo, aplicou um modelo de balanço de energia unidimensional e o avaliou através da correlação entre os valores observados e calculados relativos a áreas urbanas distintas.

Já Serra (1987) e Assis (2000) acreditam que a baixa correlação entre a forma urbana e a temperatura do ar em cidades litorâneas se deve à ventilação mais abundante e forte nessa região, com incidência típica dos ventos alísios (provenientes do mar). Alguns estudos revelaram que a urbanização altera os escoamentos do vento, elevando a camada limite atmosférica e reduzindo a velocidade próxima da superfície (CHANDLER, 1976), efeito que é potencializado quando se aumenta a rugosidade da superfície.

Contudo, estudos realizados em algumas cidades litorâneas como Salvador (SAMPAIO, 1981), João Pessoa (GONÇALVES DA SILVA, 1999) e Rio de Janeiro (CORBELLA; YANNAS, 2003; SOUZA E SILVA, 2003), indicam que há aí uma relação mais complexa, em que a forma urbana (entendida como orientação, dimensões e organização das edificações no espaço) condiciona a ventilação, que, por conseguinte, influencia diferentemente o comportamento térmico de uma determinada parcela urbana. A complexidade do sistema clima urbano indica, em parte, porque Sampaio (1981) não identificou correlações significativas entre a forma urbana e a temperatura do ar em Salvador, e porque Corbella; Yannas (2003) e Souza e Silva (2003) as encontraram no Rio de Janeiro.

Também no Brasil, só que para cidades de clima tropical continental, Duarte (2000) estudou os microclimas urbanos e partiu do princípio da existência da correlação entre aqueles e a ocupação do solo, com o objetivo de medir em termos numéricos a

correlação entre a temperatura do ar e algumas variáveis de planejamento. Os resultados mostram uma correlação positiva para a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamento, e negativa para arborização e corpos d'água, e a autora chega a propor um índice, parâmetro relacionando densidade construída, arborização e superfícies d'água em áreas urbanizadas.

Do ponto de vista do planejamento urbano, considerando a percepção humana do conforto térmico, as temperaturas do ar são mais significativas que as temperaturas superficiais. Alguns estudos, conforme afirma Assis (1990) mostraram que o fato de haver uma forte relação entre as temperaturas superficiais e a morfologia urbana não significa que haverá também uma forte correlação entre as temperaturas do ar e a forma da cidade.

Miller-Chagas; Paul (1980) verificaram que para uma cidade de topografia plana na França os principais fatores de modificação dos aportes solares na área urbana foram o tipo de céu, as diferentes configurações do ambiente construído e o tipo de revestimento do solo.

Estudos realizados por Luxmoore; Jayasinghe; Mahendran (2005) indicaram que superfícies pavimentadas aquecem o ar do entorno tanto a noite quanto de dia. Entretanto, a vegetação age de forma diferente por causa da evapotranspiração: mitiga efeitos da ilha de calor sem aquecer o ar.

Heisler et al. (2006) encontraram que o tipo de recobrimento nas áreas urbanas tem uma influência decisiva na temperatura do ar, bem como a topografia e a estabilidade atmosférica. Variáveis climáticas foram continuamente medidas em 05 pontos próximos da cidade de Baltimore, EUA com características físicas distintas, a 1,5m de altura; e correlacionadas com o tipo de recobrimento das áreas.

Já Cheung, Azar, Fisherow (2006) encontraram que a temperatura radiométrica aumenta com a superfície impermeável, com a relação altura/largura do *canyon* e a

área coberta; e decresce com a superfície vegetada/ solo exposto e quantidade de árvores. Eles também caracterizaram o solo em fração permeável e fração impermeável, para um raio de 30m ao redor do ponto de coleta.

Por fim, Kiyota et al (2006) estudaram Hiroshima no Japão e propõem uma análise de regressão múltipla para a relação entre cobertura do solo e temperatura do ar. Eles analisaram um raio de 250m ao redor de pontos considerando situações de calma, quando há uma influência microclimática da cobertura natural do solo (especialmente a vegetação) diminuindo a temperatura do ar; e situações de brisa marítima, quando ocorre uma influência meso-climática e é mais frio próximo da costa.

Técnicas de sensoriamento remoto podem ser úteis e estão sendo bastante utilizadas nas pesquisas na área, como está explicado a seguir.

3.3. SENSORIAMENTO REMOTO APLICADO A ÁREAS URBANAS

O uso de imagens de satélite obtidas por sensoriamento remoto para o estudo do clima urbano vem sendo uma técnica bastante utilizada (LOMBARDO, 1985 e FARIA, 2005) uma vez que permite estabelecer relações dinâmicas sobre a ocupação do solo e o campo térmico, servindo de subsídio e ferramenta para o planejamento urbano.

O sensoriamento remoto é a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados da superfície terrestre, através da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície; e o espectro eletromagnético representa a distribuição da radiação eletromagnética por regiões, segundo o comprimento de onda e a frequência.

Uma das leis em que se baseia esse tipo de estudo é a Lei de Plank que estabeleceu o modelo da distribuição espectral da radiação de onda longa; e diz que quanto maior a temperatura absoluta de um corpo, menores são os comprimentos de onda da radiação emitida. Assim, se o sensor capta a emissão de fótons de um alvo, ou seja, sua emissividade, é possível então determinar a sua temperatura. O comprimento de onda

correspondente ao pico da radiação emitida é inversamente proporcional à temperatura absoluta T (CAMPBELL; NORMA, 1998).

Como os objetos presentes na superfície terrestre como a vegetação, a água e o solo refletem, absorvem e transmitem radiação eletromagnética em proporções que variam com o comprimento de onda, de acordo com suas características biológicas e físico-químicas é possível, em função dessas variações, se distinguir os objetos da superfície terrestre nas imagens de sensores remotos, que variam do preto (quando refletem pouca energia) ao branco (quando refletem muita energia). A interpretação de imagens pode-se dar pelos seguintes elementos: tonalidade/cor, textura, tamanho, forma, sombra, altura, padrão e localização (FLORENZANO, 2002).

Grimmond (2006) complementa que dados espaciais servem para caracterização dos parâmetros físicos fundamentais de um local de medição ou para prover parâmetros importantes para modelos de clima urbano, como por exemplo o albedo e a emissividade. O uso do GPS (*Geographical Positioning Systems*) permite local espacialmente os pontos de coleta, ajudando nessa caracterização do ambiente.

Contudo, Iwai (2003) ressalva que as áreas urbanas apresentam características que tornam complexa a sua classificação, pois não apresentam continuidade nem homogeneidade. São áreas formadas por diversos materiais que refletem ou irradiam a energia eletromagnética de maneiras diversas apresentando grande amplitude espectral e altas frequências espaciais dificilmente separáveis. Essa heterogeneidade espectral é devida à composição dos alvos, que são formados por diversos materiais: concreto, asfalto, telhados com cerâmica, fibrocimento, solo exposto, áreas verdes, dentre outros.

Na metodologia são detalhadas as técnicas de geoprocessamento utilizadas na pesquisa.

3.4. QUESTÕES LEGAIS RELATIVAS AO CONFORTO TÉRMICO URBANO

As decisões de planejamento tornaram-se aspectos chave na sustentabilidade das áreas urbanas, em virtude da urbanização (MILLS, 2006). O conceito de desenvolvimento sustentável emergiu durante as discussões realizadas no início dos anos 70 e segundo Bruntland (1987) tornou-se conhecido como: *"Desenvolvimento econômico e social que atenda as necessidades da geração atual sem comprometer a habilidade das gerações futuras atenderem a suas próprias necessidades."*

Esta busca de equilíbrio entre o que é socialmente desejável, economicamente viável e ecologicamente sustentável é usualmente descrita em função da chamada *"triple bottom line"*, que congrega as dimensões ambiental, social, e econômica do desenvolvimento sustentável (SILVA, 2003).

Para a autora o setor de construção civil tem uma importância significativa no atendimento das metas de desenvolvimento sustentável estabelecidas para qualquer país, uma vez que representa uma das atividades humanas com maior impacto sobre o meio ambiente. Como já foi visto, edifícios e obras civis alteram a natureza, a função e a aparência de áreas urbanas e rurais, causando-lhe diversos impactos.

A inclusão de princípios de sustentabilidade nos Planos Diretores é uma oportunidade para o conhecimento climático estar no centro do processo de planejamento urbano (MILLS, 2006). Não obstante é preciso ter cuidado, pois como afirmam Evans; Schiller (1996) os códigos de edificações por terem uma natureza restritiva, frequentemente direcionam para uma ênfase no que não é permitido ao invés de dedicar-se ao tipo de desenvolvimento desejável. Assim, acabam evitando abusos, mas não garantem boas soluções.

Uma distinção útil pode ser feita na escala de implementação das decisões urbanas. O quadro 3.1 mostra que a aplicação de ferramentas em cada escala tem um impacto climático correspondente.

Quadro 3.1 – Objetivos de planejamento e impactos correspondentes.

Objetivo	Impactos	Limites		
		Edifícios	Grupos de edifícios	Assentamentos
Conforto Interno	Edifícios	Localização Materiais Design (forma, orientação, etc.)	Acesso a luz do sol e vento Qualidade do ar	Códigos de obras
Conforto Externo e saúde	Grupos de edifícios	Mudanças no clima local Emissões Materiais de superfície Dimensões dos edifícios – Interferência da ventilação e áreas sombreadas	Localização do edifício Paisagem externa Materiais e superfície Dimensões da rua e orientação	Orientações para: Densidades, alturas, usos do solo e espaços verdes
Uso de energia/ Qualidade do ar/ Proteção de calamidades	Assentamentos	Eficiência energética Qualidade do ar Efeito climático urbano	Modo e intensidade do fluxo de vento Eficiência energética Qualidade do ar Efeito climático urbano	Zoneamento Extensões e formas gerais Política de transporte

Fonte: Adaptado de Mills (2006)

Analisando o quadro vê-se que para o conforto externo é necessário se observar grupos de edifícios considerando: densidades, alturas, usos do solo e espaços verdes.

Este trabalho pretende deter-se no tipo de revestimento do solo e seu rebatimento climático. Observando-se a legislação, a permeabilidade do solo proporciona que em um único indicador se agregue diversos parâmetros significativos para o controle e limite da expansão urbana com o objetivo da sustentabilidade.

Para Oke (2005) a caracterização do tipo de revestimento (recobrimento) das superfícies está relacionada com o grau de permeabilidade (% de área não construída da mesma); assim, tem-se que as superfícies construídas e as não construídas podem ser entendidas também como superfícies “impermeáveis” e “permeáveis”, respectivamente.

A permeabilidade do solo constitui-se então num dos atributos morfológicos condicionantes do clima urbano e da melhoria das condições microclimáticas dos diversos espaços que formam as cidades. Por outro lado, de acordo com García (1999) a impermeabilização do solo das cidades, através das superfícies edificadas e dos pavimentos das ruas, faz com que a evacuação da água de precipitação seja muito rápida, e por haver poucas superfícies com solo natural e vegetação, a evapotranspiração seja reduzida. A impermeabilização da superfície do solo urbano ocasiona ainda a ocorrência de inundações (OLIVEIRA, 1988).

Como o material das superfícies urbanas tem usualmente grande capacidade térmica, seu potencial de armazenar energia é maior que o das superfícies rurais e, portanto, é maior também seu potencial de aumentar a temperatura noturna do ar através da irradiação de energia acumulada.

Em regiões quente-úmidas o incremento com superfícies d'água não é recomendável devido ao aumento da umidade relativa causado por aquelas. Nesses casos para se amenizar o clima é preferível se utilizar da vegetação para sombreamento (sem obstrução da ventilação na altura dos ocupantes).

Oke (1976) num estudo para Montreal afirma que quando se tem uma área com 20% de superfície verde, a energia radiante é utilizada predominantemente nos processos de evapotranspiração e não para aquecer o ar. Na tese de Duarte (2000) o coeficiente de correlação médio para a arborização e a superfície d'água em relação à temperatura foi sempre negativo. A autora afirma que esses fatores devem ser considerados principalmente nas trocas de calor latente e na transformação da energia absorvida; em áreas urbanas eles podem sofrer uma grande diminuição em relação às trocas de calor sensível devido à impermeabilização do solo, canalização de águas superficiais e diminuição da cobertura vegetal.

Além disso, Garcia (1999) defende que o impacto dos grandes espaços, os chamados "pulmões verdes", só são aplicáveis a si mesmos e têm pouco efeito na qualidade total

do ar da cidade, e que uma mistura de pequenos espaços verdes, distribuídos uniformemente por toda a cidade, é mais efetiva que a concentração em uns poucos lugares muito grandes; fato com o qual concordam diversos autores (GIVONI, 1998; ASSIS, 1990; SPIRN, 1995), por saberem do efeito extremamente localizado dos mesmos.

Assim sendo, Duarte (2000) sugere que ao invés de se contabilizar a área verde em função do tamanho da população como usualmente se faz, seria interessante determinar esse parâmetro em função da densidade construída para cada bairro ou zona da cidade, mantendo como critério de uniformidade a homogeneidade do padrão de ocupação.

3.4.1. A impermeabilização do solo e sua implicação microclimática

A impermeabilização do solo vista sob a ótica do manejo de água de chuvas nas cidades passou por significativas alterações conceituais nos últimos anos. Em relação às técnicas, Moretti; Nishihata (2006) afirmam que durante décadas vigorou o conceito de “drenagem”, pelo qual obras de engenharia hidráulica objetivavam rápido e eficiente afastamento das águas de chuva; mas gradativamente esse conceito foi sendo complementado pelo de “detenção”, em que se busca armazenar temporariamente parte da água precipitada, como forma de evitar as enchentes e outras conseqüências das obras de drenagem. E mais recentemente, verifica-se que cresce o entendimento da importância da implantação de empreendimentos de baixo impacto, em que se valoriza a “retenção e infiltração” das águas de chuva.

Em relação à drenagem urbana, o sistema pode ser dividido em dois tipos: o inicial de Drenagem ou de Micro-drenagem ou, ainda, Coletor de Águas Pluviais, e o de Macrodrenagem (PMSP, 1999). O primeiro é aquele composto pelos pavimentos das ruas, guias e sarjetas, bocas de lobo, rede de galerias de águas pluviais e, também, canais de pequenas dimensões. Esse sistema é dimensionado para o escoamento de vazões de 2 a 10 anos de período de retorno. Quando bem projetado, e com

manutenção adequada, praticamente elimina as inconveniências ou as interrupções das atividades urbanas que advém das inundações e das interferências de enxurradas.

Já o Sistema de Macro-drenagem é constituído, em geral, por canais (abertos ou de contorno fechado) de maiores dimensões, projetados para vazões de 25 a 100 anos de período de retorno. Do seu funcionamento adequado depende a prevenção ou minimização dos danos às propriedades, dos danos à saúde e perdas de vida das populações atingidas, seja em consequência direta das águas, seja por doenças de veiculação hídrica.

As áreas construídas e pavimentadas aumentam gradativamente a impermeabilização dos solos da bacia hidrográfica, reduzindo sua capacidade natural de absorver as águas das chuvas, o que retarda o escoamento superficial direto. Os fatores hidrológicos diretamente afetados pela urbanização são: o volume do escoamento superficial direto, os parâmetros de tempo do escoamento superficial e a vazão de pico das cheias. Esses efeitos hidrológicos são diretamente causados por alterações da cobertura do solo, modificações hidrodinâmicas nos sistemas de drenagem e as invasões das várzeas.

As alterações na cobertura do solo devidas à urbanização caracterizam-se pela sua remoção num estágio inicial, quando se realizam os movimentos de terra, e posteriormente pela sua substituição por áreas construídas, pavimentadas ou com outro tipo de cobertura substancialmente diferente da original.

Cabe frisar que o volume do escoamento superficial direto é primordialmente determinado pela quantidade de água precipitada, características de infiltração do solo, chuva antecedente, tipo de cobertura vegetal, superfície impermeável e retenção superficial. Já o tempo de trânsito das águas é função da declividade, rugosidade superficial do leito, comprimento de percurso e profundidade d'água do canal.

Uma das principais características das áreas urbanas é a alteração dos revestimentos superficiais do solo, que passam a ser cada vez mais impermeáveis (HIGUERAS, 2006). Na medida em que as cidades cresceram e se ampliaram as obras de drenagem tornaram-se cada vez mais caras, ineficientes e ambientalmente questionáveis. Surge assim o desafio de adoção de políticas públicas que estimulem a ampliação das áreas permeáveis e, de forma mais abrangente, ampliem a infiltração das águas de chuva no solo, que tem na redução das áreas impermeabilizadas, um dos fatores intervenientes.

A retenção da água no lote pode ocorrer:

- Em telhado plano de grandes dimensões com jardim suspenso e armazenamento em cisterna,
- Em estacionamento com pavimento permeável e semi-permeável, uso de cascalho, furos no pavimento impermeável, canteiros vegetados
- Áreas residenciais com cisternas, passeios com cascalho, áreas ajardinadas no entorno, recarga forçada do lençol através de poços, sumidouros, etc.

Essa mudança de paradigma ocorre em um momento em que se valorizam também as modificações em micro escala do ambiente urbano, como a substituição de tipo de recobrimento da superfície horizontal, como agente amenizador do efeito climático. Assim, é importante destacar a importância que o incentivo à manutenção do solo permeável neste processo.

Há diversos tipos de áreas impermeabilizadas presentes nas cidades:

- áreas edificadas;
- áreas pavimentadas para circulação de veículos;
- áreas pavimentadas para circulação de pedestres;
- áreas impermeabilizadas para fins diversos (recreação, pátios de produção e estocagem etc);
- áreas pavimentadas para estacionamento de veículos.

A área edificada é, quase sempre, uma área impermeabilizada e que pode ser reduzida limitando o total de área ocupada pela edificação com relação ao total do terreno; além disso, pode-se estimular a detenção e utilização da água de chuva ou ainda, o lançamento das águas captadas das coberturas em locais permeáveis existentes no lote, visando sua infiltração no solo. O sucesso das medidas nessa direção pressupõe um cuidadoso trabalho de educação ambiental.

Fontes (2000) indica que a proporção entre as áreas permeáveis aumenta na direção centro-periferia em seu estudo, variando de 22% de áreas permeáveis nas quadras situadas na área central, 28% para a área intermediária e 57% para a zona periférica.

Já a infiltração das águas de chuva nas áreas destinadas à circulação de veículos é problemática. No projeto e construção do pavimento das vias em que se prevê tráfego de veículos pesados evita-se essa infiltração, que pode reduzir a vida útil do pavimento e a resistência do solo que constitui o sub-leito e sua fundação. Em alguns tipos de pavimento em que se utiliza revestimento permeável tem-se como meta evitar a formação de uma camada de água na superfície de rolamento e os riscos de aquaplanagem. Nesses casos, a água de chuva da superfície usualmente não é infiltrada no sub-leito, mas sim conduzida através do pavimento e canalizada ou infiltrada no solo fora da área da pista de rolamento.

As perspectivas de ampliação da infiltração das águas de chuva no solo nas áreas destinadas à circulação de veículos através da utilização de ruas de terra ou da utilização de pisos como paralelepípedo ou blocos de concreto são questionáveis (MORETTI; NISHIHATA, 2006). As ruas de terra não são operacionais para trânsito pesado e sofrem restrições face ao preconceito popular, riscos de erosão e carreamento de sólidos para os cursos d'água e também porque o solo compactado muitas vezes apresenta baixa permeabilidade, ou seja, é pouco eficiente para infiltração das águas pluviais no solo.

No entanto, resultados positivos são identificados na utilização de “pavimento permeável”, definido como um dispositivo de infiltração onde o escoamento superficial é desviado através de uma superfície permeável para dentro de um reservatório de pedras localizado sob a superfície do terreno. Essa alternativa exige uma cuidadosa manutenção, que envolve a utilização de equipamento que aspira a sujeira existente na superfície porosa, sem a qual a permeabilidade da superfície fica seriamente comprometida a partir de um ano de sua execução (ARAUJO et al, 2000 apud MORETTI; NISHIHATA, 2006).

Já para áreas calçadas de circulação de pedestres há ótimas perspectivas, apesar dessas áreas não constituírem um percentual expressivo do total das áreas impermeabilizadas. Existem possibilidades de utilização de pisos drenantes e também de mescla de superfícies impermeáveis com áreas permeáveis, de forma a viabilizar a infiltração no solo. É necessário, porém, assegurar acessibilidade e boas condições de circulação para todos, garantindo regularidade e continuidade da superfície.

Por fim, tem-se os estacionamentos que constituem parcela expressiva do total de áreas impermeabilizadas. Em uma via local típica, com pista de rolamento de 10 metros de largura, a parcela reservada ao estacionamento praticamente equivale àquela utilizada para a circulação de veículos.

Parte significativa dos estacionamentos tem tráfego leve e eventual, o que facilita as soluções onde se prevê a infiltração da água no solo, ou seja, é também viável a mescla de áreas permeáveis e impermeáveis, destinando-se as primeiras para os locais em que ficam estacionados os veículos.

Em São Paulo, desde o início dos anos 1990, o Código de Obras prevê que os estacionamentos descobertos executados diretamente sobre o solo, com área superior a 50 m² devem ser executados com piso drenante, o que se constitui em uma medida favorável à amenização climática (MORETTI; NISHIHATA, 2006).

As medidas voltadas para a reformulação dos conceitos utilizados na construção dos estacionamentos têm importante alcance público na perspectiva de ampliação das áreas permeáveis das cidades e se situam no âmbito de uma nova política de manejo das águas pluviais. Vislumbra-se grande potencial em especial quanto à implantação dos “estacionamentos parque”, com uso intensivo de arborização e parte significativa de área permeável; associando uma possibilidade interessante de redução de custos, pois a pavimentação é uma obra cara.

Por outro lado, são possíveis soluções de grande potencial paisagístico, que tornam mais agradáveis os estacionamentos e agregam valor aos imóveis. Finalmente, os estacionamentos com pisos permeáveis e uso intensivo de vegetação podem trazer uma contribuição significativa na direção da sustentabilidade ambiental, em especial nos aspectos relacionados à recarga dos aquíferos e à amenização da temperatura do ar no entorno edificado.

4. CONDIÇÕES AMBIENTAIS DA CIDADE OBJETO DE ESTUDO

Este capítulo apresenta a cidade objeto de estudo, suas características climáticas e de uso e ocupação do solo, além da legislação vigente pertinente a questão ambiental.

4.1. O CLIMA DA REGIÃO

A cidade de Natal, objeto de estudo, situa-se na região Nordeste do Brasil, ocupando a porção central do litoral oriental do Estado do Rio Grande do Norte, do qual é capital. Possui uma área territorial de 171,10km²; perímetro de 74,83km de extensão; e está compreendida entre o quadro de coordenadas geográficas máximas: 05°41'42" e 05°54'43" de latitude Sul, e 35°08'39,4" e 35°17'51,9" de longitude Oeste. Em coordenadas UTM (*Universal Transverser Mercator*), fica entre as coordenadas 9370000 e 9346000mN e 262600 e 245600mE. (Figura 4.1).



Figura 4.1 - Mapa de localização do Município de Natal no Brasil

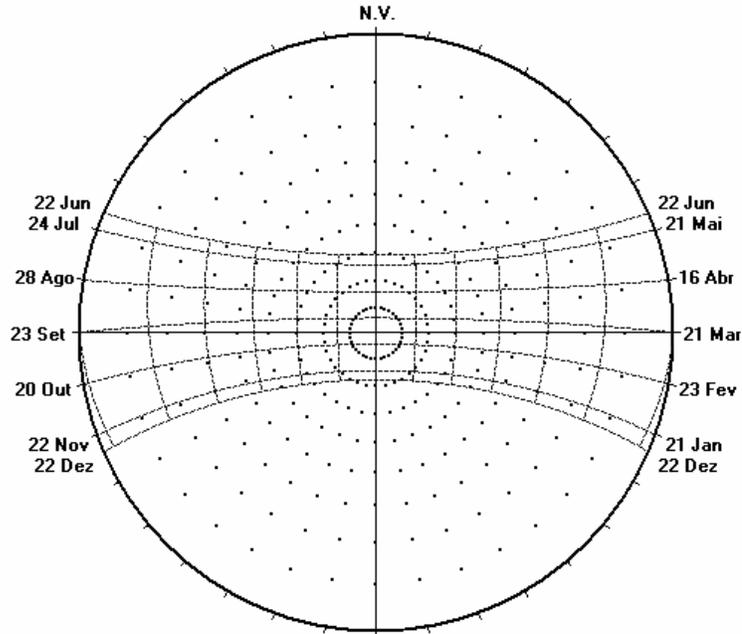
Fonte: Elaboração própria

De acordo com a classificação climática de Köppen (KÖPPEN, 1948), o clima da cidade de Natal é do tipo Megatérmico (tropical úmido) com temperatura média do mês mais frio acima de 18⁰C; podendo ainda ser enquadrado no subtipo As, ou seja, com precipitações de outono e inverno; tendo estação seca no verão.

Natal apresenta características climáticas próprias de cidades de baixa latitude e clima do tipo quente-úmido. Destaca-se pela alta umidade e pequena amplitude térmica diária e sazonal, com temperaturas sempre inferiores a da pele humana.

A intensidade de radiação é grande, e a altura solar varia de 65° a 90°, em grande parte difusa e com grande luminosidade. Apresenta aproximadamente 2184,80 horas anuais de insolação, e a nebulosidade média de 6.2, numa escala de 1 a 10 (MASCARÓ, 1991). Isso ameniza a radiação solar direta intensa, mais também não permite a re-irradiação para o céu à noite, o que impede a queda acentuada da temperatura e provoca uma radiação solar difusa bastante intensa.

Como se observa na carta solar para Natal, cuja distância para o Equador é relativamente pequena, o percurso do sol ao longo do dia é quase simétrico em relação à direção Leste – Oeste. Além disso, os raios solares incidem quase perpendicularmente durante todo o ano, fazendo com que o tipo de material escolhido para revestir pisos e coberturas (no plano horizontal) tenha papel fundamental na composição de microclimas (Figura 4.2).



Projeção Estereográfica dos Percursos Aparentes do Sol - Latitude=-5,45

Figura 4.2 – Carta solar para Natal

Fonte: *software* luz do sol

A temperatura do ar é bastante elevada e constante, com a máxima chegando a 37°C, e uma pequena amplitude térmica diária em torno de 6°C e anual em torno de 14°C, com uma leve baixa nos meses de abril a setembro; sendo mais amena à noite. A umidade relativa do ar é elevada, 80% em média, e o ar ainda possui baixo teor de partículas poluentes em suspensão. O período de chuvas é indefinido, mas atinge maiores índices entre os meses de julho e agosto (MASCARÓ, 1991).

É imprescindível na caracterização do clima urbano da região, a observação do caminho do vento proveniente do mar, um agente importante na amenização climática, aumentando a perda de calor por evaporação. A posição latitudinal da cidade expõe-na a um balanço térmico positivo permanente, entretanto, suas médias compensadas anuais, relativamente elevadas, são atenuadas pelos ventos alísios que sopram, regularmente, no litoral. A amplitude térmica anual, favorecida pelo efeito da maritimidade, é relativamente baixa. Em Natal os ventos são constantes na direção

Sudeste (em torno de 150°), e tem velocidade média de 5m/s (ARAÚJO; MARTINS; ARAÚJO, 1998).

Para Araújo, Martins, Araújo (1998) a cidade apresenta duas "épocas características distintas", com pequena variação climática entre elas: a primeira compreende o período de abril a setembro (chamado no presente trabalho de período de inverno), e outra de outubro a março (período de verão). O período compreendido entre os meses de abril e setembro é o período chuvoso e se caracteriza por: temperaturas mais amenas, umidades relativas mais altas e velocidades dos ventos mais elevadas com predominância no quadrante Sudeste, e variações Sul - Sudoeste, principalmente, nas primeiras horas do dia.

Já o período de outubro a março caracteriza-se por temperaturas mais elevadas, umidades relativas mais baixas, velocidades do vento relativamente menores e com predominância Sudeste, apresentando pequenas variações na direção Leste - Nordeste. A tabela 4.1 traz as médias das variáveis ambientais nas épocas características.

Tabela 4.1 - Variáveis ambientais nas épocas características

VARIÁVEIS AMBIENTAIS		abril-setembro	outubro-março
TEMPERATURA DO AR	Máxima	28,7°C (13h)	30,8°C (13h)
	Mínima	23°C (5h)	24,8°C (5h)
VELOCIDADE DOS VENTOS	Máxima	5,0 m/s (13h)	5,2 m/s (13h)
	Mínima	2,2 m/s (5h)	3,7 m/s (5h)
UMIDADE RELATIVA DO AR	Máxima	94 % (6h)	87% (6h)
	Mínima	74% (13h)	66% (13h)
DIREÇÃO DOS VENTOS (predominante)/ quadrante		170° SE	130° SE

Fonte: Elaboração própria a partir de Araújo, Martins, Araújo (1998).

A temperatura do ar apresenta durante o dia quatro turnos distintos, de 01h às 06h, de 06h às 12h, de 12h às 18h e 18h às 24h (chamados nesta tese de madrugada, manhã, tarde e noite respectivamente), correspondendo a um comportamento decrescente, crescente, decrescente e decrescente (Figura 4.3). A umidade relativa do ar, por sua vez, tem um comportamento inverso da temperatura do ar no dia típico, mas também apresenta quatro períodos turnos.

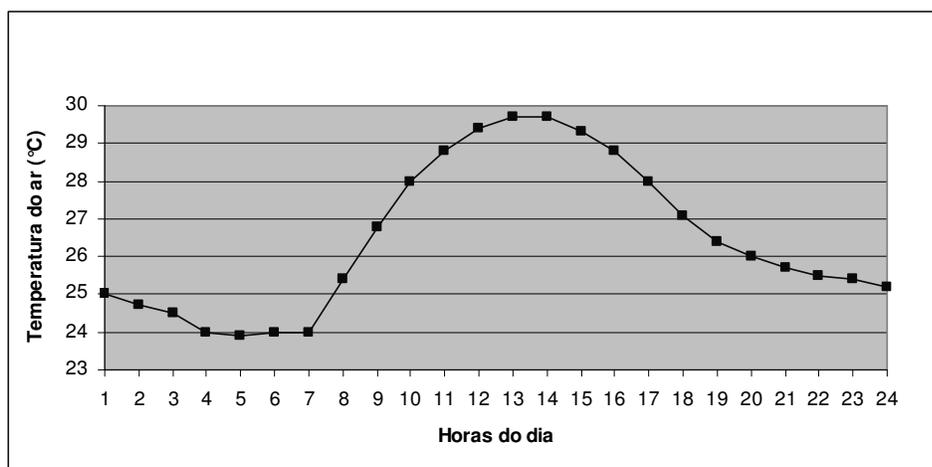


Figura 4.3 – Gráfico do comportamento do Dia Típico da temperatura do ar para Natal

Fonte: Adaptado de Araújo, Martins, Araújo (1998).

A caracterização dos turnos é válida também para a radiação solar, sendo a superfície horizontal a que detém maior ganho de calor, devido à proximidade da cidade à linha do Equador. Quanto à superfície vertical, ocorre maior ganho de calor na orientação Norte durante o período de abril a setembro, e Sul, de outubro a março. Já nas superfícies verticais Leste - Oeste a radiação solar global é simétrica e não apresenta grandes mudanças nos dois turnos.

Romero (1988) enfatiza que para o clima do tipo quente e úmido, os elementos do clima podem ser controlados da maneira como explicita o quadro 4.1.

Quadro 4.1 – Elementos do clima a serem controlados

ELEMENTOS DO CLIMA A SEREM CONTROLADOS	
TEMPERATURA DO AR	Reduzindo a produção de calor
VENTOS	Aumentando o movimento do ar
UMIDADE RELATIVA DO AR	Evitando a absorção e promovendo a evaporação
RADIAÇÃO	Reduzindo a absorção de radiação
PRECIPITAÇÕES	Com a proteção máxima nos espaços públicos

Fonte: Elaboração própria a partir de Romero (1988)

4.2. O USO E A OCUPAÇÃO DO SOLO NA CIDADE – QUADRO ATUAL

A cidade está dividida em 04 regiões administrativas que englobam seus 36 bairros, além do Parque das Dunas , distribuídos conforme a figura 4.4 e o quadro 4.2.

Quadro 4.2 – Bairros por região administrativa

REGIÃO ADMINISTRATIVA	BAIRROS
NORTE (07)	Lagoa Azul, Pajuçara, Potengi, N. Senhora da Apresentação, Redinha, Igapó e Salinas.
SUL (07)	Lagoa Nova, Nova Descoberta, Candelária, Capim Macio, Pitimbu, Neópolis e Ponta Negra.
LESTE (12)	Santos Reis, Rocas, Ribeira, Praia do Meio, Cidade Alta, Lagoa Seca, Petrópolis, Areia Preta, Mãe Luíza, Alecrim, Barro Vermelho e Tirol.
OESTE (10)	Quintas, Nordeste, Dix-Sept Rosado, Bom Pastor, N. Senhora de Nazaré, Felipe Camarão, Cidade da Esperança, Cidade Nova, Guarapes e Planalto.

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005).



Figura 4.4 - Mapa com divisão dos bairros da cidade por região administrativa
 Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

Oliveira; Nunes (2005) apresentaram um interessante estudo para a expansão espaço-temporal da mancha urbana em Natal/RN, no período de 1969 a 2002 usando imagens de satélite. Segundo os autores, o ano de 1969 foi uma época de profunda alteração da urbanização em Natal com a implementação dos conjuntos habitacionais horizontais. A área urbanizada no município na época abrangia 22,06km², ou 12,89%, de sua área total (171,1km²).

Dezenove anos depois (em 1988), a mancha urbanizada apresentava-se quase 03 vezes maior (totalizando 60,90km² ou 35,59% da área total do município). Este fato decorreu do grande crescimento imobiliário pelo qual a cidade passou naquele período, fator também desencadeador de impactos ambientais; o uso do solo se tornou mais complexo e dinâmico e as atividades econômicas direcionaram e reordenaram uma nova feição urbana no município. A expansão ocorreu nos sentidos NE-SO e SE-NO (Figura 4.5).

Já o intervalo entre 1988 e 1994 mostrou uma expansão urbana mais proeminente na Região Norte da cidade, principalmente pela implantação de novos conjuntos habitacionais. A mancha urbana passou a ter 79,46km² (46,44%) da superfície total do município. Só na Região Norte, no mesmo intervalo de tempo, o crescimento foi de 84,66%, e desencadeou inúmeras alterações intra-urbanas numa região que sempre foi a mais desprovida de serviços básicos de infra-estrutura tanto no âmbito público como no privado. Nas demais regiões a taxa de urbanização foi mais modesta, causada principalmente pelo início da saturação de áreas disponíveis para construção e por barreiras naturais (em geral dunas) que muitas vezes impedem sua expansão nesse sentido.

Os autores finalizam afirmando que o período compreendido entre 1994 a 2002 se caracterizou pela consolidação do direcionamento da expansão urbana para os sentidos: Oeste, Norte e Sul da cidade, estendendo-se para as zonas de proteção ambiental do município, que passam a sofrer uma forte pressão em seu entorno por parte de empreendimentos imobiliários com vistas a torná-los espaços de expansão

urbana, de modo que comecem a desempenhar um novo papel na cidade deixando de ser uma área verde protegida para se tornar um espaço construído. Em 2002, a mancha urbanizada passa a ter 98,81 km², ou 57,75% de sua área total - crescimento de 33% (Figura 4.6).

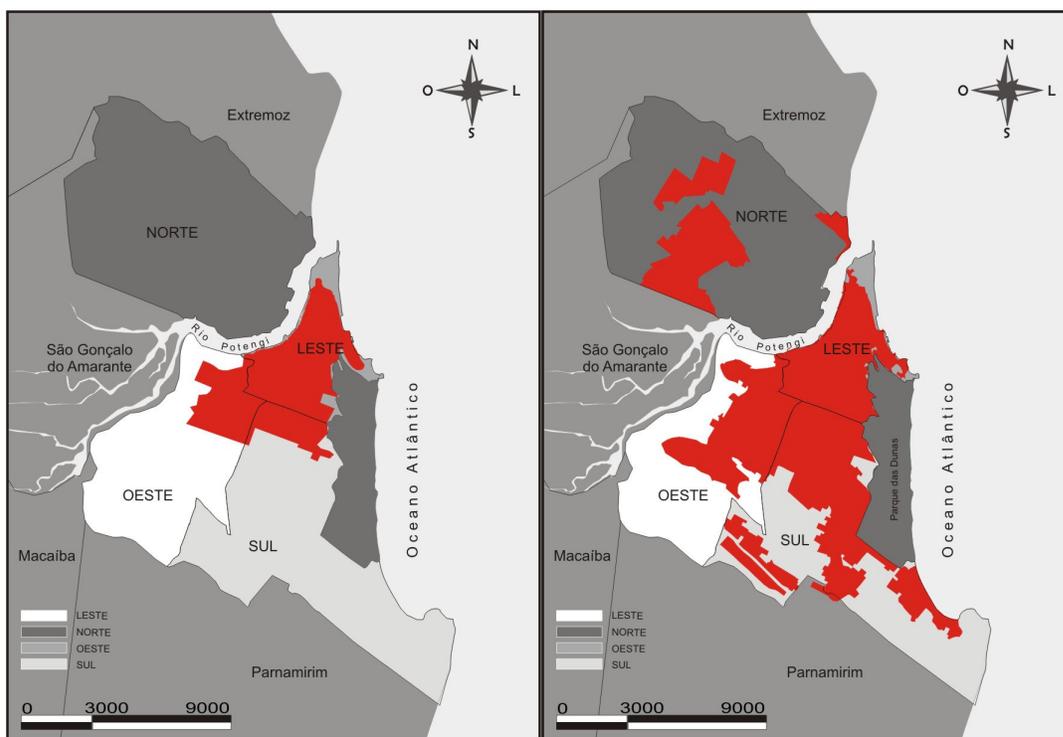


Figura 4.5 – Mapas da evolução da mancha urbana 1969 e 1988.

Fonte: Adaptado de Oliveira; Nunes (2005)

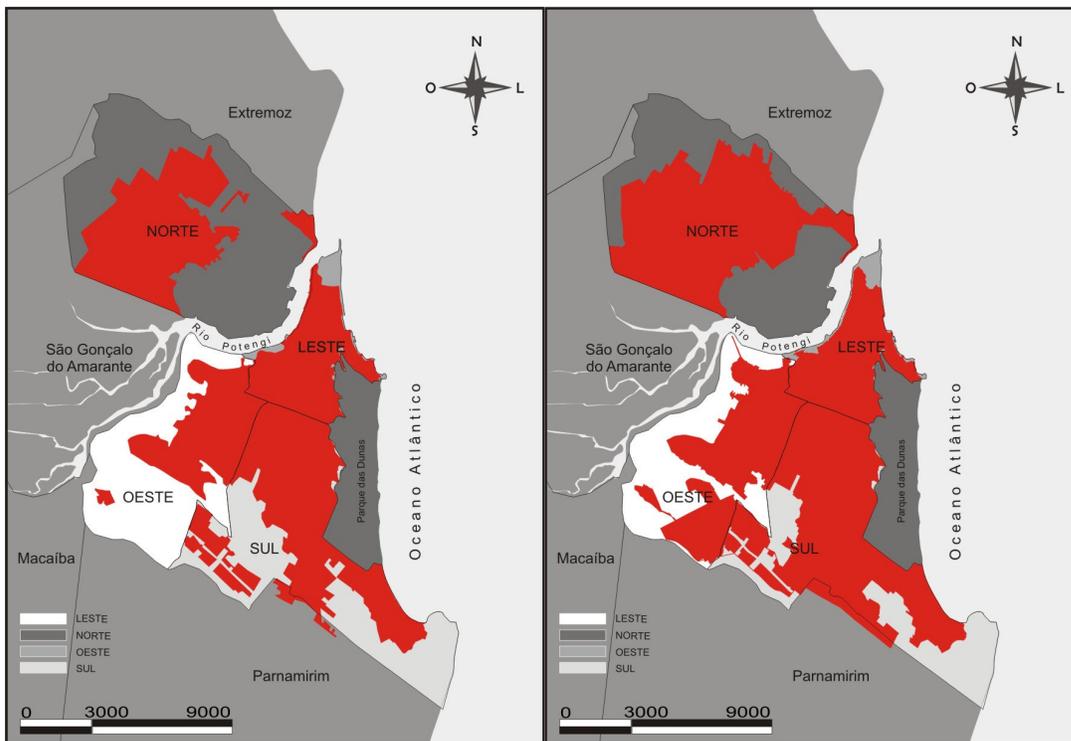


Figura 4.6 - Mapas da evolução da mancha urbana 1994 e 2002.

Fonte: Adaptado de Oliveira; Nunes (2005).

A topografia da cidade foi o fator condicionador dessa ocupação. Natal apresenta-se sobre um grande platô central com altitude média de 47,68 metros (Figura 4.7), não existindo grandes desníveis.

As regiões “edificáveis” da cidade encontram-se em área de tabuleiro e apresentam-se menos elevadas que as dunas. As cotas baixas são verificadas na faixa de praia e nas margens do Rio Potengi, onde se encontram também as áreas de mangue e salinas.

A expansão urbana interferiu nos processos da dinâmica e do equilíbrio da paisagem natural, uma vez que a aglomeração urbana acabou expandindo-se por fronteiras de difícil acesso e de fragilidade ambiental como: leitos de rios, lagoas naturais, dunas e manguezais ocupando um espaço natural até então intacto.

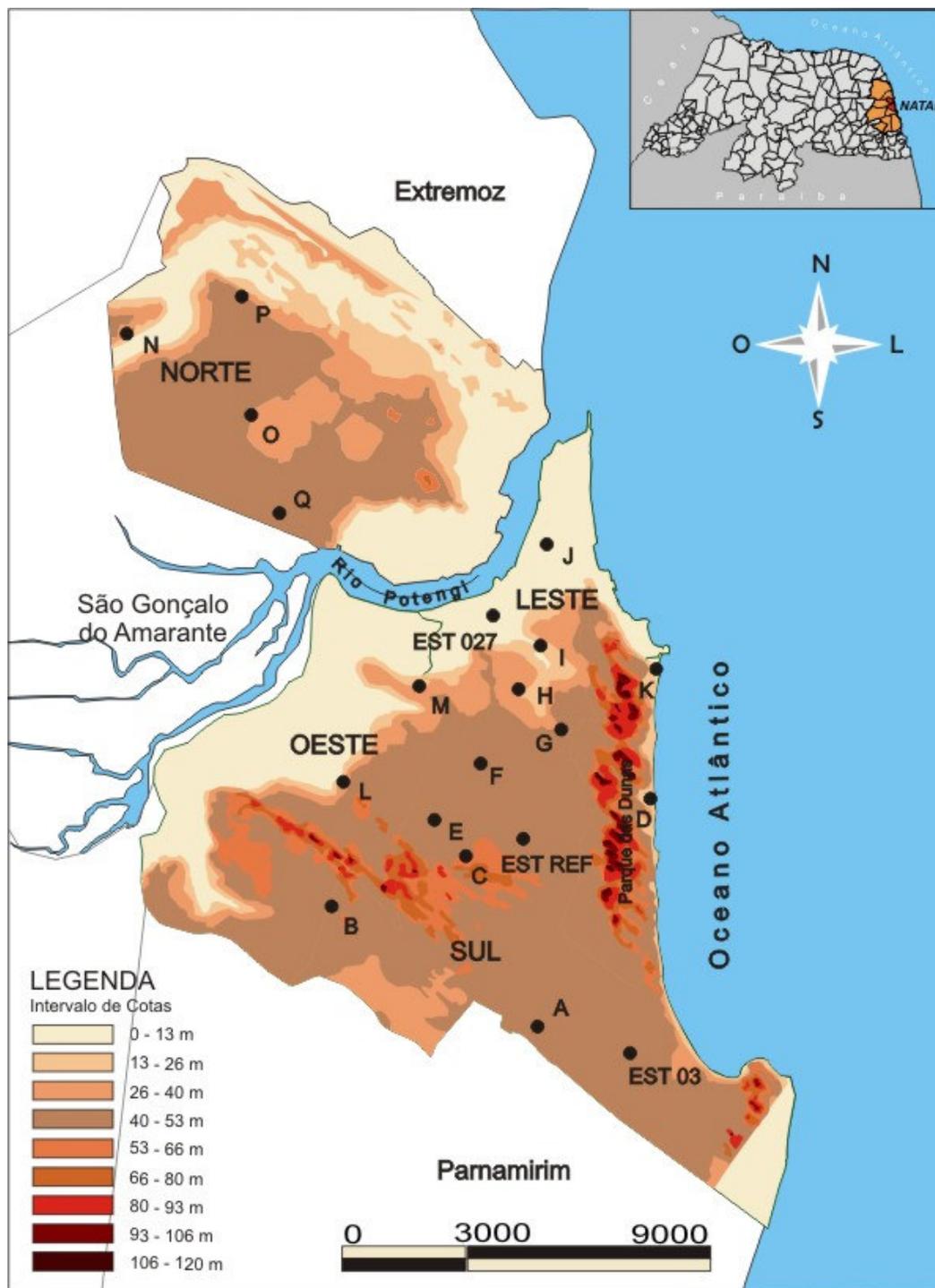


Figura 4.7 – Mapa de topografia da cidade

Fonte: Elaboração própria a partir de PMN-SEMURB, 2005

Assim, o crescimento acabou chegando aos limites municipais, encontrando-se no sentido Sul com o município de Pamamirim e no sentido Sudoeste com o município de

Macaíba, assim como nos sentidos Norte e Noroeste com os municípios de São Gonçalo do Amarante e de Extremoz, respectivamente. Esse processo de interligação de Natal com os municípios vizinhos, levou o Estado a criar em 1997, a Região Metropolitana de Natal – RMN, hoje composta pelos municípios de Parnamirim, São Gonçalo do Amarante, Macaíba, Extremoz, Ceará-Mirim, Nísia Floresta e São José de Mipibu, perfazendo uma área total de 2.522,8 km², da qual Natal ocupa apenas 6,7% (UFRN, 2004). A figura 4.8 apresenta a composição da região metropolitana.



Figura 4.8 – Região metropolitana de Natal

Fonte: PMN-SEMURB (2005)

A seguir são apresentados alguns dados extraídos do estudo “Anuário Natal 2005” publicado pela SEMURB (PMN-SEMURB, 2005), baseados em dados do CENSO demográfico de 2000 do IBGE, que ajudam na caracterização da cidade.

Em primeiro lugar vale destacar que a renda média mensal encontrada em Natal é bastante variável, tendo na Região Norte uma média de 2,92 Salários Mínimos (SM); na Região Sul uma média de 11,62 SM; na Região Leste de 9,0 SM e na Região Oeste o correspondente a 2,92 SM. Esses dados são imprescindíveis na compreensão da forma de ocupação do solo nas mesmas; deve-se observar ainda que as Regiões Norte, Sul e Oeste são mais homogêneas quanto à questão da renda, no entanto, a Região Leste apresenta muitas discrepâncias, uma vez que é constituída tanto de bairros com população de alto poder aquisitivo (como Petrópolis e Tirol) quanto de baixo poder aquisitivo (como Rocas).

Quanto ao tipo de domicílio, as regiões mais verticalizadas da cidade são as Regiões Sul e Leste, justamente as que concentram maior poder aquisitivo (Tabela 4.2).

Tabela 4.2 – Tipo de domicílio por região

TIPO DOMICÍLIO/ Região	CASA	APARTAMENTO	OUTROS
Natal	92,67%	6,38%	0,95%
Região Norte	99,13%	0,71%	0,16%
Região Sul	81,21%	18,09%	0,70%
Região Leste	85,29%	13,43%	1,28%
Região Oeste	98,12%	0,64%	1,24%

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

Em relação à densidade, a Região Leste é a que concentra maior número de habitantes por hectare (80,39); e a menor densidade é encontrada na Região Norte, que apesar de bastante populosa, ainda detém grande parte da área de expansão da cidade. (Tabela 4.3)

Tabela 4.3 – Densidade demográfica por região (n° hab/ha)

DENSIDADE/ Região	ÁREA (HÁ)	POPULAÇÃO RESIDENTE (hab)	DENSIDADE DEMOGRÁFICA (hab/HA)
NORTE	5.511,82	291.253	52,84
SUL	3.995,96	165.978	41,54
LESTE	1.466,49	117.893	80,39
OESTE	3.418,87	202.914	59,35
PQ. DAS DUNAS	1.172	2	0,001
TOTAL	15.565,14	778.040	49,17

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

Analisando-se a área pública pavimentada, tem-se que na Região Leste o percentual é de 97,4% de área impermeável contra apenas 43,6% na Região Norte, que ainda apresenta muitas ruas de solo exposto (Tabela 4.4)

Tabela 4.4 – Situação de drenagem e pavimentação por região

SITUAÇÃO/ Região	DRENADO (%)	PAVIMENTADO (%)
NORTE	41	43,6
SUL	68,3	72,6
LESTE	97,4	97,6
OESTE	73,5	74,5
TOTAL	70,1	72,1

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

A concentração de terrenos baldios ocorre na Região Norte (área de expansão), já a maior quantidade de praças está presente na Região Sul. É a Região Leste que detém a maioria das edificações não residenciais, haja vista ser o centro comercial e de serviços da cidade, e a Região Oeste concentra residências.

Tabela 4.5 – Tipo de lote por região

TIPO DE LOTE/Região	RESIDENCIAIS (%)	NÃO RESIDENCIAIS (%)	TERRENOS BALDIOS(%)	PRAÇAS
NORTE	79,67	9	11,33	44
SUL	79,95	17,08	2,97	64
LESTE	74,12	24,71	1,17	62
OESTE	84,64	10,68	4,68	14

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

Em se tratando de áreas verdes, conforme afirma PMN-SEMURB (2004), o município de Natal dispõe de aproximadamente 16.000.000m² de área verde pública, das quais 12.000.000m² (o que representa 75%) estão inseridas no Parque das Dunas e 4.000.000m² (ou seja, somente 25%) estão distribuídos em logradouros (canteiros centrais, praças, bosques e áreas verdes públicas remanescentes de loteamentos e conjuntos habitacionais).

A própria localização do Parque das Dunas (que ocupa parte do quadrante Leste da cidade - figura 4.4) constitui-se num obstáculo natural à entrada da livre ventilação na cidade, dada a sua topografia, mas por ser uma área vegetada ele acaba por amenizar a temperatura do ar (CARVALHO, 2001).

Por outro lado, essa concentração de área verde em um setor da cidade justifica uma grande preocupação em termos de conforto térmico, dada a premissa de que seria preferível se ter áreas menores espalhadas pela cidade que uma grande área concentrada; além disso estudos feitos pela própria Prefeitura alertam que os 25% de área verde distribuídos na cidade estão em condições precárias. Aliado a esse fator, existe ainda uma forte pressão imobiliária em se liberar áreas de preservação ambiental para ocupação, em função da pouca área de expansão existente, e da localização não privilegiada da mesma (predominantemente na Região Norte).

A expansão da malha urbana no solo da cidade, de forma desordenada, também provoca profundas alterações em sua rede de drenagem natural. O aumento do índice de áreas impermeabilizadas, somando-se ao sub-dimensionamento e ausência de galerias de águas pluviais, ao entupimento por sedimentos e lixo e a concentração de fluxos hídricos superficiais, acabam provocando vários alagamentos em áreas que cada vez mais são ocupadas por empreendimentos imobiliários (UFRN, 2004).

A impermeabilização do solo e a alteração da drenagem natural decorrentes da urbanização têm como resultado a redução da área de infiltração das águas pluviais e, conseqüentemente, da recarga do aquífero subterrâneo - fonte de água potável.

Com a situação aqui exposta fica evidente a fragilidade do sistema urbano da cidade de Natal como um todo, e a necessidade urgente de se conter a ocupação por meio de ajustes legais.

4.3. LEGISLAÇÃO MUNICIPAL APLICADA

Katzschner (1997) enfatiza que o controle da poluição do ar e a obtenção de conforto térmico na cidade podem ter como ferramenta principal o planejamento urbano, que na prática é efetivado através de mecanismos legais como o Plano Diretor da cidade (instrumento básico da política de desenvolvimento urbano do Município); especialmente por meio das prescrições urbanísticas que normalizam a forma de uso e ocupação dos lotes, atuando em uma micro-escala.

Convém citar a existência em Natal, desde o século passado, de uma preocupação ambiental observada ao longo dos vários planos urbanísticos que tratavam dos aspectos físico-territoriais da cidade como o Plano Polidrelli, em 1901, o Plano Palumbo, em 1929, e o Plano Saturnino de Brito – Sistematização de Natal, em 1935. O Plano Serete, elaborado em 1968, foi transformado em lei como o primeiro Plano Diretor, somente em 1974, com Lei Nº 2211/74. Na década seguinte, foi promulgado o Plano Diretor Físico- Territorial do Município de Natal, Lei Nº 3175/84. Este foi revisto e

atualizado, sendo substituído, em 1994, pelo Plano Diretor de Natal – Lei Nº 07/94, com alterações regulamentadas pelas Leis Nº 020/99 e 022/00 (LIMA, 2001).

Nos últimos 02 anos ocorreram inúmeras discussões em revisão a Lei Complementar Nº 07/1994 (PMN, 1994) em vigor, e foi elaborada uma nova proposta pela Secretaria Especial de Meio Ambiente e Urbanismo – SEMURB da cidade do Natal, aprovada em 29/03/2007. A proposta traz os seguintes conceitos, que serão úteis para essa pesquisa:

Área Permeável - a área do lote onde é possível infiltrar no solo as águas pluviais, limitada em no mínimo 20% do terreno;

Lote Padrão - o menor lote admitido para parcelamento, com exceção daqueles passíveis de intervenções em Áreas Especiais de Interesse Social. O Capítulo V, que trata do Parcelamento diz em seu Art. 46 que o lote padrão admitido no parcelamento é de 200m² de área e testada mínima de 8 (oito) metros para todo o território do Município.

Taxa de Impermeabilização - o índice que se obtém dividindo a área que não permite a infiltração de água pela área total do lote. Quanto a Taxa de Impermeabilização máxima permitida no Município, o Art.32 diz que será de 80% (oitenta por cento) e seu descumprimento constituirá infração ambiental de natureza grave, sujeitando o infrator à penalidade de multa e à demolição da obra, além da determinação para reversão à situação anterior. O artigo ressalva ainda que as águas pluviais que incidem em cada lote deverão ser infiltradas no mesmo, através de infiltração natural ou forçada, admitindo-se dispositivo extravasor para o escoamento de precipitações atípicas. Isso é exigido durante a legalização do projeto na prefeitura sem contudo uma fiscalização posterior que iniba modificações.

Taxa de Ocupação - o índice que se obtém dividindo a área correspondente à projeção horizontal da construção pela área total do lote ou gleba; intervenções em Áreas

Especiais de Interesse Social. O Art. 31 diz que a Taxa de Ocupação máxima permitida para todos os terrenos do Município, ressalvados as regulamentações especiais é de 80% para Subsolo, Térreo e 2º pavimento e poderá ser ultrapassada, quando a área do terreno for inferior ao lote padrão estabelecido nesta Lei.

De acordo com o artigo 7 (PNM, 2004) todo o território do Município de Natal é considerado zona urbana. Sub-dividida em: Zona de Adensamento Básico, Zona Adensável e Zona de Proteção Ambiental, conforme a figura 4.9.

A Zona de Adensamento básico é aquela onde se aplica, estritamente o coeficiente de aproveitamento básico; que para usos não residenciais é de 1.4 para todos os terrenos contidos na Zona Urbana; e para os usos residenciais, incluindo os hotéis residência, é de 1.0 (hum) para todos os terrenos contidos na Zona Urbana; não sendo computadas no cálculo do coeficiente as áreas de garagem. A Zona Adensável é aquela onde as condições do meio físico, a disponibilidade de infra-estrutura e a necessidade de diversificação de uso, possibilitem um adensamento maior do que aquele correspondente aos parâmetros básicos de coeficiente de aproveitamento.

Áreas Especiais são porções da Zona Urbana situadas em zonas adensáveis ou não, com destinação específica ou normas próprias de uso e ocupação do solo, compreendendo:

- Áreas de Controle de Gabarito: aquelas que mesmo passíveis de adensamento, visam proteger o valor cênico-paisagístico, assegurar condições de bem estar, garantir a qualidade de vida e o equilíbrio climático da cidade; ficando limitada a 7,5m a altura máxima da construção.

- Áreas Especiais de Interesse Social: aquelas situadas em terrenos públicos ou particulares destinadas à produção, manutenção e recuperação de habitações e/ou regularização do solo urbano e à produção de alimentos com vistas a segurança alimentar e nutricional, tudo em consonância com a Política de Habitação de Interesse

Social para o município. Compreende: terrenos ocupados por favelas, e/ou vilas, loteamentos irregulares e assentamentos, glebas ou lotes urbanos, isolados ou contíguos, não edificadas, sub-utilizados ou não utilizados, com área superior a 400m², e prédios desocupados em áreas centrais da cidade, etc.

- Áreas de Operação Urbana: conjunto integrado de intervenções e medidas urbanísticas que definem um projeto urbano para determinadas áreas da cidade, indicadas pelo Plano Diretor, coordenadas pelo Poder Público e definidas, em parceria com a iniciativa privada, e moradores para promover transformações urbanísticas estruturais, melhorias sociais e valorização ambiental, levando em consideração a singularidade das áreas envolvidas.



Figura 4.9 - Mapa do macrozoneamento da cidade

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

Com o objetivo de preservar a qualidade ambiental, foram estabelecidas no Plano Diretor de 1994 dez áreas como Zonas de Proteção Ambiental – ZPAs, para garantir a

proteção, manutenção e recuperação de seus recursos naturais. As zonas de proteção são apresentadas na figura 4.10.

Embora sejam visíveis as indicações que apontam para a defesa do meio ambiente, o Plano Diretor de Natal deixa de enfatizar parâmetros mais restritivos no nível do lote; além da pressão imobiliária ser responsável pelo avanço da expansão da ocupação sobre áreas de preservação ambiental, como recentemente ocorreu na Zona de Proteção Ambiental – ZPA 5, fato devidamente documentado pela imprensa local.

