



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
NÚCLEO DE ALTOS ESTUDOS AMAZÔNICOS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL DO
TRÓPICO ÚMIDO

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS, DO CONFORTO
E DA PERCEPÇÃO TÉRMICA NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE BELÉM- PA.**

Belém

2012

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS, DO CONFORTO
E DA PERCEPÇÃO TÉRMICA NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE BELÉM- PA.**

Tese de doutorado apresentada ao Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, como requisito parcial à obtenção do Título de Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental, pelo Programa de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.

Orientador: Dr. Juarez Carlos Brito Pezzuti

Belém

2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca do NAEA/UFPA

Silva Junior, João de Athaydes

Avaliação de parâmetros micrometeorológicos, do conforto e da percepção térmica na área urbana da cidade de Belém - PA / João de Athaydes Silva Junior; Orientador, Juarez Carlos Brito Pezzuti. – 2012.

137 f. : il. ; 29 cm

Inclui bibliografias

Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Belém, 2012.

1. Meteorologia – Belém (PA). 2. Climatério – Belém (PA). 3. Mudanças climáticas - Belém (PA). 4. Classes sociais – Belém (PA). I. Pezzuti, Juarez Carlos Brito, orientador. II. Título.

CDD 22 ed. 551.518515

JOÃO DE ATHAYDES SILVA JUNIOR

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS MICROMETEOROLÓGICOS, DO CONFORTO
E DA PERCEPÇÃO TÉRMICA NA ÁREA URBANA DA CIDADE DE BELÉM- PA.**

Tese apresentada ao PPGDSTU/NAEA/UFPA como parte dos requisitos para obtenção do título de Doutor em Ciências: Desenvolvimento Socioambiental, pelo Programa de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido.

Aprovado em: _____

Banca Examinadora

Prof. Dr. Juarez Carlos Brito Pezzuti
PPGDSTU/NAEA/UFPA – Orientador

Prof. Dr. Josep Pont Vidal
PPGDSTU / NAEA / UFPA – Examinador Interno

Prof. Dr. Maurílio de Abreu Monteiro
PPGDSTU / NAEA / UFPA – Examinador Interno

Prof. Dr. Antonio Carlos Lôla da Costa
PPGRNA / UFOPA – Examinador Externo

Prof. Dr. Everaldo Barreiro de Souza
PPGCA / IG / UFPA – Examinador Externo

Resultado: _____

Á meus pais João e Glória, a
minha família Clarice, a Lúdia e aos meus
queridos Andrea e Rita (*In Memoriam*),
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida.

Ao amigo Antonio Carlos pela amizade, oportunidades e lições de vida;

Ao professor Juarez Pezzuti pela orientação, confiança, amizade e ajuda nos momentos complicados;

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante o curso e pelo financiamento do Projeto “Monitoramento do clima urbano em cidades de diferentes tamanhos na Região Amazônica Brasileira - CLIMURB”;

Aos membros da banca pelas contribuições fornecidas;

Aos colegas Rafael Costa e Bergson Moraes pela ajuda na análise e tratamento dos dados e aos companheiros de turma pela amizade e incentivo;

As funcionárias da biblioteca do NAEA pela ajuda na correção das normas ABNT;

Aos alunos do curso de meteorologia, pela ativa participação na coleta de dados;

Aos professores do NAEA/UFPA, da FM/UFPA e da UACA/UFPA pelos aprendizados acadêmicos e incentivos, em especial aos que acreditaram em mim e contribuíram com minha formação acadêmica e pessoal.

A minha família pelo apoio para eu chegar até o dia de hoje na defesa da Tese em paz;

Ao Instituto Nacional de Meteorologia pela disponibilização dos dados meteorológicos na internet;

A Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém e a Companhia de Saneamento do Pará por permitirem a instalação de equipamentos em suas dependências;

Ao Professor Genival Silva pelo exemplo, determinação e amizade;

A todos que participaram direta ou indiretamente da realização deste trabalho, pelo incentivo e confiança que foram indispensáveis para a sua conclusão.

[...] uma quantidade infinita de belas e admiráveis formas, originadas de um começo tão simples [...]