ZPA 1 - Campo dunar dos bairros de Pitimbu, Candelária e Cidade Nova, regulamentada pela Lei Municipal nº4.664/1995. Ocupa uma área de aproximadamente 8 km² e é tida como a principal área de recarga do aquífero subterrâneo, que garante parte da demanda de água potável da cidade, além de proteção da flora e fauna das dunas;

ZPA 2 - Parque Estadual das Dunas de Natal e área contígua ao parque, avenida engenheiro Roberto Freire e rua Dr. Sólon de Miranda Galvão, regulamentado pela Lei Estadual nº 7.237/1977. Pela diversidade de sua flora, fauna e das belezas naturais, constitui importante unidade de conservação, destinada a fins educativos, recreativos, culturais e científicos. Remanescente da Mata Atlântica, contribui para a amenização climática e de recarga e proteção do lençol freático, ocupando uma área de 11,7 km² ; que se estende pelos bairros de Capim Macio, Lagoa Nova e Tirol;

ZPA 3 - Área entre o Rio Pitimbu e a Av. dos Caiapós (conj. Cidade Satélite), compreendendo aproximadamente 1,3 km², regulamentada pela Lei Municipal nº4.664/95. Parte da Bacia Hidrográfica do Rio Pitimbu, com solos férteis nas margens, caracterizada por feições de terraços e vertentes com dunas sobrepostas, responsável dentre outras funções, pelo suprimento de água doce para a Lagoa do Jiqui;

ZPA 4 - Campo dunar dos Bairros: Guarapes e Planalto, regulamentada pela Lei Municipal nº4.912/97. entre os bairros de Guarapes e Felipe Camarão, abrange uma

área aproximada de 4 km² compreendendo um cordão de dunas, tabuleiro costeiro e o estuário do rio Potengi, sendo importante para o escoamento pluvial;

ZPA 5 - Ecossistema de dunas fixas e lagoas do bairro de Ponta Negra (região de Lagoinha), regulamentada pela Lei Municipal n° 5.565/2004. Complexo de dunas e lagoas com desenvolvimento de vegetação com espécies predominantes de formação tabuleiro e litorâneo e espécies mata atlântica, esse ecossistema constitui umas das principais áreas de recarga dos aquíferos - águas subterrâneas. Possui uma área de 3,5 km²;

ZPA 6 - Morro do Careca e dunas fixas contínuas. Área aproximada de 4,5 km², recanto natural de notável beleza por seus aspectos panorâmicos, florísticos, paisagísticos, de interesse cultural, recreativos e turísticos;

ZPA 7 - Forte dos Reis Magos e seu entorno. Com uma área aproximada de 1,1 km² no bairro de Santos Reis, compreende o Forte dos Reis Magos e cercanias de parte do estuário do rio Potengi, o que lhe confere relevante importância histórica e cultural;

ZPA 8 - Ecossistema manguezal e Estuário do Potengi/Jundiaí. Situada integralmente no bairro Salinas, compreende uma área em torno de 10 km², compondo um ecossistema litorâneo de grande importância ambiental e socioeconômica para o município;

ZPA 9 - Ecossistema de lagoas e dunas ao longo do Rio Doce. Alongando-se pelos bairros de Pajuçara e Lagoa Azul, percorre quase todo o curso do Rio Doce no território do município e compreende um sistema de dunas e lagoas, com importância na perenização do rio e recarga dos aquíferos;

ZPA 10 - Farol de Mãe Luíza e seu entorno – encostas dunares adjacentes à Via Costeira, entre o Farol de Mãe Luíza e a Av. João XXIII, ocupando uma área aproximada de 0,5 km².

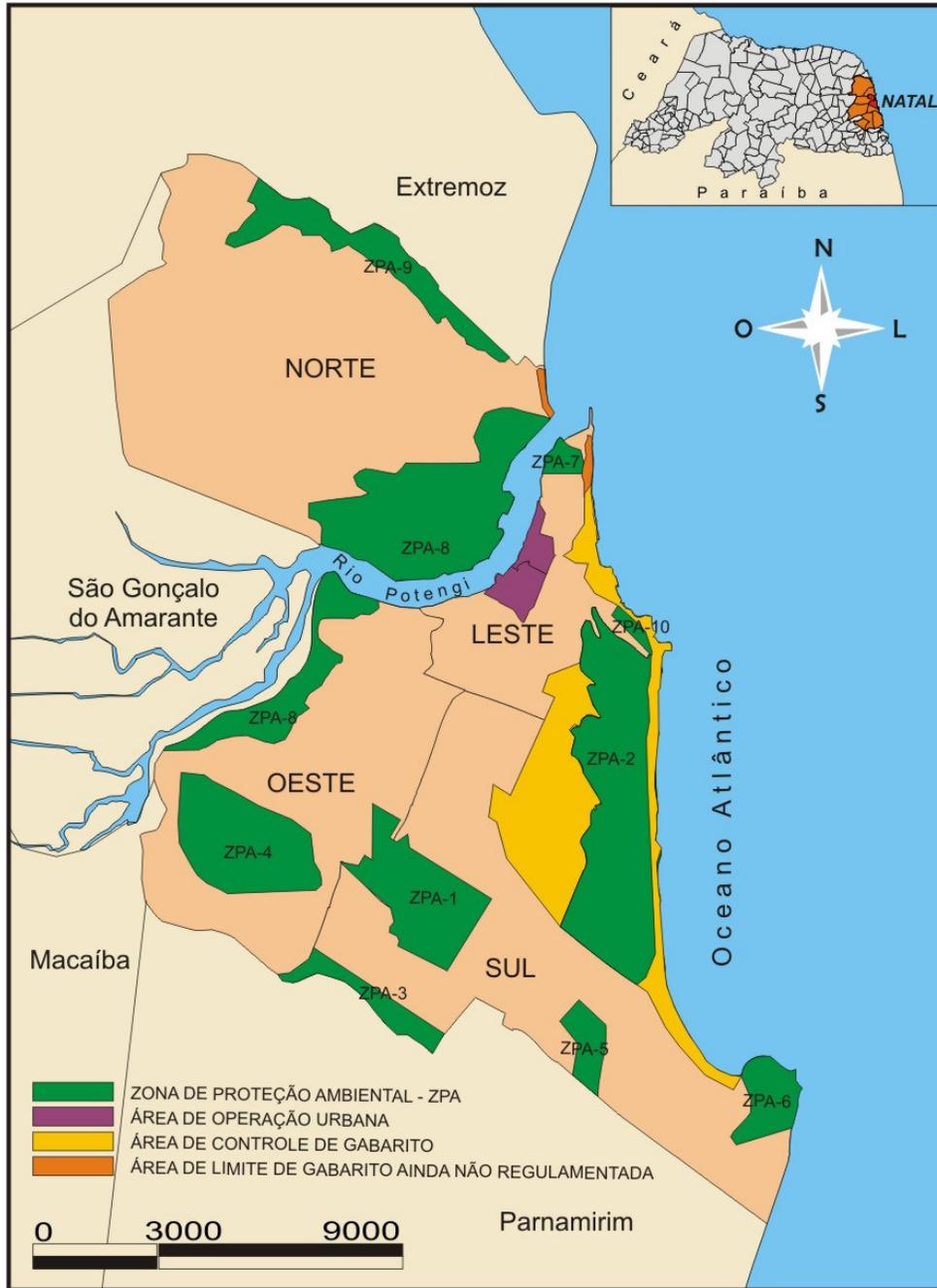


Figura 4.10 - Mapa das áreas especiais regulamentadas existentes na cidade.

Fonte: Adaptado de PMN-SEMURB (2005)

A taxa de permeabilidade consiste na relação entre a parte do terreno que permite a infiltração da água e a área total do mesmo. De acordo com Souza (2002) é um índice muito importante sob o ângulo ambiental uma vez que a impermeabilização excessiva dos terrenos de uma parte da cidade tende a contribuir para a formação de ilhas de calor, acarretando grande desconforto térmico.

Para algumas das zonas de preservação ambiental (ZPA 1, ZPA 3, ZPA 4 e ZPA 5) existem áreas menores dentro dos seus limites que são regidas por legislação ambiental específica (PMN-SEMURB, 2004), e detém taxas de permeabilidade e tamanho de lote padrão diferenciados do adotado para a cidade como um todo (tabela 4.6). No entanto, trata-se de uma quantidade de área não expressiva quando comparada à área ocupada pela cidade; contudo, abre precedente para que outras áreas possam ter taxa de permeabilidade diferenciada também.

Tabela 4.6 – Áreas com taxa de permeabilidade e lote padrão diferenciados nas ZPA

ZPA	TAXA DE PERMEABILIDADE (%)	TAXA DE OCUPAÇÃO (%)	LOTE PADRÃO MÍNIMO (m ²)
ZPA 1 (SZ2)	40	40	800,00
ZPA 3 (SZ1)	30	50	450,00
ZPA 4 (SZ1C)	40	40	1.900,00
ZPA 4 (SZ2)	50	25	5.000,00
ZPA 5 (SZ2)	60	20	2.500,00

5. METODOLOGIA

Este capítulo traz os métodos aplicados nesta tese. Está dividido em grandes blocos: parâmetros térmicos, físico-ambientais, de classificação digital georeferenciada e estatísticos; além de apresentar os testes iniciais feitos antes da pesquisa de campo. Aqui está explicitado ainda todo o planejamento experimental.

A metodologia proposta por Monteiro; Mendonça (2003) embasou o estudo na medida em que se seguiu suas quatro fases: definição da área e do subsistema de estudo (termodinâmico numa escala microclimática), embasamento cartográfico e levantamento das características climáticas, eleição de pontos para levantamento de dados de campo e estabelecimento de correlação com mapas gerados; levantamento de dados climáticos; e formulação de sugestões/ diretrizes.

5.1. PARÂMETROS TÉRMICOS

Para os objetivos da pesquisa, foi considerada toda a extensão geográfica da cidade em estudo, uma área de pouco mais de 170km², de acordo com o IBGE, constituída por uma realidade urbana bastante complexa, com diferentes configurações de uso e ocupação do solo; e uma população, quase totalmente urbana de mais de 778 mil pessoas (IBGE, disponível em www.ibge.gov.br. Acessado em 11/set/2006).

Dado o tamanho da área estudada optou-se por trabalhar com registro de variáveis ambientais em pontos fixos da cidade, e assim mesmo, era necessário escolher os pontos de coleta de forma que estes oferecessem uma boa representatividade dessa complexidade.

Foi então realizado um planejamento experimental na tentativa de assegurar a cientificidade dos dados a serem coletados, a ser descrito a seguir. O apêndice 1 apresenta o cronograma de execução das medições.

5.1.1. Períodos e horários de medição

As medições de campo ocorreram durante os meses de fevereiro e junho de 2006, por 07 dias para cada período climático característico de verão (seco) e de inverno (chuvoso) respectivamente, conforme proposto em Araújo, Martins, Araújo (1998).

Os registros ocorreram de 30 em 30 minutos em dias típicos de céu parcialmente encoberto e/ou claro e sem ocorrência de precipitações para a primeira coleta, e com precipitação e céu encoberto e/ou parcialmente encoberto na segunda.

5.1.2. Variáveis e instrumentos de medição

A coleta de dados das medidas fixas foi realizada por registros contínuos feitos por 20 equipamentos do tipo *loggers*, sendo:

- 11 *Testo* 175-177, Testostor (de propriedade da UNICAMP)
- 06 *Hobo* H8, Onset Computer Corporation (03 da UNICAMP e 03 da UFRN)
- 03 Estações Meteorológicas da Davis (da UFRN), compostas por registradores e armazenadores (consoles) para onde são transmitidos via radio os dados captados nos registradores.

Os equipamentos do tipo *Testo* e *Hobo* registraram as variáveis: temperatura do ar e umidade relativa do ar. As estações, bem mais complexas, além desses, coletaram dados de velocidade do ar, direção dos ventos, além da pluviosidade e pressão atmosférica. Vale salientar que os 03 pontos que abrigaram as estações foram estrategicamente posicionados em função da segurança para os equipamentos e a distribuição espacial com relação às demais.

Reconhece-se a importância que as variáveis velocidade do ar e direção dos ventos têm no tipo de clima estudado; entretanto, sua verificação não foi possível em todos os pontos em função da falta de instrumentos adequados tais como sensores de fio quente, anemômetros ou estações meteorológicas. Neste sentido,

procurou-se incluir esse fator “influência” adotando-se uma composição de área de entorno dos pontos de coleta que fosse maior no quadrante Sudeste.

A tabela 5.1 apresenta a confiabilidade dos equipamentos utilizados, de acordo com informações fornecidas pelos próprios fabricantes e suas especificações técnicas.

Tabela 5.1 – Confiabilidade dos equipamentos

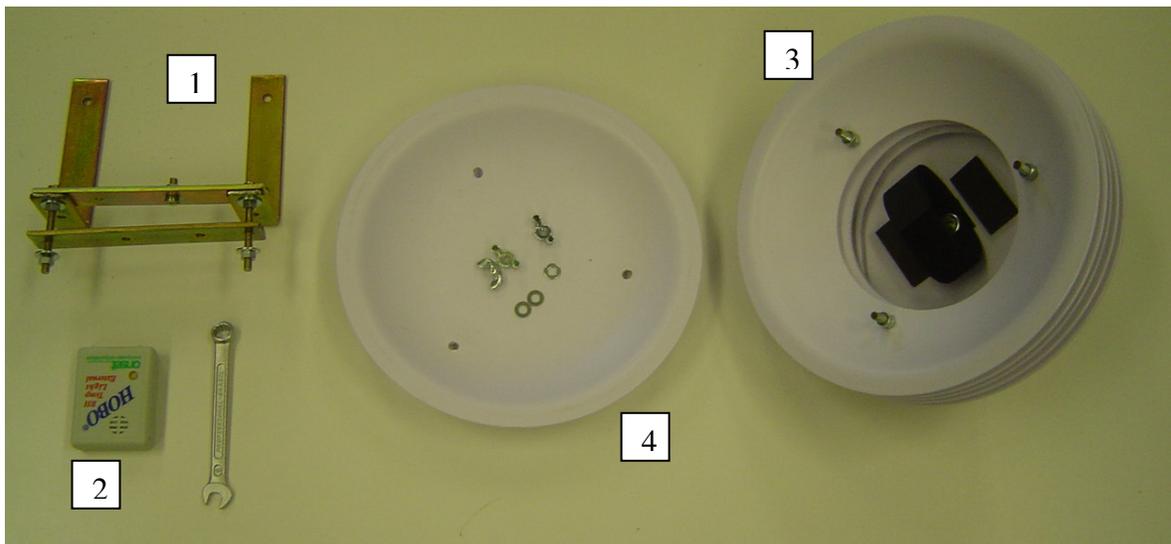
EQUIPAMENTO	FABRICANTE	FIGURA	ESCALA	PRECISÃO
Testo 175-177	Testo		-10 ⁰ C a 50 ⁰ C 2% a 98%	+/- 0,5 ⁰ C e +/- 3%
Hobo H8	Onset Computer Corporation		-20 ⁰ C a +70 ⁰ C 0% a 95%	+/- 0,7 ⁰ C +/- 5%
Estações Meteorológicas	Davis		-40 ⁰ C a 65 ⁰ C	+/- 0,5 ⁰ C +/- 3%

Fonte: Elaboração própria a partir dos manuais dos equipamentos

Devido a possível diferença de resposta às mesmas condições (em função da própria sensibilidade do sensor de cada fabricante de equipamento), foi realizado um teste de calibração com registros ininterruptos durante 24h, envolvendo todos os equipamentos, que será descrito no item 5.2.3.

5.1.3. Proteções para os equipamentos e pessoal envolvido

A proteção plástica para abrigar o equipamento de medição foi desenvolvida no Laboratório de Conforto Ambiental e Física Aplicada – LACAF/ UNICAMP, especialmente para essa pesquisa (Figura 5.1). Está baseada no modelo de abrigo meteorológico padrão, e é resultado de um teste bastante criterioso¹.



Legenda: 1 – Abraçadeira parafusada para fixar proteção na escada/ 2 – Equipamento registrador de temperatura e umidade relativa do ar/ 3 – Conjunto de pratos plásticos brancos opacos vazados com velcro para colocação do equipamento/ 4 – “Tampa” plástica para vedação da estrutura de proteção, parafusada.

Figura 5.1 – Elementos componentes da proteção para equipamento

¹ Para a realização em campo das medições, além da pesquisadora, contou-se com a valiosa colaboração de:

- 01 pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, responsável pela montagem das estações meteorológicas,
- 01 técnico da concessionária de telefonia celular, responsáveis pelo acesso aos *sites*,
- 01 bolsista do Laboratório de Conforto Ambiental - LABCON da UFRN, para atividades de apoio.

5.2. TESTES INICIAIS

Foram realizados alguns testes com objetivos distintos, de forma a assegurar a confiabilidade das medições de campo sob os seguintes aspectos:

- Teste A – Interferência: A fim de averiguar a não interferência entre equipamentos de telefonia celular existentes nas torres e os registradores utilizados na pesquisa,
- Teste B – Proteção: Para verificar a segurança e eficiência da proteção desenvolvida para a pesquisa,
- Teste C - Calibração: Objetivando detectar a discrepância de resultados entre os diversos tipos de equipamentos registradores utilizados na medição de verão e inverno, sob as mesmas condições, e corrigí-los.

A seguir apresentam-se os resultados dos testes com suas devidas análises.

5.2.1. Teste A - Interferência

Ocorreu em Campinas/SP, cidade situada a 23^o Sul, 47^o Oeste e 694m de altitude, em setembro/2005. Segundo Chvatal; Labaki; Kowaltowski (1999) a cidade possui um clima composto com um período de verão que compreende os meses de novembro a março (no qual chove mais) e um período de inverno, mais curto, de junho a agosto; indicando a predominância do calor sobre o frio. A figura 5.2 mostra a localização de Campinas no Brasil.



Figura 5.2 – Localização de Campinas no Brasil

Fonte: Elaboração própria

O mês mais quente é fevereiro com temperatura do ar média de $29,9^{\circ}\text{C}$, e o mais frio é junho com média de $12,2^{\circ}\text{C}$. A umidade relativa do ar varia de 64,3% (em agosto) a 77% (em janeiro), e a direção predominante do vento é Sudeste com velocidade média anual de 2,5m/s. Há ainda uma grande amplitude térmica diária, de $10,4^{\circ}\text{C}$ (verão) a $12,9^{\circ}\text{C}$ (no inverno).

A medição teste ocorreu em 04 pontos distintos, sendo 03 *sites* de uma operadora de telefonia celular² com torres na área urbana (região Centro-Oeste da cidade) e 01 ponto de referência dentro da UNICAMP, afastada do centro, localizada na

² BSE Claro Campinas

porção Norte, no distrito de Barão Geraldo, durante 06 dias consecutivos (de 15/09/2005 a 22/09/2005), registrando temperatura do ar e umidade relativa do ar de 1h/1h (Figura 5.3).



Figura 5.3 – Localização dos pontos de coleta na cidade.

Os equipamentos utilizados foram 02 *Hobo*, 01 *Testor*, e 01 estação meteorológica; os 03 primeiros foram isolados da radiação solar direta por uma proteção teste desenvolvida na UNICAMP pela pesquisadora e por técnicos do LACAF - UNICAMP, composta por uma bola oca de isopor toda perfurada e um prato fundo

de plástico branco translúcido, fixados na escada de segurança da torre por uma abraçadeira metálica parafusada, há 1,5m de altura do piso (Figura 5.4).



Figura 5.4 – Fotografias dos elementos componentes da proteção do equipamento e da forma de fixação do mesmo na escada.

As torres foram escolhidas em parceria com concessionária de celular de forma a serem próximas entre si (facilitando assim a montagem), terem entornos com características físicas distintas e a serem diferentes construtivamente: uma tubular, uma quadrada e uma triangular.

Além disso, como o objetivo era estabelecer relação entre os equipamentos existentes e os da pesquisa, um dos pontos considerados foi a torre sede de Campinas, que detém a maior quantidade de equipamentos transmissores e receptores de radiação da região. Vale salientar que os radio-transmissores e antenas nas torres em geral estão localizados a 30m ou mais do piso. As tabelas 5.2 e 5.3 caracterizam os 04 pontos.

Tabela 5.2 – Pontos A e B medidos no teste A.

PONTO DE COLETA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	FOTOS DOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS
<p>PONTO A</p>	<p>Torre sede de Campinas com base quadrada e 65m de altura. Localizada na Av. Jonh Dulop, latitude 22.91119° S e longitude 47.09661° O. Equipamento instalado: <i>hobo</i> Entorno de uso misto próximo a avenida de grande fluxo, com edificações verticais e presença de área verde. Pavimentos semi-permeáveis e coberturas metálicas e em concreto Terreno de 145m²</p>	
<p>PONTO B</p>	<p>Torre tubular (diâmetro de 4m) de 50m de altura, com equipamentos colocados a 40m. Equipamento instalado: <i>hobo</i> Lat. 22°54'7.2" S e Long. 47°04'54,7" O, numa altitude de 697m. Entorno de uso misto próximo a avenida de grande fluxo de veículos, presença de muro alto numa das laterais do terreno irregular de mais de 200m² (mas que não está no caminho do vento) e topografia plana, com pavimento semi-permeável.</p>	

Tabela 5.3 – Ponto C e de Referência medidos no teste A

PONTO DE COLETA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	FOTOS EQUIPAMENTOS INSTALADOS
PONTO C	<p>Torre de base triangular com 30m de altura</p> <p>Equipamento instalado: <i>testo</i></p> <p>Lat. 22.89528⁰ S e Long. 47.10413⁰ O</p> <p>Terreno com mais de 200m² bastante acidentado em área predominantemente residencial unifamiliar com vegetação e coberturas em fibrocimento</p>	
PONTO REF. UNICAMP	<p>Estação meteorológica localizada no campus da UNICAMP, numa área alta com entorno livre de obstáculos e revestimento de piso permeável (gramado), nas proximidades do prédio da Faculdade de Engenharia.</p>	

A análise estatística dos dados mostrou que radio-transmissores e antenas existentes nas torres, que emitem radiação do tipo microondas e radiofrequência, não interferiram nos resultados do teste, já que esses, quando comparados ao de referência são estatisticamente compatíveis, por causa da distribuição normal dos dados observados. Isso também pode ser visto nas figuras 5.5 e 5.6 através do comportamento normal das curvas dos pontos A, B e C, que estavam em torres com o ponto Referência, na UNICAMP, tanto para a variável temperatura do ar quanto para a umidade relativa do ar.

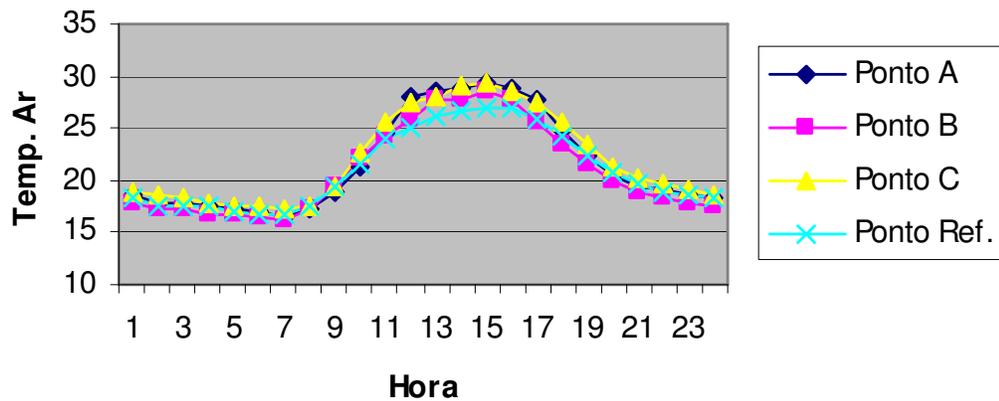


Figura 5.5 – Gráfico do comportamento médio diário da temperatura do ar para os 04 pontos medidos.

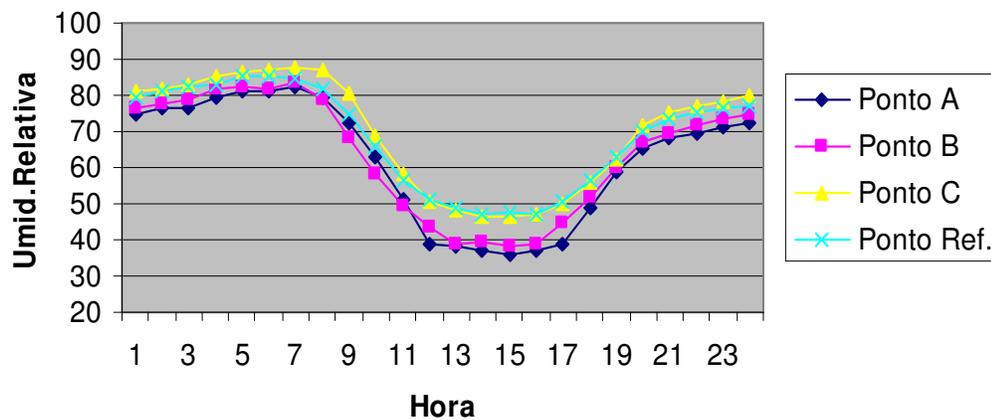


Figura 5.6 - Gráfico do comportamento médio diário da umidade relativa do ar para os 04 pontos medidos.

A temperatura do ar mínima encontrada no período foi de 15,20°C e a máxima de 36,6°C, já para a umidade relativa do ar os valores correspondentes foram de: 24% e 94%. Se considerarmos os pontos A, B e C como um só e o compararmos com o ponto de referência, os valores são também muito próximos, sendo a média dos

pontos de 21,5⁰C e 66% e 21⁰C e 67% para a Referência. A tabela 5.4 traz os valores médios para cada ponto em relação à temperatura do ar e a umidade relativa do ar.

Tabela 5.4 – Valores médios por ponto para temperatura e umidade relativa do ar.

Ponto	Temp. (°C)	Umid. (%)
Ponto REF	21,0	67
Ponto A	21,6	63
Ponto B	20,9	64
Ponto C	22,0	70

Com esse teste concluiu-se que os equipamentos poderiam ser instalados em torres sem qualquer interferência entre os equipamentos existentes e os da pesquisa.

5.2.2. Teste B - Proteções

Durante a fase de desenvolvimento da proteção para o equipamento foram realizados alguns procedimentos na UNICAMP³, de forma a assegurar que:

- a) Os equipamentos estivessem dentro da proteção com o sensor de medição devidamente ventilado,
- b) Os equipamentos estivessem livres da radiação solar direta durante todo o dia,
- c) E ainda que a proteção fosse capaz de suportar o calor durante as medições de campo sem se deformar; fosse desmontável e fácil de montar, barata e leve.

Como resultados tem-se que:

- a) Para verificar se o sensor dos aparelhos estava devidamente ventilado dentro da esfera de isopor, um conjunto de equipamentos com o primeiro modelo de proteção desenvolvido foi montado num dia de primavera (24/11/2005), embaixo de uma cobertura no caminho do vento, de forma a se ter ventilação constante. Comparou-

³ com o auxílio dos técnicos do Laboratório de Conforto Ambiental.

se um sensor de fio quente ao ar livre com outro dentro da proteção testada, por 2h de 10min/10min (Figura 5.7).



Figura 5.7 – Conjunto montado para verificar ventilação do sensor

A tabela 5.5 traz os resultados que mostram o sensor ventilado somente quando a velocidade do vento foi maior ou igual a 0,85m/s no lado externo. Isso permitiu concluir que os furos na proteção testada não foram suficientes para ventilar adequadamente o sensor para baixas velocidades.

Diante disso, foi desenvolvido um novo modelo de proteção, sem o uso do isopor e com ênfase na livre circulação interna do ar, baseado no padrão de abrigo meteorológico existente. Ele é composto por 06 pratos plásticos vazados e intercalados com borracha e parafuso, os 02 das extremidades são inteiros e os 04 do centro tiveram seus centros furados para dar espaço ao equipamento.

Tabela 5.5 – Valores de velocidade do ar

Hora	<i>Ar livre</i>		<i>Com proteção</i>	
	Vent(m/s)	Temp(°C)	Vent(m/s)	Temp(°C)
12:00	0,45	32	0	32,1
12:10	0,53	31,9	0	32,3
12:20	0,70	32,5	0	32,7
12:30	0,90	32,5	0,03	32,9
12:40	0,75	33,1	0	33,5
12:50	0,85	32	0,01	33,1
13:00	0,61	32,8	0	33,8
13:10	0,42	34,9	0	35,3
13:20	0,35	33,9	0	34,8
13:30	0,71	34,3	0	35,1
13:40	0,68	32,2	0	33,8
13:50	1,48	28,6	0,11	30
14:00	0,57	27,5	0	29,1

b) Na nova proteção, a não incidência solar direta no equipamento foi comprovada através do comportamento normal para a curva diária dos dados registrados em todos os equipamentos nos dois períodos. Caso houvesse incidência solar direta no equipamento em algum horário (o que pela própria configuração curva da proteção já se tornava bastante improvável), haveria um pico no registro da temperatura do ar.

c) A resistência ao calor foi testada ao longo da própria medição de campo realizada no período de verão quando observou-se que a deformação nos pratos plásticos em função da radiação solar foi mínima, podendo ser portanto considerados eficientes, o que permitiu inclusive o uso das mesmas proteções para a medição de inverno .

No entanto foi observado que nos pontos localizados à beira-mar houve intensa oxidação das partes em ferro (parafusos e abraçadeira), o que mereceu uma revisão com substituição de algumas peças para a 2ª etapa (Figura 5.8). Concluiu-se ainda que o material empregado na confecção das proteções permitiu a fácil montagem/desmontagem a um baixo custo.



Figura 5.8 – Fotografias das Proteções levemente deformadas e com partes em ferro oxidadas, respectivamente.

5.2.3. Teste C - Calibração

Para a calibração dos equipamentos foram realizados 02 testes, ambos precederam as medições de campo, tanto no período de verão quanto no de inverno. O teste de calibração de verão foi realizado durante 24h de um dia de janeiro de 2006, e o de inverno em um dia de julho de 2006; em um espaço existente na cobertura do laboratório de Ozônio do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, em Natal/RN , próximo ao ponto de referência (ESTREF), coletando dados de 30-30min.

O objetivo do teste era verificar se existia diferença significativa entre os valores de temperatura do ar e umidade relativa do ar para os 03 tipos de equipamentos (com marcas distintas) empregados na pesquisa de campo. Os agrupamentos de equipamentos foram: 03 Estações meteorológicas da Davis (EST REF, EST03 e EST 027), 06 Hobos (L até Q) e 11 Testo (A até K).

Os equipamentos envolvidos na pesquisa foram colocados próximos entre si (cerca de 30cm de distância um do outro), fixados a 1m de altura, no corrimão em ferro que circunda a laje do referido laboratório. As 02 estações meteorológicas também

foram montadas no local, e a estação de referência continuou um pouco mais distante e mais alta (figura 5.9).



Figura 5.9 – Fotografia com vista dos equipamentos no teste de calibração realizado no INPE

Para ambos os períodos, analisando as figuras 5.10 e 5.11, percebe-se que os instrumentos da marca “estação Davis” tendem a apresentar uma menor amplitude em relação aos dados coletados durante o período de sol (dia), ocasionando uma média levemente menor que as dos demais equipamentos: testo e hobo, que comportam-se basicamente da mesma maneira. Isso significa que a marca “estação Davis” subestima a temperatura do ar em até $1,16^{\circ}\text{C}$ em média no verão e de $0,51^{\circ}\text{C}$ em média no inverno, mostrando inclusive uma diferença entre instrumentos individuais nos pontos EST REF, EST 027 e EST 03.

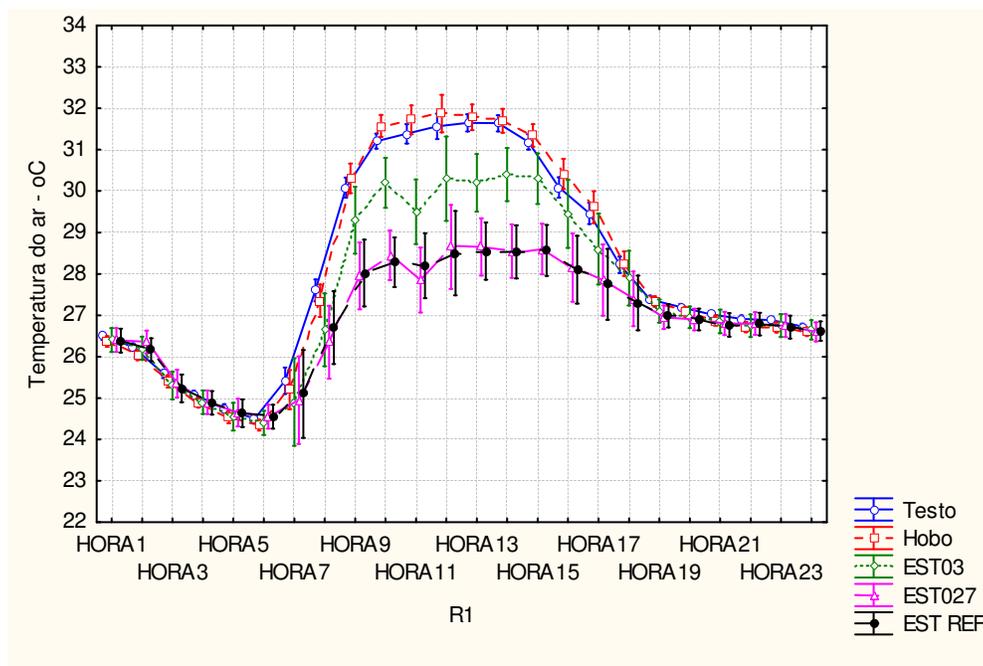


Figura 5.10 – Gráfico da temperatura média do ar horária por marca de equipamento no período de verão

Uma análise multivariada de perfis de médias de temperatura do ar horária no verão segundo cinco diferentes grupos de instrumentos (testo, hobo e as três Davis) demonstra que:

- Os perfis não são coincidentes (MARCA, $p < 0,001$) denotando diferenças entre marcas relativas a média geral diária. Uma análise *post hoc* (teste de tukey) demonstrou que esta diferença se dá devido às marcas estação Davis (ver tabela 5.6);
- Os perfis sofrem efeito do tempo (HORA, $p < 0,001$) o que é esperado, pois a temperatura do ar possui um padrão de variação no tempo;
- Os perfis não são paralelos (HORA x MARCA, $p < 0,001$) denotando uma interação entre a marca e a variação no tempo. Observa-se que os instrumentos da marca “estação Davis” subestimam mais a temperatura do ar na faixa horária 08h – 18h em relação às outras marcas (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 - Estatísticas da temperatura do ar segundo a marca do equipamento – período de Verão

MARCA	Temperatura				N
	Méd.	D.Padrão	-95,00%	+95,00%	
TESTO	28,10	0,035	28,02	28,17	22
HOBO	28,08	0,052	27,98	28,19	12
EST 03	27,52	0,117	27,28	27,76	2
EST 027	26,93	0,117	26,70	27,17	2
EST REF	26,93	0,117	26,69	27,16	2

No ponto ESTREF a diferença em relação à média do Testo e Hobo chega a 1,16^oC, acima do nível de tolerância do instrumento, assim, os dados gerados para os pontos EST deverão ser corrigidos no verão.

A mesma análise foi feita no inverno constatando-se o mesmo problema (figura 5.11 e tabela 5.7).

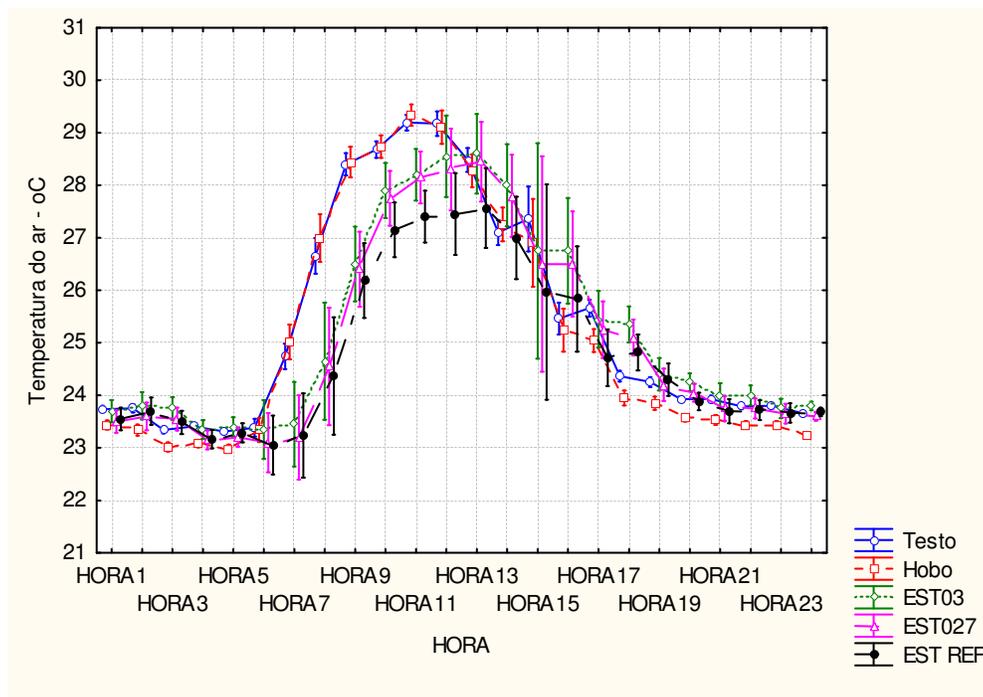


Figura 5.11 – Gráfico da temperatura do ar média por marca de equipamento no período de inverno

No inverno os instrumentos diferem quanto ao perfil médio ($P < 0,0001$), bem como existe variação no tempo, além disso, esta variação depende do equipamento (interação HORA x MARCA, $p < 0,0001$). A figura 5.12 mostra que durante o período de sol a marca estação Davis também subestimou a temperatura do ar produzindo uma média geral inferior às demais marcas como aconteceu no verão.

Tabela 5.7 - Estatísticas da temperatura do ar segundo a marca do equipamento – período de Inverno

MARCA	Temperatura				N
	Méd.	D.Padrão	-95,00%	+95,00%	
testo	25,40	0,027	25,34	25,45	22
hobo	25,19	0,037	25,11	25,26	12
EST03	25,24	0,091	25,05	25,42	2
EST027	25,04	0,091	24,86	25,23	2
EST REF	24,79	0,091	24,60	24,97	2

Pelas diferenças médias considera-se que os pontos com equipamentos de marca estação Davis devem ser corrigidos pois apresentam diferenças de temperatura do ar em relação à média de temperaturas medidas pelos equipamentos das marcas Testo e Hobo. O apêndice 2 apresenta algumas análises complementares.

Também foi feita uma análise na variável umidade relativa do ar constatando-se não haver diferença significativa em relação às marcas nos períodos de inverno e verão.

A análise desse teste mostrou que para que as 03 marcas dos equipamentos possam ser consideradas semelhantes, é necessário ajustar os valores encontrados nos 03 pontos com estações Davis; com isso eliminam-se discrepâncias existentes. Para fazer essa calibração nos dados que foram coletados em campo era necessário estabelecer que valores seriam acrescidos a cada hora em cada ponto com estação Davis no verão e no inverno (Apêndice 2). O método encontrado foi:

- Definir uma curva (48 pontos) chamada de *padrão-ouro* ($Ouro_t$) que servisse de comparação. Ela seria a curva média de todos pontos com Testo e Hobo na calibração submetida a um filtro temporal 4253H⁴ para eliminação de ruídos (TUKEY, 1977);
- Construir uma curva de calibração (E_t) para cada ponto EST. Ela seria a série obtida na calibração submetida ao filtro 4253H.
- A correção de uma EST no instante t seria dado pela equação $C_t = Ouro_t - E_t$. Então, o valor corrigido seria $Z_t = X_t + C_t$, onde X_t seria o valor observado originalmente.

Segundo a metodologia adotada foram feitas correções horárias nas medidas de campo em média de 0,58°C para a estação EST03, 1,15°C para EST027 e 1,17°C para EST REF, sabendo-se que a diferença foi maior no período do dia. Com isso as marcas passam a não ter influência sobre as respostas encontradas.

5. 3. PARÂMETROS FÍSICO-AMBIENTAIS

5.3.1. Escolha dos pontos de coleta

A escolha dos pontos de medição para coleta de dados deveria considerar inúmeros aspectos, tais como a localização espacial (objetivava-se localizar pontos de medição em locais com diferentes condições de uso e ocupação) e a questão da segurança.

Esse último ponto é vital para o sucesso da pesquisa uma vez que envolve diretamente não só os recursos materiais (equipamentos) bem como os humanos (pessoal); e dada a necessidade real de protegê-los os lugares escolhidos para a pesquisa devem ter fácil e bom acesso, localizar-se em áreas movimentadas e de baixa criminalidade.

⁴ Proposto por Tukey, baseia-se em uma seqüência de aplicações de médias móveis sobre valores medianos da série, é bastante conhecido e eficiente para análise de séries temporais.

Inúmeras são as possibilidades para localização dos pontos de coleta, como pode ser visto em alguns trabalhos da área que optaram por localizar em edificações de particulares (PEZZUTO; LABAKI; FRANCISCO FILHO, 2005), ou ainda em espaços de transição (FARIA; SOUZA, 2004) e ambientes de serviços (LOMBARDO, 1985). Optou-se para esta pesquisa que os equipamentos ficassem dispostos ao ar livre, em virtude da importância da ventilação para o contexto climático e também cuja tipologia pudesse ser encontrada facilmente nas áreas urbanas, de forma que a metodologia proposta pudesse se repetir em outras localidades.

Assim, considerou-se a possibilidade de se instalar os equipamentos em terrenos ocupados por torres de celulares na cidade (chamados pela operadora de *sites*⁵), que mostrou-se viável depois do teste apresentado no item 5.2.1, que comprovou a não existência de incompatibilidades entre os equipamentos de telefonia pré-existentes neles e os utilizados na pesquisa.

A partir dessa idéia, constatou-se que esta opção trazia ainda uma série de vantagens, dentre as quais destacam-se:

- A segurança requerida por este tipo de pesquisa para a permanência de equipamentos, em sua maioria, delicados e caros, pois todos os terrenos são murados ou gradeados e com acesso restrito ao pessoal da manutenção das operadoras;
- A adequada distribuição espacial dos *sites* para os objetivos da pesquisa, já que estão espalhados por toda a cidade, bem como a regularidade espacial⁶ desta

⁵ Optou-se por manter o mesmo termo para designar os sítios das torres.

⁶ De acordo com informações obtidas dos funcionários da concessionária, não existe uma distância (máxima ou mínima) padrão para a instalação das torres. A locação da mesma se dá em função da topografia, da existência de lote disponível para locação ou venda e da demanda de uso da área de atendimento.

distribuição, em função das características necessárias ao pleno funcionamento da radio-transmissão;

- A diversidade de tipologias morfológicas encontradas no entorno de cada terreno, graças a essa distribuição espacial aleatória em termos de ocupação, o que no caso específico de Natal, permitiu que fossem colocados equipamentos em área com ocupações diversas quanto aos aspectos físicos;

- A facilidade de acesso aos pontos de coleta, devido a se contatar apenas 01 proprietário (no caso, uma empresa privada) para a autorização de colocação de todos os equipamentos, e a agilidade que isso reflete na pesquisa, principalmente na procura por pontos de medição adequados à colocação/ permanência dos equipamentos;

- A padronização possível tanto para a fixação dos equipamentos (altura de fixação e condições de exposição ao sol) quanto em relação às próprias características dos pontos de medição e seu entorno imediato (tipo de revestimento do solo, tamanho do terreno, dentre outros), permitindo que sejam evidenciadas as características do entorno não imediato dos mesmos na pesquisa;

- A não interferência da atividade humana nos horários de medição, uma vez que os terrenos permanecem vazios.

- A certeza de que os pontos de medição não terão suas estruturas físicas alteradas no intervalo da pesquisa de campo, possibilitando a realização da mesma pelo menos nos 02 períodos definidos, e ainda outros a serem determinados, caso seja necessário em pesquisas posteriores;

- A possibilidade de criação de um banco de dados, imparcial e tecnicamente comprometido que sirva também para consulta pela empresa concessionária dos *sites*, de forma a tornar o levantamento dos dados útil também para outros fins.

- A possibilidade de repetição dessa metodologia em áreas de clima semelhante, dada a presença desse tipo de construção civil e de tecnologia, na maioria das cidades nos dias atuais.

Existem, entretanto, alguns aspectos que foram observados quando da escolha de quais dos *sites* existentes em funcionamento eram adequados para a pesquisa em questão. Eles estão relacionados a 03 aspectos principais, que se inter-relacionaram: a ventilação urbana, o tamanho do terreno disponível, e a altura de implantação das torres em relação ao terreno.

Em se tratando do primeiro aspecto é importante considerar o entorno e o tipo de fechamento (muro ou grade) presente no terreno, de forma que estes não sejam empecilhos ao livre fluxo da ventilação predominante; já que Bittencourt; Cândido (2005) defendem que a presença de muros no perímetro dos lotes pode produzir uma significativa redução do movimento do ar nas construções especialmente se forem altos e fechados. Para esta pesquisa, cujos equipamentos foram instalados a 1,5m-2m de altura em função do conforto humano (segundo recomenda OKE, 2004) e da própria facilidade de fixação, foram descartados *sites* em que os muros fossem maior que 2,60.

Quanto ao tamanho do terreno considerou-se como ideal o lote padrão admitido no parcelamento estabelecido em lei pelo Plano Diretor da cidade que é de 200m² (PMN, 1994). Assim sendo, os *sites* cujos terrenos apresentam área maior ou igual a 200m² foram considerados adequados para a pesquisa, já os com áreas menores que 100m², foram descartados. E os com área entre 100 e 200m² foram estudados caso a caso.

A partir desses condicionantes, e da quantidade de equipamentos disponíveis, foi possível se verificar as variáveis ambientais em 20 pontos na cidade, sendo 19 em *sites* e 01 ponto de referência (EST REF); estando distribuídos 04 na Região Norte,

10 na Região Sul, 04 na Região Leste e 02 na Região Oeste (Figura 5.12 e quadro 5.1).

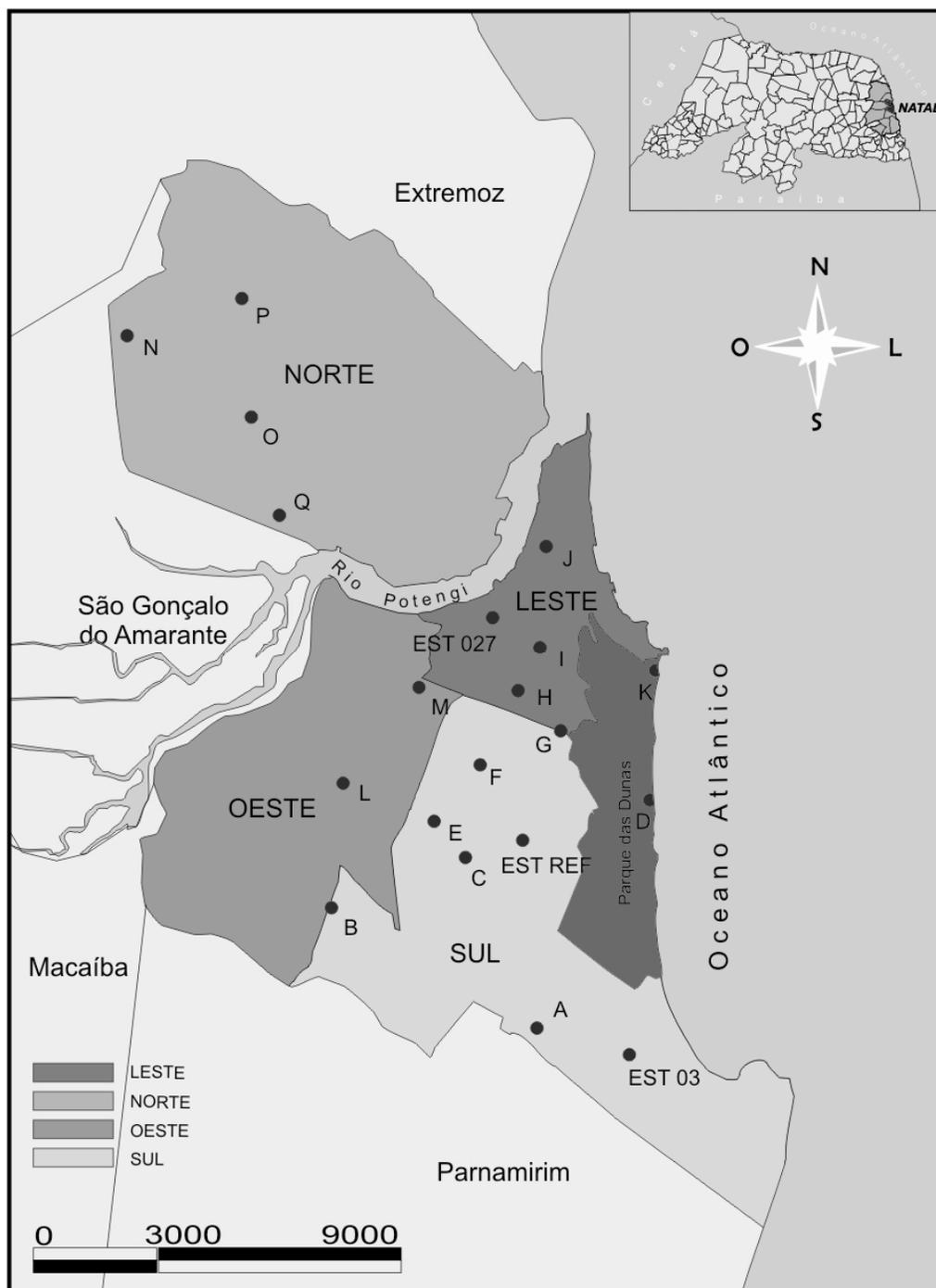


Figura 5. 12 – Mapa de localização dos pontos de coleta de dados na área urbana de Natal.

Quadro 5.1 - Pontos de coleta por região administrativa

REGIÃO ADMINISTRATIVA	PONTOS
NORTE (04)	N – P – P – Q
SUL (10)	A – B – C – D – E – F – G – K EST03 – EST REF
LESTE (04)	H – I – J - EST027
OESTE (02)	L – M

Os pontos que continham equipamentos com as proteções foram nomeados de A a Q perfazendo um total de 17 pontos e as estações meteorológicas são chamadas de: EST027, EST03 e EST REF, sendo esta última a estação de referência localizada na área do INPE, na Região Sul da cidade.

Uma concessionária de telefonia celular⁷ se disponibilizou a colaborar com a pesquisa. Durante a etapa de levantamento de dados físicos e visita aos *sites* da empresa (que ocorreu em Outubro de 2005) foi colocado à disposição da pesquisadora o acesso a outros *sites*, contudo, em face às razões já explicadas aqui, optou-se por trabalhar com 20 pontos.

A tabela 5.8 traz informações de cada *site* pesquisado. O apêndice 3 traz as coordenadas em UTM para os pontos de coleta.

⁷ BSE – Claro RN

Tabela 5.8 - Informações de cada ponto de coleta

PONTO	LAT. (S)	LONG. (O)	ALTIT.	LARG.	COMP.	AREA
A	05 52' 59.7"	35 12'35.3"	86	13	20	260
B	05 51' 6.6"	35 14' 40.1"	63	12,1	13	157,3
C	05 50' 33"	35 13' 6.2"	84	11,5	19,5	224,25
D	05 49' 42.6"	35 10' 59.2"	47	9	11,15	100,35
E	05 49' 52.3"	35 13' 30.6"	53	9,8	11,8	115,64
F	05 49' 12"	35 12' 59.4"	66	13,7	19,1	261,67
G	05 49' 1.1"	35 11' 55.1"	85	11	32	352
H	05 48' 34.0"	35 12' 30.7"	56	15,7	24,7	387,79
I	05 47' 57.6"	35 12' 8.5"	66	9	14,9	134,1
J	05 46' 59.5"	35 12' 16.7"	47	9	36,3	326,7
K	05 48' 18"	35 10' 54.8"	37	15	14,6	219
L	05 49' 19.9"	35 14' 49.30"	40	13,5	28,8	388,8
M	05 48' 26"	35 13' 32.5"	61	9,8	19,8	194,04
N	05 44' 1.9"	35 17' 30.3"	71	9,8	14,9	146,02
O	05 45'12.8"	35 15' 48.8"	64	8	30,3	242,4
P	05 43' 42.8"	35 16' 0.4"	58	9,5	10,5	100
Q	05 46' 30.5"	35 15' 27.6"	62	14,6	20	292
EST027	05 47'33.3"	35 12' 41.4"	49	15	47	705
EST03	05 52' 57.4"	35 11' 0.1"	67	10,9	16,3	177,67
EST REF	05 50'20"	35 12'38"	68	-	-	-

5.3.2. Caracterização do *site* padrão

Apresenta-se a seguir um modelo construtivo padrão para os *sites* que embora possam variar quanto ao tamanho dos terrenos têm todos o mesmo tipo de revestimento de piso (brita escura), e são compostos por *shelter* e/ou *container*⁸ e torre com equipamentos (antenas) em geral a cerca de 30m de altura. Esta última pode ter 03 tipos de estrutura, em ferro pintado (nas cores laranja ou cinza): tubular, triangular e quadrada. No caso dos *sites* pesquisados somente o ponto P tinha estrutura tubular e o EST027 quadrado, nos demais a estrutura da torre era triangular. O projeto padrão seguido pela operadora pode ser visto nas figuras 5.13 e 5.14.

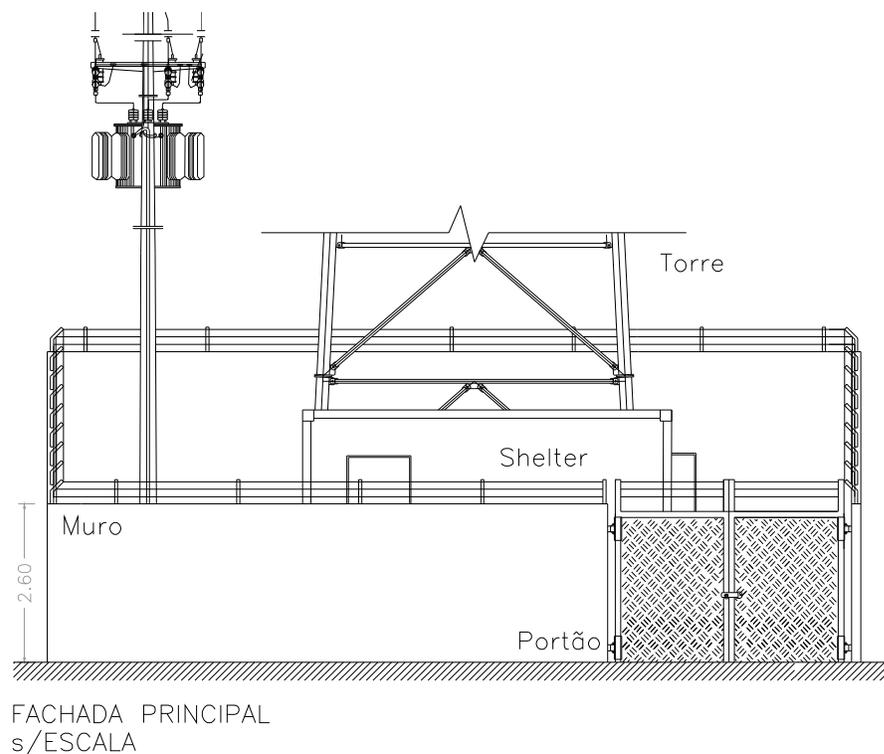
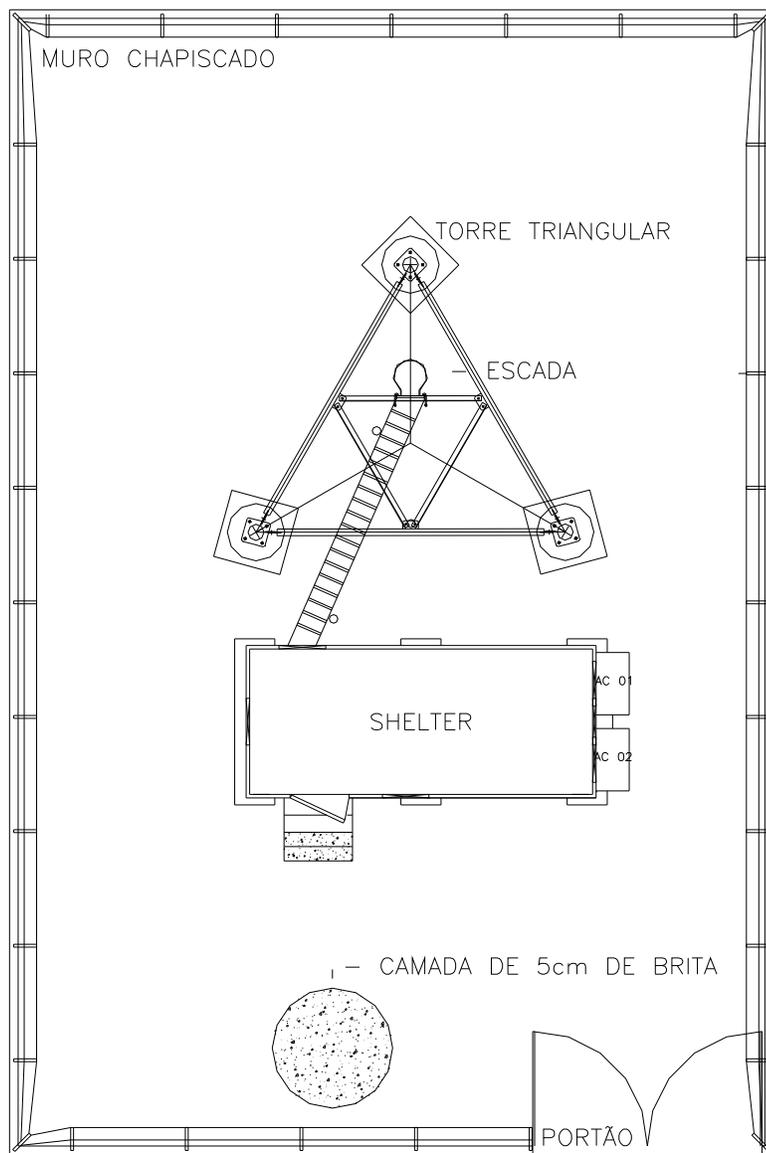


Figura 5.13 – Vista da fachada frontal padrão para construção de *site*

⁸ dependendo da tecnologia empregada, GSM e TDMA, respectivamente.



PLANTA BAIXA – SITE
s/ESCALA

Figura 5.14 – Planta baixa padrão para construção de *site* (medidas ajustáveis para terreno real).