Charles Darwin

RESUMO

No presente trabalho foram avaliados alguns elementos micrometeorológicos e o conforto térmico na cidade de Belém, juntamente com uma análise das questões da segregação social deste espaço urbano, contribuindo com as pesquisas de climatologia urbana em regiões tropicais que possuem uma especificidade climática, com um forte efeito da sazonalidade durante o ano. Foram empregados na pesquisa informações micrometeorológicas obtidas através de estações meteorológicas e microloggers distribuídos pela cidade, questionários, informações de cobertura do solo oriundas de imagens de satélite e as tipologias sociais por meio de levantamento bibliográfico. As informações quantitativas foram analisadas através de interpolações e correlações numéricas e relacionadas de forma qualitativa às informações adquiridas em campo. Os resultados mostraram que as áreas menos confortáveis termicamente foram as que possuíam menor cobertura vegetal e maior quantidade de áreas edificadas e pavimentadas, enquanto que as áreas mais confortáveis foram as que apresentaram características contrárias a anterior. Não foi detectada a existência de um padrão bem definido entre as tipologias socioespaciais das habitações com as condições de conforto. Foi encontrada uma ilha de calor de baixa intensidade sobre a cidade, assim como uma forte sazonalidade da precipitação pluvial, da temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Na cidade de Belém, grande parte do período diurno foi desconfortável termicamente, e a intensidade desse desconforto variou de acordo com as características de uso e ocupação do solo urbano.

Palavras-chave: Conforto Térmico. Meteorologia. Estratificação Social Urbana.

ABSTRACT

In the present study evaluated a micrometeorological elements and thermal comfort in Belém, along with an examination of issues of social segregation of urban space, contributing to the research of urban climatology in tropical regions that have a specific climate with a strong effect of seasonality during the year. Were used in the research information obtained by weather stations and microloggers distributed by the city, questionnaires, land cover information derived from satellite images and social typologies of urban areas through literature. Quantitative information was analyzed through numerical interpolations and correlations qualitatively and related information acquired in the field. The results indicated that the areas were the less comfortable heat that had less vegetation cover and greater amount of built and paved areas, while areas more comfortable showed the characteristics contrary to earlier, where it was detected the absence of a standard well defined between the socio-spatial typologies with comfort conditions. There was low heat island intensity on the city as well as strong seasonality of rainfall, air temperature and relative humidity. In the city of Belém much of the daytime was uncomfortable, and the intensity of discomfort varied with the characteristics of use and occupation of urban land.

Keywords: Thermal Comfort. Meteorology. Urban Social Stratification.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Absorção pelos constituintes atmosféricos em vários comprimentos de onda.	7
Figura 2 – Esquemática da partição da radiação solar ao entrar na atmosfera terrestre	7
Figura 3 – Esquema do balanço de energia e uma superfície hipoteticamente ideal durante o dia e a noite.....	9
Figura 4 – Partição do Balanço de energia em uma área vegetada e na área urbana.	10
Figura 5 – Albedos de materiais encontrados frequentemente em áreas urbanas.	14
Figura 6 – Aumento das vazões máximas e antecipação do pico das cheias devido a urbanização.....	15
Figura 7 – Balanço hídrico típico em uma área urbana.	15
Figura 8 – Características do Balanço hídrico de uma bacia urbana. a) Área pré-urbanização. b) Área Urbana.	16
Figura 9 – Esquema de ventilação urbana em climas úmidos. a) Posicionamento correto; b) Posicionamento habitual.....	18
Figura 10 – Alguns padrões de escoamento do vento de acordo com as características urbanas. a) efeito de canto; b) efeito de esteira; c) efeito de piloti; d) efeito de barreira; e) efeito de Venturi; f) efeito de canalização.....	20
Figura 11 – Perfil vertical do vento em três áreas com tipos de cobertura distintas.	21
Figura 12 – Evolução temporal e espacial da ocupação de Belém.....	25
Figura 13 – Tipos de sistemas.	46
Figura 14 – Causas e efeitos das atividades humanas e seus impactos para a formação da ilha de calor.	48
Figura 15 – Diagrama do Sistema Ambiental Urbano	49
Figura 15 – Ilustração da cidade de Belém com a localização dos bairros	55
Figura 16 – Questionário de avaliação do conforto térmico.	115