Os equipamentos foram instalados nas escadas de segurança de cada *site*, ao ar livre, portanto expostos a forte incidência direta da radiação solar e da ventilação na proteção. A opção por se instalar o equipamento na escada, que

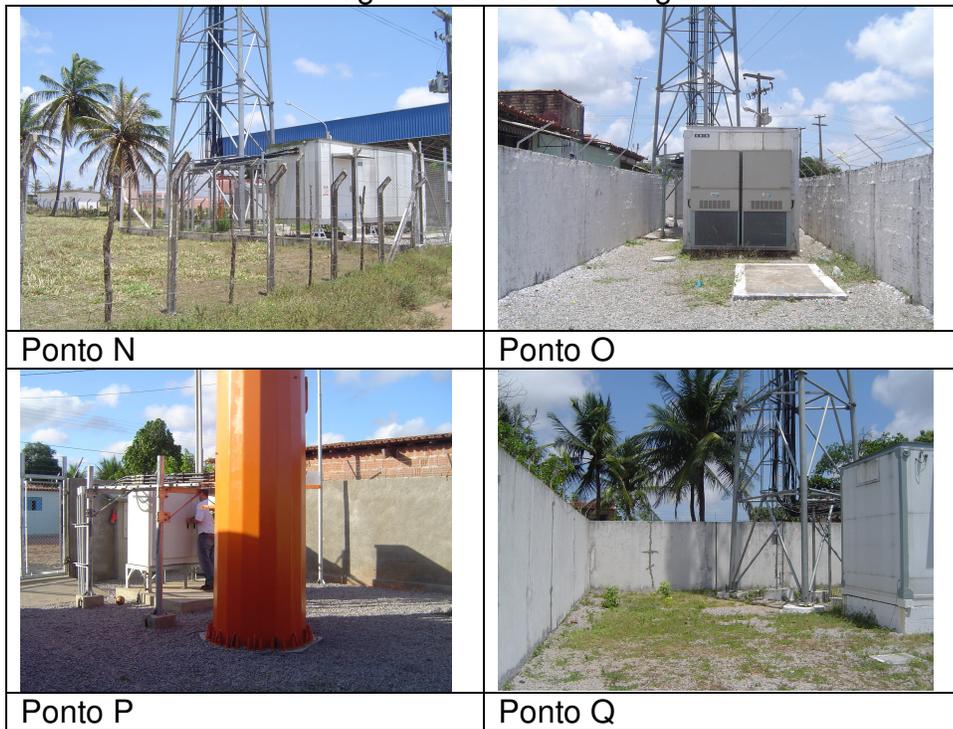
existe em todos os casos, permitiu a padronização. A figura 5.16 exemplifica o exposto.



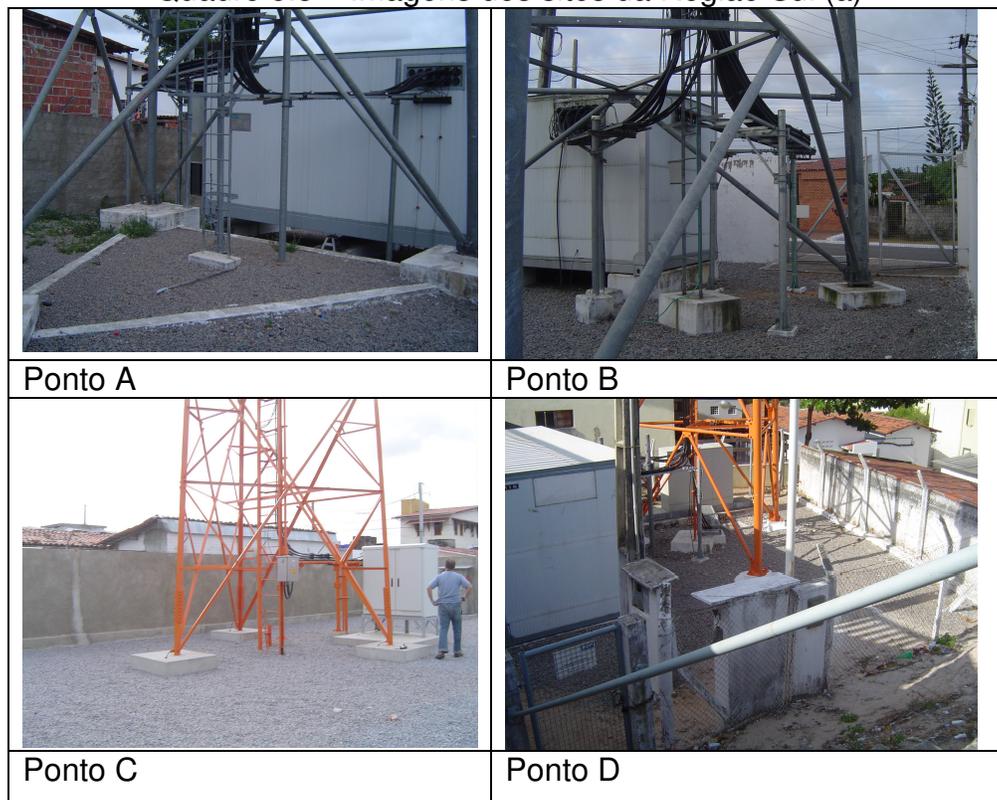
Figura 5.15 – Fotografias do equipamento instalado na escada e detalhe de fixação.

Os quadros 5.2 a 5.6 mostram fotografias dos sites pesquisados.

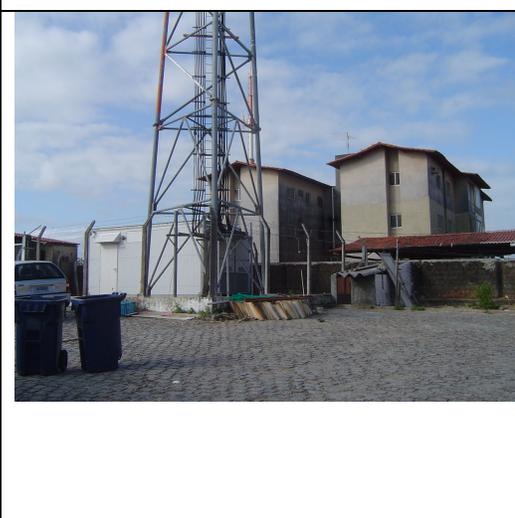
Quadro 5.2– Imagens dos sites da Região Norte



Quadro 5.3 – Imagens dos sites da Região Sul (a)



Quadro 5.4 – Imagens dos sites da Região Sul (b)

	
<p>Ponto E</p>	<p>Ponto F</p>
	
<p>Ponto G</p>	<p>Ponto K</p>
	
<p>Ponto EST 03</p>	<p>Ponto EST REF</p>

Quadro 5.5 – Imagens dos sites da Região Leste



Quadro 5.6 – Imagens dos sites da Região Oeste



É necessário fazer ressalvas em relação a alguns pontos de coleta:

- O Ponto D tem uma situação topográfica que deve ser considerada como um obstáculo à ventilação, quando associado à altura das edificações vizinhas, já que está localizado em um terreno abaixo do nível da rua.

- A composição do entorno imediato do *site* do Ponto K pode ter influenciado enormemente os resultados das variáveis ambientais encontrados, uma vez que diferentemente dos outros pontos, esse possui grande quantidade de concreto (um aclave impermeabilizado que compreende toda a extensão de um dos lados do mesmo) e está localizado abaixo do nível da rua.

- O Ponto EST REF está livre de qualquer interferência à ventilação justamente por localizar-se numa base de caixa d'água a cerca de 10m de altura – foi por esse motivo considerado ponto de referência.

5.4. PARÂMETROS DE CLASSIFICAÇÃO DIGITAL GEO-REFERENCIADA

A análise do uso e ocupação do solo na cidade contou com o auxílio de uma imagem de alta resolução do satélite IKONOS II, datada de 2003 em uma composição colorida multi-espectral (RGB -321), com resolução espacial de 1m, resultante da fusão com a banda pancromática; em cujo tratamento foi utilizado o *software ENVI*, versão 3.4, licenciado para uso no Laboratório de Geologia e Geomática - LAGEOMA da UFRN. Essa etapa contou com a participação de bolsistas do referido laboratório que auxiliaram na elaboração dos mapas temáticos.

Inicialmente foram geo-referenciados todos os pontos de coleta dos dados das variáveis ambientais com o auxílio do GPS da marca Etrex Garmim, de propriedade do INPE e resolução de mais ou menos 8m (devidamente ajustados

na confecção do mapa); e foram definidas áreas de influência a serem analisadas ao redor de cada ponto.

Para Oke (2004) a área de influência captada pelo sensor não é um raio simétrico – é uma elipse, sendo maior no caminho do vento. O círculo de influência da temperatura do ar e umidade relativa do ar tem um raio de 0,5km em média dependendo do grau de densidade da área. Em Grimmond (2006) tem-se que a área de influência de uma medição é função da variável em observação, do método que é utilizado na medição, da locação do equipamento, da natureza da superfície do lugar observado, e em alguns casos das condições meteorológicas.

Para a definição da área que seria adotada nessa pesquisa, foi considerado o raio de 150m, estabelecido em Katzschner; Bosch; Rottgen (2002) para a unidade climática local, nas direções Norte e Oeste a partir do ponto de coleta, e para as direções Sul e Leste foi considerado um raio de 350m, de forma que o valor resultante fosse de 500m (ou 0,5km defendido por Oke); na intenção de incluir aí a importância da ventilação como amenizador climático para o clima estudado, predominantemente Sudeste para a cidade.

É consenso na literatura, que para o clima quente e úmido o tipo de forma urbana encontrada no caminho do vento (a barlavento) influencia mais significativamente as possíveis alterações microclimáticas no ponto de coleta do que a forma urbana situada a sotavento desse ponto. A figura 5.16 detalha melhor a composição da área. Esse procedimento considerou então uma área de 0,31km² no entorno de cada ponto para estudo das variáveis físicas.

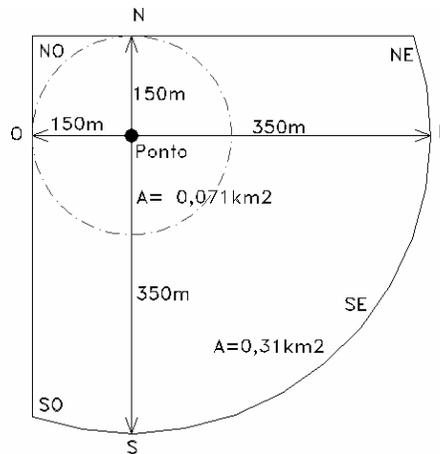


Figura 5.16 – Composição da área de análise do entorno de cada ponto de coleta

Com base na análise interpretativa preliminar da imagem, auxiliada por visitas *in loco* e pelo conhecimento prévio da pesquisadora das áreas de estudo, foram definidas inicialmente as seguintes classes temáticas para os tipos de revestimento do solo, como representativas da realidade encontrada:

- cobertura com cerâmica,
- cobertura com amianto,
- cobertura metálica,
- corpos d' água 1 (lagoa/mar),
- corpos d' água 2 (piscinas/espelhos d'água),
- pavimento asfáltico,
- pavimento de concreto/calçamento,
- área com solo exposto/ vegetação rasteira,
- áreas com vegetação arbórea.

A partir daí foi realizada uma Classificação Supervisionada, no *software Arcview*, pelo método de Máxima Verossimilhança, no intuito de se identificar na imagem essas possíveis classes de uso e ocupação do solo. As técnicas de classificação supervisionada baseiam-se na disponibilidade de uma amostra representativa de cada classe temática identificada. Estas amostras são informações a respeito do comportamento espectral médio das classes e podem ser denominadas como

"*pixels* de treinamento" do sistema, que são, portanto, exemplos que o sistema de classificação toma como referência para decidir a qual classe cada *pixel* da imagem deve ser designado. Elas são escolhidas pelo pesquisador na elaboração do mapa temático. Esse método deve ser aplicado quando o analista conhece bem a imagem a ser classificada, para que possa definir classes que sejam representativas; característica presente na pesquisa.

A classificação de diferentes padrões de uso e ocupação se reflete em padrões espectrais também distintos para cada área da cidade. Segundo afirmam Paes, Pinto, Dutra (2003), cada alvo tem uma resposta emissiva ou refletiva diferente para cada banda do satélite e sua resposta em intensidade no espectro eletromagnético é a sua *Assinatura Espectral*; assim, através dos seus valores, obtidos como resposta a uma emissão e absorção típica em frequência, pode-se observar o comportamento de cada corpo.

De acordo com Novo apud Medeiros (2004) a seleção criteriosa das amostras de treinamento é condição *sine qua non* para que o processo classificatório seja bem sucedido, sendo também importante que as amostras sejam bastante homogêneas. Quando são utilizadas técnicas estatísticas de classificação, as amostras de treinamento devem ser grandes o suficiente para que possa ser feita a estimativa das características espectrais da classe de interesse. A partir de então, no processo de classificação, todos os pixels, pertencentes ou não às amostras de treinamento deverão ser designados à classe para a qual a "probabilidade" de pertencerem é maior.

O método estatístico de máxima verossimilhança pressupõe que os níveis de refletância de cada classe sigam uma distribuição normal multivariada. Este classificador avalia as probabilidades que um determinado pixel tem de pertencer às classes identificadas e o designa àquela cuja probabilidade seja maior (Novo apud MEDEIROS 2004). A definição das classes ou amostras de treinamento foi realizada a partir de observações preliminares feitas em campo

(que ajudou na atualização dos dados já que a “imagem base” data de 2003), como também de feições identificáveis na própria imagem, contando-se ainda com o auxílio de uma fotografia aérea, de 2005, para todos os trechos escolhidos.

Ressalta-se, todavia, que as classificações geradas numa primeira etapa ainda apresentaram incorreções e não foram suficientes para elaborar os mapas do tipo de recobrimento do entorno de cada ponto de coleta, devido ao fato de diferentes classes de ocupação do solo terem assinaturas espectrais semelhantes em casos específicos. Para cada área de influência foi então feita uma correção, um refinamento, para dirimir possíveis erros de classificação.

Essa correção se iniciou voltando-se para as imagens originais (de satélite e fotografia aérea) e conferindo-se a classificação gerada; em casos onde permaneceu a dúvida voltou-se ao campo para conferência *in loco*. É importante salientar ainda que as áreas de influência selecionadas não são verticalizadas, o que poderia causar o efeito de sombreamento de alvos de interesse; no entanto, em alguns casos, há na imagem a presença de nuvens (até pela própria composição do céu local, quase sempre parcialmente encoberto), o que dificultou a classificação.

Em seguida, foram calculadas as porcentagens de cada classe para cada entorno dos pontos de forma a considerar na composição da resultante da variável temperatura do ar (medida *in loco*) as variáveis de maior presença.

5.5. PARÂMETROS ESTATÍSTICOS

Levantados todos os dados das variáveis climáticas nas medições de campo, esses foram descarregados nos seus respectivos *softwares*, sendo:

- Testo e Testostor no *software Comfort Basic* (da Testo)
- Hobo no *software BoxCar Pro4.3* (da Onset Computer Corporation)
- Estações Meteorológicas no *software WeatherLink 5.5.1* (da Davis)

Posteriormente os dados foram exportados para o *software Excel* onde foram montados os bancos de dados (em anexo) e novamente exportados para o *software Estatística* onde foram analisados.

Na montagem do banco de dados de Verão foi necessário fazer um ajuste devido ao fato dessa medição ter-se iniciado às 12h do 1^o dia e terminado às 12h do 8^o dia. Foi então realizada uma *análise multivariada de perfis* comparando o ramo da curva média de temperatura do ar correspondente à segunda metade do dia entre os vários dias, concluiu-se (em anexo) que não existe diferença significativa entre a semi-curva do 1^o dia com a mesma semi-curva dos demais dias. Constatada esta semelhança, a solução adotada para padronização foi deslocar a semi-curva do 1^o dia para complementar o 8^o, possibilitando assim, uma padronização na análise com sete dias completos, com a certeza de que este artifício não influenciou em seus resultados.

A análise estatística foi dividida em 04 etapas principais. A primeira etapa analisou os dados do período de verão quanto a pontos de medição, regiões administrativas, horários e turnos de medição; a segunda etapa constou da análise dos dados da medição do período de inverno, seguindo os mesmos passos, a terceira tratou da comparação entre as duas medições e de sua relação com os parâmetros físicos levantados; e a última construiu um indicador de composição de revestimento horizontal (ICR) com base nos dados levantados.

Vale salientar que com essa pesquisa, foi possível se gerar um banco de dados físico-ambientais que caracteriza o ambiente térmico na cidade de Natal de forma a fornecer subsídio para o Projeto DCR "SIG Natal"⁹.

⁹ Projeto de Desenvolvimento Científico Regional financiado pela Fundação de Apoio e Amparo à Pesquisa do RN - FAPERN e CNPq, desenvolvido pela Dra. Arq. Cilene Gomes; e constará de:

- Caracterização da cidade quanto a seus aspectos físico-ambientais;

Na análise comparativa foi formulado um modelo da variabilidade da temperatura do ar em cada ponto em relação ao ponto de referência, por meio de um modelo linear global envolvendo os dados de cada período. Além disso, os pontos de medição foram agrupados por meio de análise de cluster com base no diferencial inverno-verão, resultando em 5 grupos homogêneos; e por fim foi elaborado um mapa estrela, espacializando os valores encontrados.

Na última etapa estatística, já no capítulo 8, além de proposto e calculado o ICR para todos os pontos, foram elaborados mapas térmicos no ArcGis 9.0.

-
- Dados cadastrais de pontos medidos e de seu entorno imediato;
 - Dados estatísticos gerados a partir de medições de variáveis ambientais em campo;
 - Referências bibliográficas atualizadas na área;
 - Mapas cartográficos elaborados a partir dos dados levantados;
 - Documentação arquitetônica.

6. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS ESPACIAIS: VARIÁVEIS FÍSICAS

Os dados espaciais, constituídos pelas variáveis físicas da área de entorno dos pontos de coleta são analisados e discutidos neste capítulo. Foram observados aspectos da ocupação do solo tais como tipo de uso, densidade construída, altura das edificações, tipo de revestimento/ revestimento de coberturas e pisos, existência de áreas verdes e topografia.

Cada área de 0,31km², no entorno (área de influência) dos 20 pontos de coleta, foi classificada quanto ao tipo de revestimento horizontal (piso e cobertura) em: *cobertura cerâmica, cobertura com amianto, cobertura metálica, corpos d' água 1 - lagoa/ mar, corpos d' água 2 - piscinas/ espelhos d'água, pavimento asfáltico, pavimento de concreto/calçamento, área com solo exposto/ vegetação rasteira e áreas com vegetação arbórea.*

Essa classificação permite adotar que os 03 itens: *corpos d' água 1 - lagoa/ mar, área com solo exposto/ vegetação rasteira e áreas com vegetação arbórea*, representam a área permeável; e a soma dos demais representa a área impermeável.

De modo geral, a relação sócio-econômica está diretamente ligada às características de ocupação. Em regiões onde o padrão sócio-econômico é elevado, como na região Sul da cidade observam-se lotes maiores, baixa densidade, presença de áreas arborizadas e vias largas pavimentadas com asfalto. Por outro lado, em áreas de baixo padrão sócio-econômico (como na região Norte) não há espaçamento entre os lotes nem áreas verdes; as vias têm solo exposto e largura reduzida. No entanto, na cobertura de ambos os padrões, predomina o uso de telha cerâmica, quando a edificação é térrea.

Os resultados da classificação supervisionada para a ocupação do solo são apresentados por região administrativa, como segue.

6.1. REGIÃO NORTE

6.1.1. Entorno do Ponto N

Localizada no limite Norte da cidade com o município vizinho de Ceará-Mirim, é a área com maior recobrimento de cobertura metálica (19,67%) justamente por localizar-se em zona industrial (com grandes terrenos), mas ainda apresenta grande área de solo exposto (48,75%) somando 63,21% de área permeável. A topografia é plana, não é uma área densa e não há obstáculo à ventilação predominante.

6.1.2. Entorno do Ponto O

Por estar em área densa, residencial (de baixa renda) e topografia plana, possui 46,59% de área recoberta por cobertura cerâmica e ainda outros 27,04% de área com solo exposto (uma vez que as ruas não são pavimentadas). Somando 33,84% de área permeável, e seu entorno é predominantemente térreo e sem obstáculos a ventilação

6.1.3. Entorno do Ponto P

É uma área predominantemente residencial, térrea e de topografia plana, embora esteja numa região de cota elevada. Na composição do seu entorno predomina a cobertura cerâmica como tipo de revestimento (46,96%) e lotes pequenos ocupados por população de baixa renda, está próximo à área de expansão da cidade, no limite Norte e ainda detém 40,53% de área permeável.

6.1.4. Entorno do Ponto Q

Seu entorno tem 56,47% de cobertura cerâmica e o uso é misto; principalmente nas proximidades da avenida de grande fluxo que é uma das vias de acesso à cidade (BR – 406 / R. Bel. Tomáz Landim), sua topografia é acidentada (em declive no sentido NO-SE) e as edificações são térreas mas com alta densidade. A área permeável é de apenas 13,63%.

Na seqüência são apresentadas as figuras com as imagens e mapas de classificação supervisionada para os pontos dessa região (figuras 6.1 a 6.8).

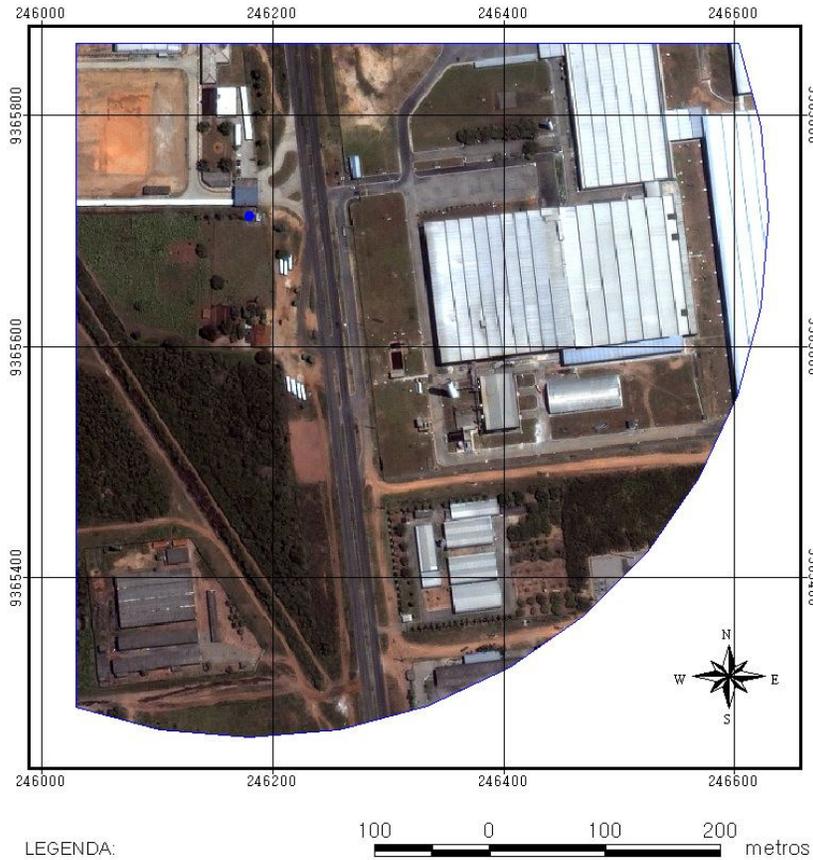


Figura 6.1 – Mapa com imagem de satélite do ponto N

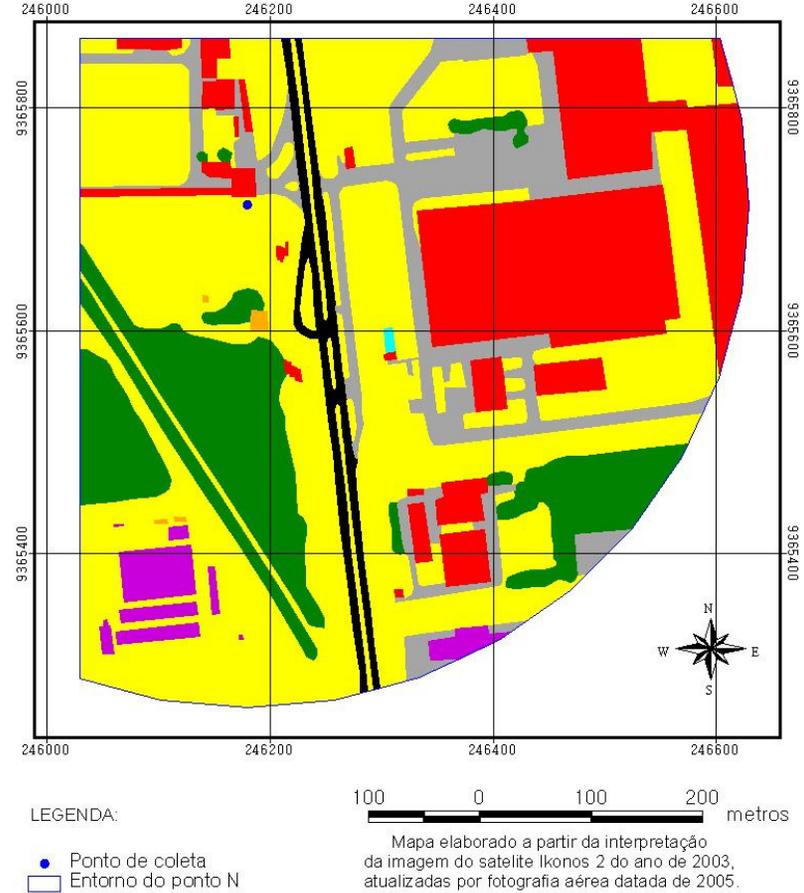


Figura 6. 2– Mapa com classificação supervisionada (Ponto N)

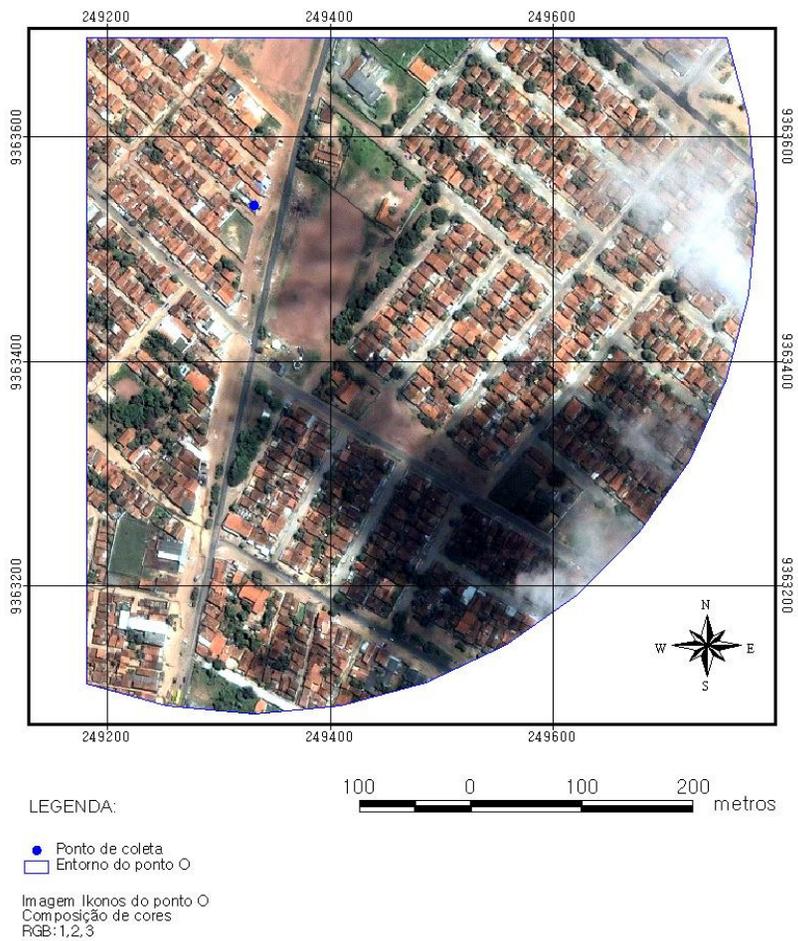


Figura 6.3 – Mapa com imagem de satélite do ponto O

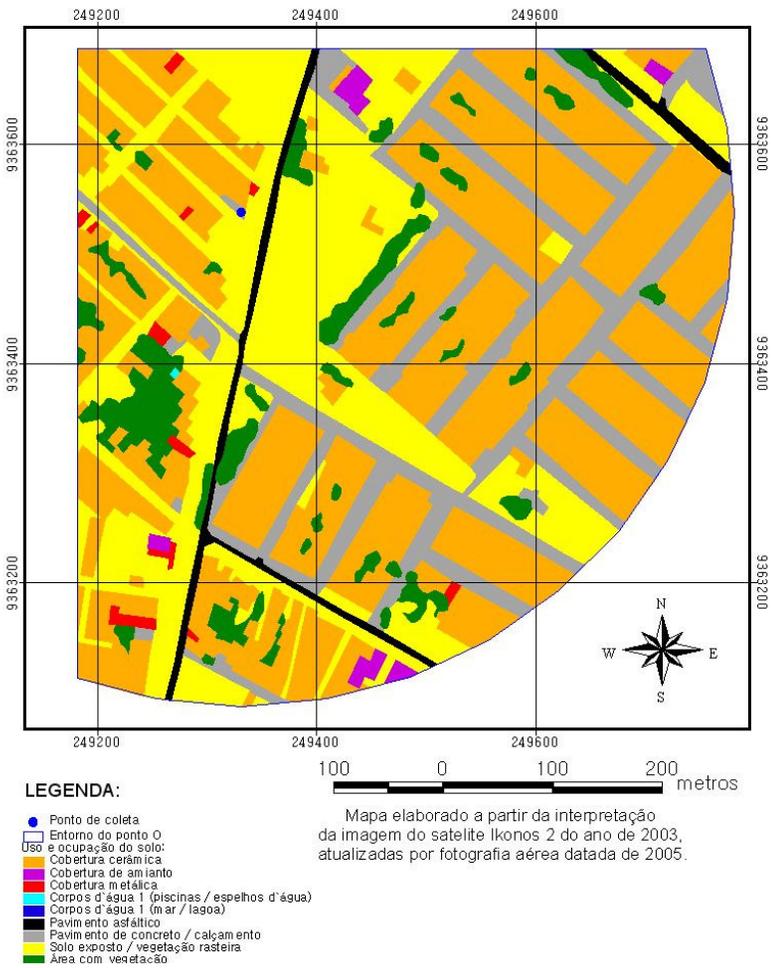
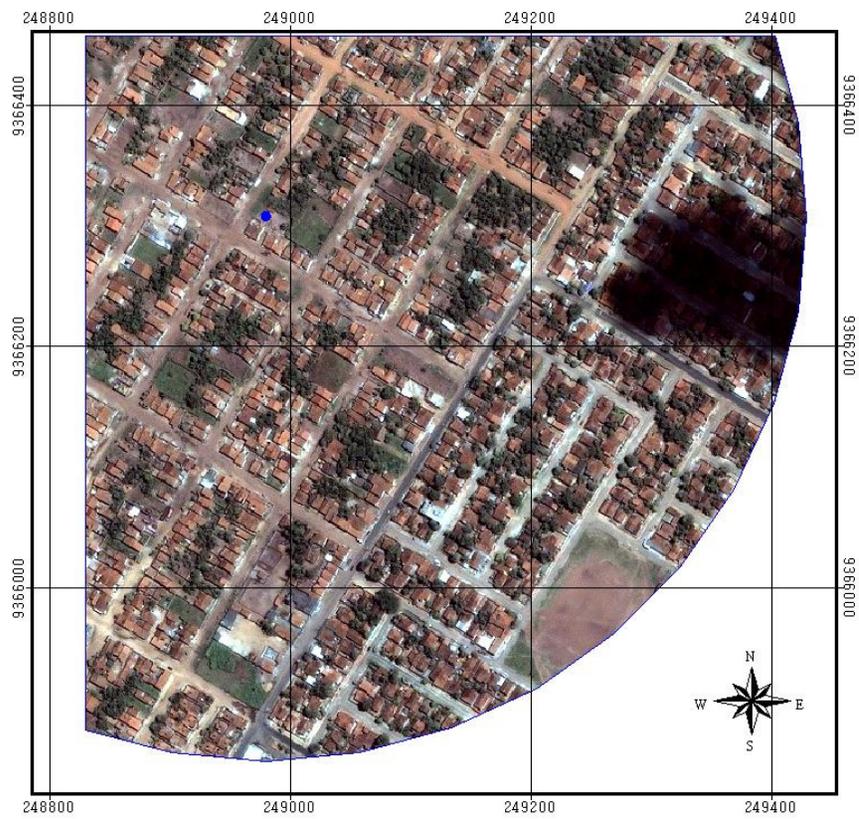


Figura 6.4 - Mapa com classificação supervisionada (Ponto O)



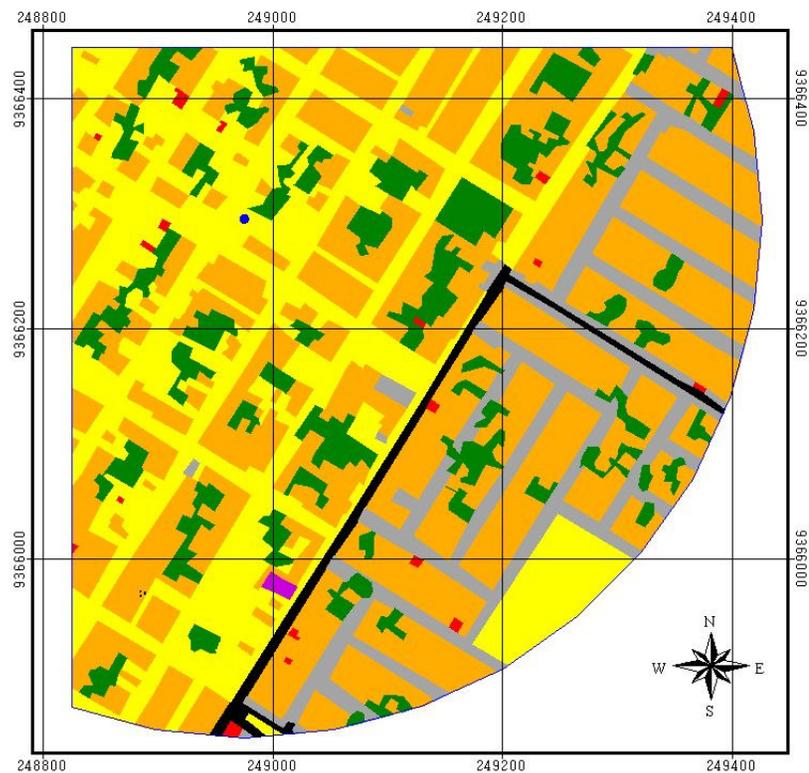
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto P

Imagem Ikonos do ponto P
 Composição de cores
 RGB:1,2,3



Figura 6.5 - Mapa com imagem de satélite do ponto P



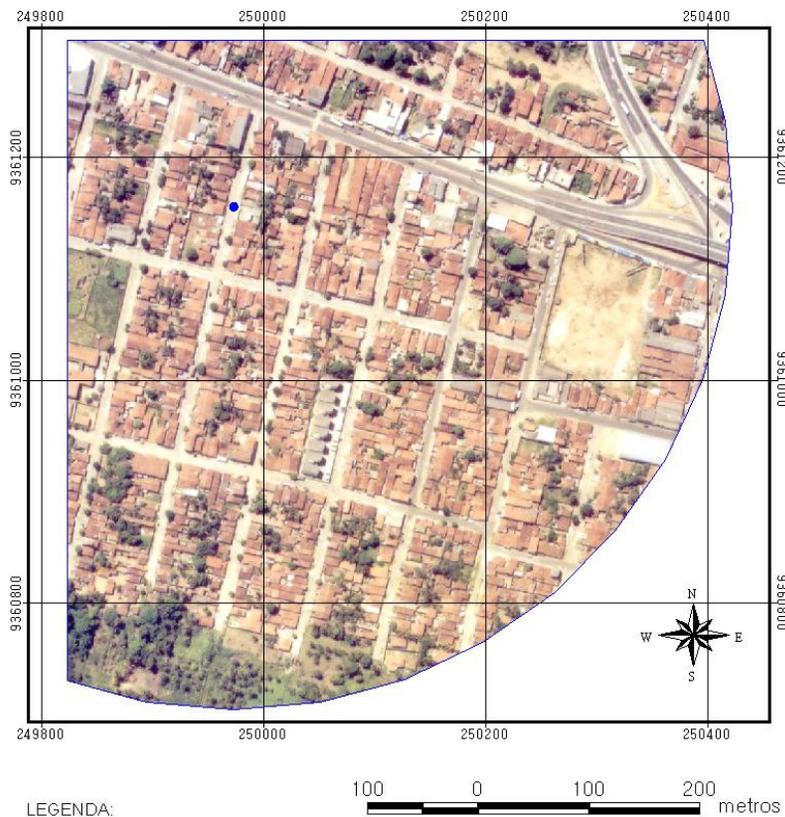
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto P
- Uso e ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 2 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação



Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

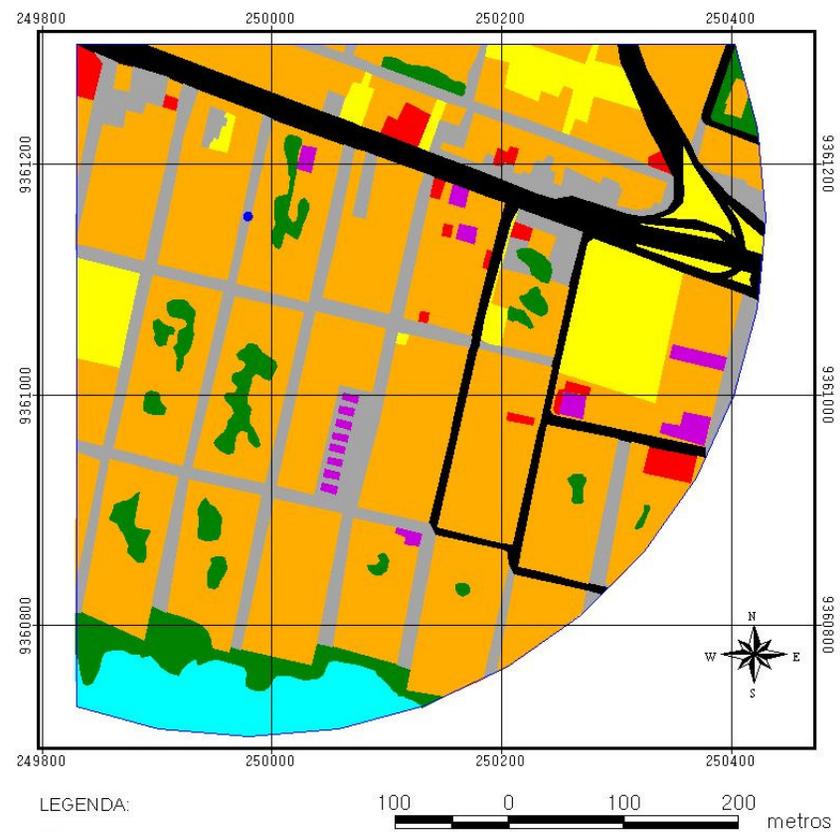
Figura 6.6 - Mapa com classificação supervisionada (Ponto P)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto Q

Foto Aérea do ponto Q
Composição de cores
RGB:1,2,3



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto Q
- Uso e ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 2 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.7 – Mapa com fotografia aérea do ponto Q

Figura 6.8 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto Q)

6.2. REGIÃO SUL

6.2.1. Entorno do Ponto A

Também se localiza em uma região de expansão recente no limite com a cidade vizinha de Parnamirim, ao Sul, atualmente já bastante adensada e com uso misto. Detém 31,55% da projeção horizontal de seu revestimento composto por cobertura cerâmica e soma 45,58% de área permeável; além de ter um entorno térreo e de topografia plana.

6.2.2. Entorno do Ponto B

O entorno do ponto B está localizado em área residencial (conjunto habitacional) na Região Sul da cidade, com edificações predominantemente térreas e sem obstáculos à ventilação, mas com alta densidade, devido ao tamanho dos lotes (em geral com até 200m²) e topografia plana, mas com presença de morros/ dunas não edificadas. O revestimento da superfície horizontal compõe-se principalmente por coberturas cerâmicas (38,90%), seguido por solo exposto (25,57%) e área com vegetação (20,01%). Tem 45,58% de área permeável.

6.2.3. Entorno do Ponto C

O entorno do ponto C também está em meio a um conjunto habitacional predominantemente térreo, de classe média e topografia acidentada (declive no sentido NO-SE), com pouca área verde (3,16%) e grande área recoberta por cobertura cerâmica (42,71%). Possui apenas 20,63% de área permeável.

6.2.4. Entorno do Ponto D

A área de influência do ponto D situa-se em uma região de uso de serviço, próximo a grande massa de água (Oceano Atlântico), sendo essa a principal componente de seu entorno (38,26%), que tem ainda 45,31% de área dividida em solo exposto e área com vegetação, totalizando 83,57% de área permeável. A figura 6.9 mostra alguns obstáculos à ventilação existentes no caminho do vento até o ponto de coleta.



Figura 6.9 – Fotografia do entorno do Ponto D

6.2.5. Entorno do Ponto E

Nas proximidades do ponto E ainda existem grandes terrenos baldios ou em construção e um condomínio de alto padrão com grandes lotes, topografia acidentada e uso misto. Da área estudada, 44,37% tem solo exposto e 46,41% da área é permeável. Vale ressaltar a existência nas proximidades de áreas (lagoas) de captação de águas pluviais.

6.2.6. Entorno do Ponto F

A área de influência do ponto F detém um recobrimento de solo bastante denso e heterogêneo, possuindo todos os tipos classificados na análise supervisionada e sendo o pavimento de concreto/ calçamento responsável por 31,33% do recobrimento da área. A área soma 25,04% de sua superfície permeável.

6.2.7. Entorno do Ponto G

O entorno do ponto G tem uma característica especial, está à sotavento do Parque das Dunas (Figura 6.10) - uma barreira natural à ventilação predominante (ative no quadrante SE). A área é residencial e apresenta topografia acidentada, composta em grande parte pelo Parque, o que ocasiona alto índice de área com vegetação (41,78%). A área permeável representa 55,15% do total.



Figura 6.10 - Fotografia do entorno do ponto G

6.2.8. Entorno do Ponto K

Como o entorno do ponto D, o K possui grande área de mar (46,24%), além de 19,71% de solo exposto e 13,55% de área com vegetação, totalizando 79,5% de área permeável. A figura 6.11 mostra a área.



Figura 6.11 - Fotografias do entorno do Ponto K

6.2.9. Entorno do Ponto EST 03

A área está numa situação privilegiada por não apresentar barreiras à ventilação, de topografia elevada e ainda com bastante área verde. O uso do solo predominante é misto e a densidade é baixa; detém 66,19% de área permeável composta equilibradamente por solo exposto e área com vegetação. A figura 6.12 mostra o entorno, com grande movimento de terra que dará origem a construções.



Figura 6.12 - Fotografias do entorno do Ponto EST03, detalhe da terraplanagem em execução

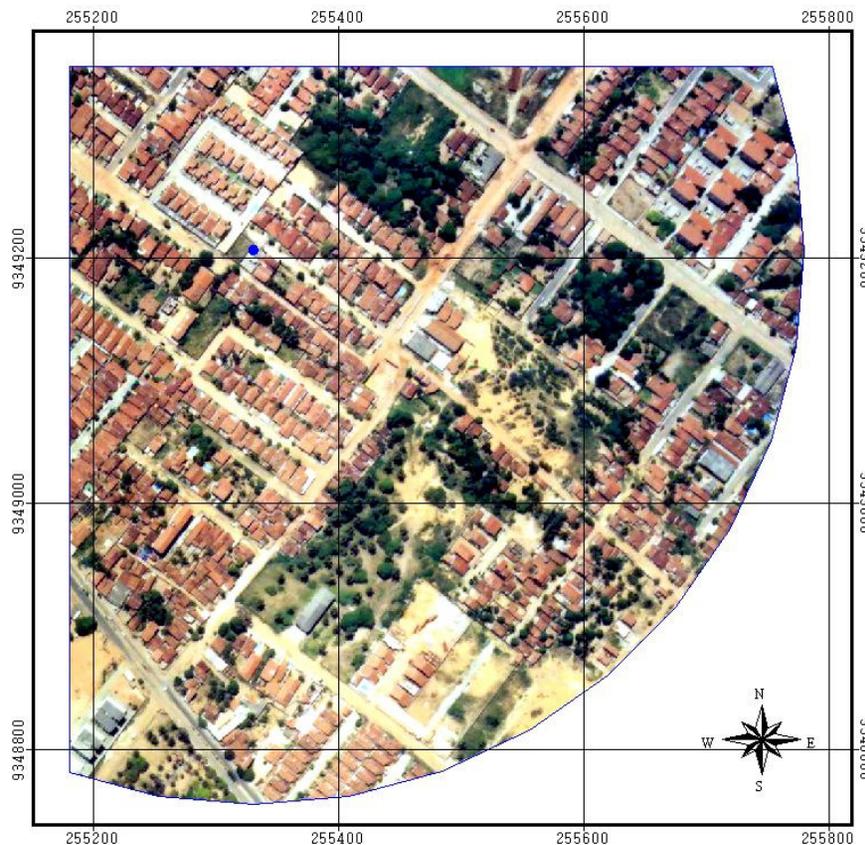
6.2.10. Entorno do Ponto EST REF

O entorno do ponto adotado como referência tem 41,01% de solo exposto, numa área com topografia pouco acidentada e uso misto/ institucional (INPE e UFRN). Tem 60,85% de área permeável (Figura 6.13).



Figura 6.13 - Fotografia do entorno do Ponto EST REF

Na seqüência são apresentadas as figuras com as imagens e mapas de classificação supervisionada para os pontos dessa região, que evidenciam a grande diversidade encontrada (Figuras 6.14 a 6.33).



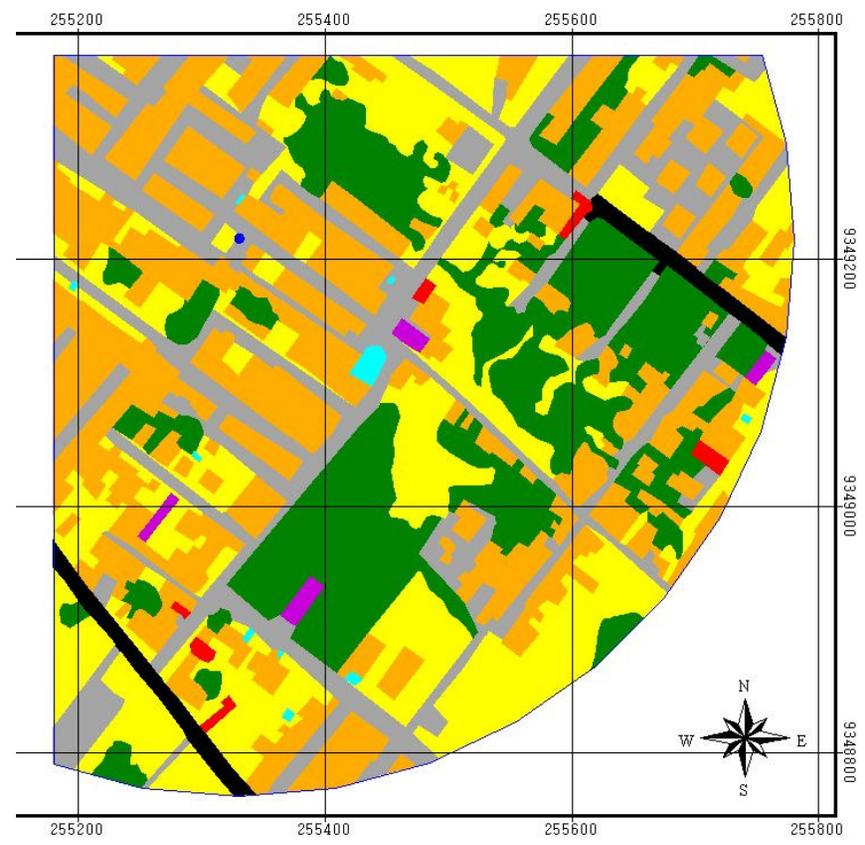
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto A

Foto Aérea do ponto A
 Composição de cores
 RGB: 1, 2, 3



Figura 6.14 – Mapa com fotografia aérea do ponto A



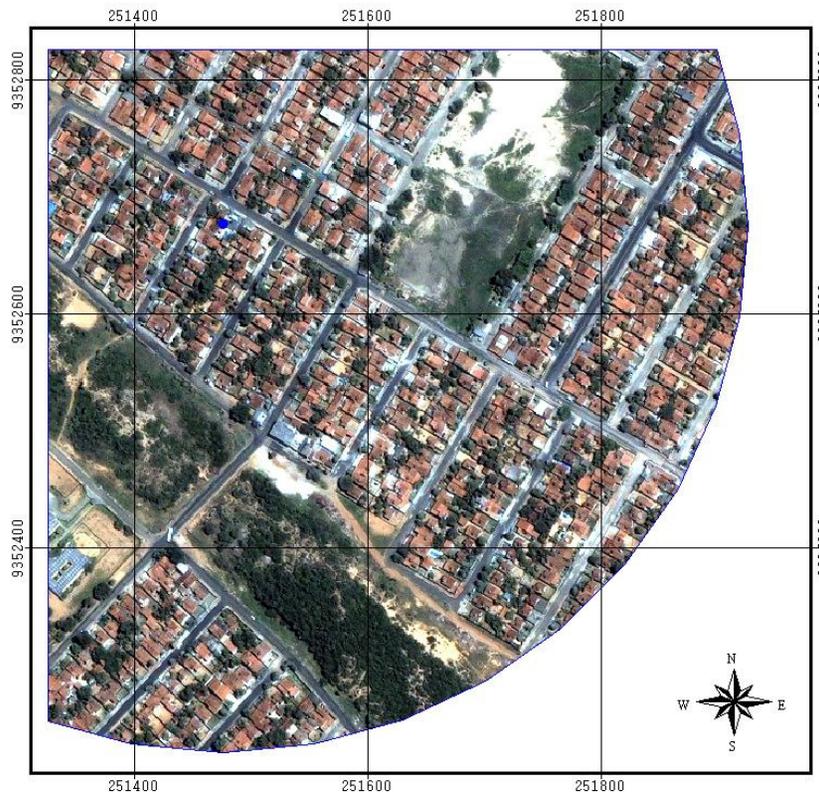
EGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto A
- so e ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Area com vegetação



Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.15 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto A)



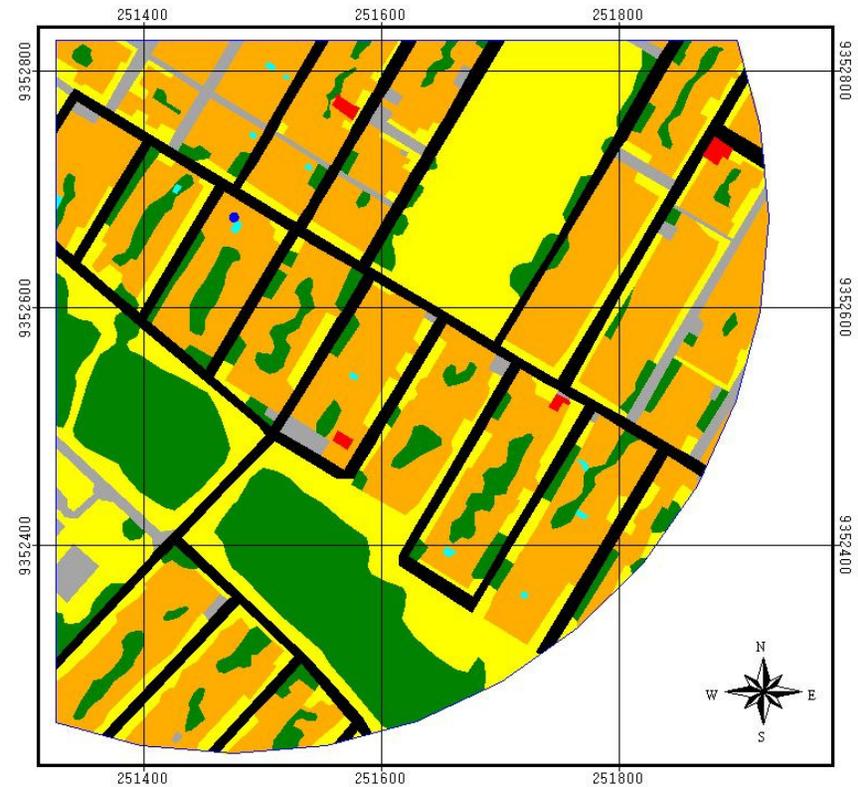
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto B

Imagem Ikonos do ponto B
 Composição de cores
 RGB: 1, 2, 3



Figura 6.16 – Mapa com fotografia aérea do ponto B



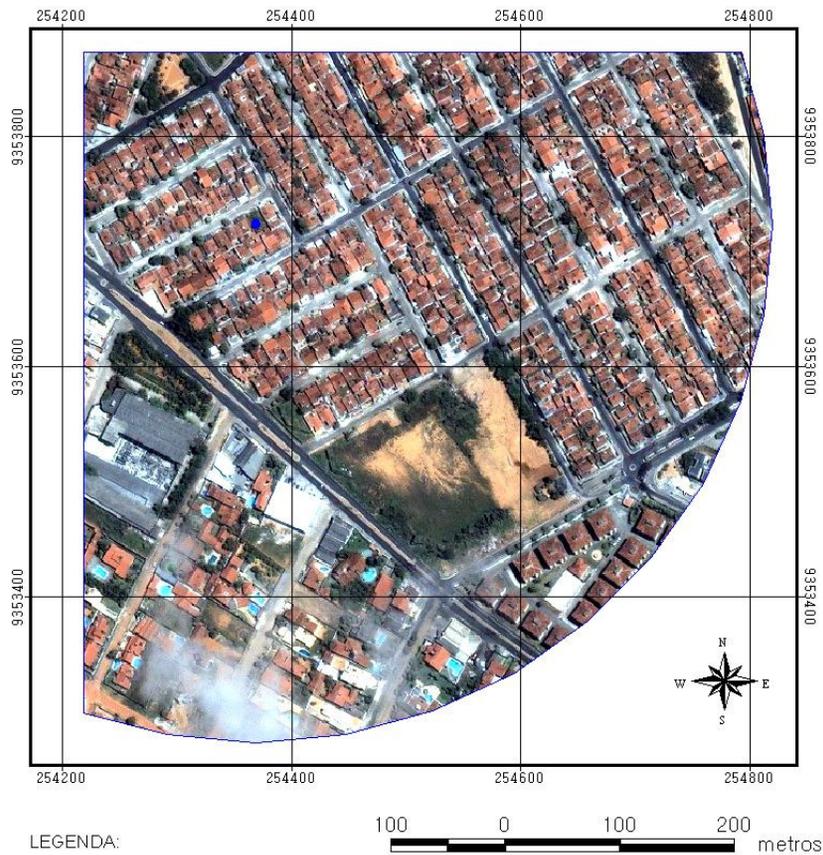
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto B
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação



Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.17 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto B)

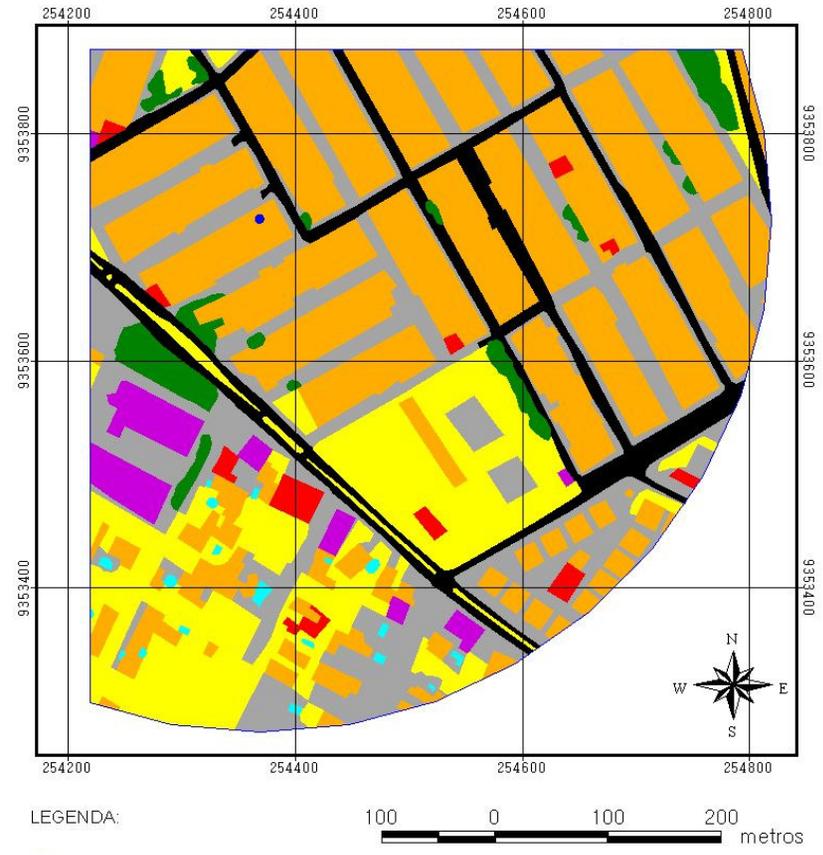


LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto C

Imagem Ikonos do ponto C
Composição de cores
RGB: 1,2,3

Figura 6.18 – Mapa com fotografia aérea do ponto C



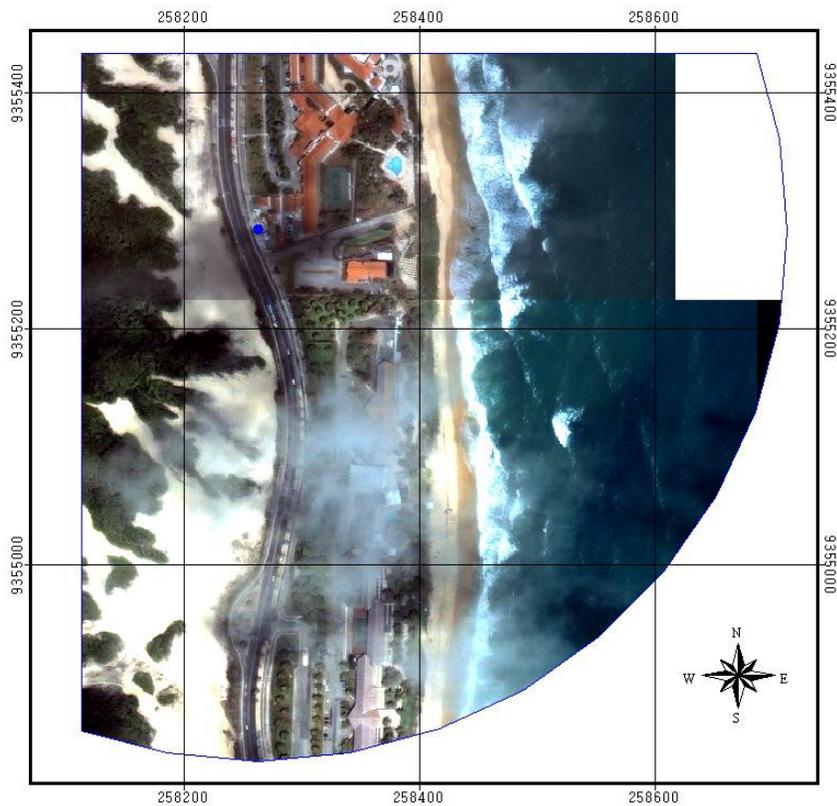
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto C
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação

100 0 100 200 metros

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

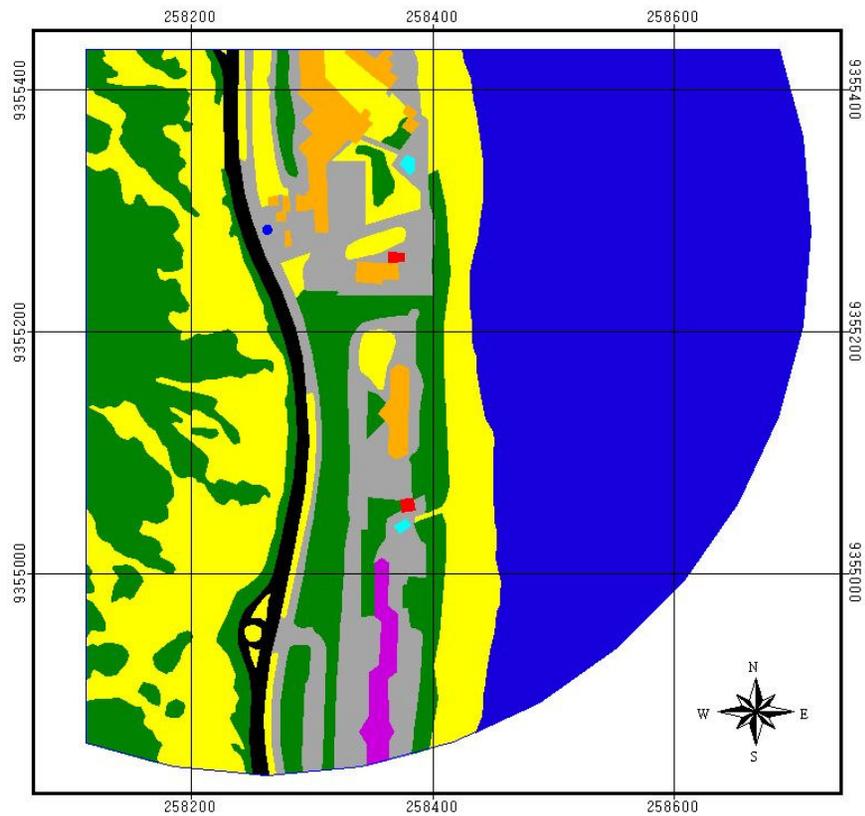
Figura 6.19 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto C)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto D

Imagem Ikonos do ponto D
Composição de cores
RGB:1,2,3



LEGENDA:

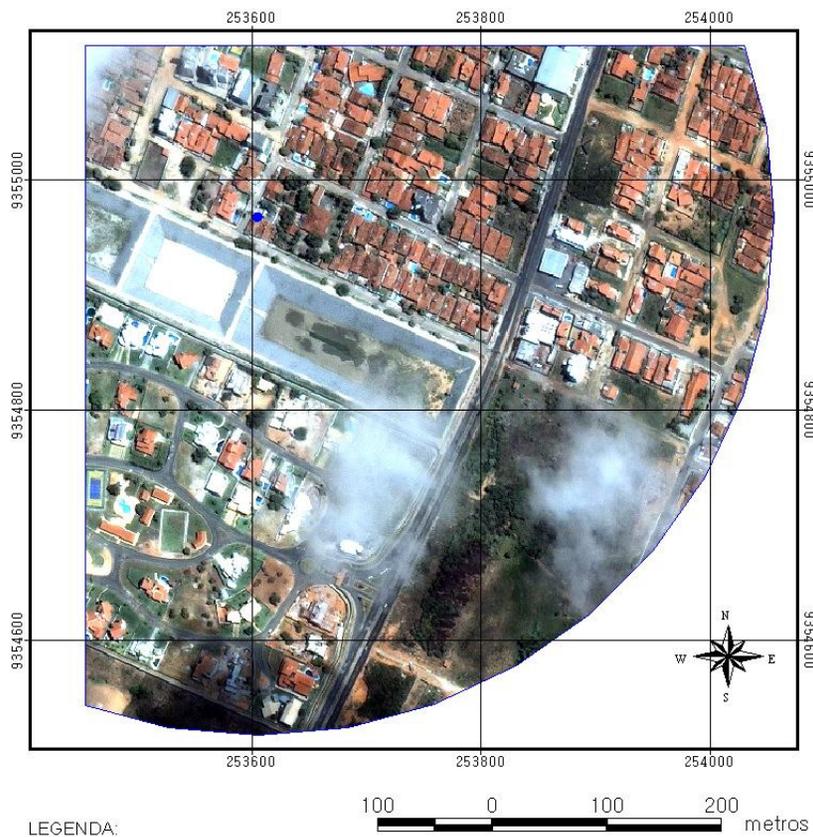
- Ponto de coleta
- Entorno do ponto D
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação

100 0 100 200 metros

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.20 – Mapa com fotografia aérea do ponto D

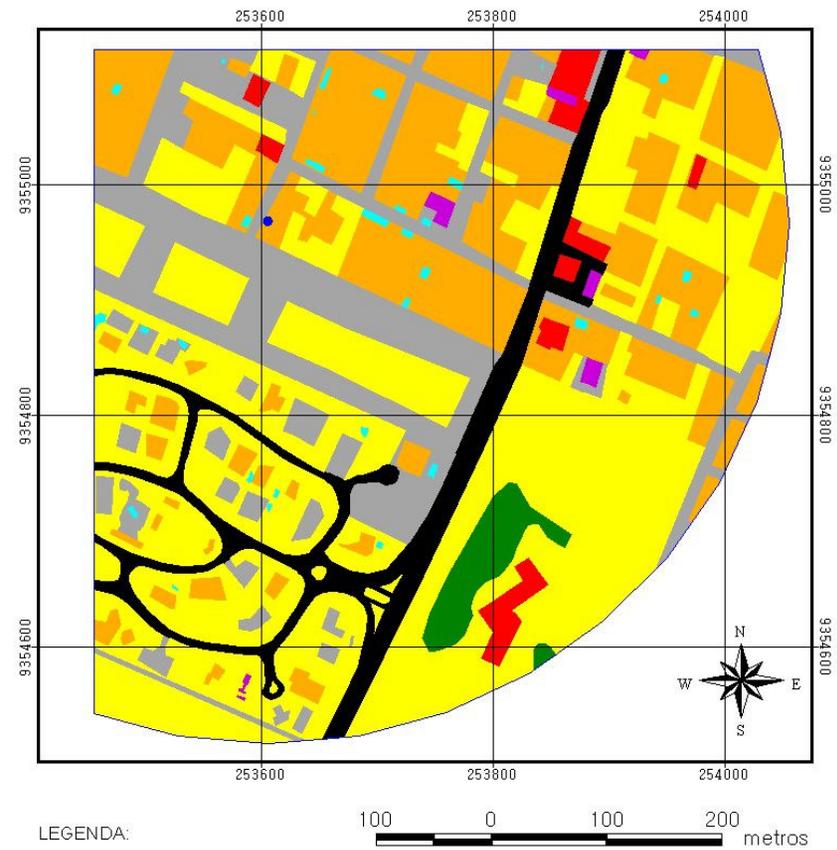
Figura 6.21 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto D)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto E

Imagem Ikonos do ponto E
Composição de cores
RGB: 1,2,3



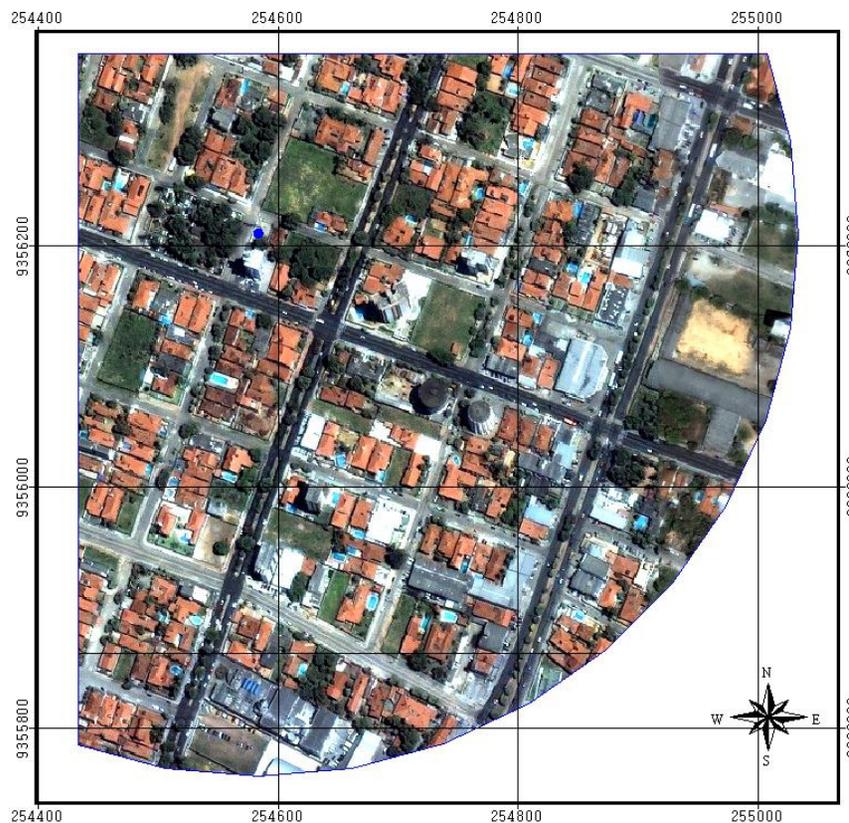
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto E
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.22 – Mapa com fotografia aérea do ponto E

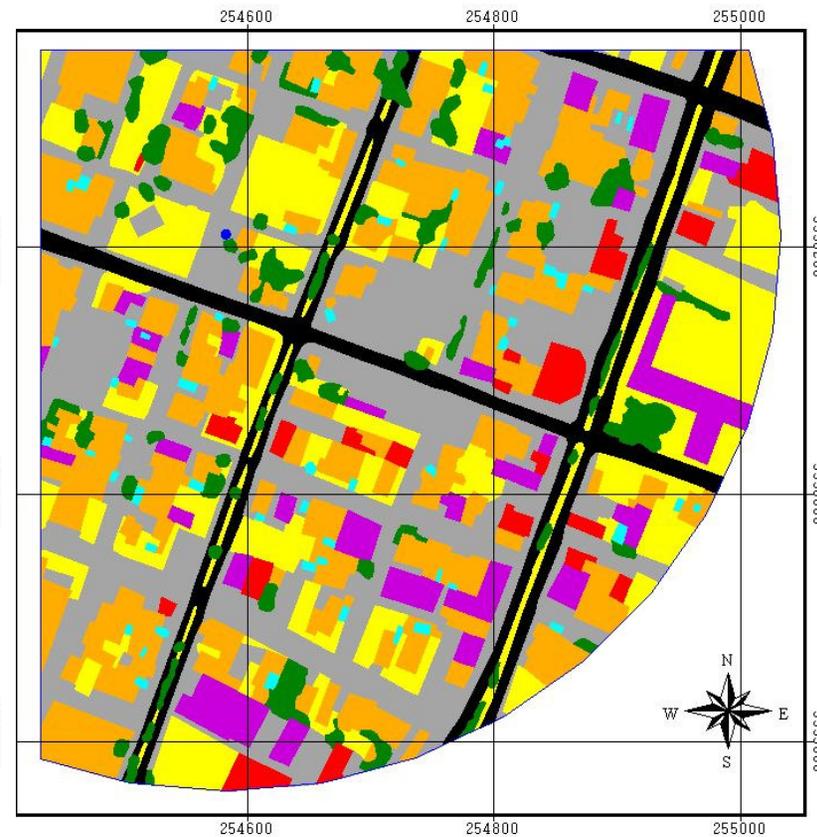
Figura 6.23 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto E)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto F

Imagem Ikonos do ponto F
Composição de cores
RGB:1,2,3



LEGENDA:

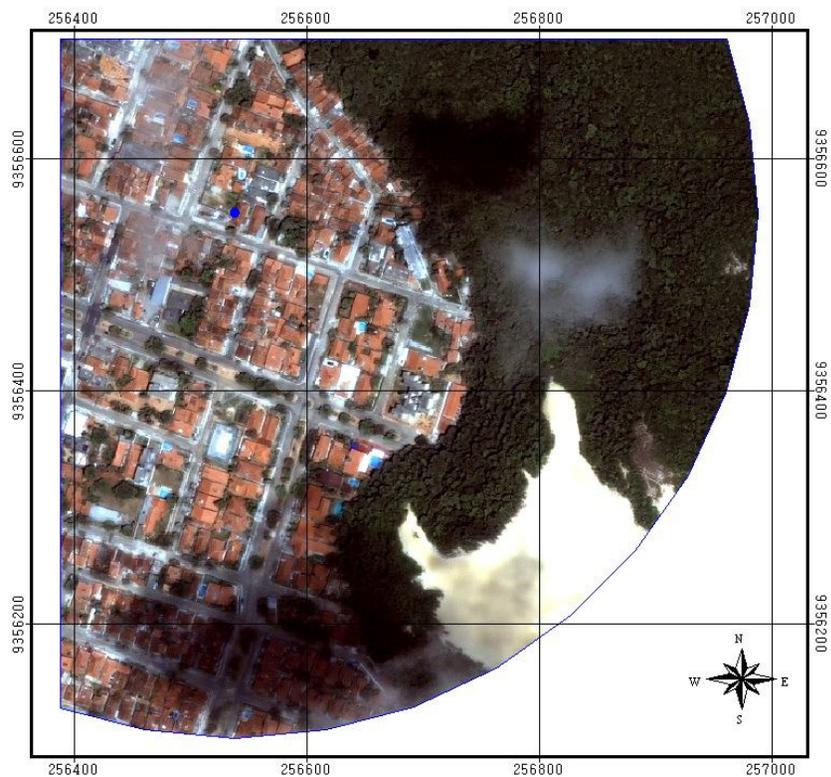
- Ponto de coleta
- Entorno do ponto F
- uso e ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura asfáltica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação



Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.24 – Mapa com fotografia aérea do ponto F

Figura 6.25 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto F)



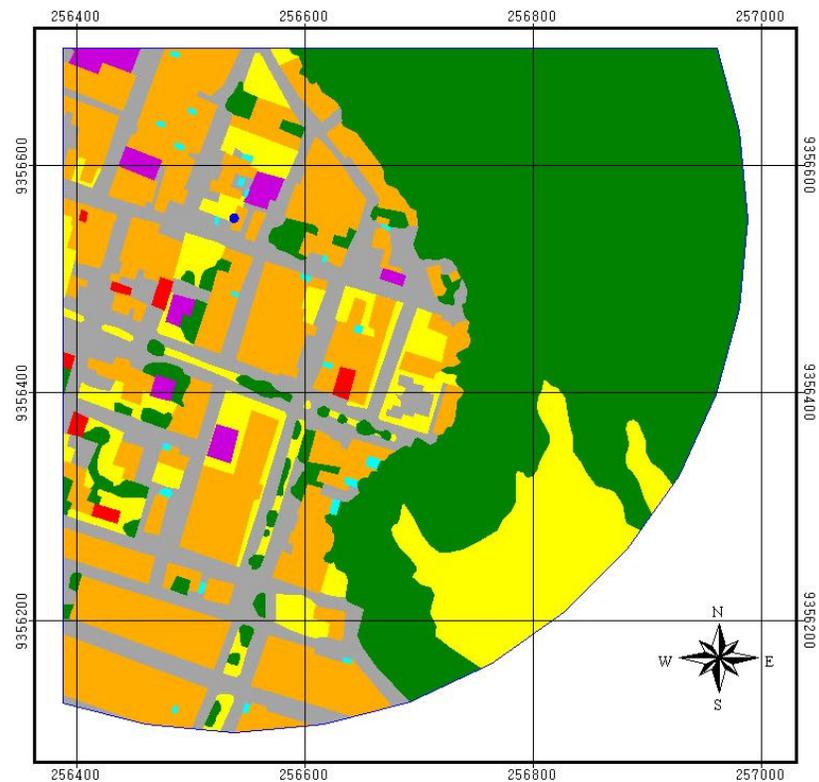
LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto G

Imagem Ikonos do ponto G
 Com posição de cores
 RGB:1,2,3



Figura 6.26 – Mapa com fotografia aérea do ponto G



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto G
- Uso e ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação



Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.27 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto G)

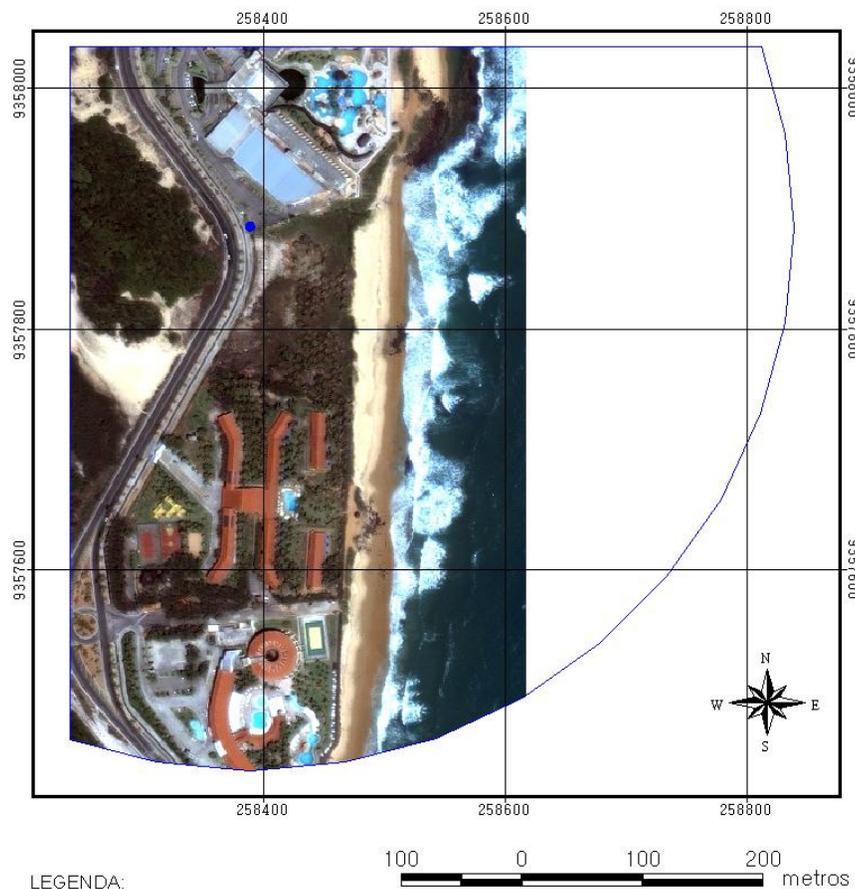


Figura 6.28 – Mapa com fotografia aérea do ponto K

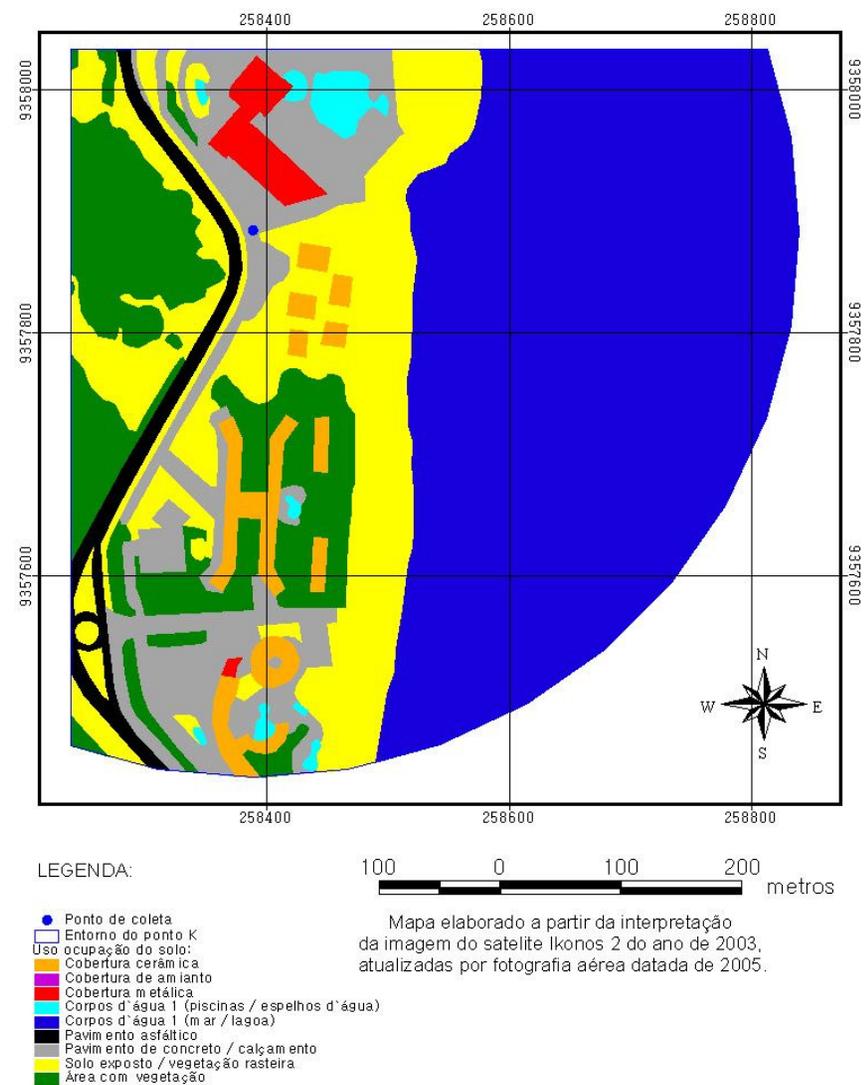
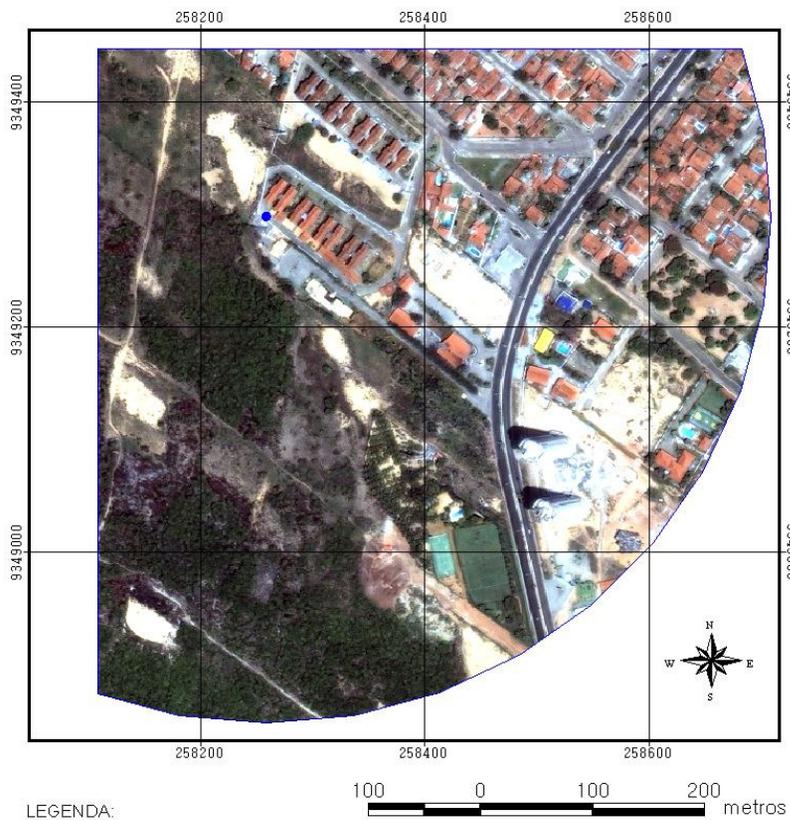


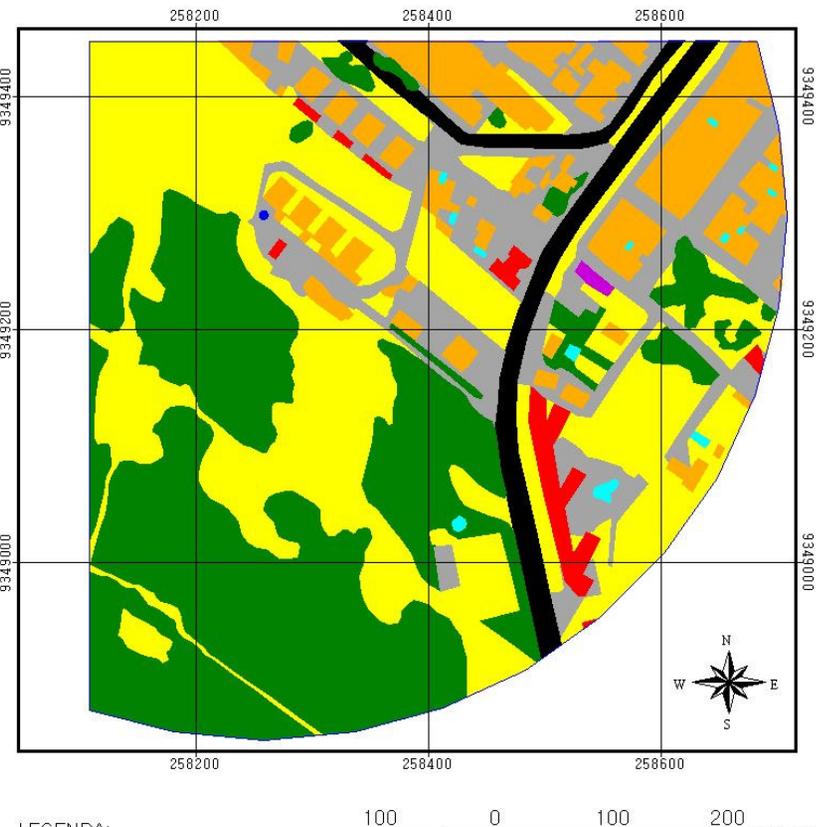
Figura 6.29 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto K)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto EST03

Imagem Ikonos do ponto EST03
 Composição de cores
 RGB:1,2,3



LEGENDA:

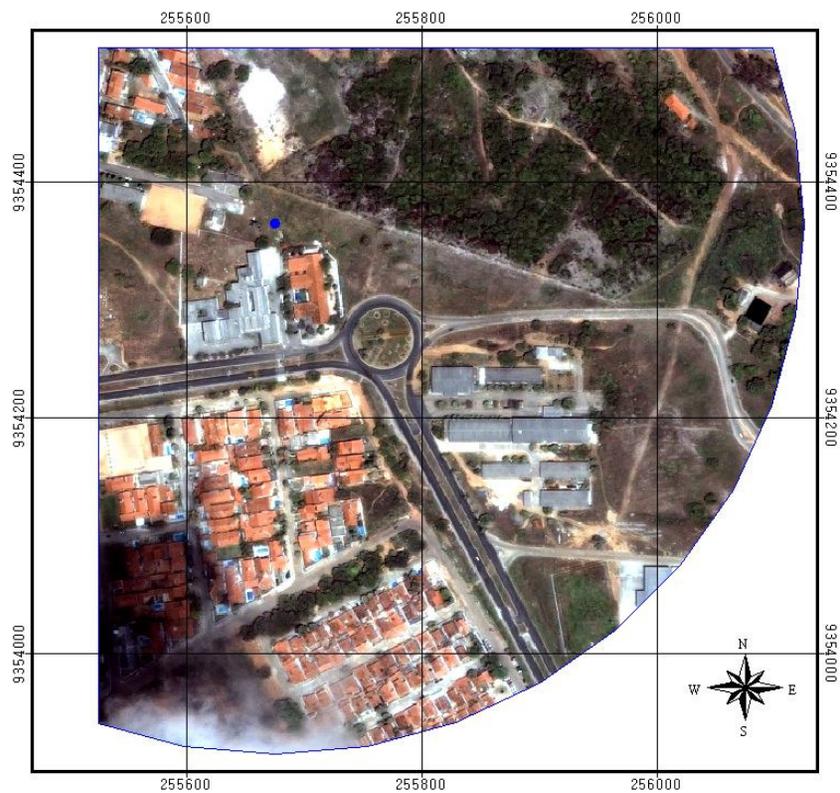
- Pontos de coleta
- Entorno do ponto EST03
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação

100 0 100 200 metros

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.30 –Mapa com fotografia aérea do EST03

Figura 6.31 –Mapa com classificação supervisionada (EST03)

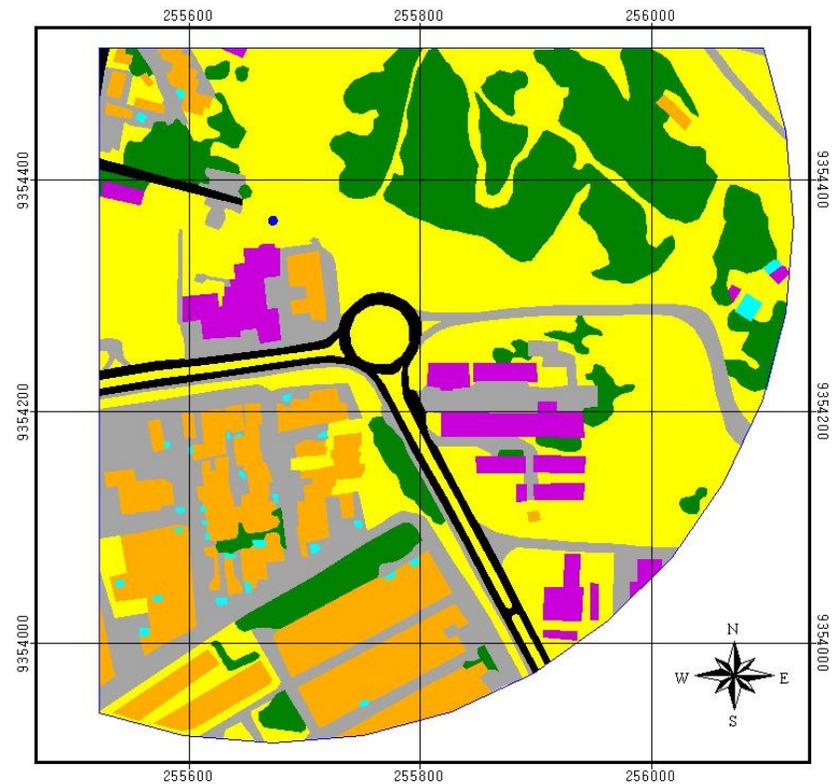


LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto ESTREF

Imagem Ikonos do ponto ESTREF
Composição de cores
RGB:1,2,3

Figura 6.32 –Mapa com fotografia aérea do ESTREF



LEGENDA:

- Pontos de coleta
- Entorno do ponto ESTREF
- Uso
- Amarelo Cobertura cerâmica
- Roxo Cobertura de amianto
- Vermelho Cobertura metálica
- Ciano Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Azul Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Preto Pavimento asfáltico
- Cinza Pavimento de concreto / calçamento
- Amarelo Solo exposto / vegetação rasteira
- Verde Área com vegetação

100 0 100 200 metros

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.33 –Mapa com classificação supervisionada (ESTREF)

6.3. REGIÃO LESTE

6.3.1. Entorno do Ponto H

A área do ponto H está localizada em uma região muito adensada da cidade, onde predominam coberturas de amianto nas edificações. A composição de seu revestimento horizontal é bastante heterogênea, mas predomina o pavimento de concreto/calçamento (25,99%); ressalta-se no entanto, a presença de um grande shopping com enorme cobertura metálica, que ocupa a porção Sudeste da área do entorno, no caminho do vento (Figura 6.34).



Figura 6.34 – Fotografia do entorno do ponto H

6.3.2. Entorno do Ponto I

No entorno do ponto I também predomina o pavimento de concreto/calçamento (35,42%), com grande heterogeneidade de uso do solo, diversas alturas de edificações e uso misto. É uma área das mais densas e valorizadas da cidade, o que acarreta a ocupação “otimizada” (no limite permitido pela legislação) do lote com construções. Totaliza apenas 10,22% de área permeável.

6.3.3. Entorno do Ponto J

Localiza-se na área central da cidade, de uso predominantemente comercial com topografia plana mais elevada, bastante densa e com grande quantidade de solo pavimentado com concreto/calçamento (31,57%) e revestimento de cobertura cerâmica (32,26%). Das áreas analisadas é quem tem menor quantidade de área permeável: 8,42%.

6.3.4. Entorno do Ponto EST 027

Localizado em área bastante densa, próximo à região central da cidade, tem topografia acidentada e uso misto, o entorno do ponto possui apenas 18,51% de área permeável, sendo 39,50% de área recoberta por cobertura cerâmica.

Na seqüência são apresentadas as figuras com as imagens e mapas de classificação supervisionada para os pontos dessa região (Figuras 6.35 a 6.42).

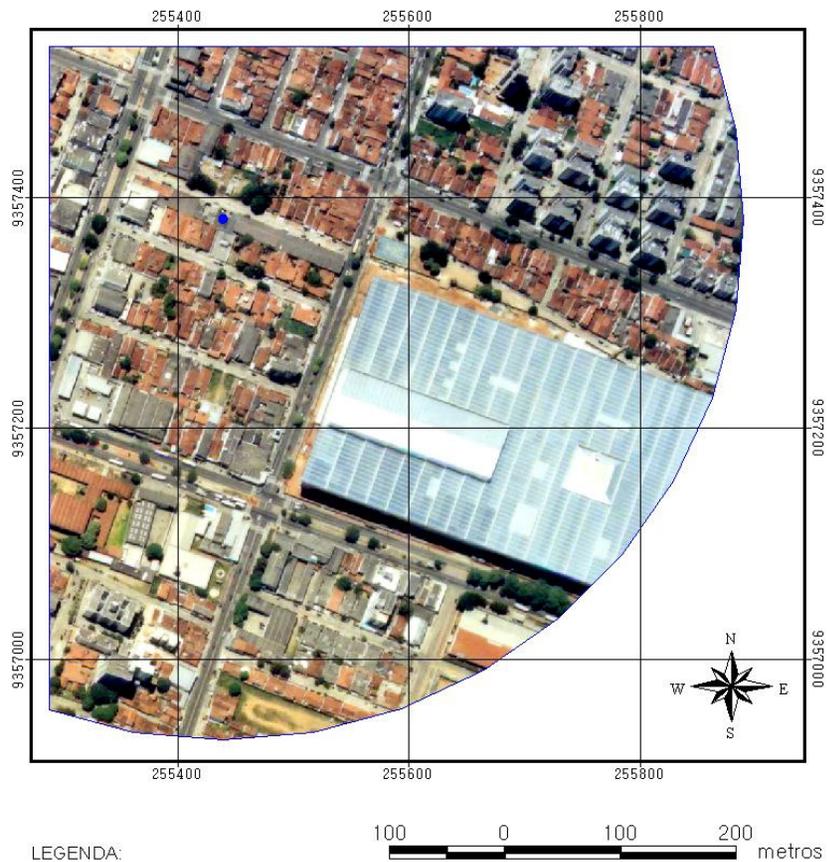


Figura 6.35 – Mapa com fotografia aérea do ponto H

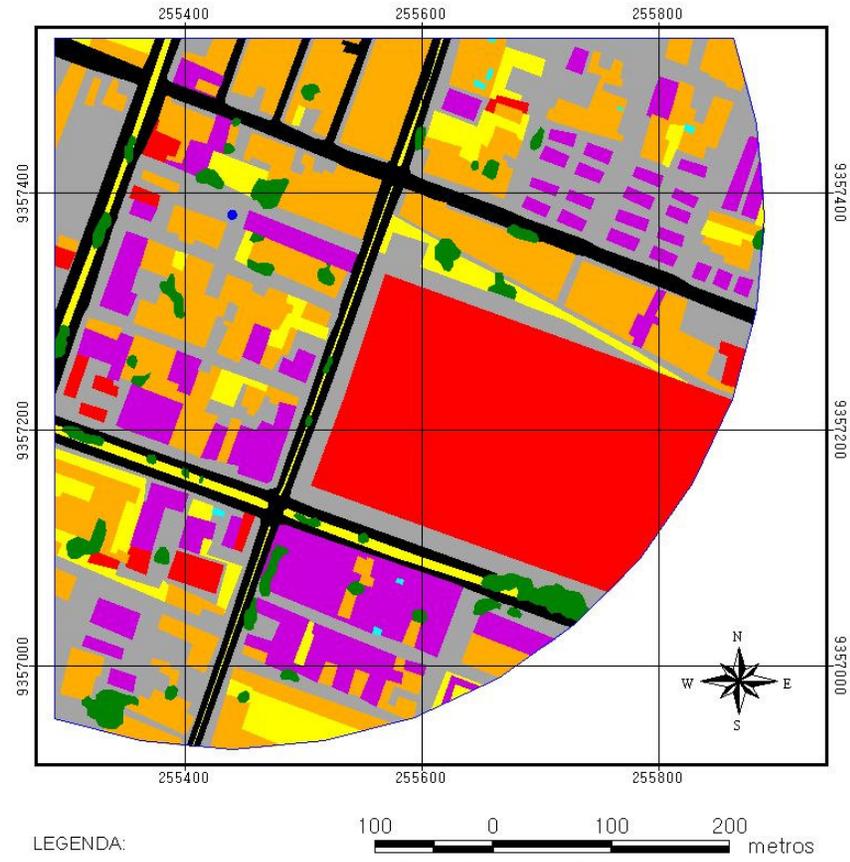
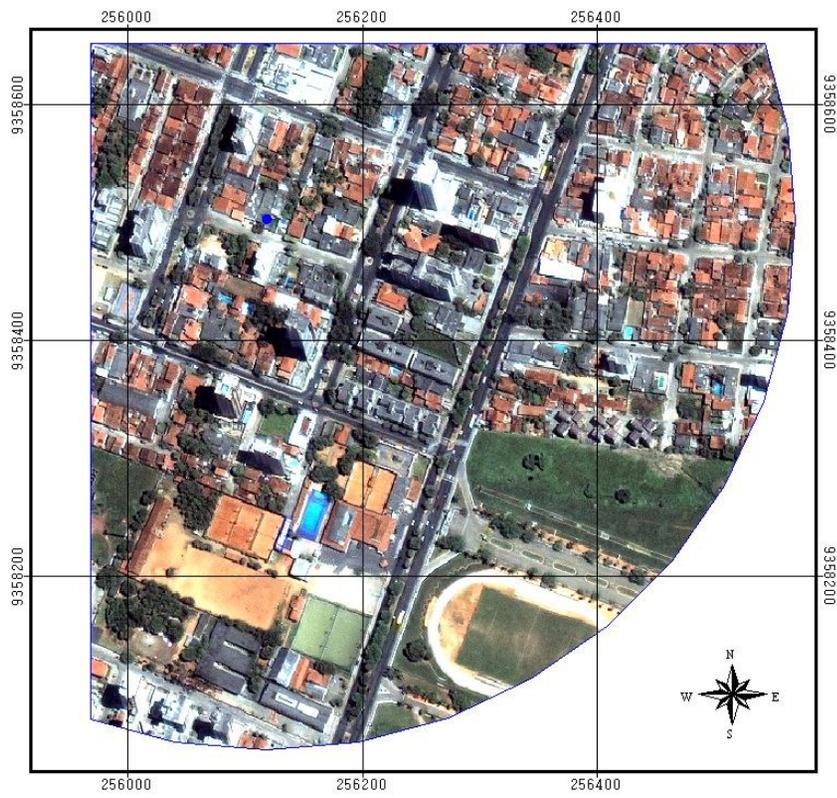


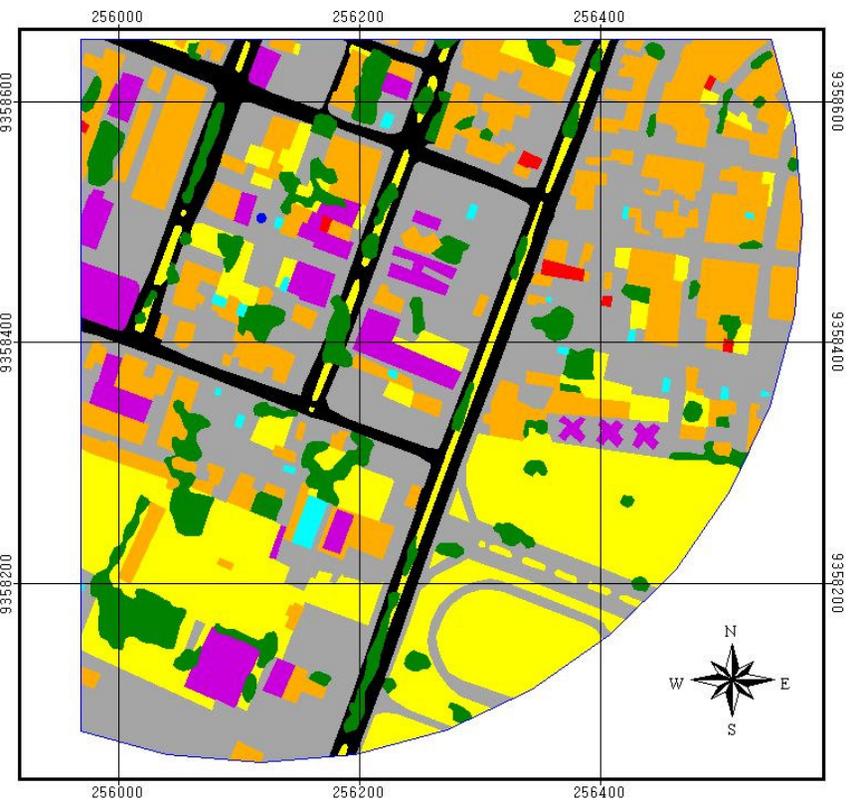
Figura 6.36 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto H)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto I

Imagem Ikonos do ponto I
 Composição de cores
 RGB:1,2,3



LEGENDA:

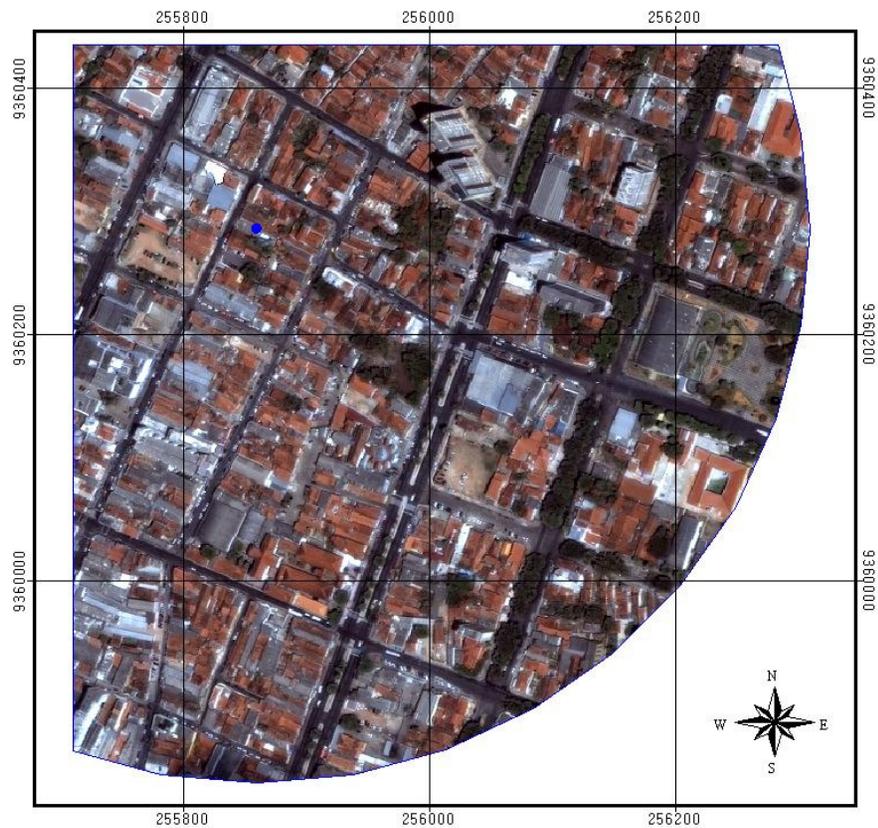
- Ponto de coleta
- Entorno do ponto I
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água I (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água I (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação



Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.37 – Mapa com fotografia aérea do ponto I

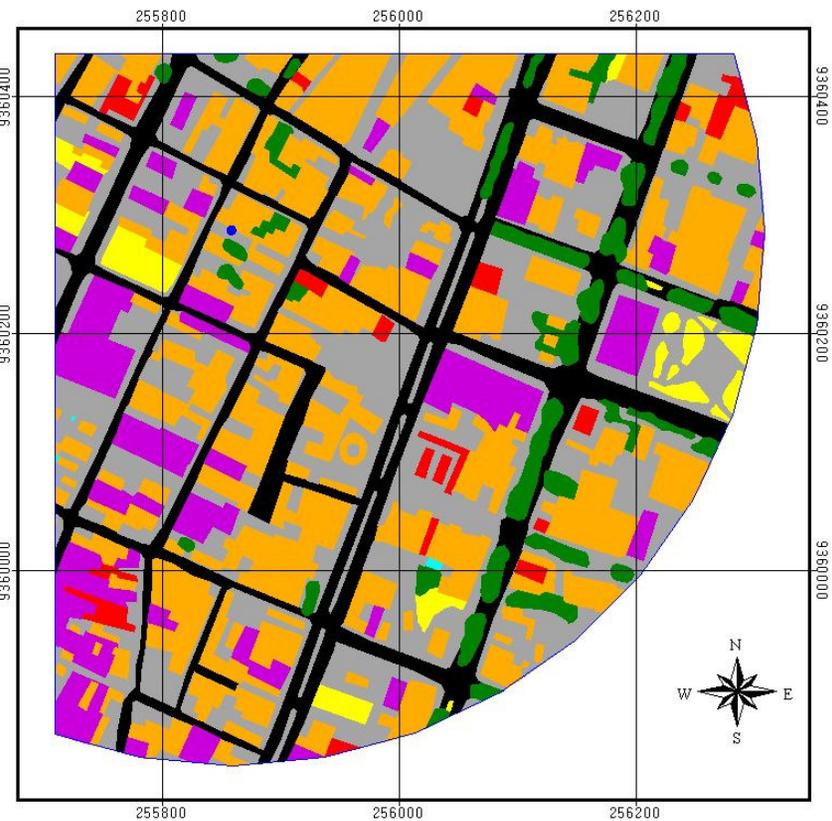
Figura 6.38 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto I)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto J

Imagem Ikonos do ponto J
Composição de cores
RGB:1,2,3



LEGENDA:

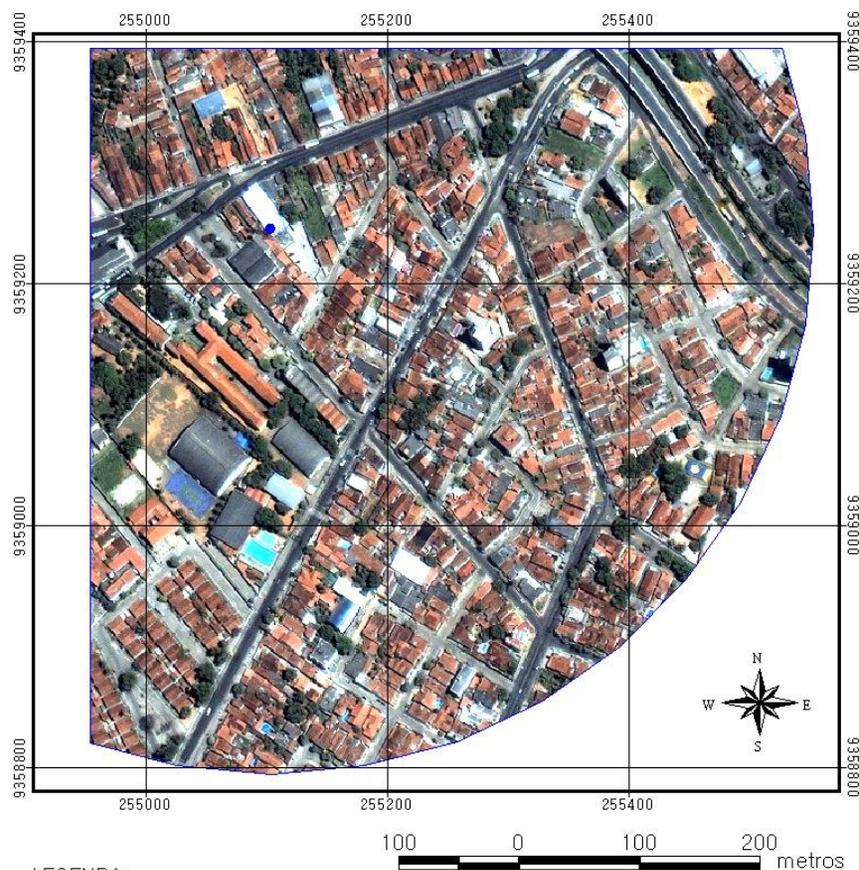
- Ponto de coleta
- Entorno do ponto J
- Uso ocupação do solo:
- Cobertura cerâmica
- Cobertura de amianto
- Cobertura metálica
- Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Pavimento asfáltico
- Pavimento de concreto / calçamento
- Solo exposto / vegetação rasteira
- Área com vegetação

100 0 100 200 metros

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.39 – Mapa com fotografia aérea do ponto J

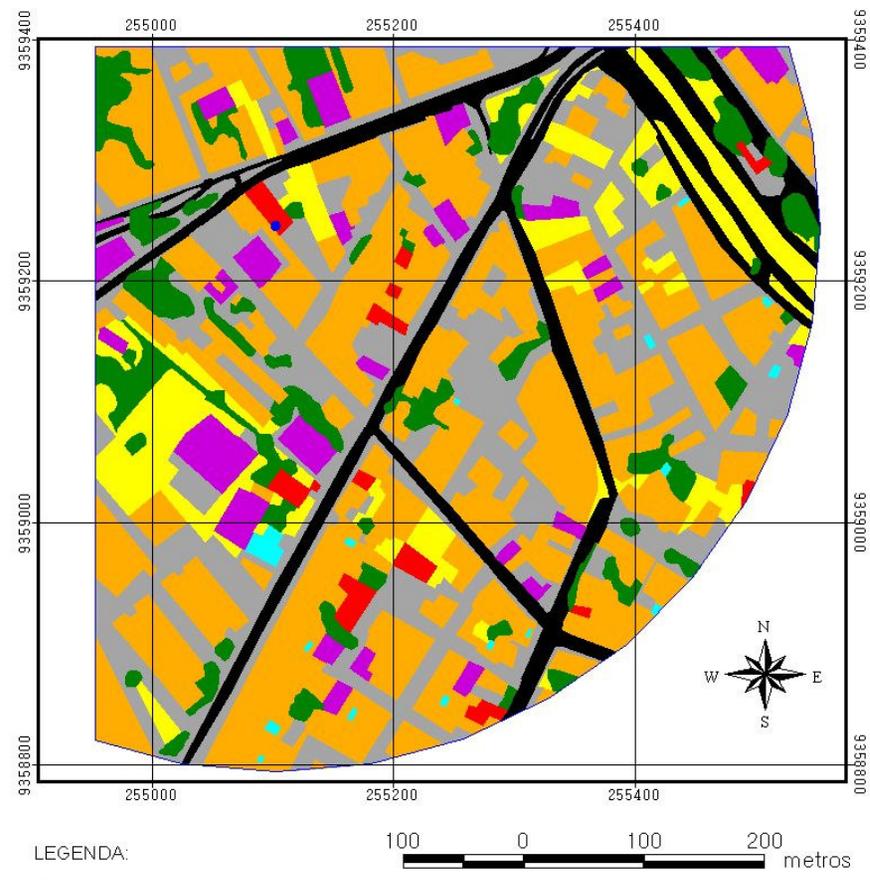
Figura 6.40 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto J)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto EST27

Imagem Ikonos do ponto EST27
 Composição de cores
 RGB:1,2,3



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto EST27
- Usos e ocupação do solo:
 - Cobertura cerâmica
 - Cobertura de amianto
 - Cobertura metálica
 - Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
 - Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
 - Pavimento asfáltico
 - Pavimento de concreto / calçamento
 - Solo exposto / vegetação rasteira
 - Área com vegetação

100 0 100 200 metros

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.41 – Mapa com fotografia aérea do ponto EST027

Figura 6.42 – Mapa com classificação supervisionada (EST027)

6.4. ZONA OESTE

6.4.1. Entorno do Ponto L

Está numa área residencial de baixa renda (de considerável adensamento, em virtude do tamanho pequeno dos lotes) e topografia acidentada com grande quantidade de cobertura cerâmica (47,99%) e um total de 26,55% de área permeável.

6.4.2. Entorno do Ponto M

A área na qual se insere o ponto M o uso predominante é misto e a maioria das edificações tem até 2 pavimentos. Detém 37,94% de cobertura cerâmica, com alta densidade e topografia pouco acidentada.

Na seqüência são apresentadas as figuras com as imagens e mapas de classificação supervisionada para os pontos dessa região.