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Crescimento da população residente no município de Belém no período de 1872 a 2010	27
Gráfico 2 – Dados das Normais Climatológicas do INMET, do período de 1961 a 1990, para a Cidade de Belém, PA. a) média da temperatura do ar e seus respectivos desvios padrões (°C); b) média dos totais mensais da precipitação pluvial e seus respectivos desvios padrões (mm); c) média da umidade relativa do ar (%); d) média da evaporação total (mm); e) duração mensal do brilho solar (horas); f) média mensal do total de nebulosidade (décimos).	31
Gráfico 3 – Correlação entre o IC a porcentagem de urbanização para a cidade de Belém.....	70
Gráfico 4 – Correlação entre o IC e a porcentagem de vegetação para a cidade de Belém.	72
Gráfico 5 – Variabilidade horária dos totais da precipitação pluvial na cidade de Belém nas duas áreas estudadas na época chuvosa.	78
Gráfico 6 – Variabilidade horária dos totais da precipitação pluvial na cidade de Belém nas duas áreas estudadas na época menos chuvosa.	79
Gráfico 7 – Variabilidade sazonal média horária da temperatura do ar na área urbana e periférica da cidade de Belém, no período menos chuvoso e chuvoso.	80
Gráfico 8 – Variabilidade sazonal média horária da umidade relativa do ar na área urbana e periférica, no período menos chuvoso e chuvoso.....	83
Gráfico 9 – Variabilidade sazonal horária da ilha de calor urbana na cidade de Belém, no período menos chuvoso e chuvoso.	85
Gráfico 10 – Seção meridional da variabilidade do IC na cidade de Belém.	108
Gráfico 11 – Valores das normais climatológicas para a cidade de Belém do Pará. a) Precipitação pluvial (mm). b) Insolação (horas).	113
Gráfico 12. Valores das normais climatológicas para a cidade de Belém do Pará. a) Umidade Relativa do ar (%). b) Temperatura do ar (°C).	114
Gráfico 13 – Distribuição por faixa etária dos indivíduos entrevistados.	119
Gráfico 14 - Distribuição da sensação térmica por faixas etárias da amostra entrevistada.	119
Gráfico 15 – Percepção térmica e as faixas de conforto térmico propostas pelo Índice de Temperatura Efetiva (ITE).	121
Gráfico 16 – Percepção térmica e as faixas de conforto térmico propostas pelo Índice de Calor (IC)	121

Gráfico 17 - Variação diurna na percepção térmica, nas faixas de conforto térmico e nos índices calculados.....	123
---	-----

LISTA DE FOTOGRAFIAS

Fotografia 1 – Local de observação meteorológica no bairro de Nazaré.	34
Fotografia 2 – Local de observação meteorológica no bairro da Condor.	35
Fotografia 3 – Local de observação meteorológica no bairro da Cremação.	36
Fotografia 4 – Local de observação meteorológica no bairro do Marco.	37
Fotografia 5 – Local de observação meteorológica no bairro da Pedreira	38
Fotografia 6 – Local de observação meteorológica no bairro da Campina.....	39
Fotografia 7 – Local de observação meteorológica no bairro de São Brás.	40
Fotografia 8 – Local de observação meteorológica no bairro de Val-de-Cães	41
Fotografia 9 – Local de observação meteorológica no bairro da Sacramento.	42
Fotografia 10 – Local de observação meteorológica no bairro do Curió-Utinga.	43
Fotografia 11 – Local de observação meteorológica no bairro Castanheira.	44

LISTA DE MAPAS

Mapa 1 – Distribuição espacial dos pontos de coleta de informações ambientais na cidade de Belém, PA.....	33
Mapa 2 – Variabilidade média horária espacial do índice de calor (°C) na cidade de Belém do Pará, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Das 06 às 08 horas (a), das 09 às 11 horas (b), das 12 às 14 horas (c).....	64
Mapa 3 – Variabilidade média horária espacial do índice de calor (°C) na cidade de Belém do Pará, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Das 15 às 17 horas (a), das 18 às 19 horas (b) e da média das 06 às 19 horas (c).	66
Mapa 4 – Localização geográfica de Cidade de Belém, PA e dos pontos de coleta de dados.	77
Mapa 5 – Divisão geográfica da cidade por zonas.	91
Mapa 6 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Leste e seus bairros.....	101
Mapa 7 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Sul e seus bairros.	102
Mapa 8 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Central e seus bairros.....	103
Mapa 9 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Oeste e seus bairros	105
Mapa 10 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Norte e seus bairros.	106
Mapa 11 – Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando as zonas Nordeste e Noroeste da cidade e seus bairros.....	107