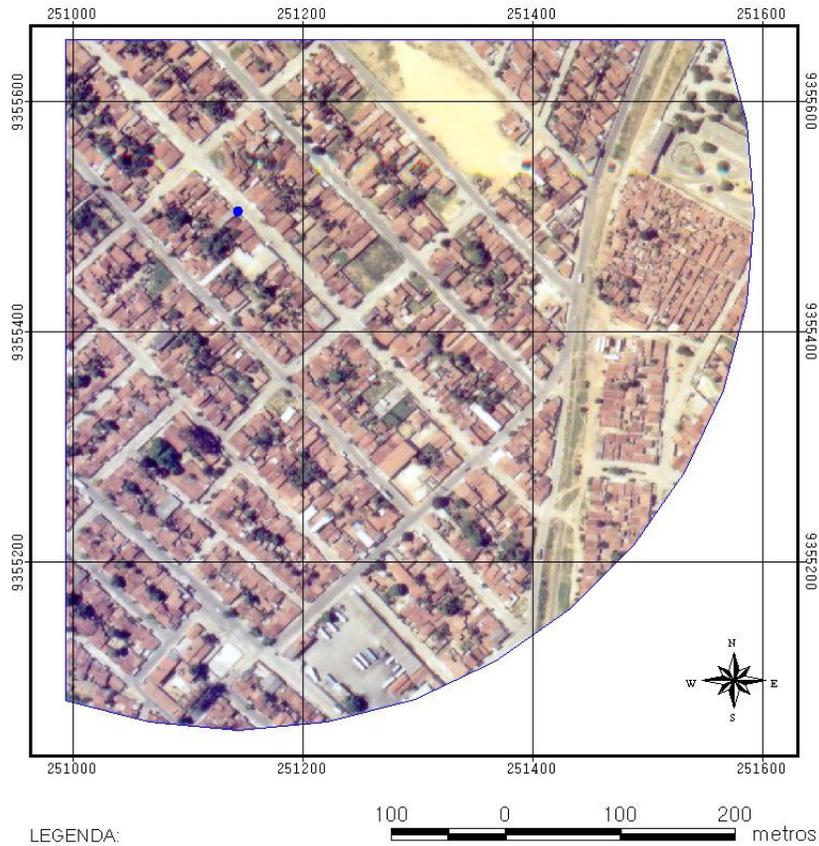


Figura 6.43 – Mapa com fotografia aérea do ponto L

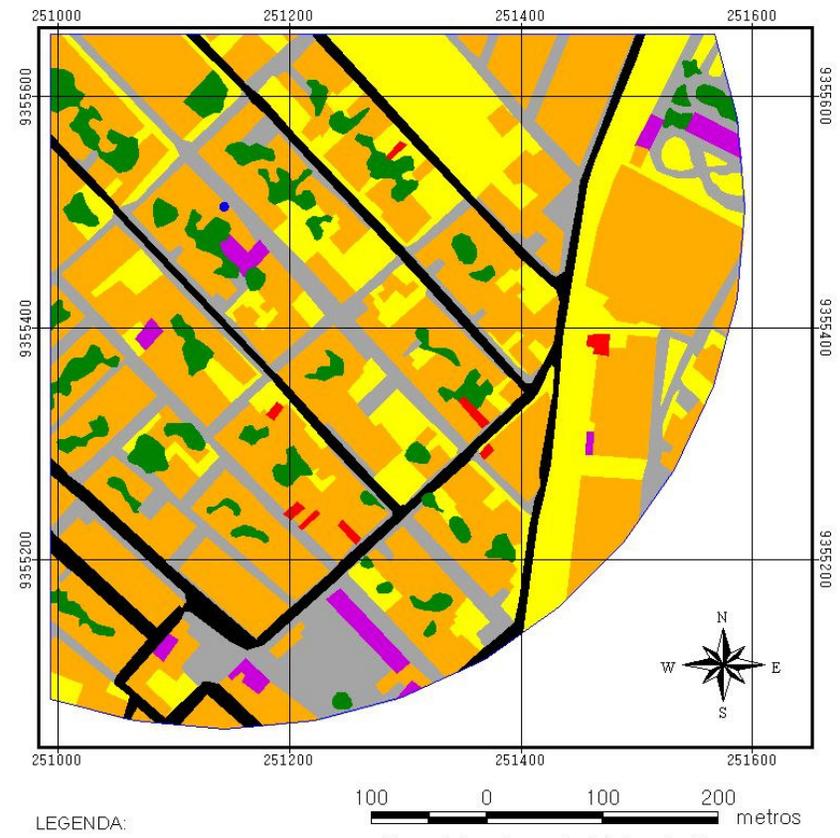
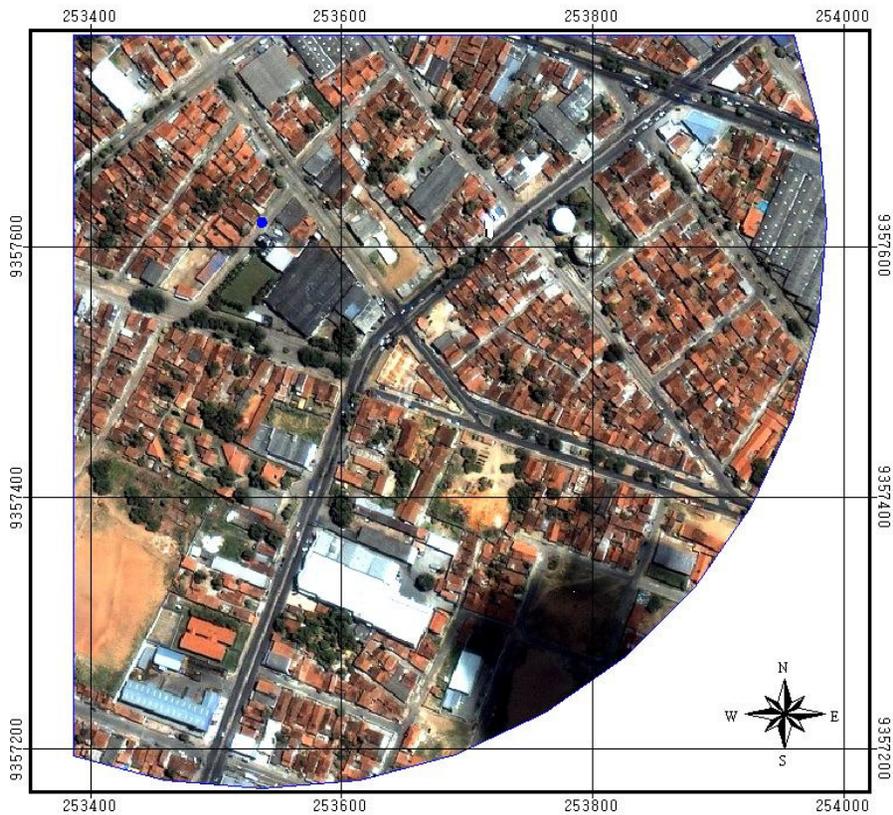


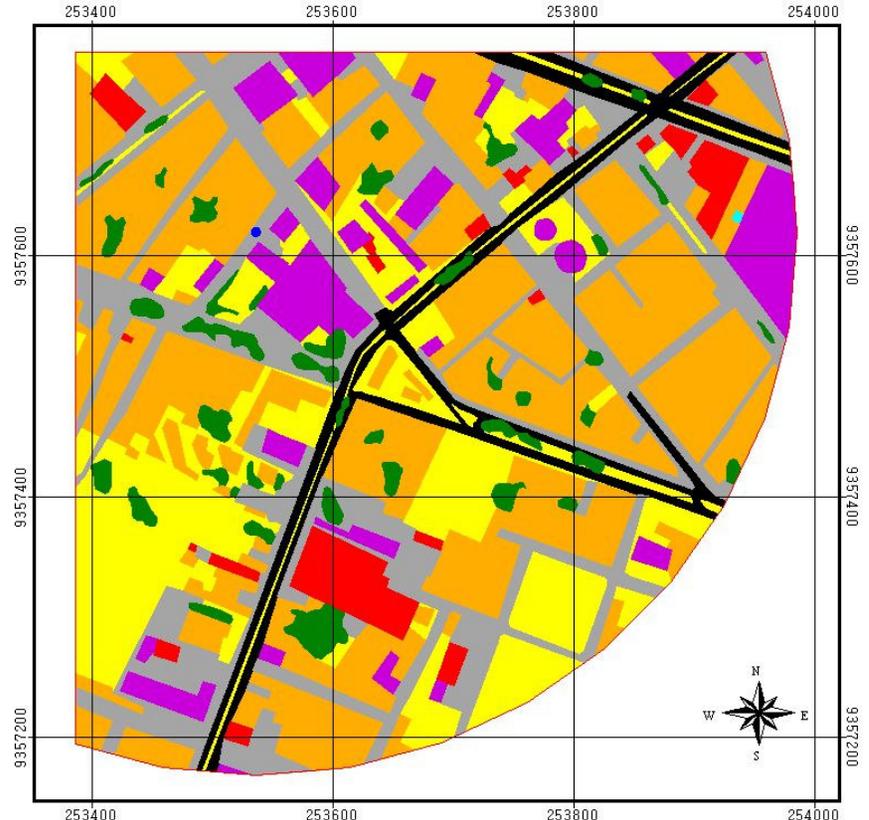
Figura 6.44 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto L)



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto M

Imagem Ikonos do ponto M
Composição de cores
RGB: 1, 2, 3



LEGENDA:

- Ponto de coleta
- Entorno do ponto M e ocupação do solo:
- Uso
- Amarelo Cobertura cerâmica
- Roxo Cobertura de amianto
- Vermelho Cobertura metálica
- Ciano Corpos d'água 1 (piscinas / espelhos d'água)
- Azul Corpos d'água 1 (mar / lagoa)
- Preto Pavimento asfáltico
- Verde Pavimento de concreto / calçamento
- Verde claro Solo exposto / vegetação rasteira
- Verde escuro Área com vegetação

Mapa elaborado a partir da interpretação da imagem do satélite Ikonos 2 do ano de 2003, atualizadas por fotografia aérea datada de 2005.

Figura 6.45 – Mapa com fotografia aérea do ponto M

Figura 6.46 – Mapa com classificação supervisionada (Ponto M)

As quantidades de área permeável e impermeável existentes no entorno de cada ponto de coleta podem ser vistas na tabela 6.1. Nela observa-se que a área permeável variou de 8,42% (no entorno do Ponto J) a 83,57% (área Ponto D) – uma diferença quase 10 vezes maior, reiterando a idéia de que as áreas estudadas são bastante distintas no que diz respeito a sua ocupação.

Tabela 6.1 – Porcentagem de área permeável e impermeável por ponto, por região.

REGIÃO	PONTO	ÁREA PERMEÁVEL	ÁREA IMPERMEÁVEL
Norte	N	63,21	36,79
	O	33,84	66,16
	P	40,53	59,47
	Q	13,63	86,37
	<i>Média</i>	<i>37,80</i>	<i>62,20</i>
Sul	EST REF	60,85	39,15
	EST 03	66,99	33,01
	G	55,14	44,86
	C	20,63	79,37
	A	45,58	54,42
	F	25,04	74,96
	B	45,58	54,42
	E	46,41	53,59
	D	83,57	16,43
	K	79,5	20,5
	<i>Média</i>	<i>52,93</i>	<i>47,07</i>
Leste	EST 027	18,51	81,49
	H	10,22	89,78
	I	30,94	69,06
	J	8,42	91,58
	<i>Média</i>	<i>17,02</i>	<i>82,98</i>
Oeste	L	26,55	73,45
	M	23,49	76,51
	<i>Média</i>	<i>25,02</i>	<i>74,98</i>

Nas tabelas 6.2 e 6.3 são apresentados os valores detalhados dessa composição do revestimento horizontal do entorno de cada ponto, subdivididos pelas classes temáticas analisadas.

Tabela 6.2 - Composição da área permeável do entorno de cada ponto, em porcentagem

PONTO	SOLO EXP.	Á. VEGET.	MAR/ LAGOA
A	24,32	21,26	0
B	25,57	20,01	0
C	17,47	3,16	0
D	23,3	22,01	38,26
E	44,37	2,04	0
F	18,28	6,76	0
G	13,36	41,78	0
H	6,77	3,45	0
I	21,6	9,34	0
J	2,5	5,92	0
K	19,71	13,55	46,24
L	19,32	7,23	0
M	18,92	4,57	0
N	48,75	14,46	0
O	27,04	6,8	0
P	28,12	12,41	0
Q	7,82	5,81	0
EST03	33,94	33,05	0
EST027	9,18	9,33	0
EST REF	41,01	19,84	0

Observa-se nessa tabela a presença da componente mar/ lagoa somente nos pontos K e D, situados à beira-mar. Destaca-se ainda a composição do ponto J com muito pouca área permeável.

Tabela 6.3 – Composição da área impermeável do entorno de cada ponto, em porcentagem

PONTO	COB CERÂM.	COB AMIAN.	COB METAL.	PAV CONC. /CALÇ.	PAV ASFALT	PISCINAS/ ESP.
A	31,56	0,55	0,58	19,44	1,95	0,37
B	38,9	0	0	3,87	11,46	0,19
C	42,71	2,67	1,49	23,51	8,48	0,5
D	2,4	0,92	0,09	10,38	2,54	0,09
E	24,61	0,5	2,19	18,28	7,44	0,57
F	24,17	6,54	3,13	31,33	8,38	1,41
G	24,55	1,3	0,54	18,04	0	0,44
H	22,85	12,46	19,6	25,99	8,75	0,12
I	19,19	5,28	0,37	35,42	8,13	0,69
J	32,26	10,29	2,28	31,57	15,13	0,05
K	3,55	0	1,57	11,41	2,7	1,28
L	47,99	1,54	0,45	16,33	7,13	0
M	37,94	8,33	3,92	20,78	5,51	0,02
N	0,16	2,35	19,67	11,6	2,94	0,07
O	46,59	0,78	0,7	15,85	2,22	0,02
P	46,96	0,12	0,48	10,06	1,86	0
Q	56,47	1,16	1,52	14,62	8,17	4,44
EST03	11,09	0,14	1,76	15,1	4,54	0,38
EST027	39,5	4,9	1,58	25,83	9,15	0,51
EST REF	13,92	4,41	0	17,15	3,1	0,58

Analisando-se em conjunto a quantidade de área permeável encontrada no entorno de cada ponto estudado, quando observados em ordem crescente associados a sua localização espacial na cidade, observam-se algumas tendências:

- na porção mais central da cidade (Região Leste) estão localizadas as áreas de entorno com menor percentual de área permeável, inferior a 20%. É a área de ocupação mais antiga e mais densa da cidade, onde os lotes são pequenos e quase que totalmente ocupados; é ainda a área cujos acessos são quase que totalmente pavimentados com asfalto. Incluem-se aí os entornos dos pontos J (com apenas 8,42% de área permeável), H (com 10,22%), e EST027 (com 18,52%). O entorno do ponto Q

(que detém 13,63% de área permeável), apesar de localizado na Região Norte também se enquadra nesse grupo.

- Na Região Sul estão os entornos dos pontos K (79,5%) e D (83,57%), localizados entre o mar e o Parque das Dunas são os únicos que possuem a presença de grande massa d'água na composição de seu entorno, no entanto, como já foi ressaltado, os dois pontos possuem situações bastante específicas no que diz respeito a implantação do terreno onde se encontraram os equipamentos.

- Os pontos G (55,14%), EST REF (60,85%), N (63,21%) e EST03 (66,99%) têm todos grandes áreas livres no seu entorno, com vegetação e solo exposto, o que pode favorecer a amenização climática.

Os demais pontos, cujo entorno tem área permeável entre 20,63% e 46,41% do seu total (Pontos A, B, C, E, F, I, L, M, O e P), não possuem características físicas relevantes semelhantes. Sua relação poderá ser melhor compreendida quando associadas aos registros das variáveis climáticas coletadas, que serão estatisticamente trabalhadas no próximo capítulo.

Pode-se ainda observar que na Região Leste, que tem a ocupação mais consolidada a quantidade de área permeável é menor, na Região Sul, que detém alto poder aquisitivo a área permeável é maior, e ocorre o inverso na Região Oeste.

Vale salientar, no entanto, que mesmo tendo sido bastante abrangente o levantamento de campo, áreas representativas de algumas características da cidade não foram contempladas nas medições, tais como:

- Bairro com cota topográfica no nível do mar (presente nos bairros da Ribeira e Rocas, na Região Leste, por exemplo), por não existirem na área *sites* que se encaixassem nos critérios adotados para a escolha.

- Áreas bastante verticalizadas (como os bairros de Petrópolis – Região Leste, ou Candelária – Região Sul), em função da metodologia de classificação supervisionada não ser indicada para esse tipo de área.

- Dentro de áreas de preservação ambiental (como por exemplo o Parque das Dunas), por causa do difícil acesso a essas áreas.

7. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS DADOS AMBIENTAIS: VARIÁVEIS CLIMÁTICAS

Este capítulo apresenta e analisa os dados das variáveis climáticas levantadas nas medições de campo realizadas nos dois períodos climáticos característicos para o clima estudado: verão (seco) e inverno (chuvoso), no ano de 2006, em 20 pontos distintos localizados nas 04 regiões administrativas da cidade de Natal/RN.

A medição de verão ocorreu entre os dias 01/02/2006, quando se deu o início da programação dos equipamentos, e o dia 16/02/2006, quando ocorreu a devolução dos equipamentos emprestados da UNICAMP. No apêndice 1 está apresentado o cronograma de atividades realizadas. Os trajetos foram realizados com um automóvel de propriedade da pesquisadora e variaram em função da disposição espacial dos pontos a serem visitados.

Já na medição de inverno, houve falha na programação de alguns equipamentos, e teve que ser repetida o que resultou em uma medição de campo mais longa, ocorrida entre os dias 19/06/2006 a 20/07/2006. Dessa forma, fez-se um levantamento de campo bastante criterioso e simultâneo no que diz respeito tanto a horários quanto a períodos e até mesmo a localização/ distribuição de pontos de coleta na área urbana.

Destaque-se o grande esforço e dedicação exigidos para a realização do trabalho de campo, uma vez que somente na montagem dos equipamentos nos 20 pontos de coleta dos dados, em cada etapa, foram necessárias cerca de 10h, dependendo do trajeto adotado.

A análise estatística que se segue foi baseada em um roteiro previamente discutido e planejado com os consultores estatísticos, e dividida em 03 etapas. A 1ª analisou o banco de dados relativos ao período de verão, a 2ª o do período de inverno e a 3ª tratou dos dados em conjunto (dados comparativos), relacionando-os aos dados de revestimento do solo levantados.

O objetivo principal das etapas 1 e 2 é modelar a variação da temperatura do ar e da umidade relativa do ar observada em 07 dias típicos (incluindo aí dias de semana e fim de semana) nos Períodos de Verão e Inverno, no intuito de avaliar que porção da variação total da temperatura do ar pode ser atribuída às diferenças espaciais existentes entre os vários pontos.

Por se tratar de medidas temporais de um processo contínuo (variação da temperatura do ar e umidade relativa do ar), portanto autocorrelacionadas no tempo, adotou-se a metodologia estatística referente a *Análise de Séries Temporais*, acreditando-se ser a mais adequada (BOX; JENKINS, 1976).

A análise foi feita considerando-se o ponto, as regiões administrativas nas quais se encontram, os horários e os turnos de medição, para a temperatura do ar e umidade relativa do ar, além da velocidade e direção dos ventos, em separado.

Vale frisar que os valores apresentados neste capítulo para os pontos EST03, EST027 e ESTREF são os corrigidos (a partir da calibração já apresentada) e não os medidos.

7.1. PERÍODO CARACTERÍSTICO DE VERÃO

7.1.1. Pontos de medição

A figura 8.1 e a tabela 8.1 analisam o comportamento da temperatura do ar média por ponto e seus intervalos de confiança (+/- 95%) revelando a variação da mesma e as diferenças significativas (ao nível de significância de 5%) dos valores encontrados nos pontos de coleta.

Pontos cujos intervalos não se interceptam revelam diferença significativa, como por exemplo os Pontos A, B, C e D que não diferem significativamente entre si, mas são significativamente diferentes do Ponto E.

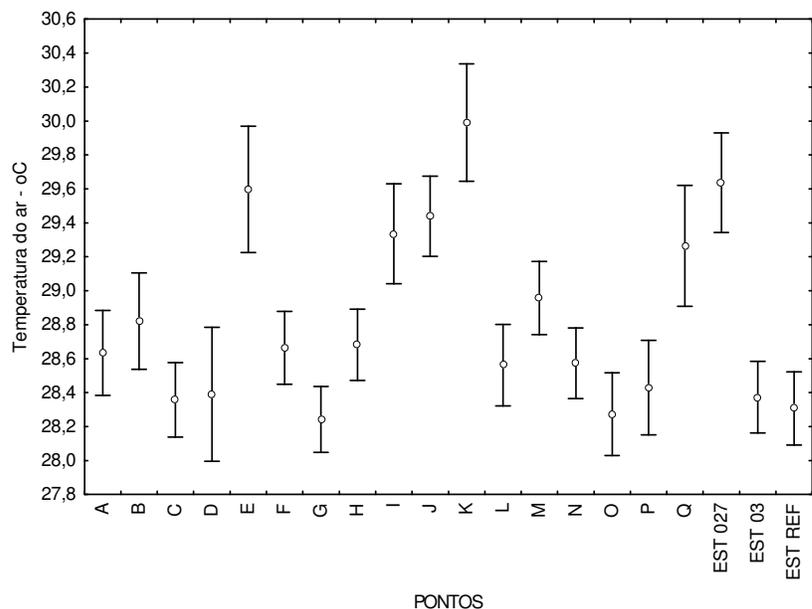


Figura 7.1 – Gráfico com comportamento médio da temperatura do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta no período de verão.

A mesma análise foi feita para a variável umidade relativa do ar (Figura 7.2 e Tabela 872). Destaca-se o Ponto D, com alta umidade, por estar localizado próximo ao mar.

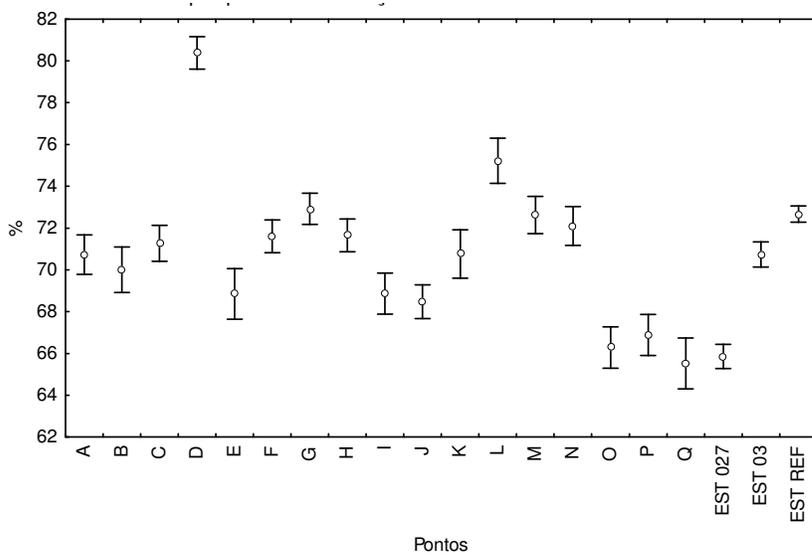


Figura 7.2 – Gráfico com comportamento médio da umidade relativa do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta, no período de verão.

Tabela 7.1 – Temperatura do ar Média para um intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de medição, no período de verão.

Ponto	Média	Intervalo Confiança		Desv.Pad.	Mínima	Máxima
A	28,63	28,38	28,88	2,325	25,7	33,7
B	28,82	28,54	29,11	2,644	25,1	34,1
C	28,36	28,14	28,58	2,043	26	32,6
D	28,15	28,03	28,28	1,168	26,6	35,1
E	29,6	29,23	29,97	3,463	25,7	36,8
F	28,66	28,45	28,88	2,001	26,4	33,1
G	28,24	28,05	28,44	1,802	26	32
H	28,68	28,47	28,89	1,952	26,1	32,2
I	29,34	29,04	29,63	2,736	25,5	35,2
J	29,44	29,2	29,68	2,198	26,7	34,9
K	29,99	29,64	30,34	3,223	26,3	37,1
L	28,55	28,31	28,79	2,231	25,7	33,6
M	28,96	28,74	29,17	2,004	26,1	33,5
N	28,57	28,37	28,78	1,939	24,8	32,8
O	28,27	28,03	28,52	2,274	25,56	33,17
P	28,43	28,15	28,71	2,592	24,79	34,01
Q	29,26	28,91	29,62	3,322	25,17	37,44
EST 027	29,64	29,34	29,93	2,732	26,18	34,53
EST 03	28,37	28,16	28,58	1,966	26,21	32,56
EST REF	28,31	28,09	28,52	2,012	26,08	32,07
Média	28,81	28,76	28,87	2,45	24,79	37,44

Tabela 7.2 – Umidade relativa do ar Média para um intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de medição, no período de verão.

Pontos	Média (%)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (%)	Máxima (%)
		-95,0%	+95,0%			
A	70,7	69,8	71,7	8,8	50,7	85,0
B	70,0	68,9	71,1	10,1	48,9	85,5
C	71,3	70,4	72,1	7,9	53,1	84,9
D	80,4	79,6	81,2	7,3	29,4	93,8
E	68,9	67,6	70,1	11,3	46,4	84,3
F	71,6	70,8	72,4	7,3	55,8	86,7
G	72,9	72,2	73,7	6,9	58,5	85,4
H	71,7	70,9	72,4	7,2	57,3	83,6
I	68,9	67,9	69,9	9,2	49,9	83,6
J	68,5	67,7	69,3	7,5	51,6	79,8
K	70,8	69,6	71,9	10,8	46,8	84,1
L	75,2	74,1	76,3	10,1	53,2	91,0
M	72,6	71,7	73,5	8,3	51,9	85,4
N	72,1	71,2	73,0	8,7	54,8	88,9
O	66,3	65,3	67,3	9,3	47,8	80,4
P	66,9	65,9	67,9	9,1	46,6	78,0
Q	65,5	64,3	66,7	11,3	38,6	80,5
EST 03	65,9	65,3	66,4	5,4	55,0	75,0
EST 027	70,7	70,1	71,3	5,6	57,0	81,0
EST REF	72,7	72,3	73,1	3,6	64,0	80,0
Média	70,7	70,5	70,9	9,1	29,4	93,8

Os valores médios de temperatura do ar variaram de 28,15⁰C (D) a 29,99⁰C (K) e a umidade relativa do ar de 80,4% (D) a 65,5% (Q), o que representa uma diferença média espacial na cidade de 1,84⁰C e 14,9%. Ordenando os valores encontrados nos pontos têm-se os pontos mais e menos “quentes”, e mais e menos úmidos (Figuras 7.3 e 7.4).

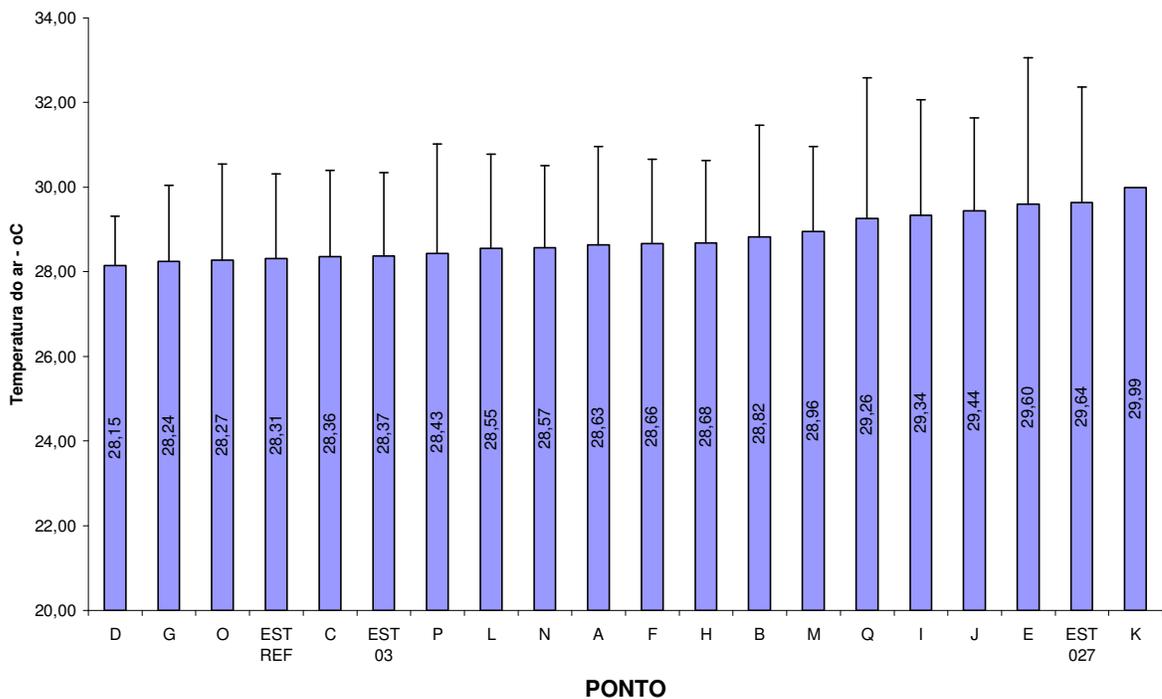


Figura 7.3 – Gráfico da Temperatura do ar média nos pontos de forma ordenada

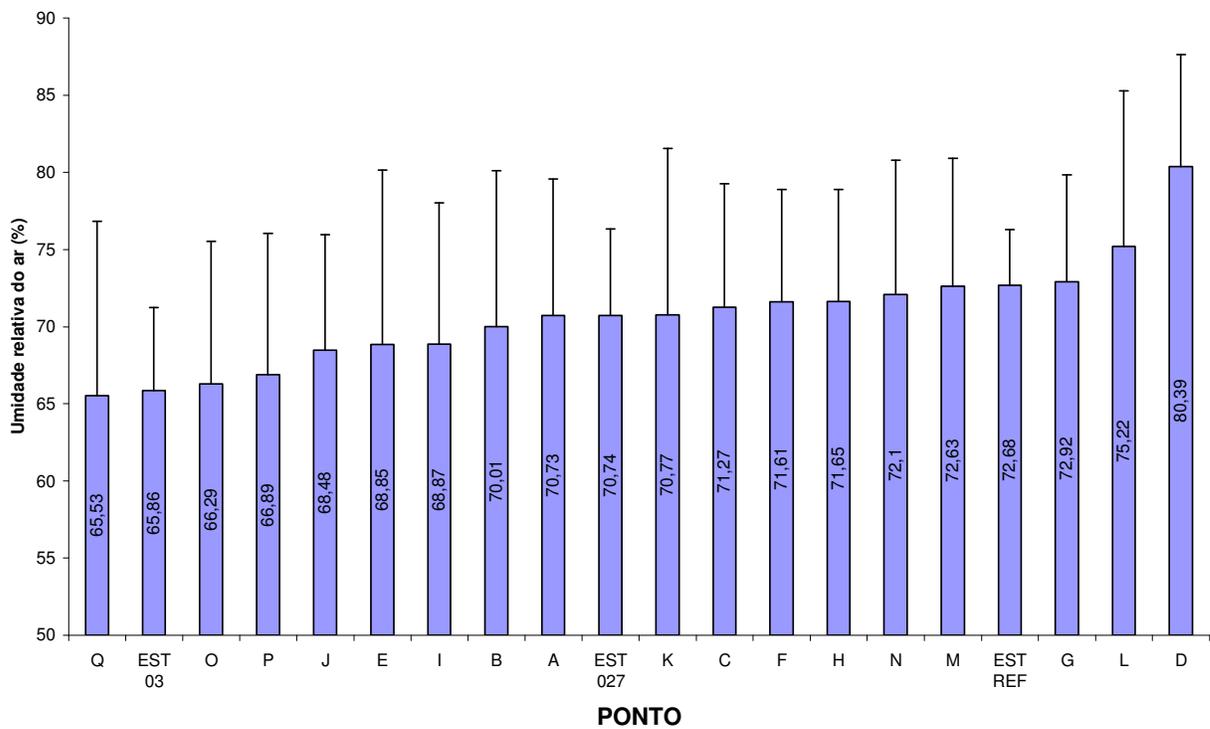


Figura 7.4 – Gráfico da Umidade relativa do ar média nos pontos de forma ordenada

A partir da análise das figuras 7.3 e 7.4 situando os pontos de coleta no espaço da cidade observa-se que: o ponto K sofreu grande influência do entorno imediato composto por muito concreto; o ponto EST027 está em uma área de grande adensamento sem área permeável, o que pode ter contribuído para o aumento da temperatura; e o ponto E localiza-se numa área de topografia baixa em relação ao entorno existente no caminho da ventilação predominante, ocasionando possivelmente uma sombra de vento, e também bastante adensada.

Já os pontos considerados menos quentes são o D, com área permeável e grande massa d'água no entorno; o G que apesar de estar à sotavento do Parque das Dunas, numa sombra de vento, a quantidade de área verde favorece a amenização microclimática; o ponto O está em uma região que ainda apresenta ruas de barro com muita área permeável; e o ESTREF que está em uma altura acima da média e sem obstáculos à livre circulação do ar.

7.1.2. Regiões administrativas

A análise dos dados separados por regiões administrativas mostra que há pouca diferença entre as mesmas (de apenas 0,63^oC e 6,2% na média) estando a diferença de valores melhor relacionada aos pontos de coleta. Isso quer dizer que os fatores determinantes da variação de temperatura do ar e da umidade relativa do ar não estão perfeitamente separados por região.

Quando acrescentamos à análise os valores encontrados para cada ponto fica evidente a contribuição de cada um na minimização dessas diferenças entre regiões. Tomando-se como exemplo a região Sul, que teve a maior quantidade de pontos de coleta (10 no total), observa-se que tanto o ponto K quanto o ponto D, respectivamente de maior e menor temperatura do ar média, contribuíram na composição do valor 28,71^oC (Tabela 7.3). As figuras 7.5 e 7.6 trazem a o comportamento por região para um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 7.3 – Temperaturas e umidades relativas do ar médias por regiões administrativas, por ponto

Região	Ponto	Temperatura (°C)	Umidade (%)
NORTE 28,64°C 67,7%	N	28,57	72,1
	O	28,57	66,3
	P	28,43	66,9
	Q	29,26	65,5
SUL 28,71°C 72%	A	28,63	70,7
	B	28,82	70,0
	C	28,36	71,3
	D	28,15	80,4
	E	29,60	68,9
	F	28,66	71,6
	G	28,24	72,9
	K	29,99	70,8
	EST03	28,37	70,7
	EST REF	28,31	72,7
LESTE 29,27°C 68,8%	H	28,68	71,7
	I	29,34	68,9
	J	29,44	68,5
	EST027	29,64	65,9
OESTE 28,75°C 73,9%	L	28,56	75,2
	M	28,96	72,6

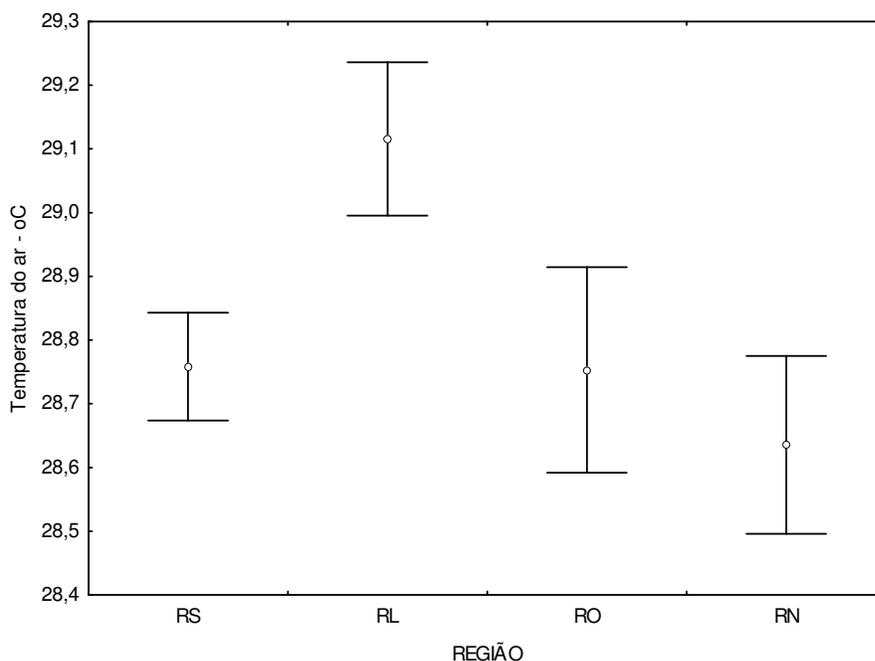


Figura 7.5 – Comportamento médio da temperatura do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.

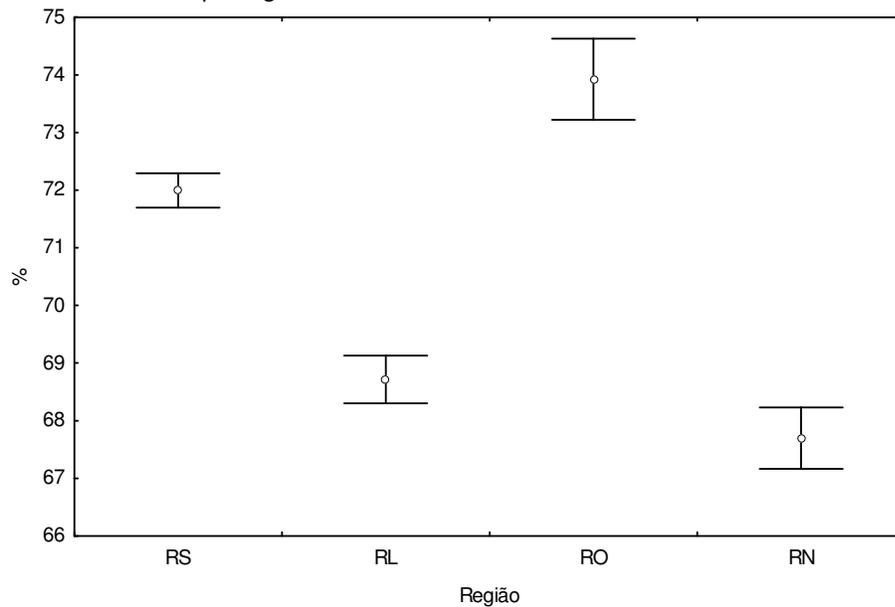


Figura 7.6 – Comportamento médio da umidade relativa do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.

7.1.3. Horários de medição

As figuras 7.7 e 7.8 apresentam a curva horária por ponto tanto para a temperatura do ar quanto para a umidade relativa do ar, os gráficos apontam para diferenças significativas de valores de temperatura do ar entre às 6h e 18h – durante o período do dia.

Observa-se que os pontos I, A, E e G apresentam maior amplitude térmica, aquecendo-se mais durante o dia, o que ocorre mais suavemente nos ponto N e G. Isso reflete que o adensamento das construções com seus materiais contribuem para que a amplitude térmica seja maior.

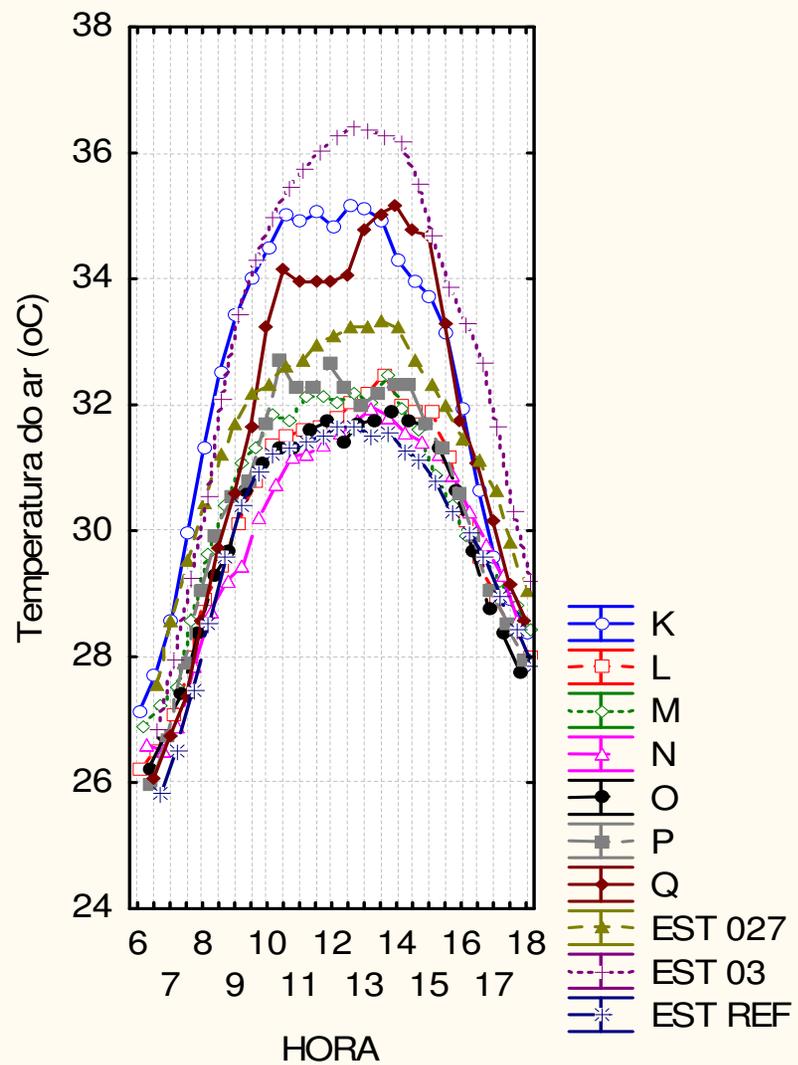
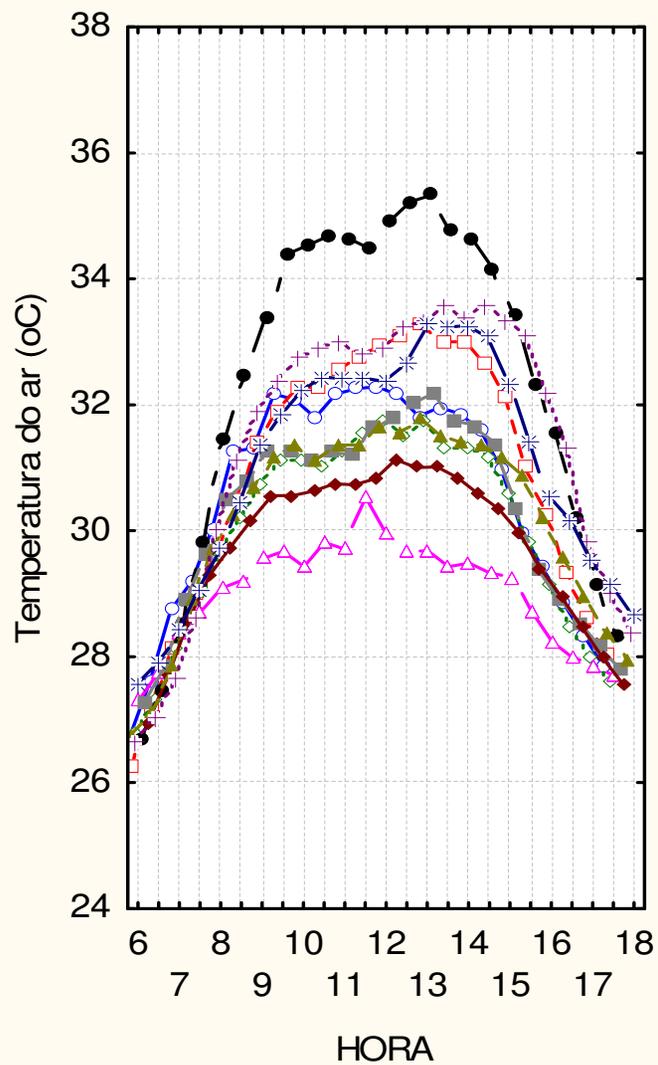


Figura 7.7 – Gráficos da temperatura do ar média no intervalo 6h-18h nos pontos de coleta

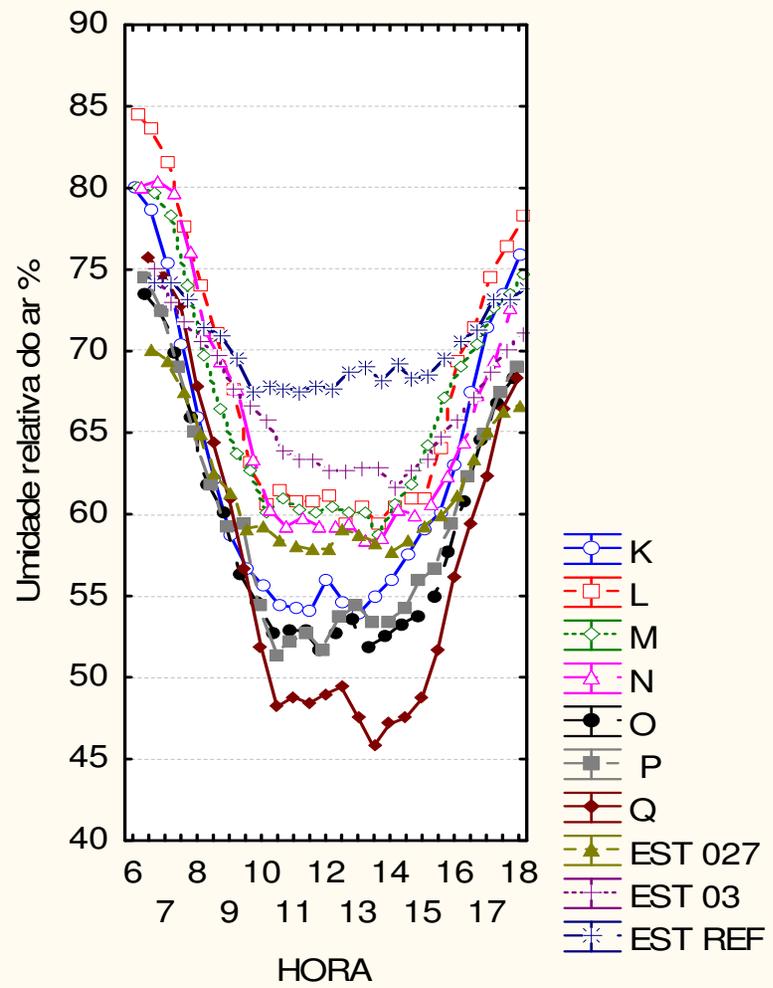
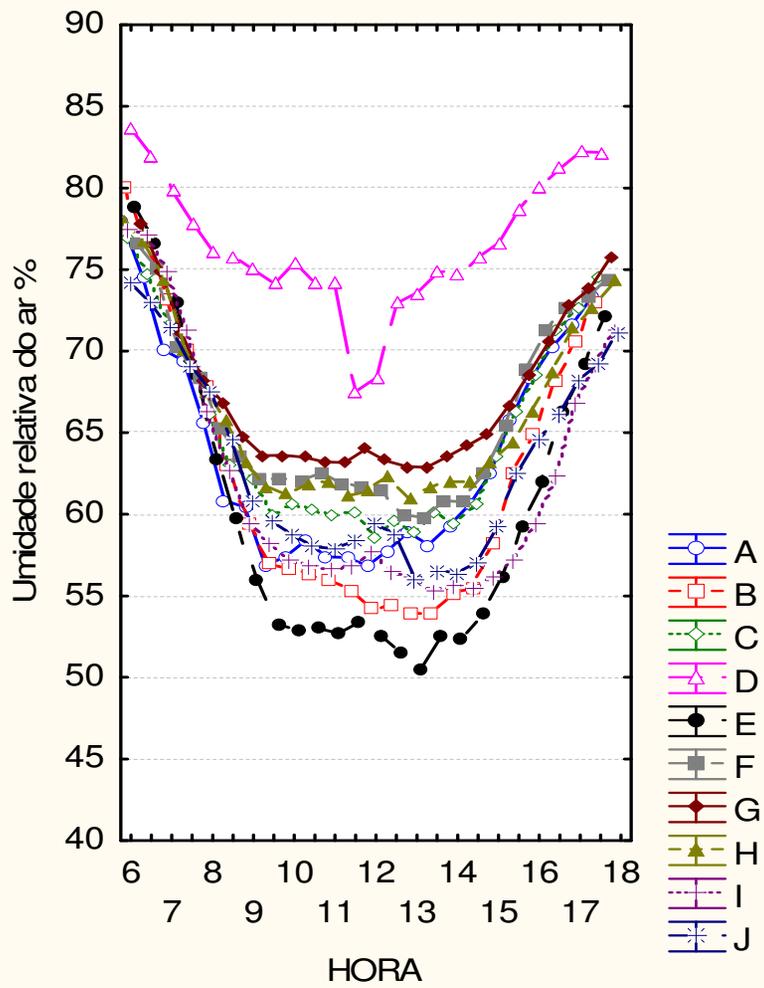


Figura 7.8 – Gráficos da umidade relativa do ar média no intervalo 6h-18h nos pontos de coleta

A figura 7.9 e a tabela 7.4 mostram o comportamento do dia típico com uma temperatura do ar mínima às 5h (26,45⁰C) e uma máxima às 13h (32,52⁰C); e em relação à umidade relativa do ar, a máxima ocorre às 3h (78,6%) e a mínima também às 13h (58,3%).

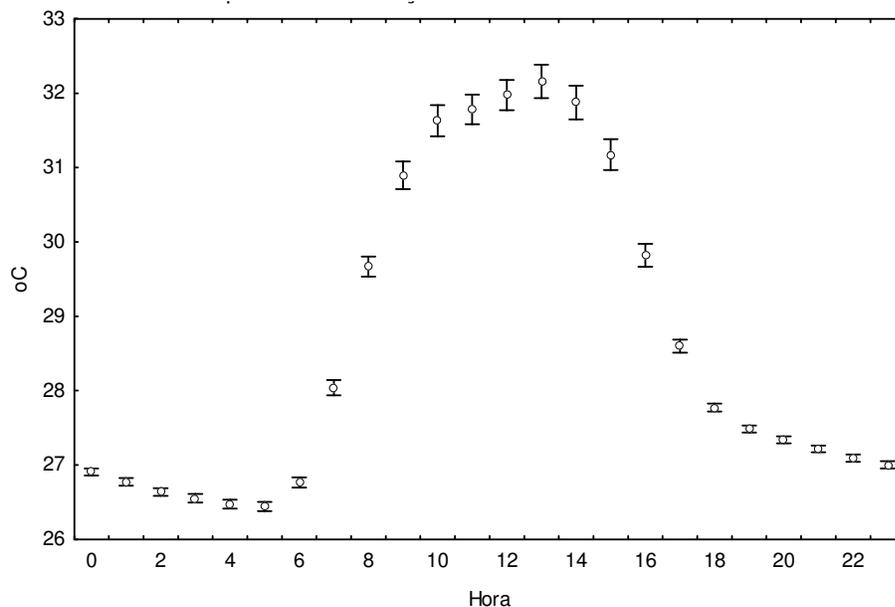


Figura 7.9 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar

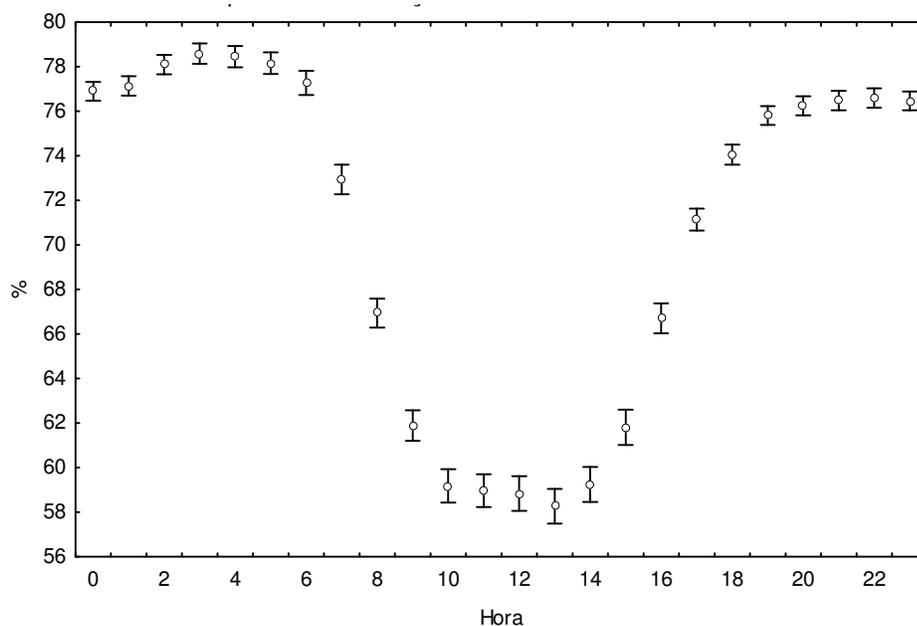


Figura 7.10 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar

As tabelas 7.4 e 7.5 apresentam os valores absolutos médios, mínimos e máximo por hora de medição.

Tabela 7.4 – Temperatura do ar Média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição

Hora	Média (°C)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (°C)	Máxima (°C)
		-95%	+95%			
0:00	26,91	26,86	26,96	0,404	25,56	28,40
1:00	26,78	26,73	26,83	0,420	25,56	28,70
2:00	26,66	26,61	26,70	0,423	25,56	28,50
3:00	26,57	26,52	26,63	0,473	25,17	28,80
4:00	26,48	26,42	26,54	0,506	24,79	28,90
5:00	26,45	26,39	26,51	0,527	25,17	29,20
6:00	26,82	26,75	26,89	0,614	24,80	29,40
7:00	28,19	28,08	28,30	0,897	25,20	30,60
8:00	29,94	29,81	30,06	1,103	27,30	34,30
9:00	31,26	31,09	31,42	1,405	28,30	35,70
10:00	32,04	31,86	32,22	1,531	28,60	37,10
11:00	32,17	32,00	32,35	1,478	26,60	36,60
12:00	32,36	32,19	32,53	1,442	28,90	37,10
13:00	32,52	32,32	32,71	1,629	28,60	36,90
14:00	32,18	31,99	32,38	1,685	28,70	37,44
15:00	31,43	31,25	31,61	1,558	28,30	35,90
16:00	30,01	29,87	30,16	1,195	28,00	34,30
17:00	28,72	28,64	28,79	0,671	27,52	32,10
18:00	27,83	27,78	27,88	0,437	26,73	29,30
19:00	27,52	27,47	27,56	0,385	26,34	28,70
20:00	27,36	27,31	27,40	0,388	25,95	28,80
21:00	27,23	27,18	27,28	0,394	25,95	28,70
22:00	27,11	27,06	27,15	0,409	25,95	28,60
23:00	27,02	26,97	27,07	0,419	25,95	29,00
Média	28,81	28,76	28,87	2,450	24,79	37,44

Tabela 7.5 - Umidade Média do ar, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição

Hora	Média (%)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (%)	Máxima (%)
		-95%	+95%			
0:00	76,9	76,5	77,3	3,6	69,0	93,8
1:00	77,1	76,7	77,6	3,7	67,0	91,6
2:00	78,1	77,7	78,5	3,7	69,0	92,7
3:00	78,6	78,1	79,0	3,9	67,5	92,8
4:00	78,5	77,9	78,9	4,0	66,7	92,9
5:00	78,2	77,7	78,6	4,1	65,5	92,1
6:00	77,3	76,7	77,8	4,6	65,0	91,7
7:00	72,9	72,3	73,6	5,7	60,1	90,9
8:00	66,9	66,3	67,6	5,5	54,9	82,1
9:00	61,9	61,2	62,6	5,8	46,6	81,2
10:00	59,2	58,4	59,9	6,4	42,8	80,2
11:00	58,9	58,2	59,7	6,2	42,5	80,7
12:00	58,8	58,1	59,6	6,6	29,4	79,8
13:00	58,3	57,5	59,1	6,6	42,1	77,2
14:00	59,3	58,5	60,0	6,7	38,6	81,0
15:00	61,8	61,0	62,6	6,7	43,1	84,0
16:00	66,7	66,0	67,4	5,7	52,8	85,8
17:00	71,1	70,6	71,6	4,2	58,9	90,9
18:00	74,1	73,6	74,5	3,8	66,0	91,5
19:00	75,8	75,4	76,2	3,5	67,0	91,7
20:00	76,2	75,8	76,7	3,6	66,0	92,7
21:00	76,5	76,1	76,9	3,7	67,0	91,8
22:00	76,6	76,2	77,0	3,7	67,0	93,1
23:00	76,5	76,1	76,9	3,6	67,0	92,1
Média	70,7	70,5	70,9	9,1	29,4	93,8

7.1.4. Turnos de medição

As figuras 7.11 e 7.12 e a tabela 7.6 mostram o comportamento das médias nos turnos estudados. Observa-se a partir dos dados coletados, exatamente a mesma tendência apontada por Araújo, Martins, Araújo (1998) para o dia térmico em relação à temperatura do ar. Ou seja, da madrugada até a manhã (descendente leve), da manhã

para a tarde (ascendente brusca), da tarde para a noite (descendente brusca) e da noite para a madrugada (descendente leve). O inverso ocorre com a umidade relativa do ar.

Tabela 7.6 - Médias de temperatura do ar por ponto para cada turno

Ponto/ Turno	Madrugada	Manhã	Tarde	Noite
A	26,42	29,95	30,96	27,21
B	26,37	29,76	31,85	27,32
C	26,43	29,38	30,53	27,09
D	27,11	28,82	29,18	27,50
E	26,44	31,19	33,35	27,41
F	26,81	29,83	30,65	27,36
G	26,50	29,36	30,04	27,07
H	26,77	29,81	30,71	27,43
I	26,80	30,57	32,40	27,58
J	27,50	30,49	31,75	28,02
K	27,16	32,00	33,02	27,78
L	26,45	29,38	31,05	27,31
M	27,06	30,05	30,93	27,80
N	26,80	29,16	30,84	27,50
O	26,09	29,61	30,56	26,83
P	25,93	30,21	30,85	26,74
Q	26,33	30,83	32,71	27,19
EST 027	27,00	31,60	32,19	27,76
EST 03	26,45	29,59	30,37	27,08
EST INPE	26,40	29,77	30,15	26,90
Média	26,64	30,07	31,20	27,34

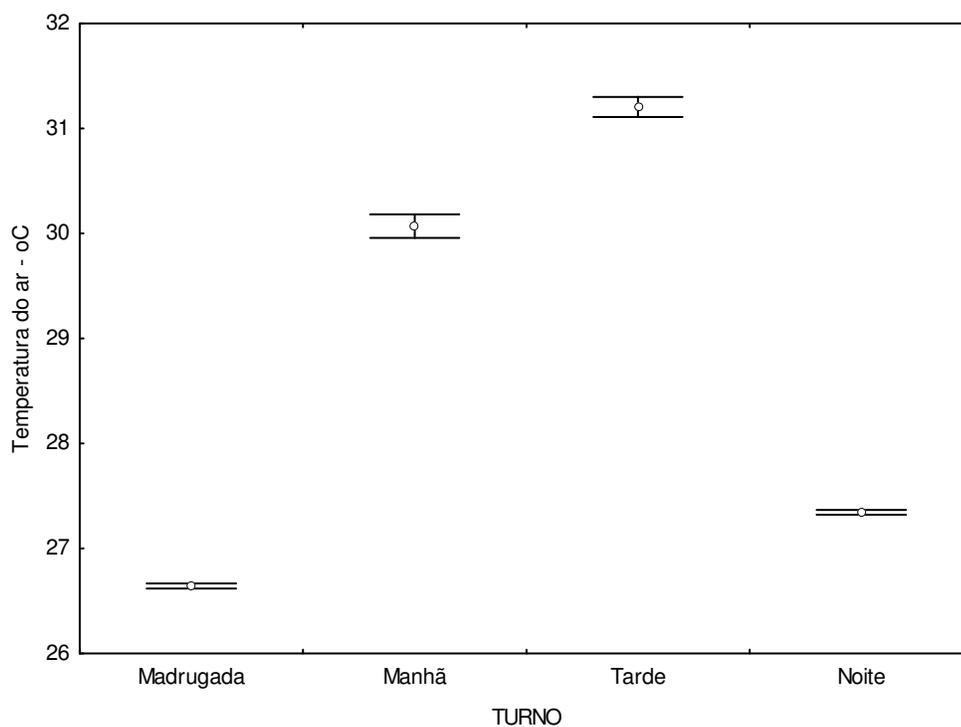


Figura 7.11 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.

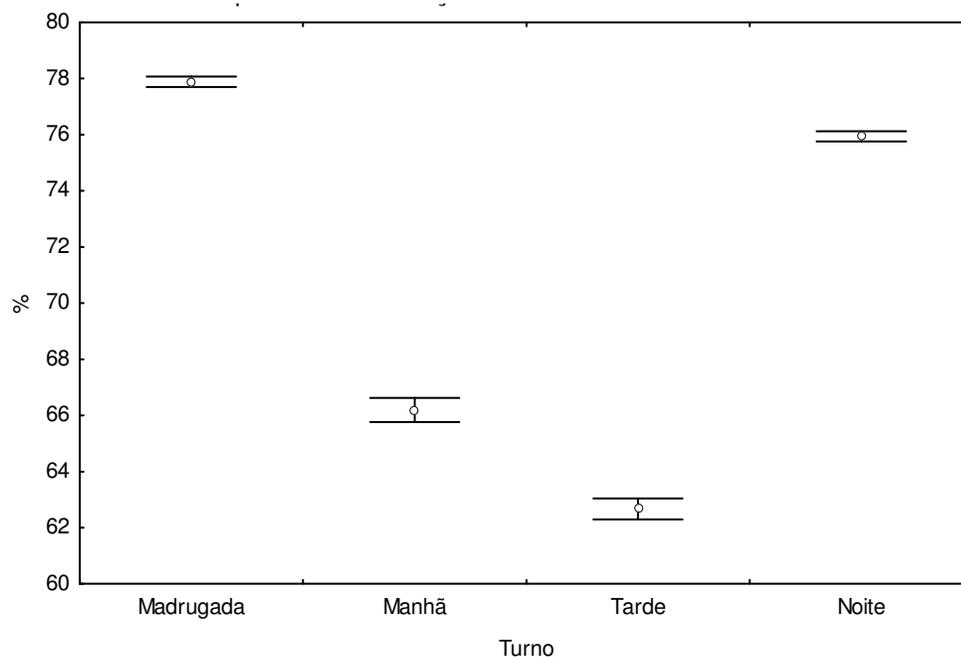


Figura 7.12 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.

7.1.5. Velocidade e Direção dos ventos

Em relação às variáveis velocidade e a direção dos ventos, que foram medidas nos pontos: EST REF, EST03 e EST027, conclui-se que a direção varia quase sempre dentro do quadrante Sudeste; e a velocidade dos ventos vai diminuindo a medida que se adentra a cidade (do ponto EST03 para o EST027), já que se aumenta o adensamento entre as construções (Tabela 7.7). Embora seja uma variável que oscile bastante, a velocidade do vento é função também da altura de medição, assim, foi observado que quanto maior a altura medida (no caso o ponto EST REF estava à 10m do nível do solo, enquanto que EST03 estava a 2m), maior é também seu valor absoluto.

Tabela 7.7 – Valores médios de velocidade e direção dos ventos

EST REF:				
<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Desvio Pad.</i>
Velocid. (m/s)	5,18	1,30	9,40	1,55
Dir.Vento(graus)	129,81	90,00	192,50	16,24
EST027:				
<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Desvio Pad.</i>
Velocid. (m/s)	0,95	0,00	2,20	0,47
Dir.Vento(graus)	91,95	45,00	180,00	24,95
EST03:				
<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Desvio Pad.</i>
Velocid. (m/s)	1,30	0,00	3,60	0,61
Dir.Vento(graus)	122,02	67,50	180,00	14,67
TODOS OS PONTOS JUNTOS:				
<i>Variável</i>	<i>Média</i>	<i>Mínima</i>	<i>Máxima</i>	<i>Desvio Pad.</i>
Velocid. (m/s)	2,48	0	9,4	2,16
Dir.Vento(graus)	114,59	45	192,5	25,17

As figuras 7.13 a 7.16 apresentam os gráficos do tipo rosa dos ventos que exemplificam melhor os dados levantados, deixando evidente a tendência SE-L para a direção dos ventos no verão.

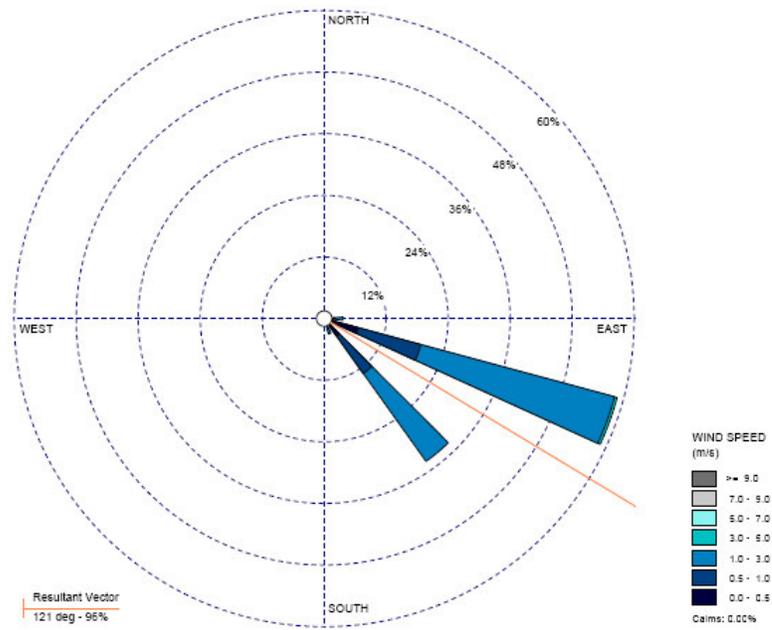


Figura 7.13 – Gráfico tipo rosa dos ventos para o ponto EST03

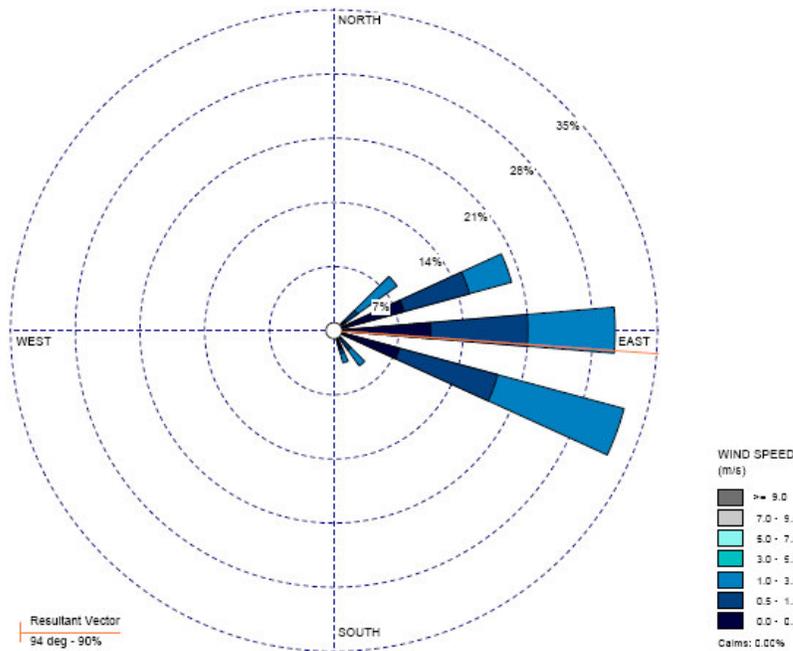


Figura 7.14 – Gráfico tipo rosa dos ventos para o ponto EST027

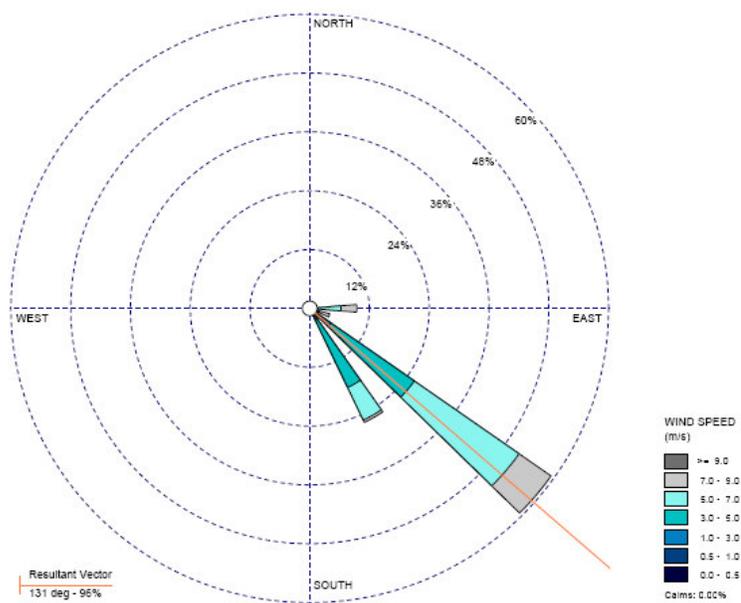


Figura 7.15 – Gráfico tipo rosa dos ventos para o ponto EST REF

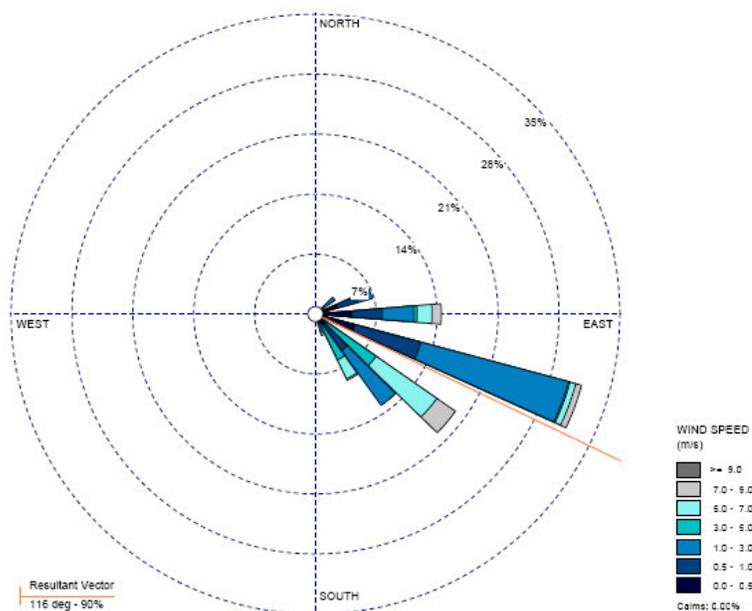


Figura 7.16 – Gráfico tipo rosa dos ventos para todos os 03 pontos juntos.

A análise dos dados levantados no período de verão permite concluir que a cidade apresentou altas temperaturas do ar, chegando a 28,81⁰C em média, muito embora tenha sido observado alguns picos mais elevados. As umidades relativas, em torno de 70,7% foram relativamente baixas e a amplitude térmica como era esperado foi reduzida.

7.2. PERÍODO CARACTERÍSTICO DE INVERNO

Depois de analisados os dados optou-se por retirar os resultados relativos ao ponto D do período característico de inverno, no que diz respeito à variável umidade relativa do ar, por acreditar que o aparelho tenha apresentado problema em virtude dos resultados terem uma baixíssima amplitude térmica, estando sempre próximo do limite 100%. Essa decisão contudo não afetou a compreensão do todo.

7.2.1. Pontos de medição

A figura 7.17 e a tabela 7.8 apresentam o comportamento médio da temperatura do ar por ponto, incluindo seus intervalos de confiança (+/-95%), o mesmo ocorre para a figura 7.18 e a tabela 7.9, só que para a umidade relativa do ar.

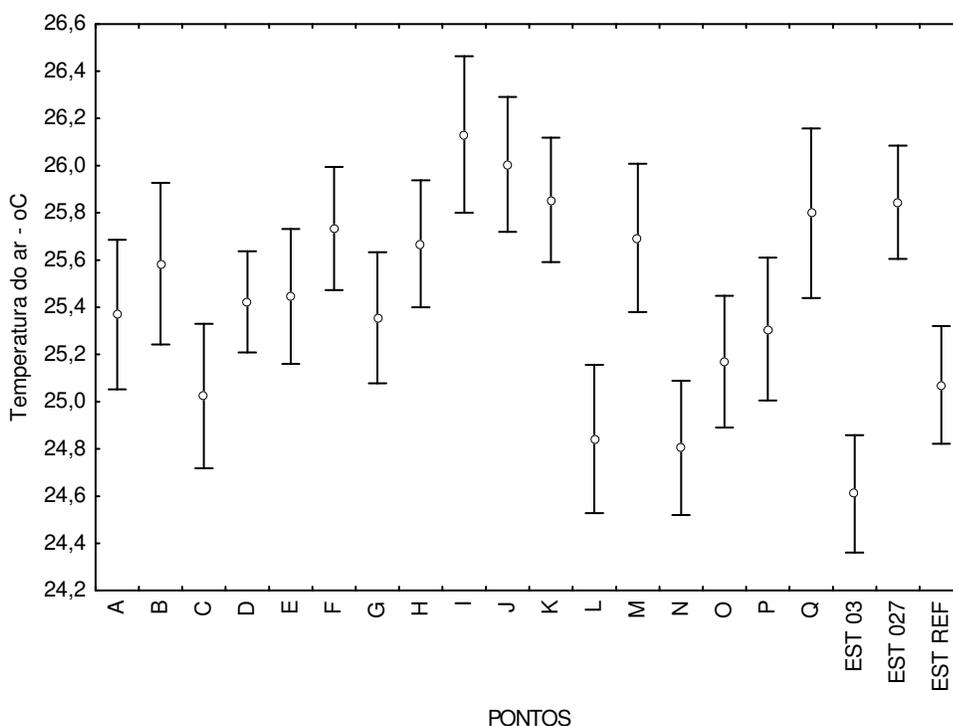


Figura 7.17 – Gráfico com comportamento médio da temperatura do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta no período de inverno.

Tabela 7.8 – Temperatura Média do ar para um intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de medição, no período de inverno.

Pontos	Média (°C)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (°C)	Máxima (°C)
		-95,0%	+95,0%			
A	25,37	25,05	25,69	2,95	20,30	31,70
B	25,58	25,24	25,93	3,19	20,00	32,50
C	25,02	24,72	25,33	2,85	20,19	31,12
D	25,42	25,21	25,64	2,00	22,00	29,60
E	25,45	25,16	25,73	2,67	20,90	31,10
F	25,73	25,47	25,99	2,43	21,60	30,60
G	25,36	25,08	25,63	2,59	20,80	31,00
H	25,67	25,40	25,94	2,50	21,40	30,30
I	26,13	25,80	26,46	3,09	21,50	32,50
J	26,01	25,72	26,29	2,66	21,90	31,80
K	25,85	25,59	26,12	2,46	22,20	31,80
L	24,84	24,53	25,16	2,92	20,19	30,71
M	25,69	25,38	26,01	2,92	20,95	31,93
N	24,80	24,52	25,09	2,65	19,81	30,31
O	25,17	24,89	25,45	2,60	20,57	31,12
P	25,31	25,01	25,61	2,82	20,19	31,52
Q	25,80	25,44	26,16	3,35	20,57	33,17
EST 03	24,61	24,36	24,86	2,32	19,93	29,03
EST 027	25,84	25,60	26,08	2,24	21,52	30,19
EST REF	25,07	24,82	25,32	2,32	20,49	30,11
Média	25,44	25,37	25,50	2,72	19,81	33,17

Observa-se que o ponto EST03, N e L apresentaram os menores valores médios e os pontos I e J, os maiores valores; isso pode ser explicado pela configuração de uso do solo encontrados – os menores valores em áreas com bastante vegetação e os maiores em áreas muito densas com pavimentação excessiva, na região central da cidade. É relevante destacar que o ponto J também teve relação com o tamanho do seu lote (um dos menores estudados) e sua topografia (baixa em relação ao entorno; mesmo estando em um bairro planejado com grandes lotes e recuos entre as edificações. Por outro lado isso embasa que a observação micro-localizada é de suma importância na amenização climática do entorno imediato.

A umidade relativa do ar foi extremamente alta na maioria dos pontos dada a ocorrência de chuvas em alguns horários/ dias medidos. O ponto K que está localizado a beira-mar foi o que apresentou os maiores valores; os menores estão em áreas bastante densas com pouca área permeável: M e EST027 (Figura 7.18 e tabela 7.9).

Tabela 7.9 - Umidade relativa do ar média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por pontos de coleta, no período de inverno

Pontos	Média (%)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (%)	Máxima (%)
		-95,0%	+95,0%			
A	82,7	81,3	84,1	12,9	45,5	99,1
B	81,5	79,9	82,9	13,8	42,7	99,6
C	77,2	75,9	78,6	12,5	42,4	95,5
E	82,1	80,9	83,3	10,9	50,6	97,5
F	81,3	80,2	82,3	10,0	52,2	96,7
G	88,8	87,6	89,9	10,7	62,0	99,9
H	84,5	83,3	85,7	10,9	57,8	99,9
I	90,5	89,1	91,8	12,8	57,4	99,9
J	80,1	79,0	81,3	10,5	56,2	98,4
K	93,8	92,9	94,7	7,9	71,6	100,0
L	75,4	73,9	76,9	13,6	33,9	95,5
M	73,5	72,1	74,9	12,8	41,5	95,5
N	76,6	75,2	78,0	13,0	35,0	95,4
O	74,8	73,6	76,1	11,6	42,0	95,4
P	74,9	73,8	76,1	11,1	44,1	89,5
Q	75,6	74,2	76,9	12,4	40,3	92,2
EST 03	82,0	81,0	83,1	9,5	59,0	95,0
EST 027	74,1	73,2	74,9	8,4	53,0	88,0
EST REF	78,4	77,42	79,4	9,4	45,8	92,2
Média	80,4	79,2	81,6	11,3	49,1	96,1

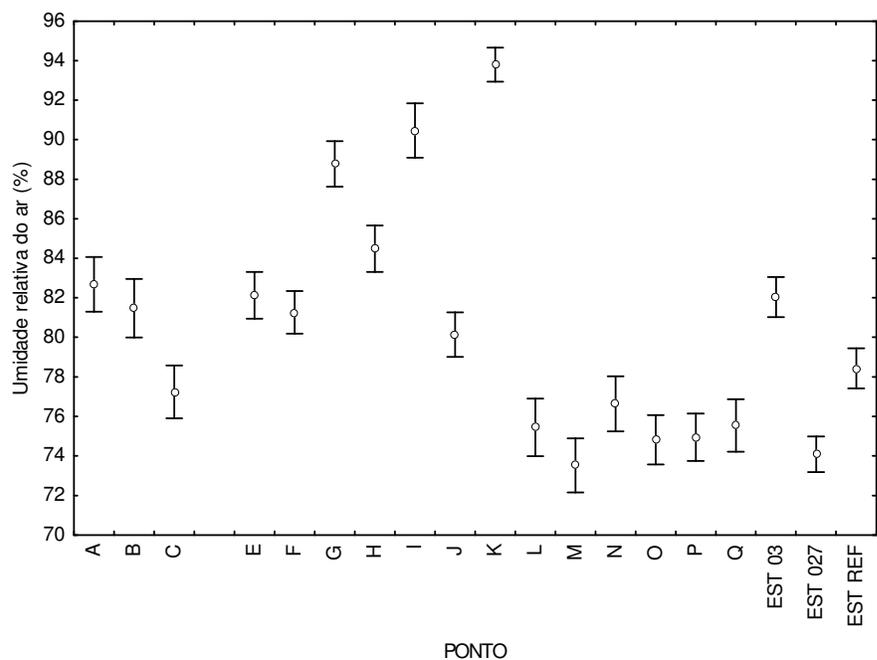


Figura 7.18 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar para um intervalo de confiança de 95%, por ponto de coleta, no período de inverno.

Quando se ordenam os valores encontrados tem-se o resultado apresentado nos gráficos das figuras 7.19 e 7.20.

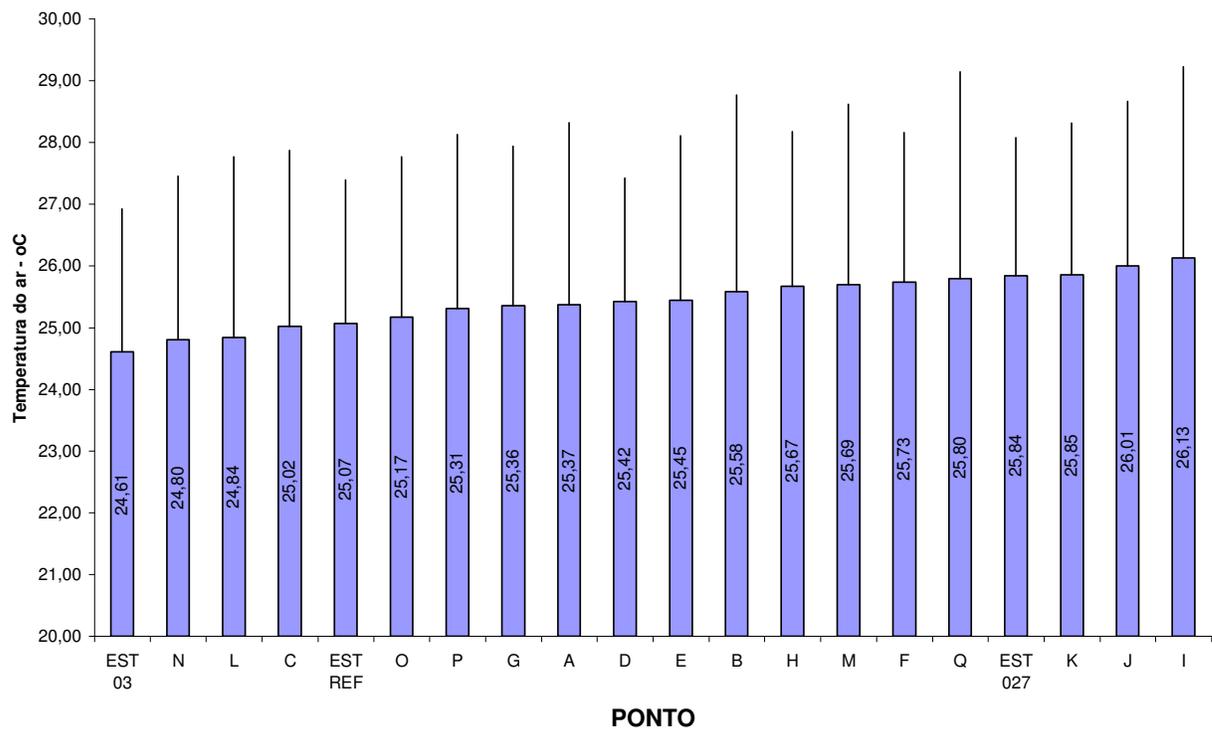


Figura 7.19 – Gráfico da Temperatura do ar média nos pontos de forma ordenada.

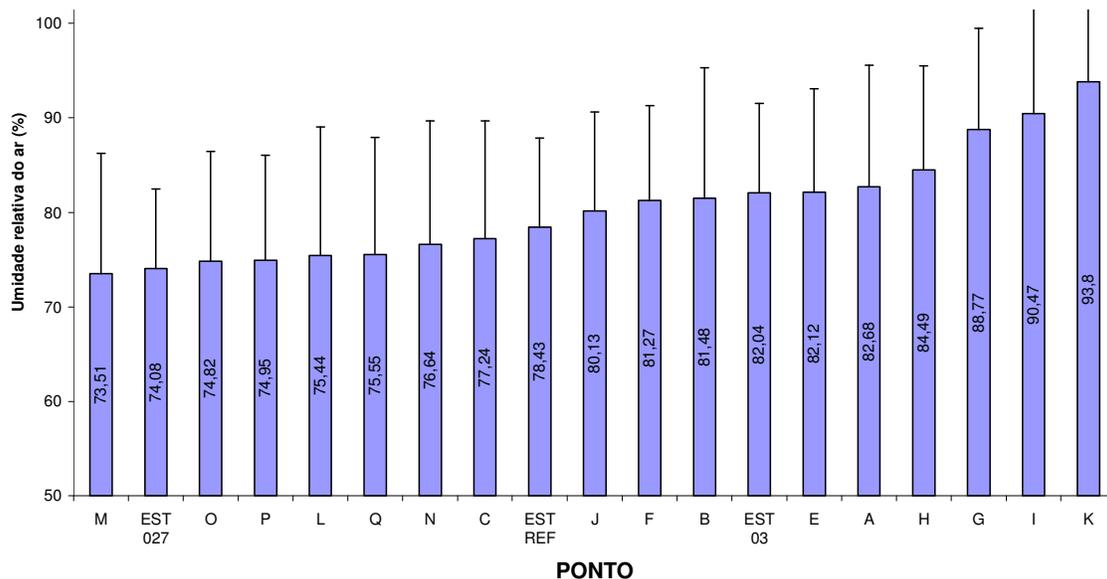


Figura 7.20 – Gráfico da Umidade relativa do ar média nos pontos de forma ordenada.

No período de inverno também o ponto EST REF foi um dos mais “frios”, sendo acompanhado pelo ponto EST 03. No outro oposto, ou seja, os pontos mais “quentes” são os pontos K e I.

7.2.2. Regiões administrativas

No período de inverno não existe diferença significativa de temperatura entre as regiões, o mesmo em se tratando de umidade relativa do ar, apresentando-se pouco maior que 10% (Tabela 7.10 e figuras 7.20 e 7.21). Nota-se contudo que a Região Leste de ocupação consolidada é levemente mais quente que as demais.

Tabela 7.10 – Temperatura do ar média por região, com intervalo de confiança

Região	Média (%)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad	Mínima (%)	Máxima (%)
		-95,0%	+95,0%			
R.Leste	25,91	25,77	26,05	2,645	21,40	32,50
R.Sul	25,35	25,26	25,44	2,617	19,93	32,50
R.Norte	25,27	25,12	25,42	2,889	19,81	33,17
R.Oeste	25,27	25,04	25,49	2,953	20,19	31,93
Média	25,44	25,37	25,50	2,724	19,81	33,17

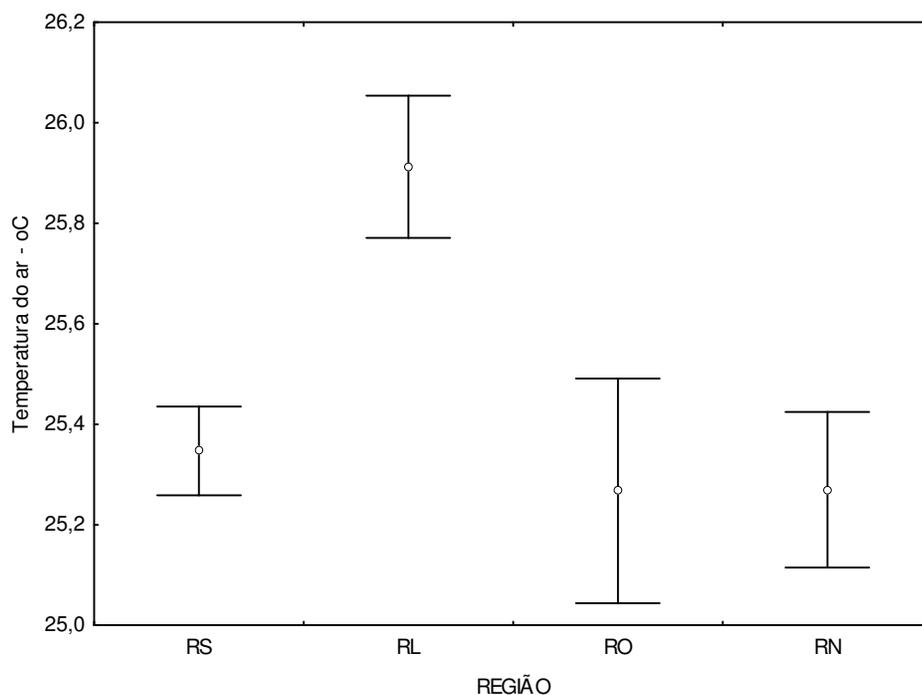


Figura 7.21 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.

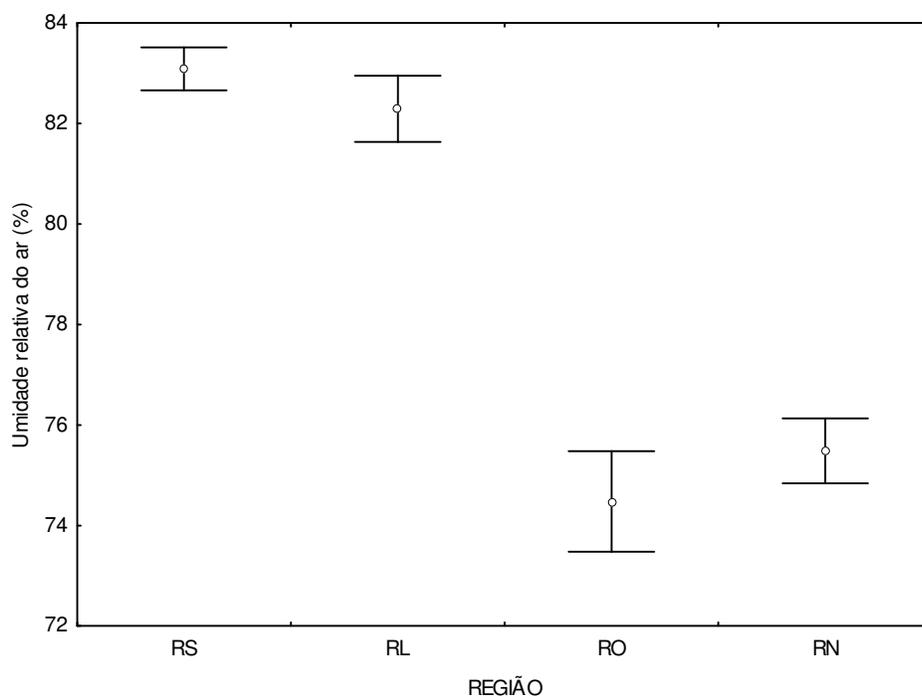


Figura 7.22 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar, por regiões, para um intervalo de confiança de 95%.

Tabela 7.11 – Umidade relativa do ar média por região, com intervalo de confiança

Região	Média (%)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad	Mínima (%)	Máxima (%)
		-95,0%	+95,0%			
R. Leste	82,3	81,6	82,9	12,3	53,0	99,9
R. Sul	83,1	82,7	83,5	12,0	42,4	100,0
R. Norte	75,5	74,8	76,1	12,1	35,0	95,4
R. Oeste	74,5	73,5	75,5	13,2	33,9	95,5
Média	80,4	80,1	80,7	12,7	33,9	100,0

7.2.3. Horários de medição

Em média a temperatura do ar foi maior às 11h (29,23⁰C) e menor às 4h (22,50⁰C); em relação à umidade relativa do ar 92,3% às 6h e 65,4% às 12h. A temperatura do ar média mínima ocorreu às 2h correspondendo a 19,81⁰C e a média máxima chegou a 33,17⁰C.

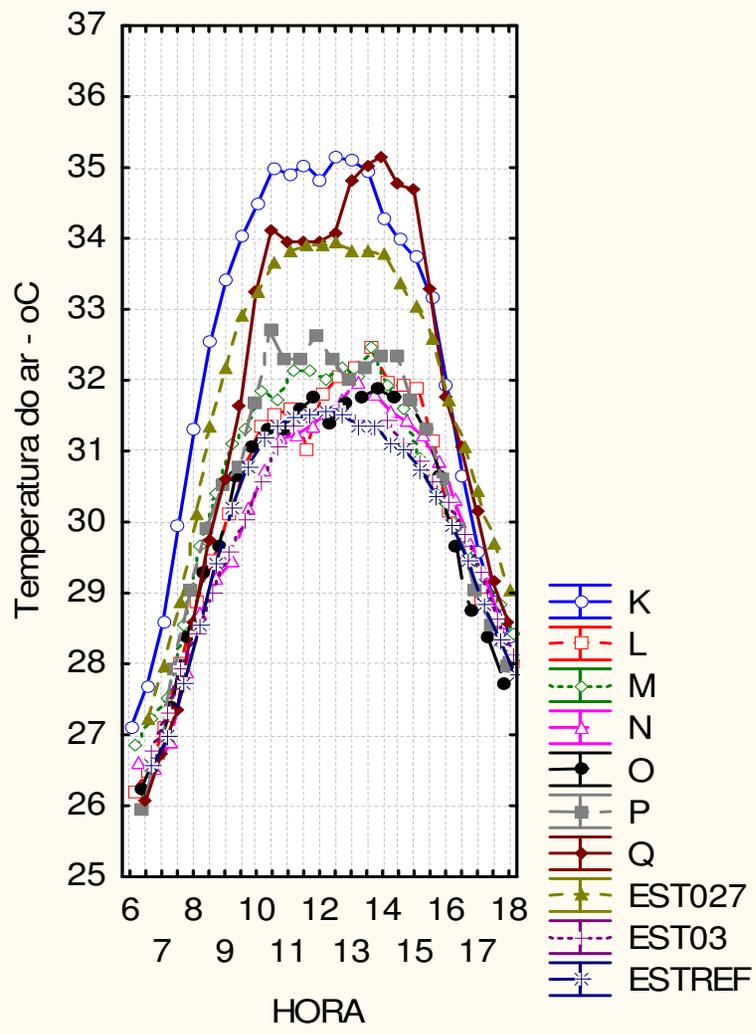
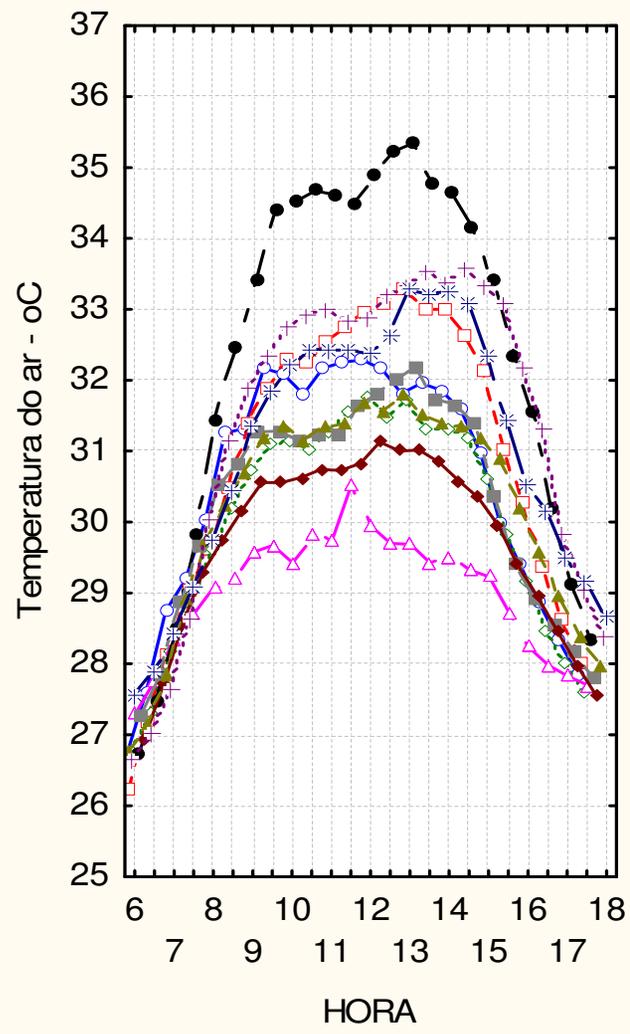


Figura 7.23 – Gráficos da Temperatura do ar horária nos pontos no intervalo 6h-18h

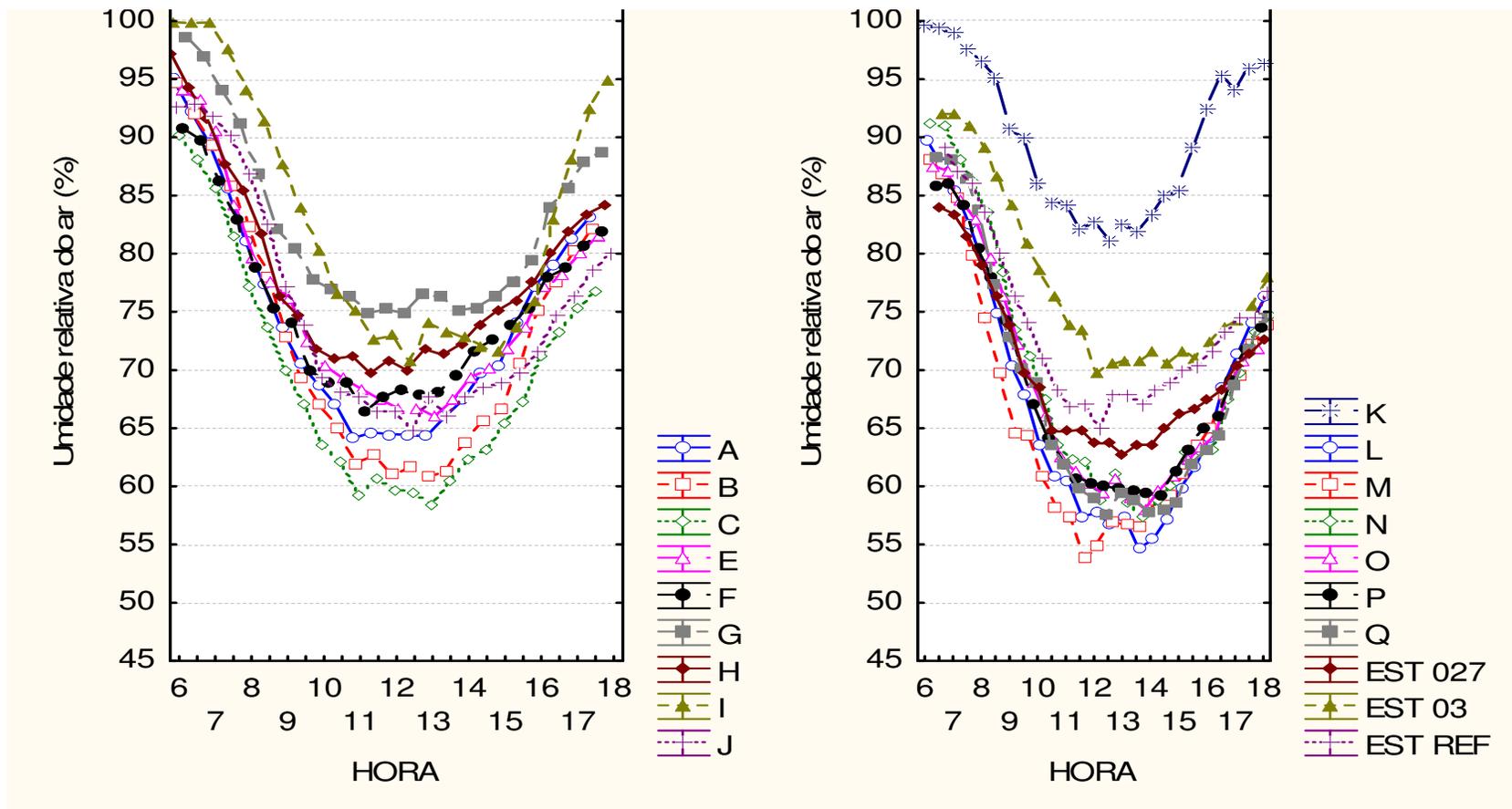


Figura 7.24 – Gráficos da Umidade relativa do ar horária nos pontos no intervalo 6h-18h

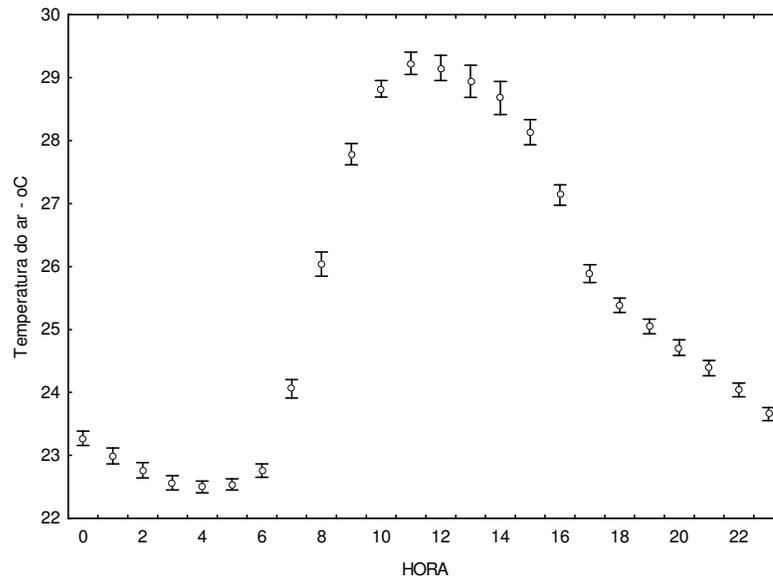


Figura 7.25 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar, ao longo do dia

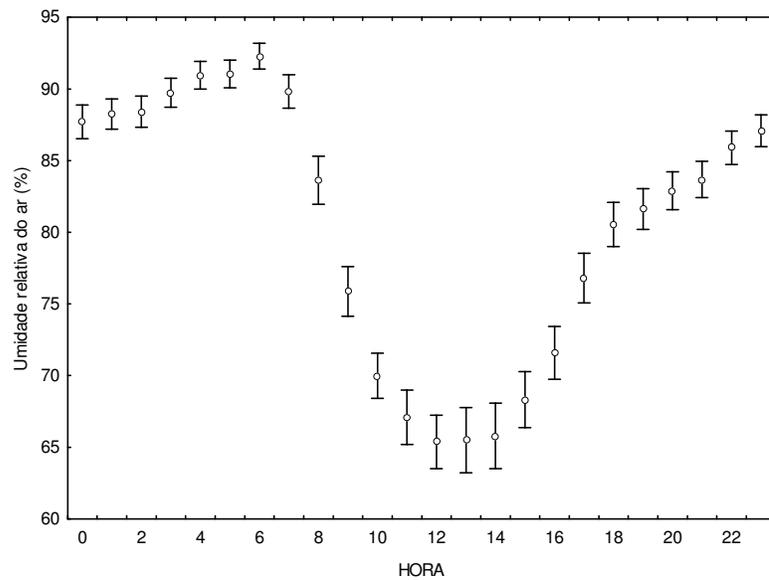


Figura 7.26 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa do ar, ao longo do dia

Tabela 7.12 - Temperatura Média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição, no período de inverno

Hora	Média (°C)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (°C)	Máxima (°C)
		-95,0%	+95,0%			
0:00	23,27	23,16	23,39	0,984	20,19	25,30
1:00	22,99	22,86	23,12	1,073	19,81	24,90
2:00	22,76	22,64	22,89	1,048	19,81	24,70
3:00	22,56	22,45	22,68	0,965	20,19	24,50
4:00	22,50	22,40	22,59	0,801	20,19	23,90
5:00	22,54	22,45	22,63	0,751	20,19	24,31
6:00	22,76	22,65	22,86	0,904	20,19	25,52
7:00	24,06	23,91	24,21	1,253	21,71	28,30
8:00	26,04	25,85	26,23	1,635	22,48	29,90
9:00	27,79	27,62	27,95	1,423	23,69	31,12
10:00	28,82	28,69	28,96	1,123	25,26	32,34
11:00	29,23	29,05	29,41	1,511	24,40	33,17
12:00	29,15	28,95	29,35	1,697	23,91	33,17
13:00	28,94	28,69	29,20	2,167	23,03	32,50
14:00	28,68	28,42	28,94	2,237	22,82	32,76
15:00	28,13	27,93	28,33	1,708	24,01	32,50
16:00	27,14	26,98	27,30	1,370	22,80	30,70
17:00	25,89	25,75	26,03	1,183	22,08	27,80
18:00	25,38	25,27	25,50	0,950	22,29	26,90
19:00	25,05	24,93	25,17	0,996	21,90	26,70
20:00	24,71	24,59	24,83	1,055	21,56	26,30
21:00	24,39	24,27	24,51	1,010	21,67	26,30
22:00	24,04	23,93	24,15	0,909	22,11	26,20
23:00	23,66	23,55	23,76	0,867	21,89	26,10
Média	25,44	25,37	25,50	2,724	19,81	33,17

Tabela 7.13 - Umidade relativa do ar média, Intervalo de 95% de confiança, Mínima e Máxima por hora de medição, no período de inverno

Hora	Média (%)	Intervalo de Confiança		Desv.Pad.	Mínima (%)	Máxima (%)
		-95,0%	+95,0%			
0:00	87,7	86,5	88,9	6,9	73,0	99,9
1:00	88,2	87,2	89,3	6,1	74,0	99,9
2:00	88,4	87,3	89,5	6,4	76,0	99,9
3:00	89,7	88,7	90,7	5,9	78,0	99,9
4:00	90,9	90,0	91,9	5,6	80,0	99,9
5:00	91,1	90,1	92,1	5,7	80,0	100,0
6:00	92,3	91,4	93,2	5,2	81,0	100,0
7:00	89,8	88,7	90,9	6,8	76,0	100,0
8:00	83,6	81,9	85,3	9,8	63,2	99,9
9:00	75,9	74,1	77,6	10,1	58,0	99,9
10:00	69,9	68,4	71,6	9,2	53,4	93,6
11:00	67,1	65,2	69,0	11,1	46,2	97,8
12:00	65,4	63,5	67,2	10,9	41,7	97,4
13:00	65,5	63,2	67,8	13,3	39,6	99,9
14:00	65,8	63,5	68,1	13,4	36,4	100,0
15:00	68,3	66,4	70,3	11,4	52,5	99,9
16:00	71,6	69,7	73,4	10,8	50,5	99,9
17:00	76,8	75,1	78,5	10,1	58,5	99,9
18:00	80,5	79,0	82,1	8,9	66,0	99,9
19:00	81,6	80,2	83,1	8,3	68,0	99,9
20:00	82,9	81,6	84,2	7,7	69,0	100,0
21:00	83,7	82,4	84,9	7,4	71,0	99,9
22:00	85,9	84,7	87,1	6,8	73,0	99,9
23:00	87,1	85,9	88,2	6,5	74,0	99,9
Média	80,4	79,9	80,9	12,7	36,4	100,0

7.2.4. Turnos de medição

Também no período de inverno o comportamento do médio por turnos segue a tendência apresentada para o dia típico na cidade. Os gráficos das figuras 7.26 e 7.27 ressaltam isso, e os valores médios por turno estão na tabela 7.14.

Tabela 7.14 - Temperatura do ar e umidade relativa do ar médias, no período de inverno.

Turno	Temperatura (°C)	Umidade (%)
Madrugada	22,77	89,5
Manhã	26,45	78,7
Tarde	27,99	69,5
Noite	24,56	83,9
Média	25,44	80,4

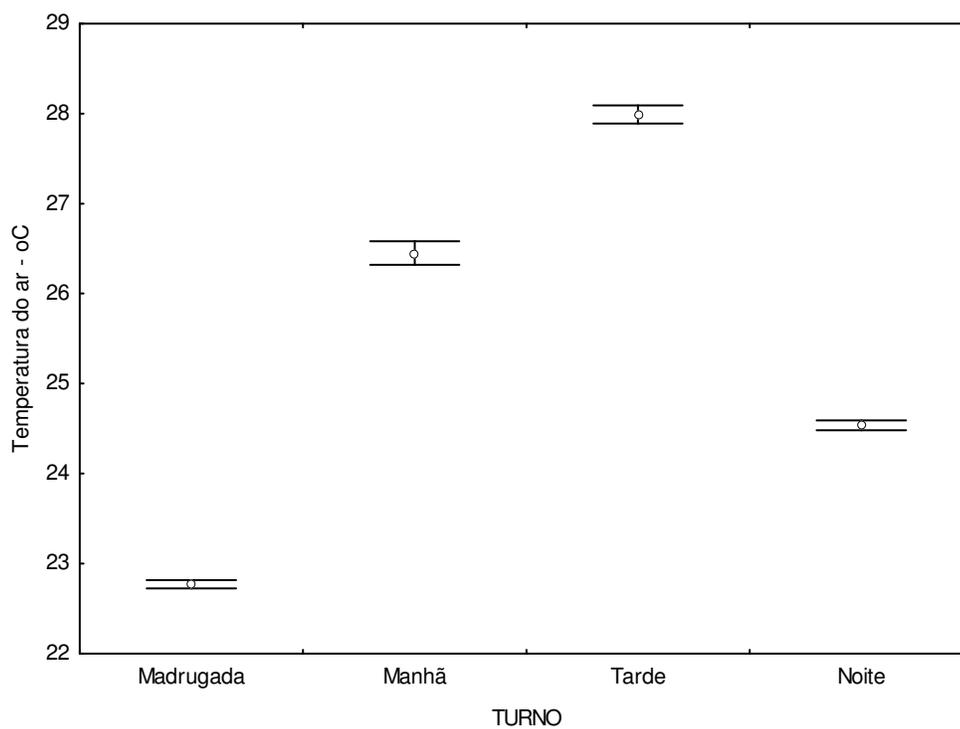


Figura 7. 27 – Gráfico do comportamento médio da temperatura do ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.

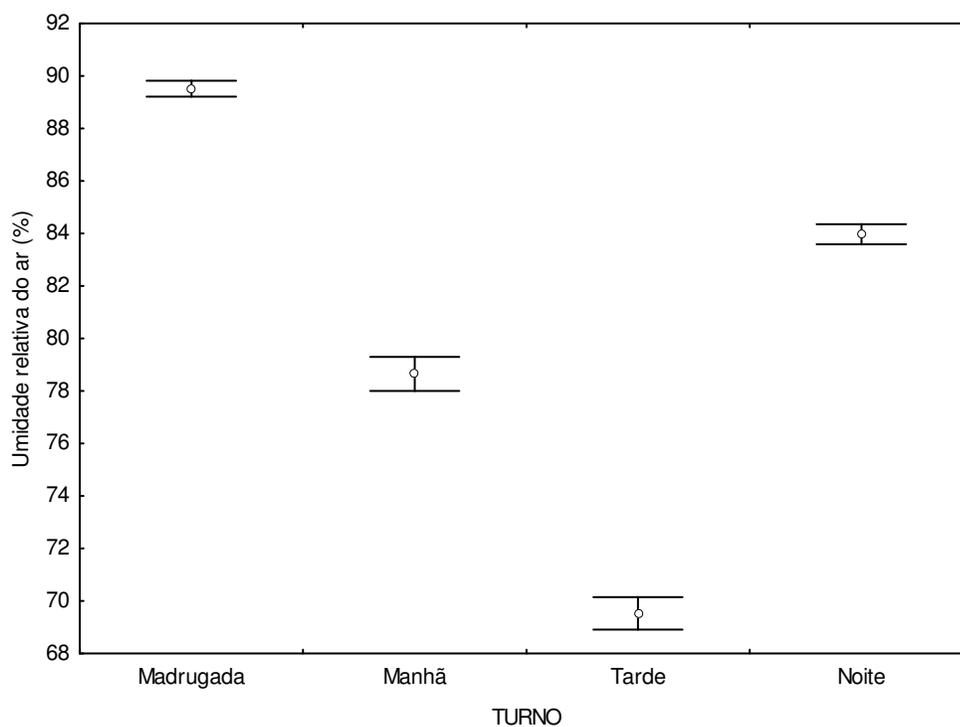


Figura 7.28 – Gráfico do comportamento médio da umidade relativa d ar por turno, com intervalo de confiança de 95%.

7.2.5. Velocidade e direção dos ventos

Só foi possível se fazer os gráficos de rosa dos ventos para os pontos EST03 e EST027; que apresentaram uma tendência S-SE para o período, conforme era esperado. A velocidade do ar média foi de 1,52m/s para o EST03 e de 0,73m/s para o EST027, também confirmando que a velocidade do ar é menor na medida em que se adentra a cidade (Figuras 7.29 a 7.31).

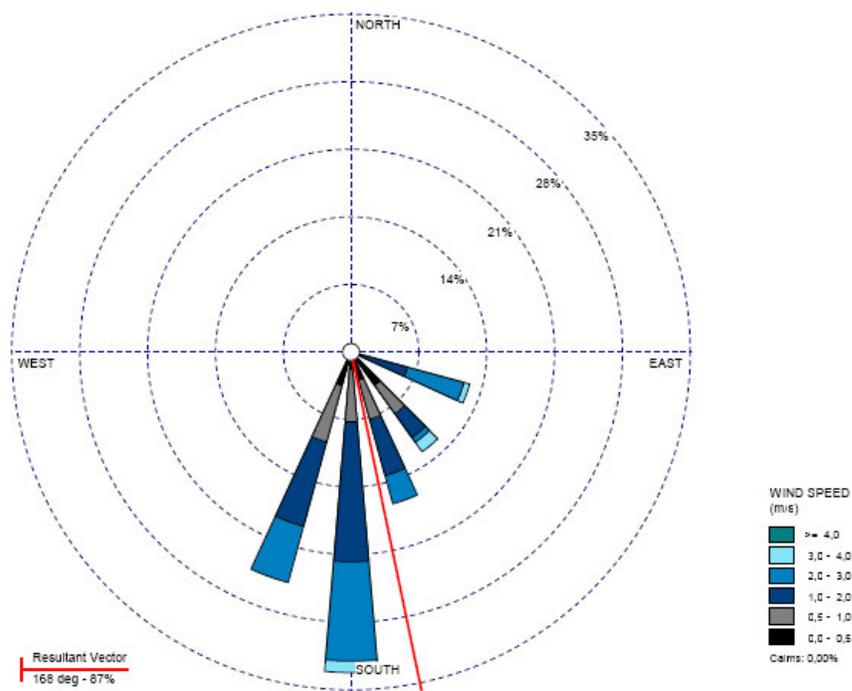


Figura 7.29 – Gráfico tipo Rosa dos ventos para o ponto EST03

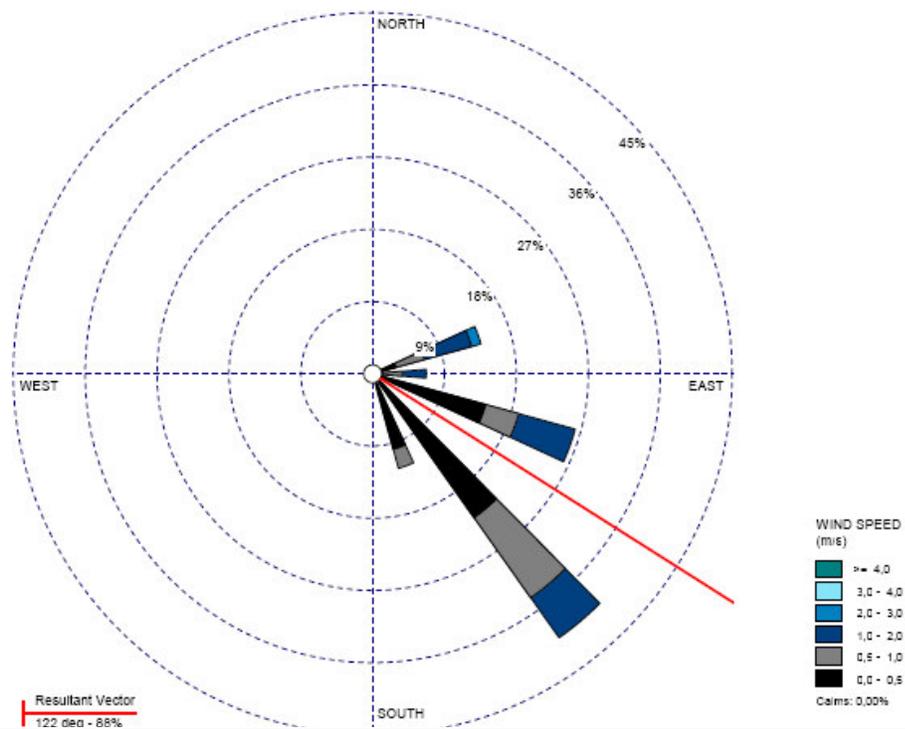


Figura 7.30 – Gráfico tipo Rosa dos ventos para o ponto EST 027

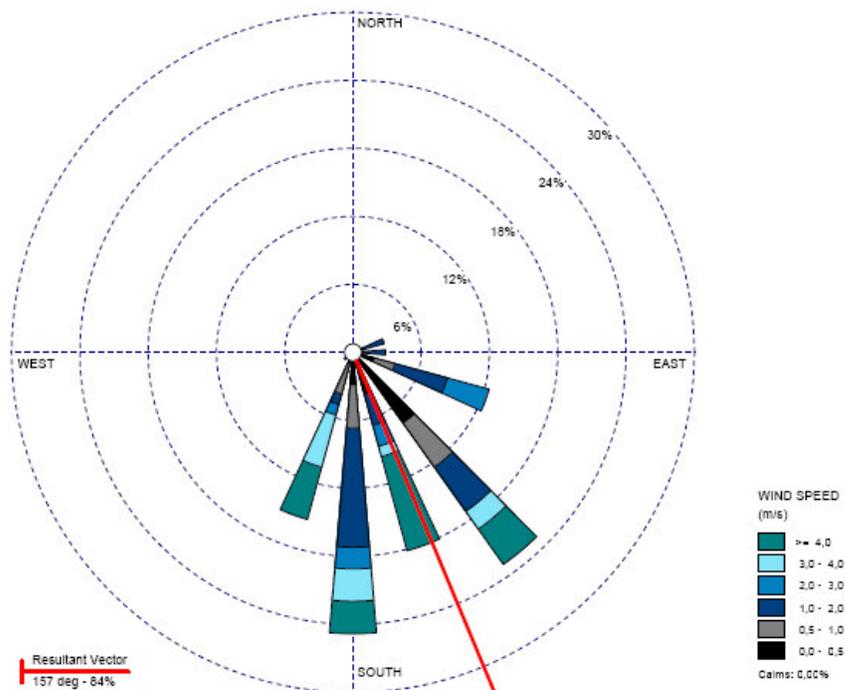


Figura 7.31 – Gráfico do tipo Rosa dos ventos para a média entre os pontos EST03 e EST027.

Pode-se concluir a partir da análise do período de inverno que as temperaturas foram mais amenas e as umidades mais altas, em função das chuvas ocorridas.

7.3. ANÁLISE COMPARATIVA

7.3.1. Formulação de modelo para comparar a temperatura do ar em cada ponto em relação ao ponto de referência

Para comparar a temperatura média do ar nos pontos de coleta em relação ao ponto de referência, formulou-se um modelo linear global envolvendo os dados de cada período estudado, Verão e Inverno.

O objetivo deste modelo é avaliar o grau de significância dos diferenciais de temperatura do ar entre os pontos com relação ao ponto de referência (EST REF) após corrigida a temperatura do ar em função das curvas de calibração no verão. O modelo incorpora componentes harmônicas normalmente presentes em dados climatológicos e

trata os diferenciais de temperatura como variáveis *Dummies* em uma regressão linear múltipla. Sua expressão matemática teórica é dada pela seguinte equação:

Equação 7.1 :

$$T_t^i = \beta_0 + \lambda^i + \alpha_1 \cos(2\pi t / 48) + \alpha_2 \text{sen}(2\pi t / 48) + \alpha_3 \cos(2\pi t / 24) + \alpha_4 \text{sen}(2\pi t / 24) + \alpha_5 \cos(2\pi t / 12) + \alpha_6 \text{sen}(2\pi t / 12) + \varepsilon_t$$

Onde:

T_t^i é a temperatura esperada no instante t em dado dia de verão no Ponto i,

β_0 (intercepto) é a temperatura média de EST REF no verão,

ε_t é uma medida do erro aleatório com distribuição normal de média zero e variância σ^2 ,

λ^i é o diferencial médio de temperatura entre o Ponto de observação i e o ponto de referência EST REF, ou seja,

$$\lambda^i = \begin{cases} 0, & \text{para } i = 0 \text{ (EST REF)} \\ \beta_i & \text{para } i = 1, 2, \dots, 19 \end{cases}$$

As hipóteses estatísticas a serem consideradas são:

1. $H_{0i} : \beta_i = 0$ versus $\beta_i \neq 0$ (Não existe diferencial de temperatura entre o Ponto i e o Ponto de referência EST REF versus Existe, $i=1, 2, 3, \dots, 19$);
2. $H_0 : (\alpha_1 = 0 \text{ e } \alpha_2 = 0)$ versus $(\alpha_1 \neq 0 \text{ ou } \alpha_2 \neq 0)$ (Não existe componente de período Dia – 24 horas na variação da temperatura versus Existe);
3. $H_0 : (\alpha_3 = 0 \text{ e } \alpha_4 = 0)$ versus $(\alpha_3 \neq 0 \text{ ou } \alpha_4 \neq 0)$ (Não existe componente de período Dia/Noite – 12 horas na variação da temperatura versus Existe);
4. $H_0 : (\alpha_5 = 0 \text{ e } \alpha_6 = 0)$ versus $(\alpha_5 \neq 0 \text{ ou } \alpha_6 \neq 0)$ (Não existe componente de turno– 12 horas na variação da temperatura versus Existe);

Os testes das hipóteses acima foram feitos com base nas estimativas dos parâmetros e seus respectivos erros-padrão através de uma estatística t-Student (Quadro 7.1).

Ajustando-se o modelo tem-se para o Ponto i , a temperatura estimada no tempo $t=0, 1, 2, \dots, 47, \hat{T}_t^i$, em determinado dia de verão é (equação 7.2):

Equação 7.2:

$$\hat{T}_t^i = 28,307 + \hat{\gamma}^i + 1,331\cos(2\pi t / 48) - 2,804\text{sen}(2\pi t / 48) - 0,934\cos(2\pi t / 24) + 1,086\text{sen}(2\pi t / 24) + 0,299\cos(2\pi t / 12) - 0,292\text{sen}(2\pi t / 12)$$

Sendo:

$\hat{\lambda}^i$ a estimativa do coeficiente diferencial mostrado nas linhas $i=1, \dots, 19$ do Quadro 7.1, terceira coluna (Coeficientes de regressão).