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Modificações causadas no balanço de radiação e energia proporcionadas pela urbanização.....	11
Tabela 2 – Albedo de alguns tipos de superfícies.	13
Tabela 3 – Localização e caracterização dos pontos de coleta de dados na cidade de Belém.	57
Tabela 4 - Níveis de alerta do IC e suas prováveis consequências para a saúde.....	61
Tabela 5 – Características da cobertura do solo, Urbanização e Vegetação (%) e Índices de Calor (°C) nos 11 pontos de coletas na área urbana de Belém do Pará.	69
Tabela 6 - Resultados dos testes estatísticos aplicados às séries de temperatura do ar das duas localidades, no período menos chuvoso e chuvoso.	83
Tabela 7 – Locais de coleta de dados meteorológicos na cidade de Belém.	92
Tabela 8 – Níveis de alerta e suas consequências a saúde humana.	94
Tabela 9 – Tipologias sócio-ocupacionais.	95
Tabela 10 – Descrição das tipologias sociais dos bairros na cidade de Belém com seus respectivos valores médios do IC e suas localizações por zonas.	98
Tabela 10 – Sensação de conforto térmico do corpo, relacionado com o Índice de Temperatura Efetiva (ITE).....	117
Tabela 11 - Níveis de alerta do IC e suas prováveis consequências para a saúde.....	118

LISTA DE SIGLAS

APA	Área de Proteção Ambiental
CCM	Complexo Convectivo de Mesoescala
CLA	Camada Limite Atmosférica
CO ₂	Dióxido de Carbono
DISME	Distrito de Meteorologia
DTCEA-BE	Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Belém
EMA	Estação Meteorológica Automática
H	Calor sensível
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Índice de Calor
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPHAN	Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional
ITE	Índice de Temperatura Efetiva
LE	Calor latente
LI	Linha de Instabilidade
mm	milímetro
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
NO _x	Óxidos de Azoto
°C	Grau Celsius
°F	Grau Fahrenheit
OL	Onda de Leste
O ₃	Ozônio
PDN	Plano de Desenvolvimento Nacional
PGMA	Plano de Gestão Municipal Ambiental
Q*	Fluxo de radiação total
Q _G	Fluxo de calor no solo
Q _H	Fluxo de calor sensível
Q _{LE}	Fluxo de calor latente
SAU	Sistema Ambiental Urbano
SCU	Sistema Clima Urbano

SEU	Sistema Ecológico Urbano
SPOT	Satellite Pour l'Observation de la Terre
TGS	Teoria Geral dos Sistemas
UR	Umidade Relativa do ar
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical
α	Albedo

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL	1
1.1 ASPECTOS MICROCLIMÁTICOS ASSOCIADOS À OCUPAÇÃO URBANA.....	3
1.1.1 Balanco de energia e radiação na superfície	5
1.1.2 Albedo	10
1.1.3 Ciclo hidrológico	14
1.1.4 Vento em áreas urbanas	17
1.2 BREVE PANORAMA DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA, POPULACIONAL E GEOGRÁFICA DA OCUPAÇÃO DE BELÉM.....	22
1.3 A CLIMATOLOGIA DA CIDADE E OS LOCAIS DE COLETA DE DADOS MICROMETEOROLÓGICOS	28
1.3.1 A climatologia da cidade	28
1.3.2 Locais de coleta de dados micrometeorológicos	31
1.4 SISTEMATIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE O CLIMA, A CIDADE E A SOCIEDADE.	45
1.5 OBJETIVOS.....	52
1.5.1 Objetivo Geral	52
1.5.2 Objetivos Específicos	52
2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE BELÉM, PA, NO PERÍODO MENOS CHUVOSO	53
2.1 INTRODUÇÃO.....	53
2.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	54
2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	62
2.4 CONCLUSÕES	72