A estimativa dos coeficientes *alfa* estão nas linhas 20 a 25 da mesma coluna. Portanto, o intercepto $Beta_0 = 28,307$ representa a temperatura média no verão do posto EST REF. Examinando a coluna p-valor do Quadro conclui-se que somente os pontos C, G, O e EST03 não têm um diferencial significativo ($p > 0,05$) enquanto os demais têm. Examinando a terceira coluna do quadro nota-se que os pontos E, I, J, K e EST027 revelam possuir um diferencial acima de 1°C .

Os coeficientes *alfa* nas linhas 20 a 25 da terceira coluna estimam as componentes harmônicas existentes no fenômeno (variação da temperatura do ar) correspondentes à componente dia, à componente (Dia/Noite) e à componente Turno. Segundo o grau de ajuste e adequação do modelo, este explica 89,0% da variação da temperatura do ar no verão. A figura 7.32 mostra os pontos com seus diferenciais de temperatura em ordem crescente destacando os não significativos.

Quadro 7.1 - Modelo de regressão múltipla com Pontos Dummy - Estima a temperatura em função do Ponto - Verão ($R^2 = 89,0\%$)

No .	Variáveis Explicativas	Coefficientes de regress.	Erro padrão	t Student	p-valor
0	Intercepto	28,307	0,044	637,466	<0,0001
1	A	0,327	0,063	5,215	<0,0001
2	B	0,516	0,063	8,210	<0,0001
3	C	0,051	0,063	0,812	0,4168
4	D	-0,155	0,063	-2,463	0,0138
5	E	1,291	0,063	20,565	<0,0001
6	F	0,358	0,063	5,698	<0,0001
7	G	-0,064	0,063	-1,022	0,3068
8	H	0,375	0,063	5,978	<0,0001
9	I	1,029	0,063	16,390	<0,0001
10	J	1,133	0,063	18,039	<0,0001
11	K	1,684	0,063	26,816	<0,0001
12	L	0,242	0,063	3,855	0,0001
13	M	0,651	0,063	10,362	<0,0001
14	N	0,267	0,063	4,253	<0,0001
15	O	-0,033	0,063	-0,525	0,5993
16	P	0,124	0,063	1,968	0,0491
17	Q	0,958	0,063	15,256	<0,0001
18	EST003	0,067	0,063	1,068	0,2855
19	EST027	1,331	0,063	21,195	<0,0001
20	Cos48	-2,804	0,014	-199,706	<0,0001
21	Sen48	-0,934	0,014	-66,542	<0,0001
22	Cos24	1,086	0,014	77,362	<0,0001
23	Sen24	0,299	0,014	21,295	<0,0001
24	Cos12	-0,292	0,014	-20,819	<0,0001
25	Sen12	-0,169	0,014	-12,062	<0,0001

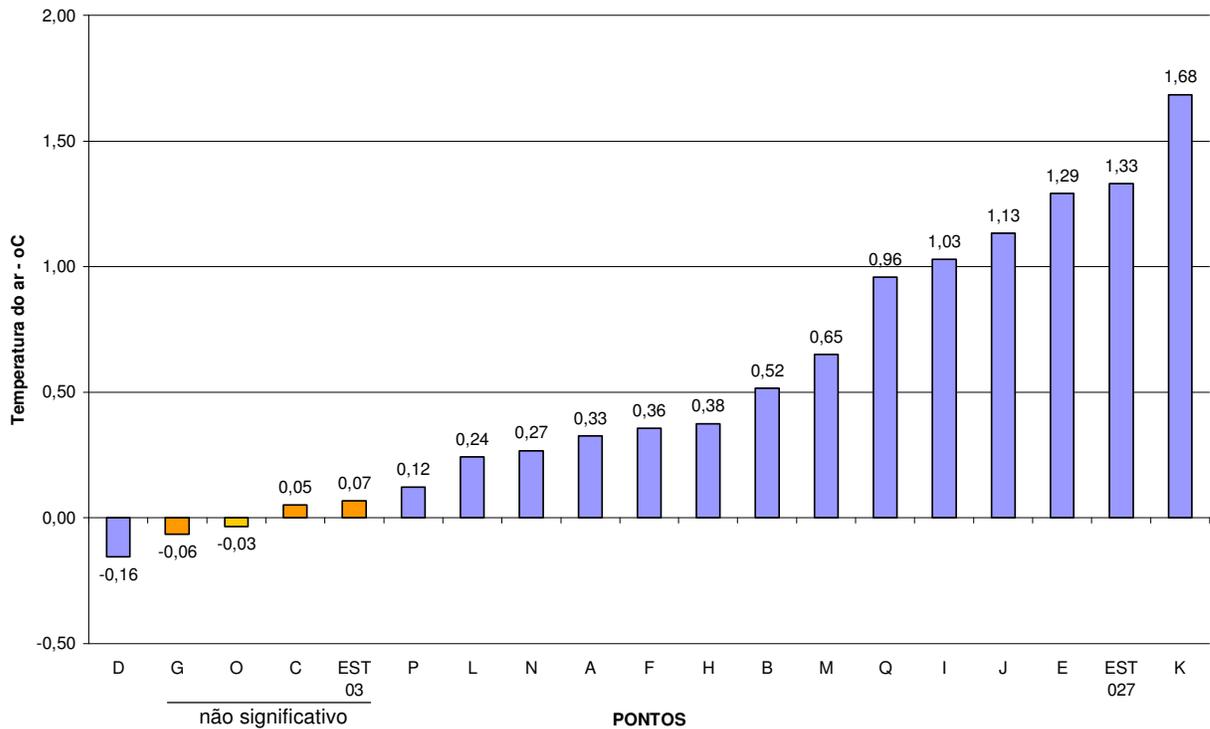


Figura 7.32 – Gráfico dos diferenciais de temperatura do ar dos pontos de coleta em relação ao ponto de referência em ordem crescente.

Ajustando-se o modelo para os dados de inverno, tem-se:

Para o Ponto i , a temperatura estimada no tempo $t=0, 1, 2, \dots, 47$, \hat{T}_t^i , em determinado dia de junho é:

Equação 7.3:

$$\hat{T}_t^i = 25,071 + \hat{\gamma}^i - 2,773 \cos(2\pi t / 48) - 1,564 \text{sen}(2\pi t / 48) + 1,118 \cos(2\pi t / 24) + 0,055 \text{sen}(2\pi t / 24) - 0,182 \cos(2\pi t / 12) - 0,240 \text{sen}(2\pi t / 12)$$

Examinando o quadro e figura se verifica que no inverno somente os pontos C e O não tiveram um diferencial significativo, por outro lado, os pontos Q, EST027, K, J e I foram os que apresentaram maior diferencial tendo o ponto I um diferencial acima de 1°C. O modelo explica quase 80% da variação total da temperatura do ar no inverno

(quadro7.2). A figura 7.33 apresenta um gráfico com diferenciais de temperatura do ar dos pontos em relação ao ESTREF em ordem crescente para o período de inverno.

Quadro 7.2 - Modelo de regressão múltipla com Pontos Dummy - Estima a temperatura do ar em função do Ponto - Inverno ($R^2 = 79,6\%$)

No .	Variáveis Explicativas	Coefficientes de regress.	Erro padrão	t Student	p-valor
0	Intercepto	25,071	0,067	373,013	< 0,0001
1	A	0,298	0,095	3,130	0,0018
2	B	0,513	0,095	5,397	< 0,0001
3	C	-0,048	0,095	-0,501	0,6164
4	D	0,351	0,095	3,697	0,0002
5	E	0,374	0,095	3,938	0,0001
6	F	0,662	0,095	6,966	< 0,0001
7	G	0,284	0,095	2,989	0,0028
8	H	0,597	0,095	6,280	< 0,0001
9	I	1,060	0,095	11,152	< 0,0001
10	J	0,934	0,095	9,825	< 0,0001
11	K	0,783	0,095	8,237	< 0,0001
12	L	-0,229	0,095	-2,414	0,0158
13	M	0,622	0,095	6,542	< 0,0001
14	N	-0,268	0,095	-2,818	0,0049
15	O	0,098	0,095	1,034	0,3014
16	P	0,236	0,095	2,484	0,0130
17	Q	0,727	0,095	7,645	< 0,0001
18	EST003	-0,462	0,095	-4,861	< 0,0001
19	EST027	0,773	0,095	8,136	< 0,0001
20	Cos48	-2,773	0,021	-130,470	< 0,0001
21	Sen48	-1,564	0,021	-73,590	< 0,0001
22	Cos24	1,118	0,021	52,591	< 0,0001
23	Sen24	0,055	0,021	2,579	0,0099
24	Cos12	-0,182	0,021	-8,563	< 0,0001
25	Sen12	-0,240	0,021	-11,297	< 0,0001

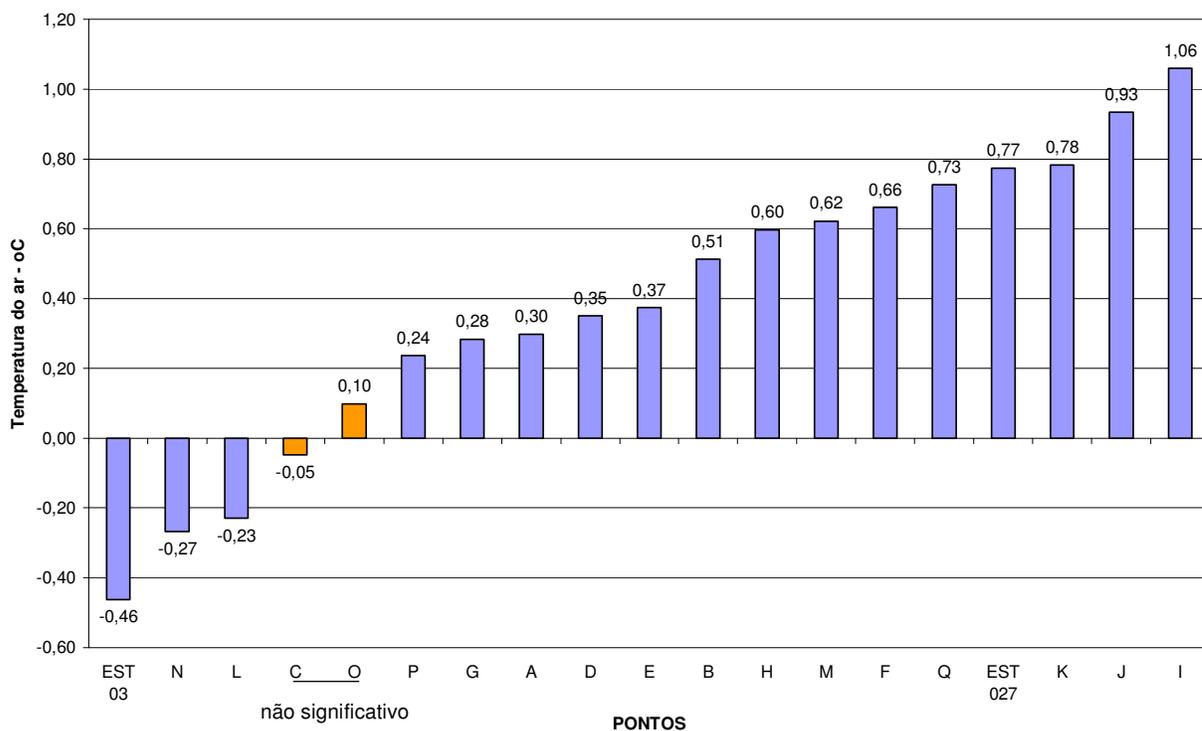


Figura 7.33 - gráfico com diferenciais de temperatura do ar dos pontos em relação ao ESTREF em ordem crescente para o período de inverno.

7.3.2. Agrupamento global de pontos por análise de Cluster

Na tentativa de se identificar os pontos que apresentaram semelhanças em relação aos dados coletados, fez-se um agrupamento de Pontos com base no diferencial Inverno e Verão. Leva-se em conta o perfil médio diário de temperatura do ar e umidade relativa do ar nos dois períodos em cada Ponto, entendendo que esta comparação retrata de maneira mais fidedigna a caracterização de cada um deles. Observa-se um vetor médio com $4 \times 48 = 192$ componentes, sendo 48 medidas de temperatura do ar e 48 medidas de umidade relativa do ar nos dois períodos. Ressalta-se que o ponto D foi excluído deste agrupamento. O resultado do agrupamento pode ser visto na figura 7.34.

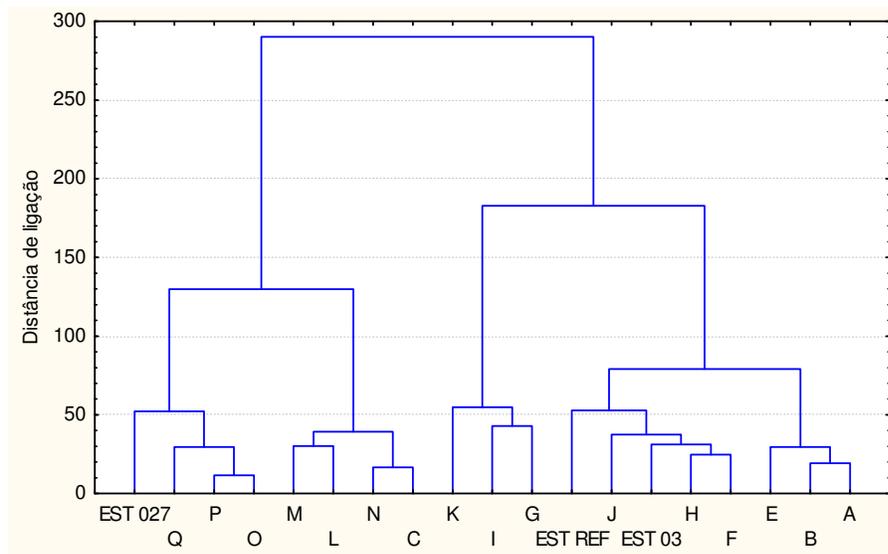


Figura 7.34 – Agrupamento dos pontos com base no perfil médio de temperatura e umidade nos períodos de verão e inverno (método de ward/ distância euclidiana)

A figura 7.35 e o quadro 7.3 mostram o esquema de ligação dos pontos passo a passo. No primeiro passo são ligados os pontos O e P a uma distância 11,61, portanto, formam o par de pontos mais similares. Em seguida, no passo dois, são ligados os pontos C e N a uma distância de 16,72. No passo três são ligados A e B e no quatro os pontos F e H. No passo cinco o grupo formado pelos pontos {O, P} é ligado ao ponto Q a uma distância de 29,56; e assim por diante.

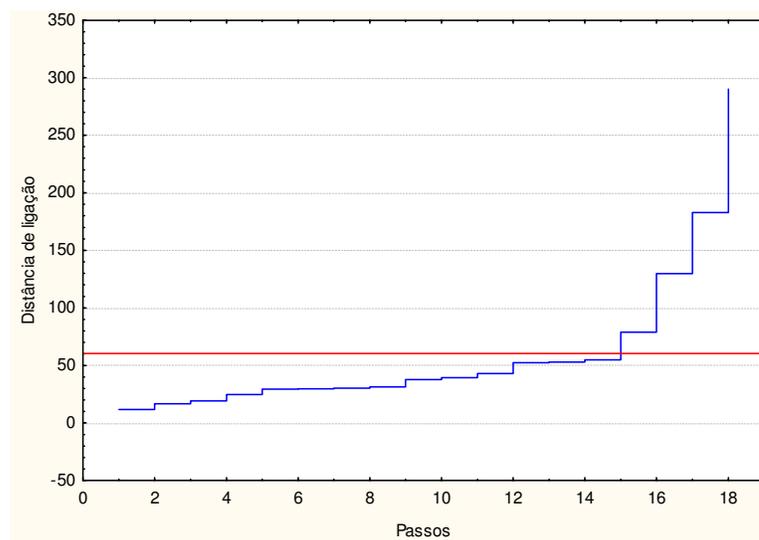


Figura 7.35 – Gráfico do processo de ligação – Dendrograma

Quadro 7.3 - Esquema de ligação dos pontos passo a passo

Passo	Dist.	Obj. No. 1	Obj. No. 2	Obj. No. 3	Obj. No. 4	Obj. No. 5	Obj. No. 6	Obj. No. 7	Obj. No. 8	Obj. No. 9	Obj. No. 10	Obj. No. 11
1	11,61	O	P									
2	16,72	C	N									
3	19,22	A	B									
4	24,67	F	H									
5	29,56	O	P	Q								
6	29,68	A	B	E								
7	30,19	L	M									
8	31,29	F	H	EST 03								
9	37,59	F	H	EST 03	J							
10	39,35	C	N	L	M							
11	42,90	G	I									
12	52,31	O	P	Q	EST 027							
13	52,92	F	H	EST 03	J	EST REF						
14	54,80	G	I	K								
15	79,06	A	B	E	F	H	EST 03	J	EST REF			
16	129,77	C	N	L	M	O	P	Q	EST 027			
17	182,74	A	B	E	F	H	EST 03	J	EST REF	G	I	K
18	290,20	TODOS										

Segundo o Quadro 7.3 e a figura 7.35 verifica-se que o ponto de corte mais plausível fica em torno da distância de ligação 55 em torno da qual se verifica o primeiro grande salto no gráfico de ligações que ocorre ao se ligar o grupo {A, B, E} com o grupo formado pelos pontos {F, H, EST 03, J, EST REF}. Um corte neste ponto gera os seguintes grupos homogêneos:

G1={G,I,K},

G2={EST 027,O,P,Q},

G3={C,L,M,N}

G4={F,H,J, EST REF,EST 03}

G5={ A,B,E}.

Na tabela 7.15 apresentam-se as estatísticas de temperatura do ar e umidade relativa do ar dos grupos por período, que podem ser vistas ainda sob a forma de gráfico nas figuras 7.36 e 7.37.

Tabela 7.15 - Estatísticas da temperatura e umidade dos grupos homogêneos de pontos segundo o período

Período / Grupo	Temperatura						Umidade					
	Média	Interv. conf		D.P.	Min	Max	Média	Interv. Conf		D.P.	Min	Max
		-95%	95%					-95%	95%			
Verão	28,70	28,64	28,76	2,412	24,79	37,44	70,2	69,9	70,4	8,9	38,6	91,0
G1	29,19	29,02	29,36	2,747	25,50	37,10	70,9	70,3	71,4	9,2	46,8	85,4
G2	28,61	28,48	28,75	2,537	24,79	37,44	66,1	65,7	66,6	9,0	38,6	80,5
G3	28,61	28,50	28,72	2,067	24,80	33,60	72,8	72,3	73,3	8,9	51,9	91,0
G4	28,34	28,25	28,44	1,926	26,10	34,90	71,0	70,7	71,4	6,6	51,6	86,7
G5	29,02	28,84	29,20	2,879	25,10	36,80	69,9	69,2	70,5	10,2	46,4	85,5
Inverno	25,39	25,33	25,46	2,746	19,81	33,17	80,4	80,1	80,7	12,7	33,9	100,0
G1	25,39	25,33	25,46	2,746	19,81	33,17	91,0	90,3	91,7	10,9	57,4	100,0
G2	25,78	25,61	25,95	2,743	20,80	32,50	74,9	74,3	75,4	10,9	40,3	95,4
G3	25,46	25,31	25,61	2,776	20,19	33,17	75,7	75,0	76,4	13,0	33,9	95,5
G4	25,09	24,94	25,24	2,859	19,81	31,93	81,3	80,8	81,8	10,3	45,8	99,9
G5	25,30	25,19	25,42	2,468	20,20	31,80	82,1	81,3	82,9	12,6	42,7	99,6
Geral	27,05	26,99	27,10	3,067	19,81	37,44	75,3	75,1	75,5	12,1	33,9	100,0

Analisando a figura 7.36 nota-se uma diferença significativa entre o nível médio de temperatura do grupo G1 e o nível médio geral tanto no Inverno como no Verão. No inverno G1 está significativamente acima de G3 e G4, enquanto no Verão ele está significativamente acima de G2, G3 e G4.

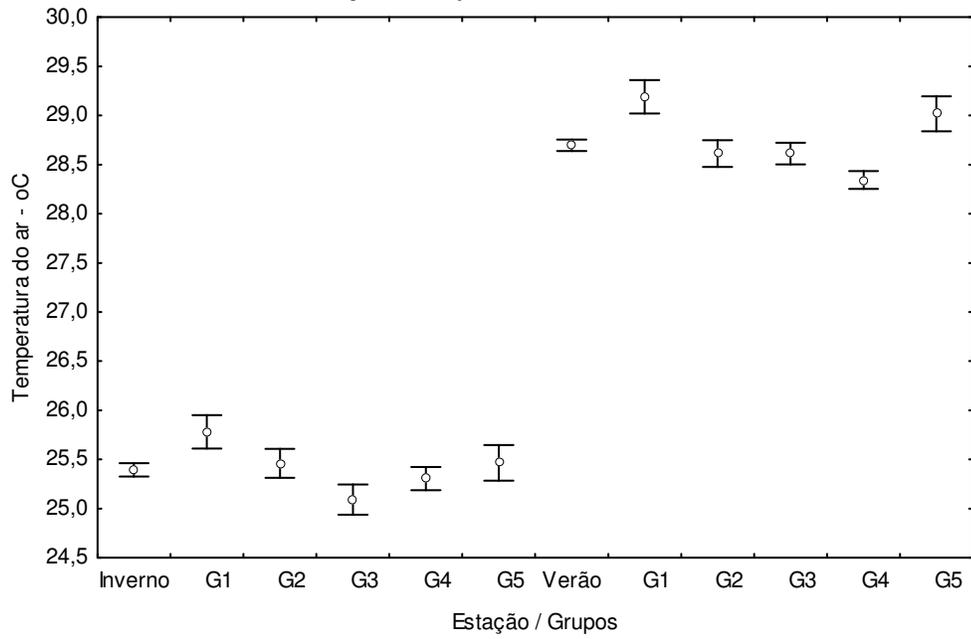


Figura 7.36 – Perfil médio de temperatura do ar e intervalos de confiança para grupos homogêneos de pontos nos períodos de verão e inverno

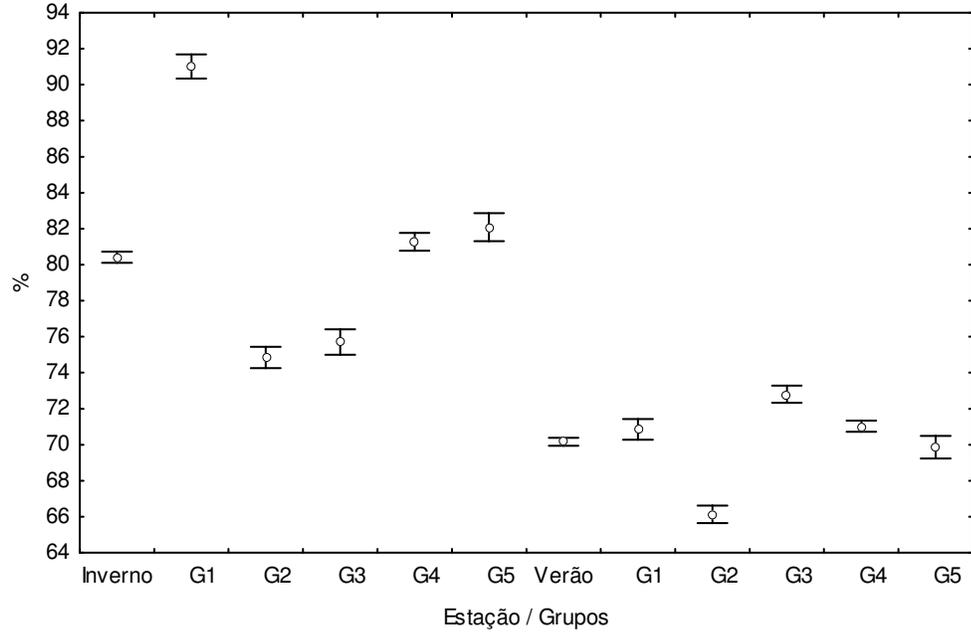


Figura 7.37 – Perfil médio de umidade relativa do ar e intervalos de confiança para grupos homogêneos de pontos nos períodos de verão e inverno

Analisando a figura 7.37 nota-se que no inverno, o grupo G1 tem uma umidade relativa do ar média significativamente maior que os demais grupos. Além disso, os grupos G2 e G3 têm umidade relativa do ar significativamente menor que os grupos G4 e G5. No verão, o grupo G1 tem média em torno da média geral e o grupo G2 apresenta umidade relativa do ar significativamente menor que os demais grupos. O grupo G3 é o que tem maior nível de umidade relativa do ar, diferentemente da estação inverno onde apresenta baixo nível no conjunto.

Optou-se por manter a análise geral com os dados de umidade relativa do ar por se tratar de uma unidade mais familiar/ usual na literatura da área, contudo, também foram feitas as análises finais transformando os valores de umidade relativa do ar em absoluta, de forma a se permitir as duas interpretações. Assim, tem-se:

Tabela 7.16 - Valores médios entre os dados de verão e inverno nos grupos

Grupo	Temp. (°C)	Umid. Relativa (%)	Umid. Absoluta (g de vapor/ kg de ar seco)
G4	26,72	76,2	16,92
G3	27,04	74,3	16,79
G5	27,16	76,0	17,39
G2	27,19	70,5	16,09
G1	27,29	80,9	18,66

Isso origina uma diferença de 0,57°C entre os grupos de maior (G1) e menor (G4) temperatura. Se essa mesma comparação for feita separadamente para inverno e verão, tem-se uma diferença de 0,85°C no verão (G1 – G4) e menor de 0,69°C no inverno (G2 – G4). Essas diferenças entre os grupos apesar de pequenas em valores absolutos são significativas e refletem o tipo de ocupação presente em cada um deles.

Isolando-se o ponto K, cujo terreno influenciou mais na composição que o entorno, e fazendo-se uma espacialização desses grupos na cidade, observa-se:

- O grupo 1 está à sotavento do Parque das Dunas, numa região de platô bastante densa;
 - Na face Oeste do G1 aparece o G6, que configura uma linha de direção N-S paralela ao Parque das Dunas em toda a sua extensão;
 - Já os grupos G3, G4 e G5 formam cada um deles uma área com pontos próximos entre si, também na direção N-S, respectivamente.
- Esses grupos sugerem a configuração de microclimas diferentes na cidade.

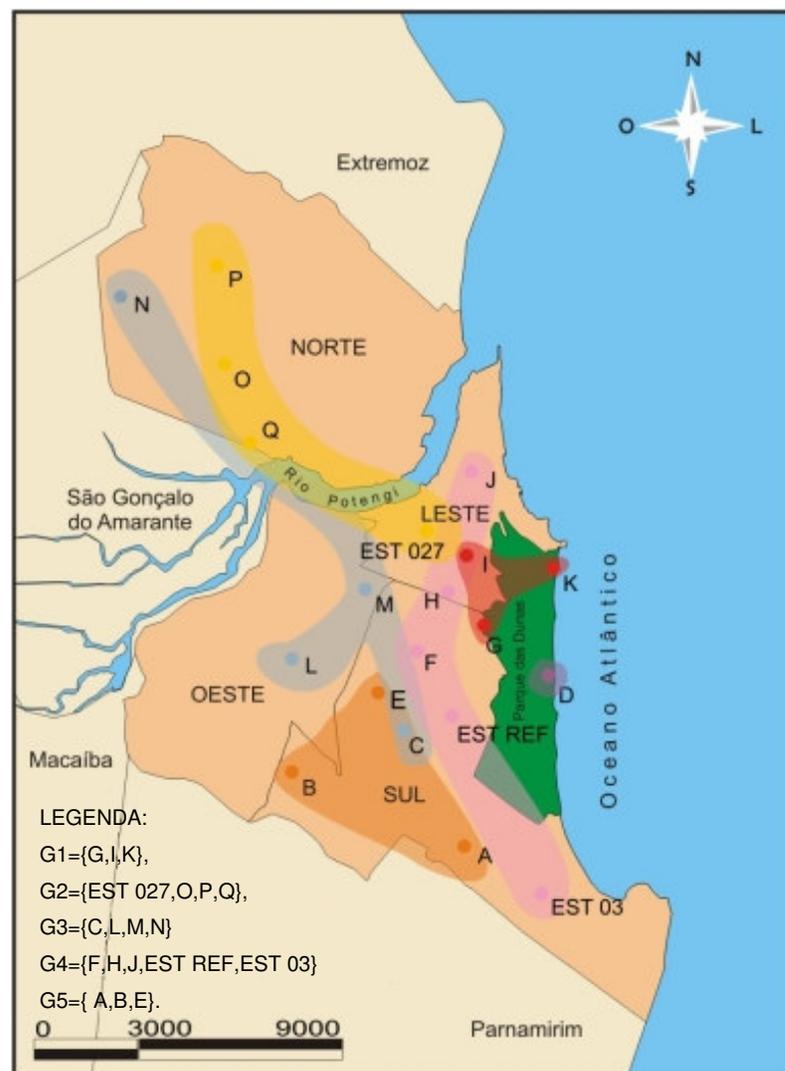


Figura 7.38 – Mapa síntese do agrupamento

7.3.3. Análise do Mapa estrela

O mapa estrela, figura 7.39, apresenta uma outra visualização para os valores médios encontrados. Com esse procedimento metodológico observa-se que os pontos cujas pontas da estrela são mais acentuadas são aqueles que destacam dos demais (Quadro 7.4). Foi construído a partir de um sentido ordenado para a localização dos pontos “vizinhos” e evidencia a não homogeneidade dos valores encontrados para cada um dos pontos de coleta em relação aos demais.

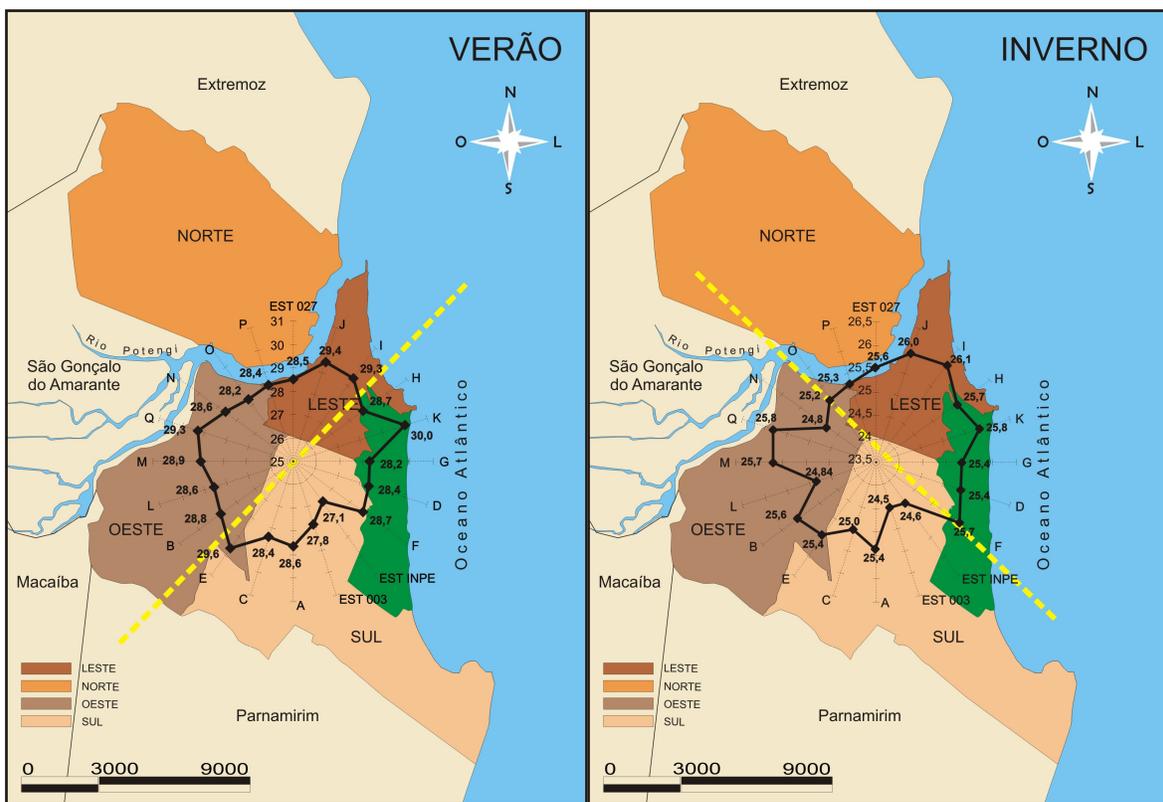


Figura 7.39 – Mapas estrela resultantes da análise de campo, com as médias gerais por ponto, por período.

Quadro 7.4 – Comentários acerca do mapa estrela.

Mapa Estrela VERÃO	Mapa Estrela INVERNO
<p>Maior amplitude térmica (27,14⁰C a 30,01⁰C)</p>	<p>Menor amplitude térmica (24,53⁰C a 26,13⁰C)</p>
<p>Maior oscilação da estrela nas regiões: SUL e LESTE</p>	<p>Maior oscilação da estrela nas regiões: SUL e OESTE</p>
<p>Durante o verão os ventos vêm predominantemente do Sudeste e do Leste.</p>	<p>Durante o período de inverno, época chuvosa, os ventos vêm predominantemente do Sul.</p>
<p>O relevo do Parque das Dunas se caracteriza como obstáculo para entrada do vento na cidade; contudo sua cobertura vegetal acaba por amenizar a temperatura do ar.</p>	<p>O relevo do bairro de Ponta Negra (na região Sul) e a verticalização crescente do bairro estão-se tornando um obstáculo para o vento; que faz da Região Sul uma área de canalização para a entrada de ar na cidade.</p>
<p>Na Região Norte independentemente dos ventos virem do Sul ou Sudeste, a região não se altera significativamente, como representado pelo mapa estrela. Isso se deve ao relevo natural em aclave (sentido SE-NO), além de um ambiente edificado razoavelmente homogêneo, sem muita verticalização; o que contribui para a uniformidade das temperaturas, mostrando-se um aspecto imprescindível para a análise geral.</p>	

No próximo capítulo serão discutidos os resultados encontrados na pesquisa, é proposta uma metodologia para obtenção da distribuição espacial da temperatura do ar em Natal/RN e são levantados alguns parâmetros para a amenização climática.

8. CONTRIBUIÇÕES PARA LOCALIDADE DE BAIXA LATITUDE COM CLIMA QUENTE E ÚMIDO

Depois de apresentados os dados qualitativos e quantitativos levantados em campo, esse capítulo apresenta algumas considerações comparativas; e propõe diretrizes para embasamento da legislação urbanística para a área de estudo. O capítulo foi dividido em 02 partes:

- Proposição de parâmetros de amenização climática para regiões de baixa latitude com clima quente e úmido, com a introdução de um indicador de revestimento horizontal;
- Distribuição espacial da temperatura do ar na área de estudo;

8.1. PROPOSIÇÃO DE PARÂMETROS DE AMENIZAÇÃO CLIMÁTICA PARA REGIÕES DE BAIXA LATITUDE COM CLIMA QUENTE E ÚMIDO

A taxa de impermeabilização proposta na revisão do Plano Diretor, aprovado em maio de 2007, é de 80% para toda a cidade objeto de estudo, o que ocasiona um percentual de 20% de área a ser mantida permeável dentro do lote, exceto as ZPAS que têm legislação própria. Esse valor parece ter sido estipulado sem qualquer embasamento teórico, e considera a cidade inteira como tendo uma mesma configuração de ocupação do solo. Como observou-se ao longo desse trabalho a cidade detém uma ocupação diferenciada de seu solo, o que *per si* indica que esse parâmetro deve ser revisto. O que se sugere é que, partindo-se do princípio da existência tanto de infra-estrutura quanto de ocupação diferenciados, se diferencie também a taxa de permeabilidade de forma se ter um reflexo maior no comportamento térmico microclimático e, portanto, um benefício em termos de conforto ambiental para a população que ocupa esses espaços – no nível do lote.

Reconhece-se que existem outros fatores associados à impermeabilização do solo, como a drenagem urbana, a recarga do aquífero dela advinda, e também da deficiência na educação ambiental, proveniente do fato que as áreas verdes nos lotes são vistas muitas vezes como de difícil manutenção pelos proprietários; que desconhecem os benefícios microclimáticos advindos dessa ação.

Aliado a isso é notório que não existe qualquer fiscalização posterior à aprovação do projeto por parte do órgão municipal responsável – SEMURB (Secretaria Especial de Meio Ambiente e Urbanismo), que seja eficaz a ponto de evitar a impermeabilização desses 20% restantes, no decorrer do uso do imóvel. Nesse sentido, conclui-se ser necessária a realização de ampla campanha de educação ambiental, seja nas escolas, seja nas associações de moradores, ou ainda através de divulgação em meios de comunicação de massa, que possam despertar na população a consciência de que uma intervenção localizada micro-espacialmente (ou seja, no nível do lote) pode interferir de forma significativa no conforto térmico do seu entorno imediato, com a amenização climática. É importante trazer o problema ambiental para a realidade das pessoas pois isso pode fazê-las assumir uma co-responsabilidade.

Ocorre que a permeabilidade do solo aparece na legislação sempre relacionada a questão da drenagem urbana (TUCCI, 2003) quando na verdade poderia também associar-se a parâmetros de conforto térmico no nível do lote, enfatizando seu poder de amenização microclimática e evapotranspiração, como fator importante e possível de ser implementado pelo cidadão comum, que consciente dessa realidade pode adotar uma postura diferente do corriqueiro e deixar as áreas do entorno da edificação permeáveis.

Em relação a uma possível modificação na legislação, em um primeiro momento acreditou-se que poderia ser proposta uma taxa distinta para cada região administrativa, fato que foi reavaliado em virtude da constatação de que são os pontos e não as regiões que influenciam nessa diferença de temperatura. Uma opção é a adoção de agrupamentos de bairros. Dos 36 bairros existentes na capital, os 20 pontos de coleta localizaram-se em 17 deles (os pontos C e E; F e EST REF estão, cada dupla, em um mesmo bairro; e os pontos K e D localizam-se no Parque das Dunas); isso representa que foi pesquisado 46% do total de bairros existentes (Quadro 8.1).

Quadro 8.1 – Bairros com pontos de coleta de dados por região administrativa

REGIÃO ADMINISTRATIVA	BAIRROS COM PONTOS DE COLETA	PONTO DE COLETA
NORTE 04 pontos 04 bairros	Potengi, N. Senhora da Apresentação, Lagoa Azul Igapó	O N P Q
SUL 10 pontos 07 bairros	Lagoa Nova, Nova Descoberta, Candelária, Pitumbu, Neópolis, Ponta Negra, Parque das Dunas.	F – EST REF G C – E B A EST 03 D – K
LESTE 04 pontos 04 bairros	Cidade Alta, Lagoa Seca, Barro Vermelho, Tirol.	J H EST027 I
OESTE 02 pontos 02 bairros	Dix-Sept Rosado, Felipe Camarão.	M L

Um questão importante é saber até que medida é possível extrapolar o ponto de coleta localizado no bairro como sendo representativo do uso e ocupação desse. Optou-se por analisar caso a caso, contando com o auxílio da observação por imagem de satélite (IKONOS II) para toda a cidade, comparando-se o tipo de ocupação presente na área de entorno pesquisada com o encontrado na área total do bairro; e concluiu-se que o pontos: O, P, Q, F, C, B, A, J, H, EST027, L e M podem ser considerados como representativos da ocupação predominante no bairro, já os demais (N, EST REF, G, D, K, I, E e EST 03), não devem ser considerados, uma vez que as parcelas escolhidas e trabalhadas na pesquisa não representam a maior parte da ocupação encontrada no bairro. Com isso, tem-se caracterização para 12 bairros (Quadro 8.2). São eles:

Quadro 8.2 – Bairros com entorno dos pontos de coleta representativos por região administrativa

REGIÃO ADMINISTRATIVA	BAIRROS COM PONTOS DE COLETA	PONTO DE COLETA
NORTE 03 bairros	Potengi, Lagoa Azul Igapó	O P Q
SUL 04 bairros	Lagoa Nova, Candelária, Pitumbu, Neópolis,	F C B A
03 bairros	Cidade Alta, Lagoa Seca, Barro Vermelho,	J H EST027
OESTE 02 pontos	Dix-Sept Rosado, Felipe Camarão.	M L

Partindo dessa observação, o primeiro desafio encontrado era relacionar estatisticamente e de forma confiável a temperatura do ar verificada nas regiões com o tipo de ocupação do solo existente, nas situações estudadas. O caminho sugerido foi dividir a área estudada em permeável e impermeável e propor um indicador (através de análise de correlação) que caracterizasse o tipo de revestimento existente em cada ponto e apresentasse uma correlação com a temperatura do ar.

Esperava-se que as componentes permeáveis (corpos d' água 1 - lagoa/ mar, área com solo exposto/ vegetação rasteira e áreas com vegetação arbórea) influenciassem de forma negativa na elevação da temperatura do ar, e as componentes impermeáveis (cobertura cerâmica, cobertura com amianto, cobertura metálica, corpos d' água 2 - piscinas/espelhos d'água, pavimento asfáltico, pavimento de concreto/calçamento) influenciassem de forma positiva nesse incremento, o que é respaldado no referencial teórico.

8.1.1. Indicador de composição de revestimento horizontal (ICR)

Na tentativa de construir um indicador envolvendo as variáveis de revestimento pesquisadas que tenham correlação com a temperatura do ar, com base nos dados coletados, observou-se que, das componentes impermeáveis pesquisadas: Cobertura

de amianto, Pavimento de concreto-calçamento e Pavimento asfáltico influenciam no incremento da temperatura do ar; já das componentes permeáveis: Solo exposto/vegetação rasteira e Área com vegetação arbórea, influenciam na amenização microclimática. Isso exclui as variáveis: cobertura com cerâmica, cobertura metálica, corpos d' água 1 (lagoa/ mar), corpos d' água 2 (piscinas/ espelhos d'água); que não apresentaram influência significativa nos resultados (tabela 8.1).

Tabela 8.1 – Correlações existentes entre as componentes do ICR e a temperatura do ar.

	COB_ AMIANTO	PAV_CONC _CALÇ.	PAV_ ASFALT.	SOLO_ EXP.	Á_ VEG.	ICR
TEMP. AR	0,5577	0,3404	0,2537	-0,1827	-0,0760	0,5319
p-valor	0,011	0,142	0,280	0,441	0,750	0,016

Multiplicando-se essas variáveis, o indicador proposto na equação 8.1 coloca no numerador as impermeáveis, que devem contribuir positivamente para o aumento da temperatura do ar e no denominador as variáveis permeáveis que devem contribuir negativamente para esse aumento. Assim tem-se:

Equação 8.1

$$ICR = \frac{\prod_{r>0} (1 + IMPERMEAVEIS_K)}{\prod_{r<0} (1 + PERMEAVEIS_K)}$$

Na tabela 8.2 estão apresentados os valores calculados do ICR por ponto de coleta. Ele variou de 0,09 para o ponto P a 257,14 para o ponto J; observa-se que quanto maior for o valor do índice, maior será a contribuição das componentes do numerador (área impermeável) na composição do revestimento horizontal, isso quer dizer que nos pontos: J e H, que tem os maiores valores de ICR a impermeabilização está mais presente que, por exemplo nos pontos P, G, EST REF, B e D.

Tabela 8.2 – Valores calculados de ICR por ponto de coleta.

Ponto	ICR
P	0,09
G	0,10
EST REF	0,12
B	0,13
D	0,15
A	0,23
N	0,23
K	0,35
O	0,45
EST 027	0,73
L	2,14
E	2,78
M	12,16
I	15,10
C	16,65
EST 03	23,07
Q	28,02
F	36,83
H	114,73
J	257,14

Na tabela 8.3 observa-se que o ICR tem correlação positiva significativa com a temperatura do ar média nos pontos na madrugada e noite do período de verão, bem como na noite do período de inverno; a baixa correlação com a temperatura do ar média geral ($r=0,05$, $p\text{-valor}=0,5300$) indica, portanto, que se deve considerar período e turno. O $p\text{-valor}$ é relativo ao nível de significância e quando abaixo de 0,05 deve ser considerado significativo.

Tabela 8.3 - Correlações do ICR com a temperatura do ar segundo período e turno.

Período	Turno	Correlação	p-valor
Verão	Madrugada	0,5319	0,0160
	Manhã	0,0744	0,7550
	Noite	0,4690	0,037
	Tarde	0,0614	0,7970
Inverno	Madrugada	0,3856	0,093
	Manhã	0,0519	0,828
	Noite	0,4442	0,050
	Tarde	0,2307	0,3280

As curvas de correlação entre a temperatura do ar média nos pontos, por hora, e o indicador de composição do revestimento (ICR) presentes nas figuras 8.1 e 8.2 detalham melhor o descrito na tabela 8.3. Percebe-se que no verão as correlações são bem mais fortes entre 0h e 6h e de 19h às 23h. Nesses horários a correlação é estatisticamente significativa ($p < 0,05$). No inverno as correlações são mais fracas apresentando valores significativos somente no final da noite.

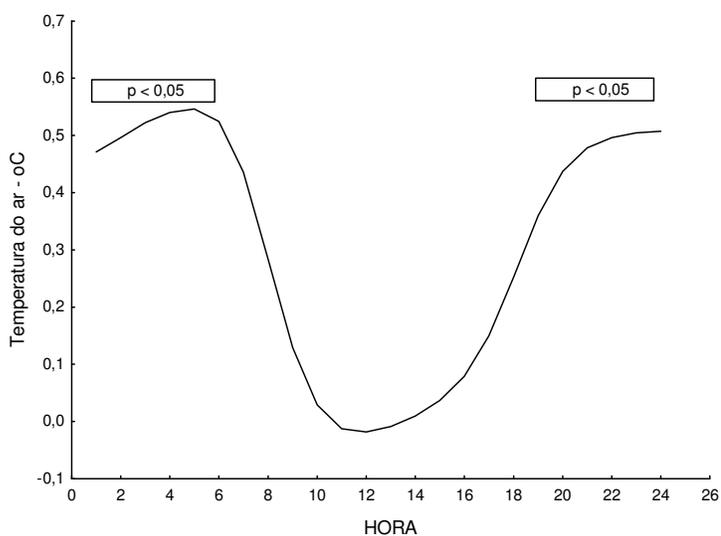


Figura 8.1 - Curva de correlação entre a temperatura do ar e o ICR – Verão

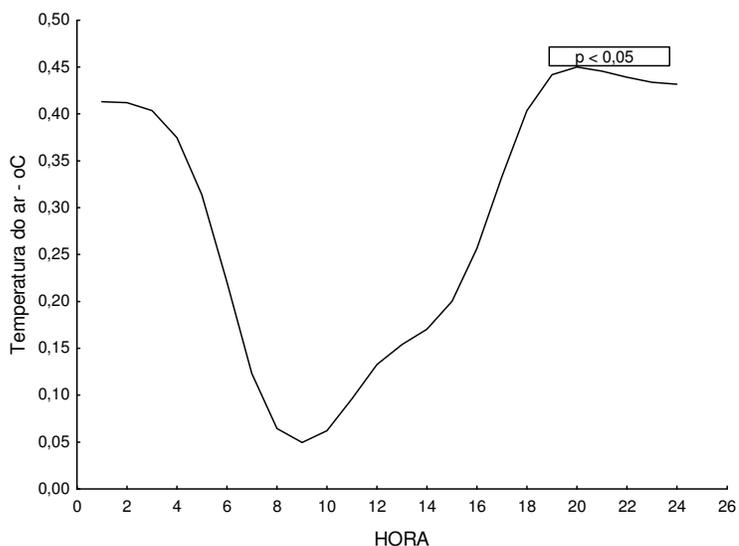


Figura 8.2 - Curva de correlação entre a temperatura do ar e o ICR - Inverno

Fazendo-se uma análise de regressão, concluiu-se que na composição do ICR existem pontos discrepantes, e se retirados da análise alteram para melhor o nível de significância do indicador. Esses pontos que são o D, o K e o P, têm uma característica comum: todos apresentam uma única variável responsável por grande parte da composição de revestimento do entorno e que não entrou no cálculo do ICR (ponto D - 38,26% e K - 46,24% de corpos d'água - mar/lagoa e o ponto P com 46,96% de cobertura com cerâmica), fazendo com que as componentes que entraram no ICR participassem com pouca porcentagem (tabelas 8.4 e 8.5).

Tabela 8.4 – Cálculo da regressão do ICR com a temperatura do ar - (R=0,572)

	Valor médio	Erro padrão	Nível de significância
Intercepto	26,35814	0,085364	<0,0001
ICR	0,00423	0,001430	0,0084

Tabela 8.5 – Cálculo da regressão do ICR com a temperatura do ar, sem os pontos discrepantes (D, K e P) - (R=0,743)

	Valor médio	Erro padrão	Nível de significância
Intercepto	26,31139	0,067894	< 0,0001
ICR	0,00450	0,001048	0,0006

As correlações existentes ocorreram justamente nos turnos em que não há sol o que indica que há na cidade efeitos de ilha de calor. Esse fato será melhor explicitado no item 8.2, que apresenta as áreas dentro da cidade mais quentes que outras.

Para os bairros escolhidos como bem representados pelos pontos de coleta (quadro 8.2) fez-se ainda uma tentativa de relacionar o ICR calculado com a densidade permitida em cada bairro, e com a temperatura média do ar coletada. Primeiramente fez-se um agrupamento de pontos a partir de análise de cluster que analisou em conjunto a densidade, o valor calculado de ICR, a área permeável, a temperatura do ar média de verão e a temperatura do ar média de inverno, chegando aos seguintes grupos homogêneos:

- G1' (J/ Cid.Alta – H/ L.Seca)
- G2' (F/ L.Nova – Q/ Igapó)

- G3' (C/ Candelária – EST027/ B.Vermelho – L/ F.Camarão – M/ D.S.Rosado – O/ Potengi)
- G4' (A/ Neópolis – B/ Pitimbu – P/ L.Azul)

Uma análise, do tipo MANOVA (ou análise discriminante), que compara os vetores de médias dos vários bairros referente às características analisadas, determinou que dentre esses fatores, os mais significativos na determinação do agrupamento foram: o ICR (com $p=0,001652$) e a Área permeável (com $p=0,000538$). Na tabela 8.6 e a figura 8.3 mostram a coerência entre os dados.

Tabela 8.6 – Valores médios das variáveis que entraram no agrupamento

Grupo	Densidade (hab/ha)	ICR	Área Perm. (%)	Temp. Méd. Verão ($^{\circ}\text{C}$)	Temp. Méd. Inverno ($^{\circ}\text{C}$)
G1' (J – H)	91,14	185,94	9,32	29,06	25,84
G2' (F – Q)	85,85	32,43	19,34	28,96	25,77
G3' (C-EST027-L-M-O)	78,47	6,43	24,60	28,76	25,31
G4' (A – B – P)	44,46	0,15	43,90	28,63	25,42
Média	73,31	39,11	26,00	28,81	25,50

A figura mostra claramente que quanto maior a densidade, maior o ICR e menor a área permeável nos grupos. Observando-se a tabela, vê-se que o grupo G1' que apresenta maior valor de densidade, maior valor de ICR e menor quantidade de área permeável, também apresenta os maiores valores de temperatura média do ar no verão e no inverno, o inverso ocorre para o G4'; o que mostra a coerência do agrupamento feito.

Analisando-se a média é possível concluir que para que a temperatura do ar mantenha-se no período de verão em torno de $28,81^{\circ}\text{C}$ e no inverno em torno de $25,50^{\circ}\text{C}$, a área permeável deveria ser de 26%, para uma densidade de até 73,31 hab/ha e um ICR de 39,11.

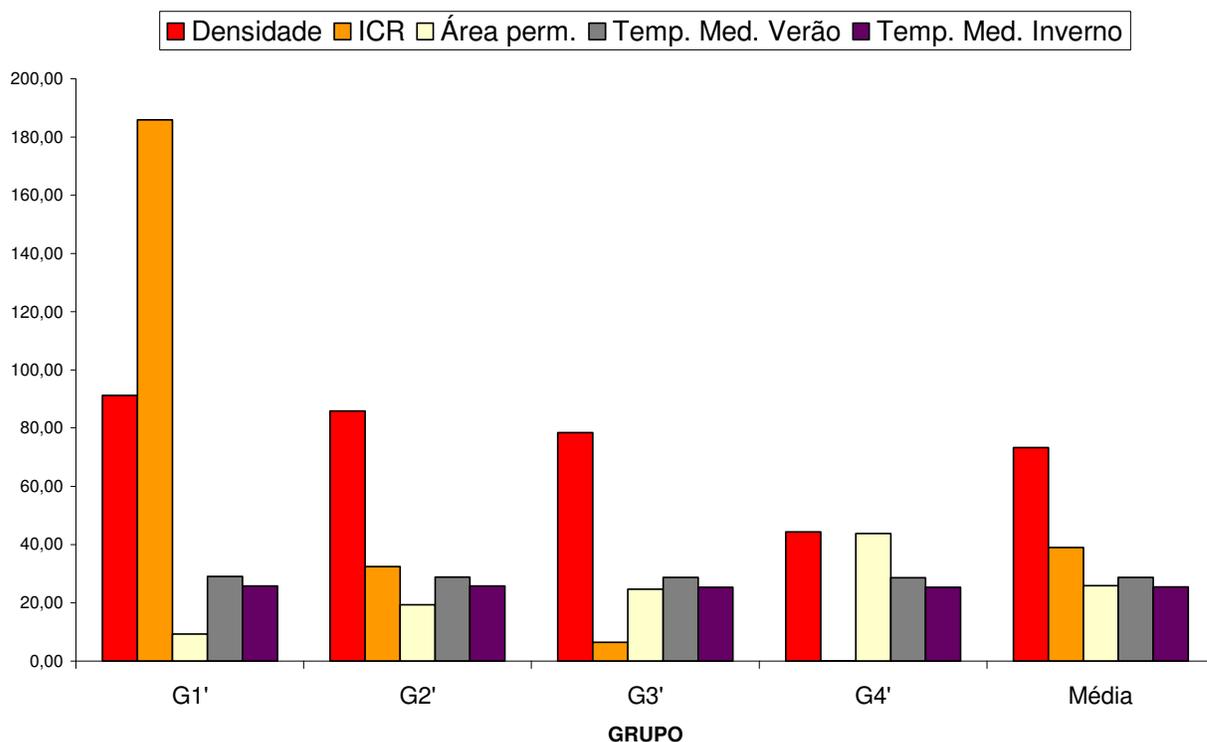


Figura 8.3 – Gráfico do agrupamento segundo os fatores densidade, ICR, área permeável e temperatura do ar média no verão e inverno.

Sugere-se então uma revisão na porcentagem determinada pelo Plano Diretor de 20% para toda a cidade. Primeiramente que seja dividida por grupos de bairros, baseados nos parâmetros que foram estabelecidos aqui para se iniciar o processo de avaliação, com especial atenção aos que hoje possuem situação crítica em termos de área permeável, que possam reservar áreas (terrenos) permeáveis dentro do bairro; em seguida que os critérios possam ser extrapolados para todos os bairros da cidade, a partir do cálculo do ICR e medições de campo das variáveis físicas e ambientais que o embasam.

Conclui-se ainda que a taxa de impermeabilização de 80% hoje em vigor pode ser mantida para os bairros dos grupos G3' e G4', que ainda apresentam quantidade de área permeável maior que o limite da legislação (20%); mas que tem que ser revista para os grupos G1' e G2', uma vez que esses já apresentam muito pouca área permeável.

8.2. A DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DA TEMPERATURA DO AR NA ÁREA OBJETO DE ESTUDO

Com a análise dos dados de campo constatou-se que a distribuição da temperatura do ar na cidade não se comporta de maneira uniforme em todos os pontos de coleta; bem como não respeita limites entre regiões administrativas. Isso sugere que os resultados encontrados devam ser considerados ponto a ponto.

A seguir apresentam-se mapas térmicos que caracterizam a cidade e foram elaborados no software ArcGis 9.0 a partir da interpolação de dados. Como já foi constatado que os fatores que mais influenciaram na variável resposta (temperatura do ar) em cada ponto foram as horas de medição (que caracterizam a componente Dia/Noite) e em menor grau os turnos (madrugada, manhã, tarde e noite), foram elaborados mapas térmicos para os 04 turnos e para os horários de pico máximo e mínimo, 5h e 13h respectivamente (Figuras 8.4 a 8.11), para os períodos de verão e inverno.

Esses mapas usando o método de krigagem relacionam espacialmente a temperatura do ar média por ponto em determinada hora e período, e o indicador ICR calculado. De acordo com DRUCK et al (2004), krigagem é um método de interpolação tal como um método de médias móveis ponderadas, que difere dos demais pela maneira como os pesos são aplicados aos diferentes pontos. Em interpolação linear simples, os pesos são todos iguais a $1/N$, por exemplo, onde N é o número de pontos amostrais. Na krigagem os pesos são definidos com base no *semivariograma experimental*, além disso, a krigagem fornece estimativas médias não tendenciosas e de variância mínima. Dentre os métodos existentes, foi utilizado neste trabalho a *krigagem universal* que se aplica à modelagem de processos estocásticos não estacionários unisotrópicos¹.

¹ A anisotropia é uma característica muito freqüente em fenômenos naturais, onde a variabilidade ou distribuição espacial do fenômeno depende da direção considerada. Por exemplo, o nível de temperatura do ar não se distribui uniformemente na área estudada, isto porque ele depende de vários fatores, tais como, direção do vento, relevo do solo e camada de revestimento.

Como resultado, a krigagem gera um mapa de superfície ou um mapa de probabilidades estimando os pontos não observados na amostra². Nesses mapas, quanto mais escura for a cor em determinado lugar, maior a probabilidade de se encontrar naquela região um valor acima da média para a variável em questão. A graduação chapada crescente da cor amarela à marrom corresponde à temperatura do ar média encontrada, e as isolinhas em níveis cinza (crescente da mais clara para a mais escura) correspondem ao índice calculado ICR para cada ponto. Os pontos roxos representam os 20 pontos de coleta pesquisados, a eles estão associados os valores médios da temperatura do ar e o ICR.

Os mapas constantes nas figuras seguintes são resultantes dos principais cruzamentos de dados. A figura 8.4 representa o resultado para às 5h nos dois períodos pesquisados, nela percebe-se uma evidente correlação entre a temperatura (com média de 26,45°C para o verão e 22,54°C para o inverno) e o índice de ocupação (ICR maior que 1), pois na região Leste da cidade onde a ocupação é mais densa e há menos permeabilidade a mancha é mais escura que em outras regiões.