3 ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANA NA CIDADE DE BELÉM, PA	73
3.1 INTRODUÇÃO.....	73
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	75
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
3.4 CONCLUSÕES.....	85
4 VARIABILIDADE ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO E A SEGREGAÇÃO SOCIAL DO ESPAÇO URBANO NA CIDADE DE BELÉM, PA	86
4.1 INTRODUÇÃO.....	86
4.2 MATERIAIS E MÉTODOS.....	89
4.2.1 Caracterização do local de estudo e aquisição de informações	89
4.2.2 Índice de conforto térmico	92
4.2.3 A estratificação social do espaço urbano na cidade de Belém.....	94
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	96
4.4 CONCLUSÕES	109
5 RELAÇÕES ENTRE AS PERCEPÇÕES TÉRMICAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DOS HABITANTES DE UMA CIDADE TROPICAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL	110
5.1 INTRODUÇÃO.....	110
5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	112
5.2.1 Visão geral da área de estudo	112
5.2.2 Medições ambientais	114
5.2.3 Pesquisa subjetiva de conforto térmico	114
5.2.4 Índices de Conforto Térmico	116
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	118

5.3.1 Caracterização da amostra populacional	118
5.3.2 Análises das percepções térmicas	119
5.3.3 Análise dos Índices (ITE e IC)	120
5.3.4 Análises diurnas	122
5.4 CONCLUSÕES	123
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	124
REFERÊNCIAS	128

1 INTRODUÇÃO GERAL

As cidades tropicais, nas últimas décadas, vêm enfrentando um grande crescimento populacional, juntamente com a degradação ambiental, impostos pelos modelos de crescimento desorganizado, incluindo aspectos do clima urbano, como a poluição atmosférica, estresse térmico e inundações, com implicações negativas para a saúde, produtividade e segurança. No entanto, relativamente, pouco se conhece sobre o clima urbano dessas cidades tropicais (OKE et.al., 1991).

Segundo Oke (1987), a climatologia clássica praticada na primeira metade do Século XX foi quase inteiramente preocupada com a distribuição dos principais parâmetros climatológicos (por exemplo, temperatura do ar e umidade) no tempo e no espaço. Enquanto esta informação transmite uma impressão útil do estado da atmosfera em um local, ela faz pouco para explicar como isso aconteceu. Tais parâmetros são realmente apenas medidas indiretas de mais quantidades fundamentais. A temperatura e umidade do ar são realmente um indicador do estado de energia térmica e de água na atmosfera, respectivamente, e estes estão ligados aos ciclos fundamentais de energia e da água no sistema Terra-Atmosfera. Estudar desses ciclos, envolvendo os processos pelos quais a energia e a massa são transferidos, convertidos e armazenados, formam a base da climatologia física moderna.

O impacto da urbanização sobre o clima tem sido estudado com mais detalhes nas regiões de latitudes médias, mas não tem sido suficientemente estudado do ponto de vista da climatologia física, e menos ainda nas regiões tropicais (TEJADA; JAUREGUI, 2005). Os estudos de clima urbano em cidades tropicais são muito importantes, pois grande parte da população vive nessas áreas. No caso de Belém, aproximadamente, 99,1% da população se encontra na área urbana (IBGE, 2010). Com o rápido crescimento das áreas urbanas é necessária a atenção para alguns problemas que surgem como os ligados as mudanças microclimáticas associadas ao crescimento urbano, ao pouco conhecimento sobre o clima urbano na região tropical e ao desafio das novas fronteiras do conhecimento.

Nas regiões temperadas, durante o verão, o calor pode resultar no aumento da morbidade e redução na produtividade, e em casos extremos a ocorrência de óbitos, por esta população estar menos adaptada ao calor. Nas regiões tropicais, a população apesar de já estar mais adaptada ao calor, problemas semelhantes aos que ocorrem nas regiões temperadas também são observados, e esses problemas se agravam com a formação das ilhas de calor.

O desconforto térmico pelo calor pode ser agravado quanto maior for a intensidade da ilha de calor, o que associado aos estresses múltiplos da vida urbana nas cidades tropicais, reduz a capacidade das pessoas suportarem o calor, o que as fazem

sucumbir com mais facilidade a problemas de saúde e psicológicos, podendo comprometer as capacidades físicas e mentais, e eventualmente, causar vítimas fatais. A qualidade de vida também é afetada negativamente quando ocorre o estresse térmico, seja por frio ou calor (PAHO, 1967; WEIHE, 1986; BELL, 1981; TBM 507, 2003).