² É válido ressaltar que a comparação deve ocorrer entre os pontos cujos valores estão plotados nos mapas, e não é válido para os demais pontos existentes entre 2 pontos medidos, por exemplo.

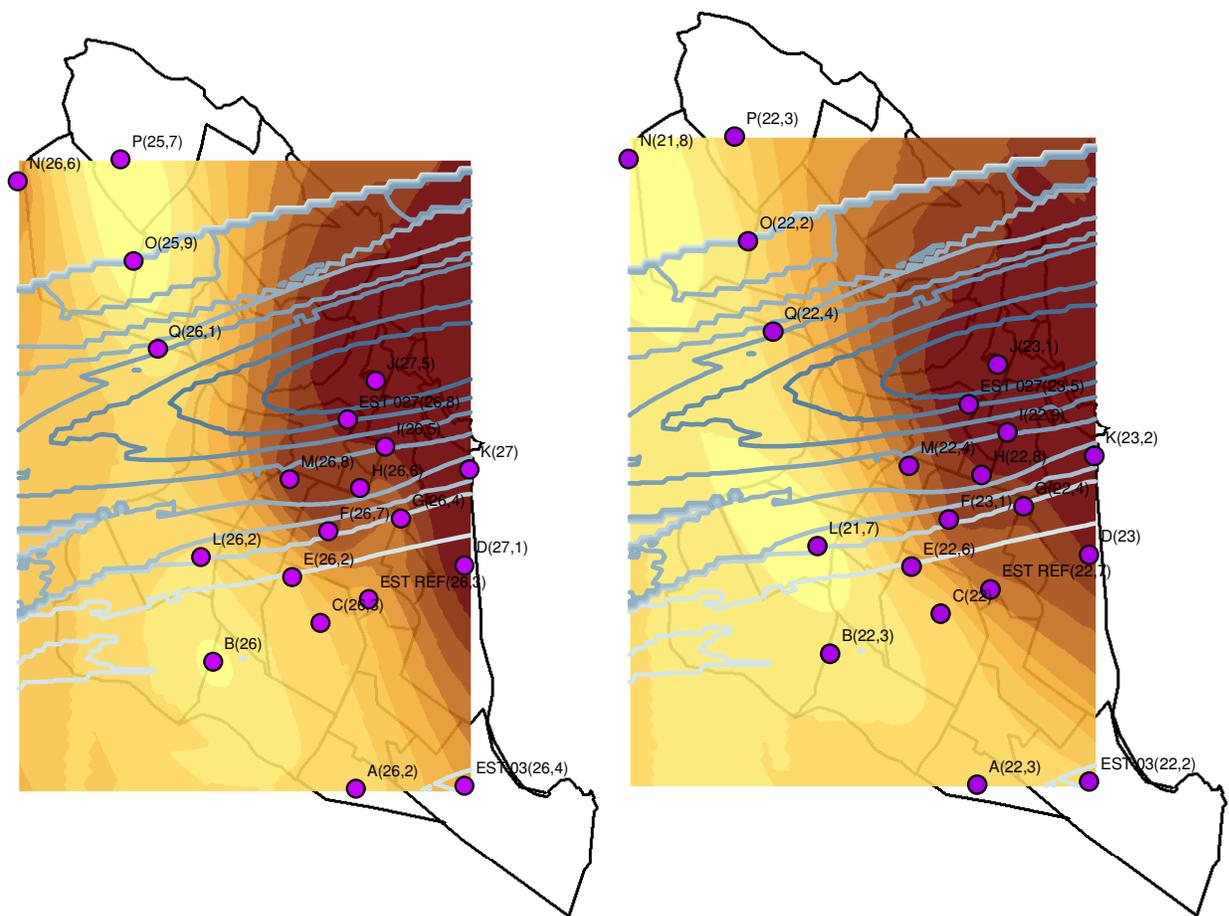


Figura 8.4 – Mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura média do ar às 5h e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

O mesmo procedimento foi adotado para às 13h que geraram os mapas constantes na figura 8.5. Nela observa-se que o índice calculado ICR permanece o mesmo, no entanto como as temperaturas médias são diferentes, a gradação que vai da cor amarela à marrom, é também diferente na cidade. Fica evidente a correlação existente entre a temperatura do ar média nos pontos de coleta ($32,2^{\circ}\text{C}$ no verão e $28,94^{\circ}\text{C}$ no inverno) e o índice de ocupação ICR (maior que 1). Apesar do cálculo das correlações não ter indicado 13h como tendo uma correlação significativa com o ICR, observa-se no mapa que existe coerência entre os dados.

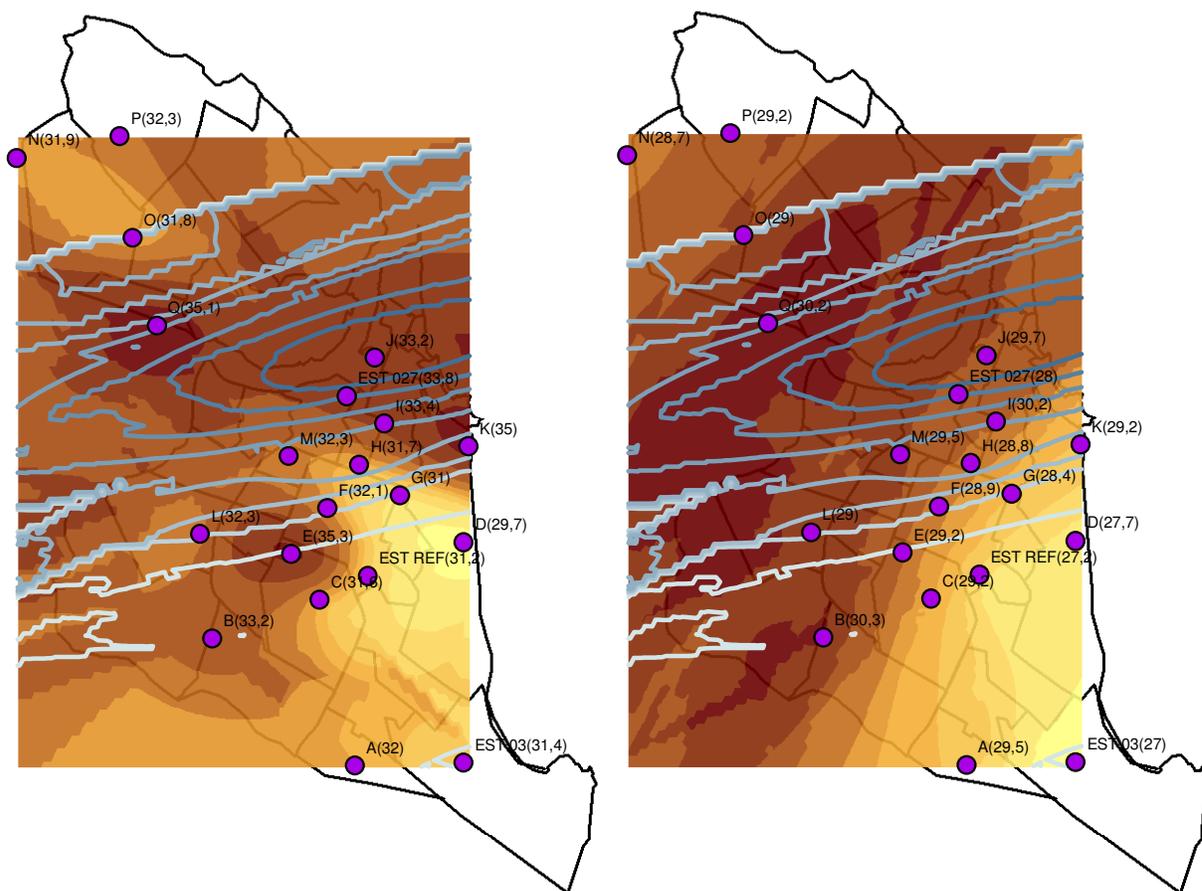


Figura 8.5 – Mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura média do ar às 13h e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Foram gerados ainda os mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura do ar média nos turnos estudados: madrugada, manhã, tarde e noite, no período de verão e inverno. Como se apresenta a seguir.

Os mapas da figura 8.6 deixam clara a configuração da ilha de calor na cidade, presente na porção mais antiga, central, da região Leste. A média do período de verão no turno chega a 26,64°C.

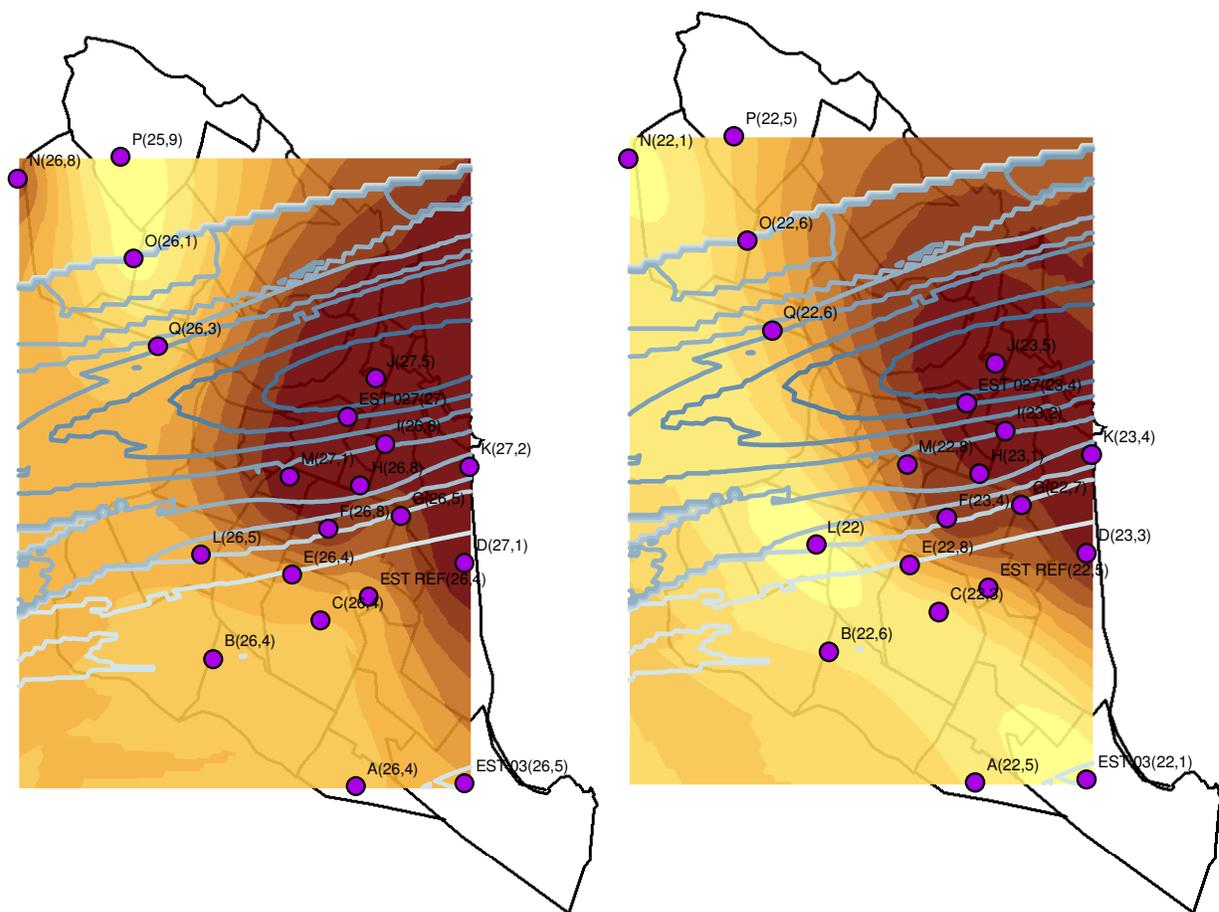


Figura 8.6 – Mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura média do ar no turno da madrugada e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

A figura 8.7 apresenta um comportamento diferente para o verão (média de 30,07°C) e inverno (26,45°C). No primeiro período observa-se uma mancha escura mais espalhada na cidade, o que indica maior temperatura do ar; já o segundo período concentra o calor em torno do ponto EST027.

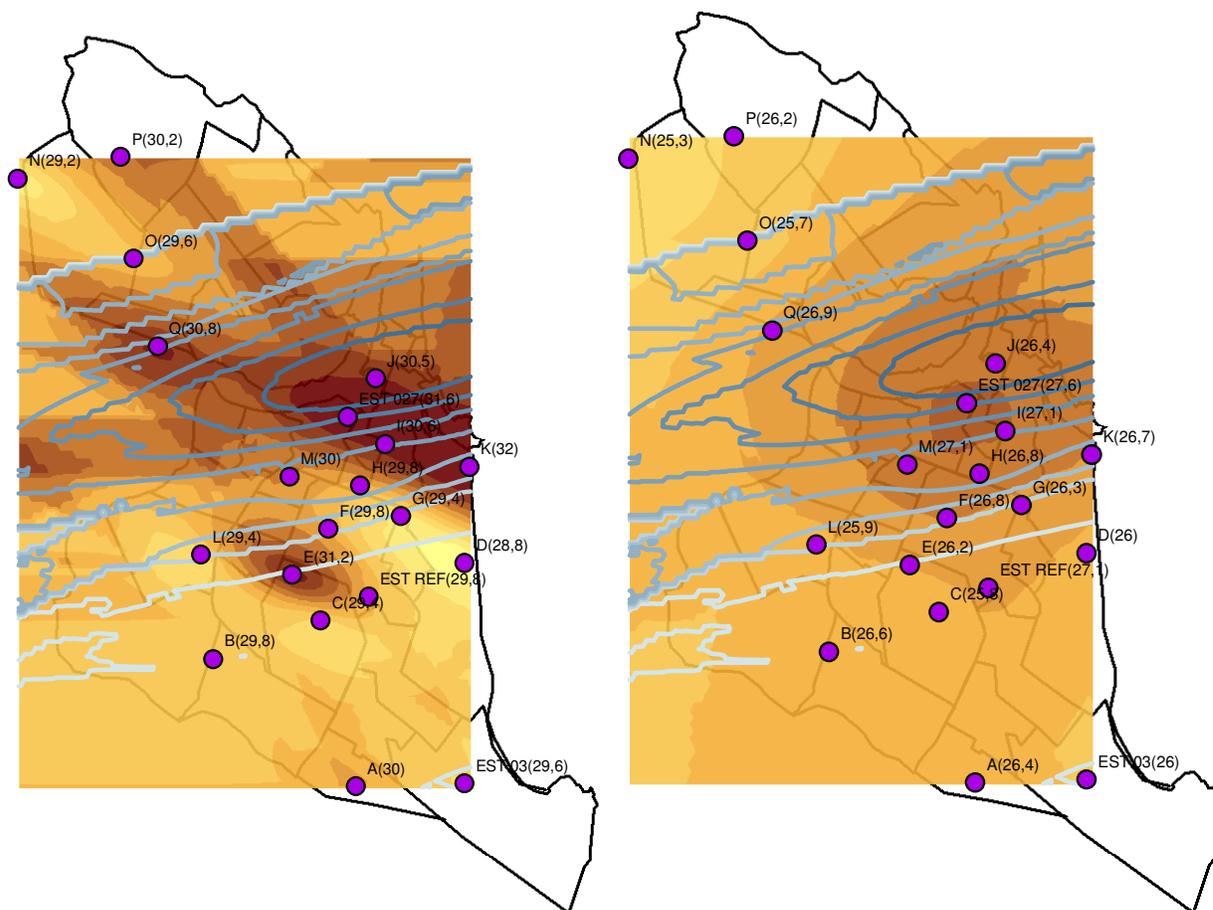


Figura 8.7 – Mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura média do ar no turno da manhã e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

No turno da tarde no período de verão é bem visível a formação de núcleos mais quentes, em torno dos pontos E, K, Q e EST027 (figura 8.8).

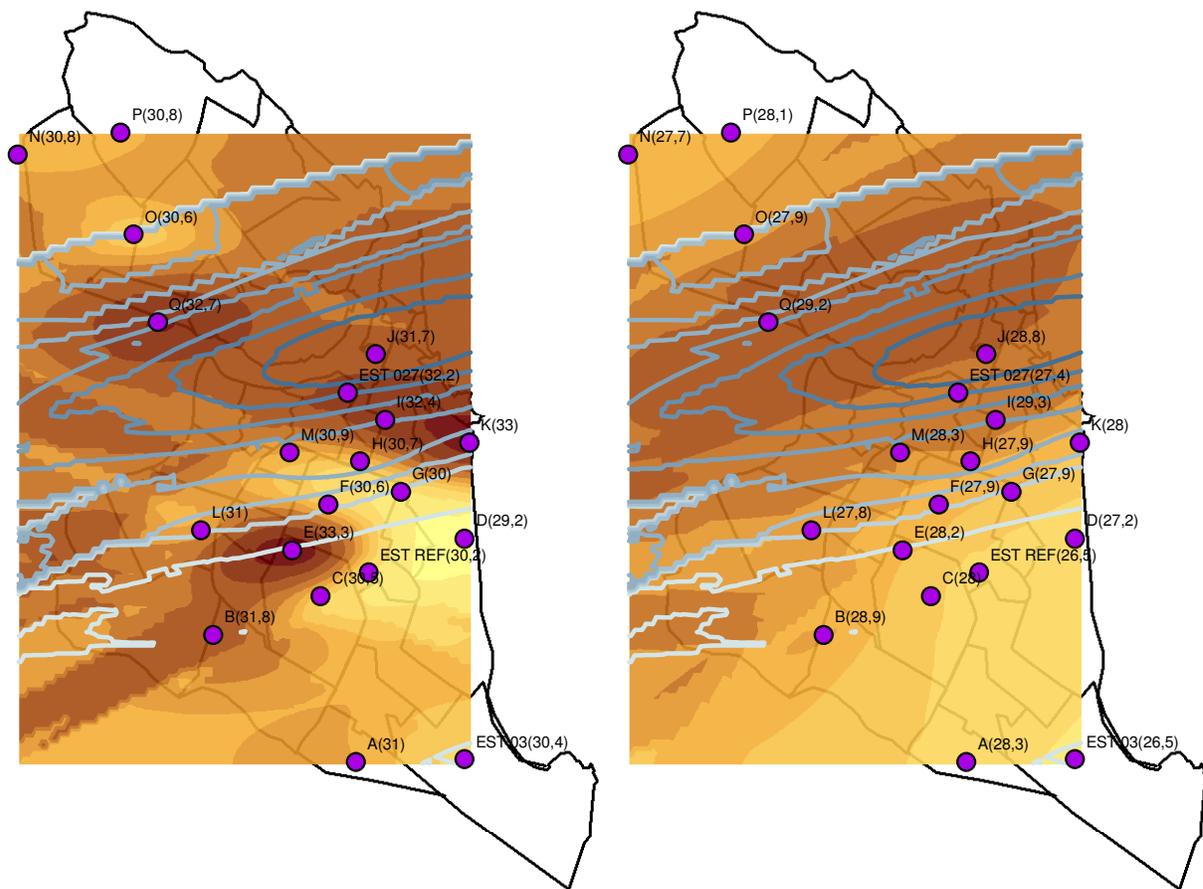


Figura 8.8 – Mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura média do ar no turno da tarde e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

Já o turno da noite apresenta comportamento semelhante ao da madrugada com aquecimento evidente das áreas centrais (pontos J e EST027), como se observa na figura 8.9.

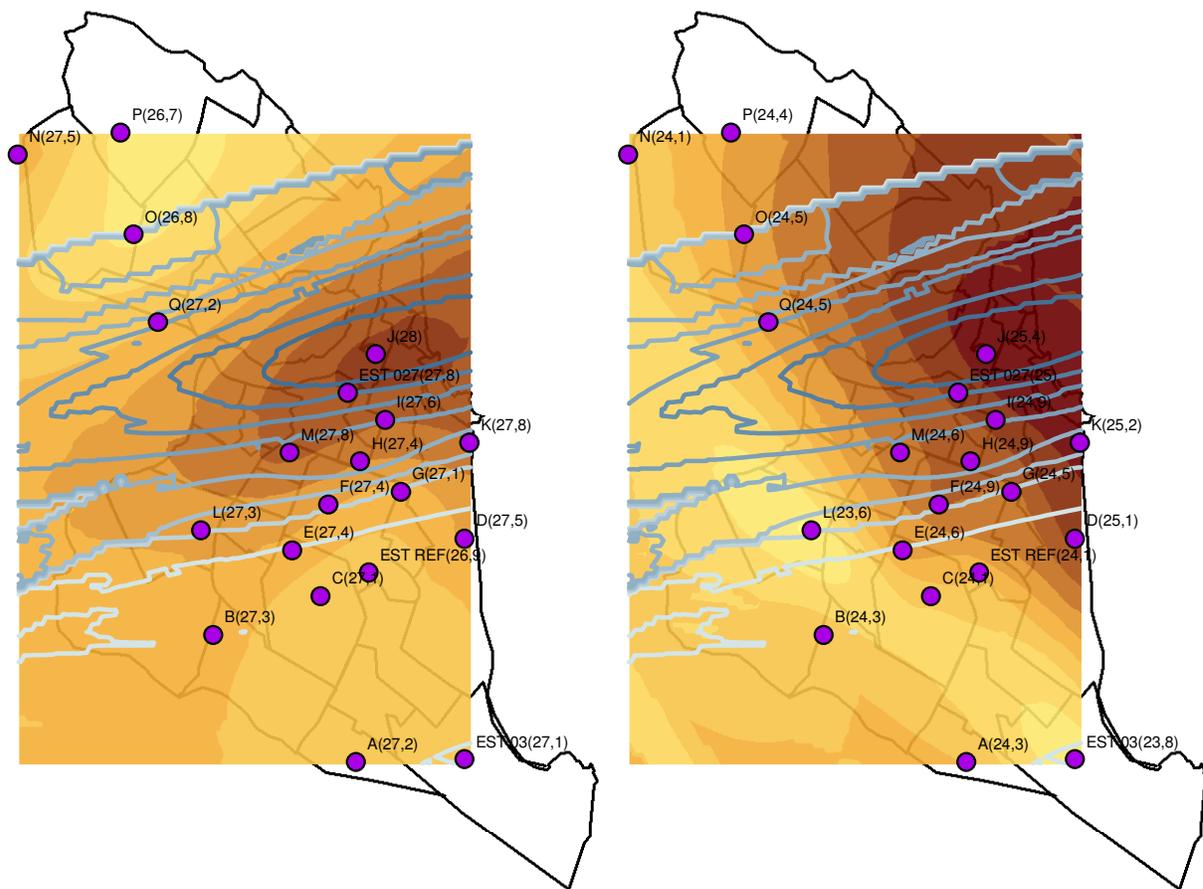


Figura 8.9 – Mapas resultantes da krigeagem entre a temperatura média do ar no turno da noite e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta – período de verão e inverno.

O mapa apresentado na figura 8.10 sintetiza a teoria na prática, na medida em que as duas escalas médias: do IRC e da temperatura do ar são coincidentes. Assim as áreas mais quentes tem também maior valor de IRC, confirmando a teoria, que afirma que quanto mais área impermeável existir e mais adensado for o espaço urbano, mais quente esse meio será.

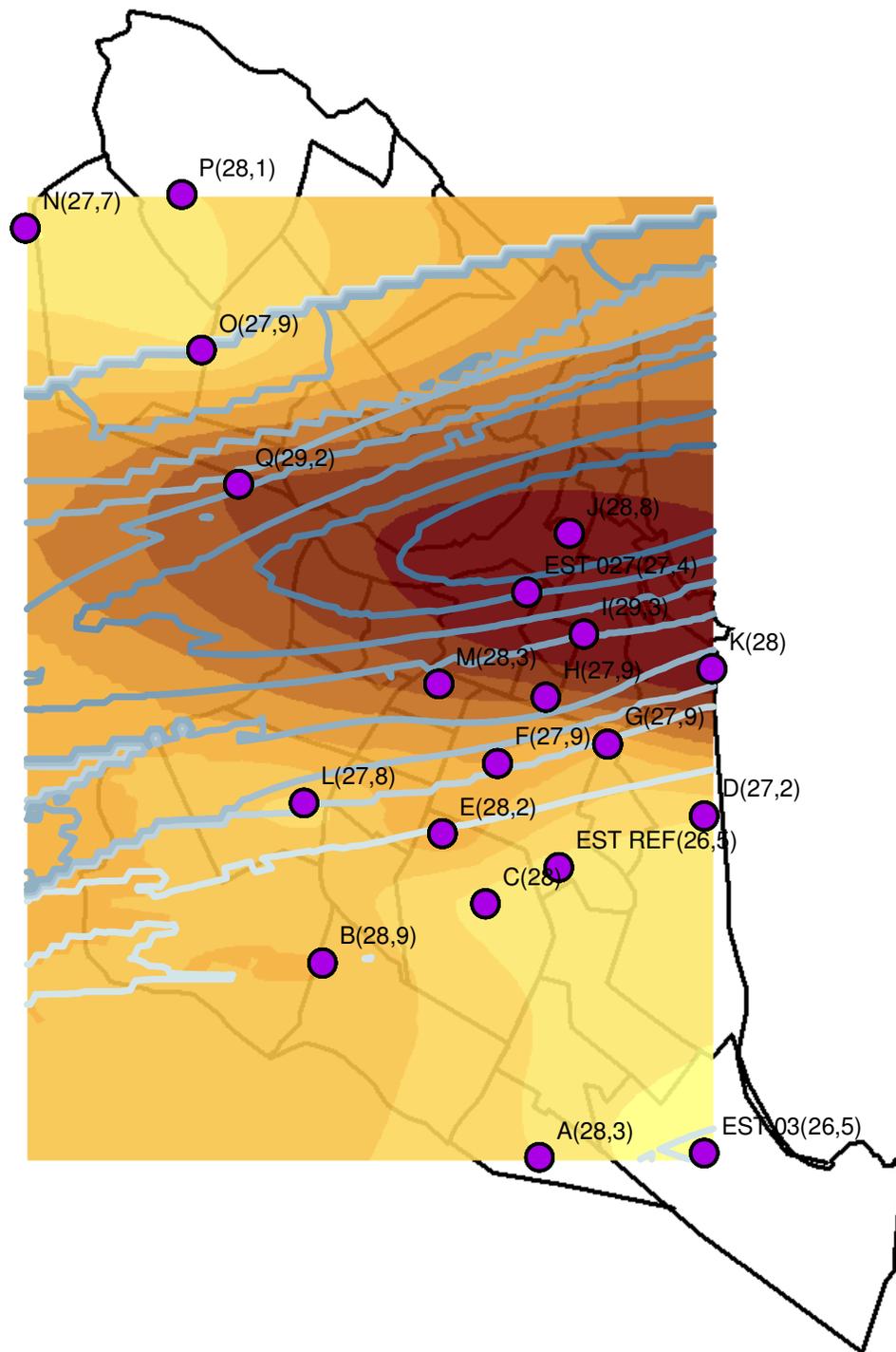


Figura 8.10 – Mapa resultante da krigeagem entre a temperatura média do ar em todos os turnos e períodos, e o índice calculado ICR para os 20 pontos de coleta.

9. CONCLUSÕES

9.1. COMPROVAÇÃO DAS HIPÓTESES

O presente estudo atingiu o objetivo pois analisou a distribuição da temperatura do ar na área urbana de uma cidade de baixa latitude e clima quente e úmido, através da proposição de uma metodologia de medição em pontos fixos, correlacionando-a com os tipos de revestimento da superfície horizontal (cobertura e piso) existentes; tendo a cidade de Natal/RN, no litoral nordestino como objeto de estudo.

Além disso, classificou os diferentes padrões de uso e ocupação do solo, encontrados na cidade objeto de estudo, com o auxílio do sensoriamento remoto; fez um levantamento de dados de variáveis climáticas (temperatura do ar e umidade relativa do ar) nas quatro regiões administrativas de Natal; caracterizou o comportamento térmico da cidade (distribuição da temperatura do ar e umidade relativa do ar); e correlacionou a temperatura do ar encontrada com os tipos de revestimento da superfície horizontal (cobertura e piso) existentes; por fim desenvolveu e testou uma metodologia de medição em pontos fixos que pode ser aplicada em cidades localizadas em regiões de baixa latitude e clima quente e úmido.

Como hipóteses de pesquisa tinha-se que:

- a) A temperatura do ar não se comporta de maneira uniforme em todos os pontos de coleta distribuídos pela cidade e isso decorre do tipo de ocupação presente no seu entorno;
- b) Os revestimentos das superfícies horizontais existentes na cidade (cobertura e piso) influenciam na temperatura do ar;
- c) Áreas urbanas com menor porcentagem de revestimento permeável apresentam também temperaturas do ar mais elevadas.

Assim, as hipóteses a e b foram comprovadas e aceitas, já que análise térmica intra-urbana evidenciou existirem diferenças de temperatura do ar; ainda que essas diferenças microclimáticas sejam pequenas em valores absolutos (o que possivelmente se deve as condições favoráveis de vento - brisas marítimas). Concluiu-se ainda que

são decorrentes do período, turno e hora de medição e ainda das diversas configurações urbanas encontradas e dos revestimentos das superfícies horizontais existentes na cidade (cobertura e piso). A hipótese c foi também aceita, uma vez que ficou comprovado que nos locais pesquisados com menor porcentagem de área permeável a temperatura do ar foi maior.

9.2. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Durante a pesquisa foram levantados alguns procedimentos que poderão ser aplicados em trabalhos futuros. O uso de câmeras infravermelhas (que não foram economicamente viáveis para esse caso específico) é uma alternativa bastante atualizada e abrangente, que já vem sendo utilizada na Grécia, nos estudos do pesquisador Santamouris; e que facilitará a compreensão do fenômeno de “aquecimento urbano” (SYNNEFA, SANTAMOURIS, LIVADA, 2005)

Outra sugestão para continuidade da pesquisa diz respeito à questão da educação ambiental, que se difundida trará enormes benefícios para a população em geral. Além disso, este estudo pode ter continuidade tanto com a aplicação da mesma metodologia em outras localidades quanto no estudo das propriedades físicas dos materiais de revestimento.

Sobre a questão da educação ambiental existe uma proposta de projeto em andamento no INPE-CRN intitulado “Difusão e popularização da Ciência e Tecnologia na escola pública através de uma rede piloto de monitoramento de condições climáticas” que objetiva contribuir na difusão da ciência através da popularização do uso de dados climáticos por meio de ações integradas entre pesquisa, ensino e extensão que irá desenvolver material didático sobre clima e o estudo climatológico além de proporcionar a formação continuada de professores do ensino básico para a utilização desses dados na sua prática pedagógica, dentre outras ações.

Uma sugestão advinda desse estudo é que a unidade de bairro, que é bastante assimilada pela população, passe a servir de referência e a embasar as decisões de

planejamento, já que é uma tendência mundial pensar globalmente (na escala da cidade), mas agir localmente – em uma escala que é possível entender melhor os problemas.

A tentativa de aproximar os resultados da pesquisa em ações viáveis de planejamento urbano traduz-se ainda na assimilação, por parte do pesquisador, de seu papel na gestão espacial urbana. Apesar das realidades físicas e de ocupação serem bem distintas alguns problemas de planejamento (ou da falta dele) podem ser encontrados em cidades com o mesmo tipo de clima; isso permite que a metodologia apresentada e testada nessa tese possa ser aplicada com êxito em outras realidades, gerando resultados localizados, mas importantes para cada situação pesquisada.

O caráter interdisciplinar também se apresenta como de fundamental importância para o prosseguimento dos trabalhos, além de uma aproximação com os órgãos responsáveis pela elaboração de ações de planejamento urbano na cidade.

A urbanização e o adensamento cada vez maior da cidade é um fato irreversível e que deve ser acompanhado com olhar crítico, embasando-se as decisões de planejamento em resultados de pesquisa. Ainda há muitas perguntas sem resposta.

REFERÊNCIAS¹

ARAÚJO, Eduardo H. S., MARTINS, Themis L. F., ARAÚJO e Virgínia M. D. **Dias típicos para o projeto térmico de edificações em Natal - RN**. Natal: EDUFRN, 1998.

AKBARI, H., et al. Peak power and cooling energy savings of high-albedo roofs. **Energy and Building** 25, 1997, p.117–126.

ASSIS, Eleonora Sad de. **Impacto da forma urbana na mudança climática**: método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano. São Paulo, 2000. Tese. (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2000.

ASSIS, Eleonora Sad de. **Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor urbana**: análise de desempenho de áreas verdes em clima tropical. Rio de Janeiro, 1990. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990.

BAI, Yingjiu; MIKAMI, Takehiko. Measurement and mitigation of urban heat island in Shanghai, China. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE. 6, Göteborg. **Preprints**...Göteborg: IAUC, 2006. p. 362-365.

BARBIRATO, Gianna Melo. **Aplicação do modelo de balanço de energia na análise do ambiente térmico urbano de Maceió, AL**. São Carlos, 1998. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 1998. 173p.

BARBIRATO, Gianna M., BARBIRATO, João Carlos C.; ALMEIDA, Evelyne M. De A. Uma alternativa para modelagem dos efeitos térmicos em meio ambiente urbano utilizando-se o método dos elementos de contorno. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 11, 2006, Florianópolis **Anais**...Florianópolis: ANTAC, 2006. p.1050-1059.

BARDOU, Patrick; ARZOUMANIAN, Varoujan. **Sol y Arquitetura**. Barcelona: Gustavo Gili, 1984. 171p.

BITTENCOURT, Leonardo; CÂNDIDO, Christina. **Introdução à ventilação natural** Maceió: edUFAL, 2005.

BOX, George E.P.; JENKINS, Gwilym M. Time Series Analysis: Forecasting and control. San Francisco: HOLDEN_DAY, 1976.

BRETZ, S.E.; AKBARI, H., Long-term performance of high albedo roof coatings. **Energy and Building**, 25, 1997. p.159–167.

¹ Normalizado em março de 2007, com base nas normas: NBR 6023, NBR 6024, NBR 6027 e NBR 14724 da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.

BROWN, Robert D.; GILLESPIE, Terry J. **Microclimate landscape design**: Creating thermal comfort and energy efficiency. Canadá: John Wiley & Sons, 1995. 193p.

BRUNTLAND, G. H. (editor). **Our common future**: The World Commission on Environment and development. Oxford: Oxford University Press, 1987, 398p.

CAMPBELL, Gaylon S., NORMA, John M., **An Introduction to Environmental Biophysics**, 2nd. ed., New York: Springer Sciences, 1998.

CARVALHO, Márcia Monteiro. **Clima urbano e vegetação**: Estudo analítico e prospectivo do Parque das Dunas em Natal. Natal,2001.Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Univerisdade Federal do Rio Grande do Norte,2001.

CHANDLER, T.J. **The climate of London**. Londres: Hutchinson & Co. 1965, 292p.

CHANDLER, T. J., **Urban climatology and its relevance to urban design**. WMO – Nº 438, Geneva: WMO 1976.

CHEUNG, Ivan; AZAR, Derek; FISHEROW, Michael. Parametrization of urban canyon and roof characteristics for surface urban heat island study using GIS and remote techniques: a case study in Washigton D.C. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 6, Göteborg. **Preprints**... Göteborg: IAUC, 2006. p. 569-572.

COSTA, Angelina D. L. **Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambientes externos**: Uma experiência no bairro de Petrópolis em Natal/RN. Natal, 2003. 179p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

CORBELLA, O. D.; YANNAS, S., **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos**. Rio de Janeiro: Editora Revan, 2003.

CHVATAL, Karin; LABAKI, Lucila; KOWALTOWSKI, Doris. Caracterização de climas compostos e proposição de diretrizes para o projeto bioclimático: o caso de campinas. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO. Fortaleza, 1999. **Anais**...Fortaleza: ANTAC, 1999.

DOULOS, L.; SANTAMOURIS, M.; LIVADA, I. Passive cooling of outdoor urban spaces: The role of materials. **Solar Energy**, v. 77, 2004. Elsevier: 2004. p. 231–249

DREBS, Archim; VADJA, Andréa; TUOMENVISTA, Heikki. Air temperature gradient studies in Helsinki metropolitan area during 2002-2006. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 6, Göteborg. **Preprints**... Göteborg: IAUC, 2006. p. 736-738.

DRUCK, Suzana et al. **Análise Espacial de Dados Geográficos**. Brasília: Embrapa, 2004.

DUARTE, Denise Helena Silva. **Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental**. São Paulo, 2000 (Tese de doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 2000. 278p.

EVANS, M.; SCHILLER, S. Application of microclimate studies in town planning: a new capital city, and existing urban district and urban river front development. **Atmospheric Environment**, Oxford, v.30, n.3, p.361-364, 1996.

FARIA, João Roberto Gomes de; SOUZA, Lea Cristina Lucas de. Caracterização do campo térmico intra-urbano a partir de medições móveis In: CONFERÊNCIA LATINO-AMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL E X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 1, São Paulo, 2004. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2004.

FARIA, João Roberto Gomes O uso de imagens de satélite em estimativas de temperaturas do ar na camada intra-urbana. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC/ENLACAC, 8, Maceió, 2005. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 669-678. 1 CDRom.

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. São Paulo (?): Oficina de textos, 2002. 96p.

GARCÍA, Maria C. M. **Climatologia Urbana**. Barcelona: Universitat de Barcelona, 1999. Textos Docents – 160.

GEORGAKIS, CH.; SANTAMOURIS, M. Experimental investigation of air flow and temperature distribution in deep urban canyons for natural ventilation purposes. In: **Energy and Buildings**, 2006, v. 38, p. 367–376.

GIVONI, Baruch. **Urban design in different climates**. Geneve: WCAP-10, World Meteorological Organisation - WMO/TD n. 346, 1989.

GIVONI, Baruch. **Climate considerations in building and urban design**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

GONÇALVES DA SILVA, F. de A. **O vento como ferramenta no desenho do ambiente construído: uma aplicação ao Nordeste do Brasil**. São Paulo: FAUUSP, 1999. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, 1999.

GRIMMOND, C.S.B. Progress in measuring and observing the urban atmosphere. In: **Theoretical and Applied Climatology**. Áustria: s. ed., 2006. v. 84, 3-22.

HEAT ISLAND GROUP. Disponível em: <http://www.epa.gov/heatisland/>. Acessado em 10/maio/2006.

HEISLER, Gordon et al. Land-cover influences on air temperature in and near Baltimore, MD. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 6, Göteborg. **Preprints**. Göteborg: IAUC, 2006. p. 392-395.

HIGUERAS, Ester. **Urbanismo bioclimático**. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Disponível em: www.ibge.gov.br/cidades. Acessado em 11/set/2006.

IWAI, Olga Kazuko. **Mapeamento do uso do solo urbano do município de São Bernardo do Campo através de imagem de satélite**. São Paulo, 2003. Dissertação (Mestrado) Escola Politécnica, Universidade Estadual de São Paulo, 2003. 127p.

JAUREGUI, E. **Los climas urbanos tropicales**: revision y evolución. Conferência técnica de la WMM sobre climatología urbana y sus aplicaciones particularmente en lo que se refiere a las regions tropicales. Doc. 6. Cidade do México, 1984.

KATZSCHNER, Lutz. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4, Salvador, 1997. **Anais...** Salvador: FAUFBA, ANTAC, 1997. p. 49-58.

KATZSCHNER, L., et al. Urban Climate Study of Salvador: Thermal Comfort Pattern In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO II ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5, Fortaleza, 1999. **Anais...** Fortaleza: ANTAC, 1999.

KATZSCHNER, Lutz; BOSCH, Ulrike; ROTTGEN, Mathias. Behaviour of people in open spaces in dependency of thermal comfort conditions. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE – PLEA, 19, France, 2002. **Proceedings...** France: James & James Ltd., 2002, p.411-415.

KIYOTA, Tadashi et al. Observation research on the effect to the heat island countermeasure with the land use and sea breeze of the coast city. (Part 2: The research on the effect of the earth surface of the covering on the city temperature). In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 6, Göteborg, 2006. **Preprints...** Göteborg: IAUC, 2006. p. 639-642.

KÖPPEN, Wilhelm. **Climatologia**. México: Fondo de Cultura Economia, 1948.

LIMA, Pedro de. Natal século XX: Do urbanismo ao planejamento urbano. Natal: EDUFRN, 2001. 190p.

LOMBARDO, Magda Adelaide. **Ilha de Calor nas Metrôpoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985, 244p. il.

LOWRY, W.P. The climate of cities. In: Cities, their origin, growth and human impact . Sao Francisco: Kingsley Davis, 1967.

LUXMOORE, D.A.; JAYASINGHE, M.T.R.; MAHENDRAN, M. Mitigating temperature increases in high lot density sub-tropical residential developments. **Energy and Buildings**, 2005, v. 37, p.1212–1224

MASCARÓ, Lúcia Raffo de. **Energia na Edificação**. 2. Ed. São Paulo: Projeto Editores Associados, 1991.

MASCARÓ, Lúcia. **Ambiência Urbana**. Porto Alegre: Sagra- D.C. Luzzato, 1996.

MEDEIROS, Cleyber Nascimento de. **Geoprocessamento na Gestão Municipal: Mapeamento do Meio Físico e Socioeconômico do Município de Parnamirim (RN)**. Natal, 2004. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Programa de Pesquisa e Pós-Graduação em Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2004.140 p.

MILLER-CHAGAS,P ; PAUL P. **Configurations Urbaines**: apports energetiques et microclimats – etude des espaces extérieurs de trions ensembles a Strasbourg, Strabourg, Plan Construction – Arias, C. R. No. 78610115,1980.

MILLS, G. Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. **Theoretical Applied Climatology**. Austria: 2006, v.84, p. 69–76.

MIZUNO, M. et al. Effects of land use on urban horizontal atmospheric temperature distributions. **Energy and Buildings**, n. 15-16, 1990/91, p.165-176.

MONTEIRO, Carlos Augusto de F.; MENDONÇA, Francisco. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MOORE, David S.; MCCABE, George P. Introdução à prática da estatística. 3ed. Rio de Janeiro: LTC SA, 2002.

MORETTI, Ricardo de Sousa; NISHIHATA, Nelia Miyuki. Melhorias do manejo de águas pluviais urbanas: Possibilidades associadas aos estacionamentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENTAC, 11, Florianópolis, 2006. **Anais...** Florianópolis: ANTAC, 2006. p. 2835-2843.

OKE, T. R. The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands, **Atmosphere**, 1976, 14, 268-277.

OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorology Society**, v.108, n.455, p1-24, 1982.

OKE, T.R. **Boundary Layer Climates**. 2nd ed. New York: Routledge, 1987.

OKE, T.R. Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. **IOM Report** , TD. in press, World Meteorological Organization, Geneva, 2004.

OKE, T. R. Towards better scientific communication in urban climate. Theoretical and Applied Climatology. Austria: 2005.

OLIVEIRA, Paulo Marcos de. **Cidade apropriada ao clima: a forma urbana como instrumento de controle do clima urbano.** Brasília, 1988. Dissertação (Mestrado em Arquitetura) - Universidade de Brasília, 1988.

OLIVEIRA, Frederico Fonseca Galvão de; NUNES, Elias. Sensoriamento Remoto na análise espaço-temporal da expansão da mancha urbana em Natal/RN (1969-2002). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, Goiânia, 2005. **Anais...** Goiânia: INPE, 2005, p. 3871-3878.

PAES, Fernando Camilo; PINTO, Sérgio Dos Anjos Ferreira ; DUTRA, Luciano Vieira. Um estudo exploratório para obtenção de índices de qualidade de vida urbana (IQV) utilizando imagens de alta resolução do satélite Ikonos II. In: SEMINÁRIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11, Belo Horizonte, 2003. **Anais...** Belo Horizonte: INPE, 2003, p. 1907 – 1914.

PEZZUTO, Cláudia Cotrim; LABAKI, Lucila Chebel; FRANCISCO FILHO, Lauro L. Distribuição horizontal da temperatura do ar em uma região central na cidade de Campinas, SP. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO – ENCAC/ ENLACAC, 8, Maceió, 2005. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2005. p. 1499-1506. CDRom.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL – PMN/ Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo - SEMURB. **Plano de arborização para o município do Natal:** proposta preliminar. Natal/RN, 2004

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL – PMN/ Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo - SEMURB. **Zoneamento Ambiental de Natal.** Natal/RN, 2005

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL – PMN/ Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo - SEMURB. **Anuário Natal 2005.** Natal, 2005.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL – PMN, **LEI COMPLEMENTAR Nº 07, DE 05 DE AGOSTO DE 1994.** Natal, 1994.

PREFEITURA MUNICIPAL DE NATAL – PMN, **Proposta de Lei para Revisão da Lei Complementar Nº07/1994.** Disponível em: <http://www.natal.rn.gov.br/semurb/index.php>. Acessado em 03/11/2005.

PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO - PMSP/ Fundação Centro Tecnológico de Hidráulica. **Diretrizes básicas para projetos de drenagem urbana no município de São Paulo.** São Paulo: PMSP, 1999. 289p.

ROMERO, Marta Adriana B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano.** São Paulo: Projeto, 1988.

SAMPAIO, A. H. L., **Correlações entre uso do solo ilhas de calor no ambiente urbano: o caso de Salvador**. São Paulo, 1981. Dissertação (Mestrado em Geografia) – FFLCH – Universidade de São Paulo, 1981.

SANTAMOURIS, M.. **Energy and climate in the urban built environment**. Londres: James & James, 2001.

SERRA, Geraldo Gomes. **O espaço natural e a forma urbana**. São Paulo: Nobel, 1987.

SEZERINO, L.M.; MONTEIRO, C. A. F. O campo térmico da cidade de Florianópolis: primeiros experimentos. **GEOSUL**, 1990, 9, 20-60.

SILVA, Vanessa Gomes. **Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica**. São Paulo, 2003 Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2003.

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M.; APOSTOLAKIS, K. On the development, optical properties and thermal performance of cool colored coatings for the urban environment (s.ed, s.d.,s.l)

SYNNEFA, A.; SANTAMOURIS, M; LIVADA, I. A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. In: INTERNACIONAL CONFERENCE PASSIVE AND LOW ENERGY COOLING – PALENC, 1, Santorini, 2005. **Anais...** Grécia: Heliotopos Conference, 2005. p. 101-107.

SOUZA, Marcelo Lopes de. **Mudar a cidade: uma introdução crítica ao planejamento e à gestão urbanos**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002. 560p.

SOUZA, Léa Cristina Lucas de. **Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre**. São Carlos, 1996 Tese (Doutorado em Engenharia) – EESC, Universidade de São Paulo, 1996.

SOUZA E SILVA, C. A. de. Critérios para Aquisição e Análise de Dados Bioclimáticos Urbanos em Espaços Abertos Visando o Conforto Ambiental. Rio de Janeiro, 2003. Dissertação (Mestrado em Urbanismo) – PROURB, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.

SPIRN, Anne Whiston. **O jardim de granito**. São Paulo: EDUSP, 1995.

TUCCI, Carlos E. M. **Drenagem Urbana**. São Paulo: Ciência e Cultura, 2003, v55, n4.

TUKEY, J. W. **Exploratory Data Analysis**. EUA: Addison–Wesley, 1977.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO NORTE – UFRN/ Superintendência de Infra-Estrutura. **Seminário: Diagnóstico e propostas para o Desenvolvimento Sustentável de Natal**. Natal/RN – 2004. Disponível em: www.agenda21natal.com.br. Acessado em 10/05/2006

APÊNDICES

APÊNDICE 1 – Cronograma de atividades para os períodos de medição

Quadro 8.1 - Cronograma de atividades para a medição de verão.

DIA	DATA	ATIVIDADE DESENVOLVIDA
1o	01/fev.	INÍCIO DA MEDIÇÃO DE VERÃO: Programação dos equipamentos/ Montagem das proteções
2o	02/fev.	Fixação dos equipamentos nas torres (Trajeto 01V – 18 sites)
3o	03/fev.	Fixação dos equipamentos nas torres (Trajeto 02V – 03 sites)/ Medição automática a partir das 12h (dia 01)
4o	04/fev.	Medição automática (dia 02)
5o	05/fev.	Medição automática (dia 03)
6o	06/fev.	Medição automática (dia 04)
7o	07/fev.	Medição automática (dia 05)
8o	08/fev.	Medição automática (dia 06)
9o	09/fev.	Medição automática (dia 07)
10o	10/fev.	Medição automática até às 12h/ Retirada dos equipamentos das proteções (Trajeto 03V)
11o	11/fev.	Passagem de dados para computador (descarregar equipamentos)/ Início da montagem dos bancos de dados
12o	12/fev.	Montagem dos bancos de dados
13o	13/fev.	Programação dos equipamentos para teste de calibração/ Montagem dos bancos de dados
14o	14/fev.	Retirada das proteções dos sites (trajeto 04V) / Montagem dos equipamentos nas proteções e realização de teste de calibração (a partir das 17h)
15o	15/fev.	Teste de calibração (até às 17h)/ Retirada dos equipamentos
16o	16/fev.	Passagem de dados para computador (descarregar equipamentos)/ Início da montagem do banco de dados do teste Limpeza, embalagem e envio dos equipamentos para UNICAMP e devolução dos equipamentos da UFRN FIM DA MEDIÇÃO DE VERÃO

Os trajetos indicados nos dias 02, 03, 10 e 14 de fevereiro, foram realizados com um automóvel de propriedade da pesquisadora; e variaram em função da disposição espacial dos pontos a serem visitados.

Já a medição de inverno, a falha na programação de alguns equipamentos, teve que ser repetida e resultou em uma medição de campo mais longa, ocorrida entre os dias 19/06/2007 a 20/07/2007. Ocorreu conforme explica o quadro 8.2.

Quadro 8.2 - Cronograma de atividades para a medição de inverno.

DIA	DATA	ATIVIDADE DESENVOLVIDA
1º	19/JUN.	INÍCIO DA MEDIÇÃO DE INVERNO: Recebimento dos equipamentos Programação dos equipamentos - Teste calibração no INPE Montagem das proteções – colocação no INPE
2º	20/JUN	Desmontagem e descarregar dados no comput
3º	21/JUN	Montagem banco de dados teste Programação equipamentos inverno
4º	26/JUN	Fixação dos equipamentos nas torres (Trajeto 01I) – 16 sites
5º	27/JUN	Fixação dos equipamentos nas torres (Trajeto 02I) – 04 sites Medição automática a partir das 12h (dia 01)
6º	28/JUN	Medição automática (dia 02)
7º	29/JUN	Medição automática (dia 03)
8º	30/JUN	Medição automática (dia 04)
9º	01/JUL	Medição automática (dia 05)
10º	02/JUL	Medição automática (dia 06)
11º	03/JUL	Medição automática (dia 07)
12º	04/JUL	Medição automática (dia 08)
13º	05/JUL	Retirada dos equipamentos (Trajeto 03I)/ Descarregar dados no computador (constatação da falha)
14º	06/JUL	Limpeza das proteções/ Reunião de planejamento/ Re-programação de equipamentos
15º	07/JUL	Nova fixação dos equipamentos nas torres (Trajeto 04I) Medição automática a partir das 13h (dia 01)
16º	08/JUL	Medição automática (dia 02)
17º	09/JUL	Medição automática (dia 03)
18º	10/JUL	Medição automática (dia 04)
19º	11/JUL	Medição automática (dia 05)
20º	12/JUL	Medição automática (dia 06*)/ Troca Equipamento Est Ref
21º	13/JUL	Medição automática (dia 07*)
22º	14/JUL	Medição automática (dia 08)
23º	15/JUL	Medição automática (dia 09)
24º	16/JUL	Medição automática (dia 10)
25º	17/JUL	Medição automática (dia 11)
26º	18/JUL	Medição automática (dia 12)
27º	19/JUL	Retirada dos equipamentos (Trajeto 05I)/ Descarregar dados no computador
28º	20/JUL	Limpeza, embalagem e envio dos equipamentos para UNICAMP Devolução dos equipamentos da UFRN FIM DA MEDIÇÃO DE INVERNO

Quando da retirada dos equipamentos registradores e proteções das torres (05/jul), verificou-se que 06 dos 20 não tinham funcionado, tendo parado no início da medição em função de erro na programação dos mesmos. Levando-se em consideração a natureza espacial abrangente da pesquisa, decidiu-se recolocar todos os equipamentos.

Durante essa segunda medição de inverno houve ainda um outro incidente, dessa vez com o equipamento colocado no ponto de referência (Ponto EST REF), que foi imediatamente substituído, mas que ocasionou a não obtenção de dados de velocidade do ar para o período, naquele ponto para todos os dias.

APÊNDICE 2 – Análise estatística complementar ao teste de calibração

	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	275998,5	1	275998,5	422759,1	< 0,0001
MARCA	124,2	4	31,0	47,6	< 0,0001
Error	21,5	33	0,7		
HORA	1302,0	23	56,6	369,2	< 0,0001
HORA*MARCA	151,4	92	1,6	10,7	< 0,0001
Error	116,4	759	0,2		

Tabela 1 – Análise multivariada de perfis de médias de temperatura horária segundo a marca do instrumento - Verão

	S	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	232653,4	1	232653,4	586697,4	< 0,0001
MARCA	24,2	4	6,1	15,3	< 0,0001
Error	13,9	35	0,4		
HORA	1290,4	23	56,1	258,1	< 0,0001
HORA*MARCA	100,0	92	1,1	5,0	< 0,0001
Error	175,0	805	0,2		

Tabela 2 - Análise multivariada de perfis de médias de temperatura horária segundo a marca do instrumento - Inverno

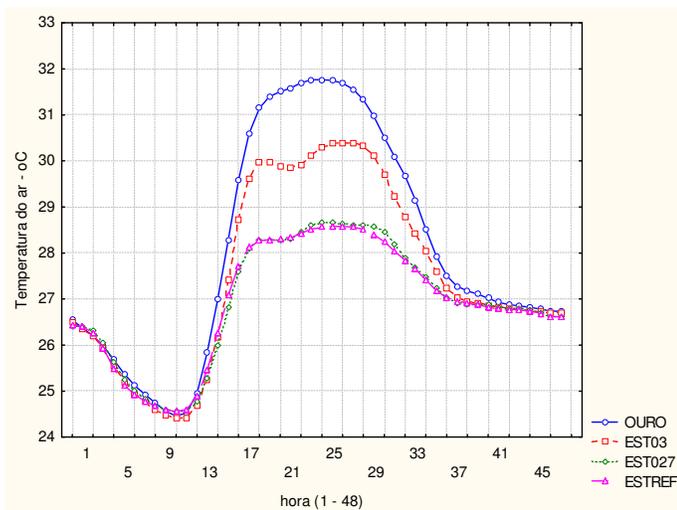


Figura 1 - Curvas de calibração para o verão, por marca de instrumento

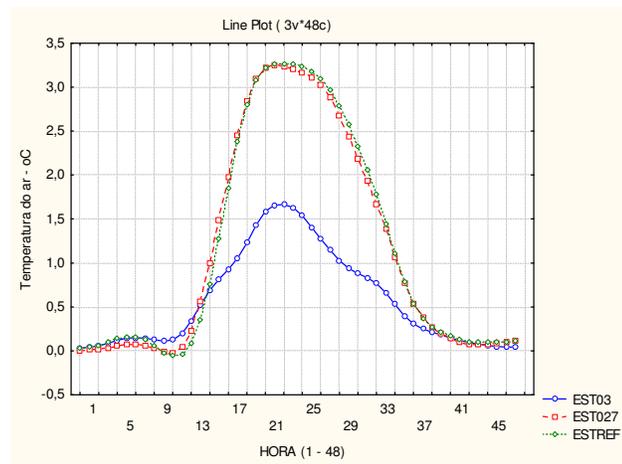


Figura 2 - Curvas de correção para o verão, por marca de instrumento

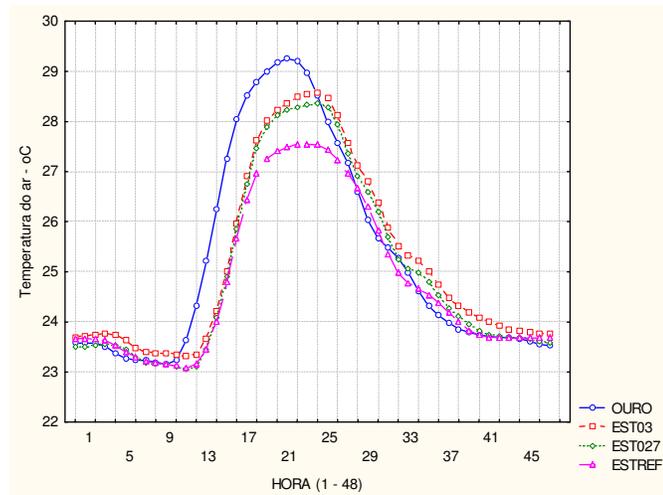


Figura 3 - Curvas de calibração para os equipamentos da marca estação Davis – verão

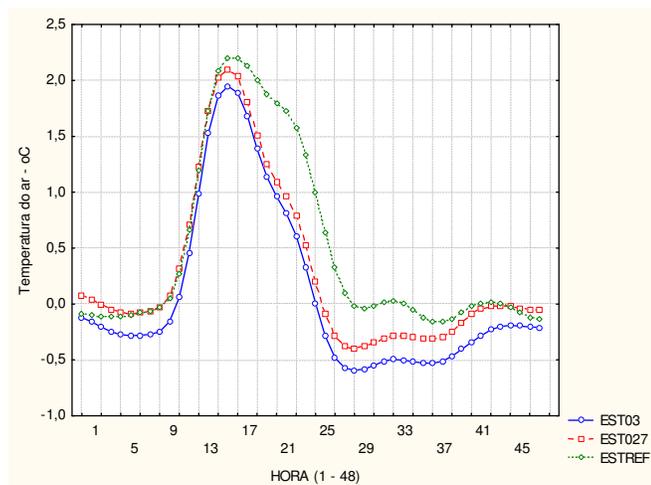


Figura 4 - Curvas de calibração para os equipamentos da marca estação Davis – inverno

APÊNDICE 3 – Tabela coordenadas em UTM para os pontos de coleta

Coordenadas em UTM		
PONTOS	POINT_X	POINT_Y
A	255329,87	9349215,16
B	251475,72	9352675,34
C	254369,31	9353723,50
D	258263,35	9355283,29
E	253605,41	9354967,01
EST 027	255102,77	9359244,25
EST 03	258258,93	9349297,35
EST REF	255672,72	9354363,63
F	254583,36	9356209,16
G	256538,15	9356551,83
H	255439,34	9357380,31
I	256118,19	9358501,48
J	255858,90	9360285,83
K	258388,71	9357883,40
L	251143,24	9355503,14
M	253536,49	9357618,68
N	246196,90	9365705,57
O	249331,44	9363537,24
P	248975,56	9366295,02
Q	249980,11	9361153,92