O excesso de calor também gera consequências econômicas e ambientais, pois exige um grande gasto de energia e recursos financeiros para que a população possa se aclimatar adequadamente, seja em suas moradias, locais de trabalho e nos ambientes públicos, o que implica no aumento das emissões de CO₂ para a atmosfera, no consumo de recursos naturais e da poluição ambiental (SHIMODA et. al., 2005). No entanto, apenas uma parte da população possui condições para custear com as despesas para se adaptar adequadamente ao excesso de calor e as suas consequências ambientais.

Conhecer e entender o comportamento das variáveis climáticas de uma determinada região é de fundamental importância para o conhecimento de seu clima. Na nossa região, o parâmetro climatológico mais importante é a precipitação pluvial e a nebulosidade, pois são eles que vão determinar o clima amazônico (FISCH et. al., 1998; SILVA JUNIOR; COSTA, 2002).

A cidade de Belém possui suas especificidades próprias, não só em função dos seus predicados naturais e socioculturais, mas também do seu desenvolvimento e planejamento urbano, que na 1ª Léguas Patrimonial¹ houve um planejamento e nas demais áreas houve a falta dele, e no presente momento, pode-se observar um comportamento chamado de urbanização corporativa que foi descrita por Santos (2009), caracterizado pelo capitalismo exacerbado e globalizado, pelo domínio das tecnologias e informação e da crescente degradação ambiental. E como resultado das próprias contradições dessa sociedade globalizada, o aumento das relações socioespaciais urbanas de Belém colaboraram para a criação de um espaço estratificado, no qual a percepção térmica será distinta para os cidadãos.

O local de estudo possui um acentuado grau de urbanização aliado com a carência de um planejamento adequado, além de um déficit habitacional, problemas esses que são comuns para as principais cidades Amazônicas. O processo de estratificação social do espaço urbano está associado à distribuição da população na cidade por bairros com base na renda familiar, o que vai implicar diretamente nas tipologias do uso e ocupação do solo.

¹ Área doada pelo Rei de Portugal em 1627 à Câmara Municipal de Belém, através de carta de doação de sesmaria, de uma légua de terras, hoje denominada 1ª Léguas Patrimonial de Belém.

Com o desenvolvimento e crescimento de Belém, nas últimas décadas ocorreram várias mudanças na cidade, como por exemplo, a impermeabilização do solo, retirada da vegetação, a verticalização, o aumento da população. As perguntas norteadoras deste estudo são as seguintes:

1) No que diz respeito ao conforto térmico e aos elementos micrometeorológicos, essas desigualdades vão intensificar a vulnerabilidade socioambiental desta população?

2) E a distribuição espacial das habitações, associadas a desigualdade social, se relaciona de que modo com as variações das condições climáticas na cidade?

3) Independentemente da estruturação da cidade e de seu Plano Diretor é preciso que se tenha uma boa condição de vida² para se ter conforto térmico?

1.1 ASPECTOS MICROCLIMÁTICOS ASSOCIADOS À OCUPAÇÃO URBANA

O processo de formação do clima urbano está associado à concentração populacional e a construções para que essas pessoas morem, e este processo em geral pode ser expresso em termos da concentração da população, na mudança dos materiais constituintes da superfície e da expansão dos espaços para habitação tanto na vertical como na horizontal (YAMASHITA, 1988).

O clima é um componente que caracteriza a condição urbana, por estar presente na vida de quem habita a cidade, através da sua percepção e por ser influenciado através das suas ações, e o conforto térmico é uma combinação dos elementos produzidos pela natureza e o homem (MONTEIRO, 2004).

Segundo Rodrigues (1996), o padrão de ocupação do solo em Belém ocorreu com uma acentuada degradação ambiental. Este fato associado ao clima quente e úmido de Belém pode vir a afetar a qualidade de vida da população, no que diz respeito ao conforto térmico humano, que tende a ficar mais desconfortável à medida que a expansão urbana aumenta na direção nordeste, no sentido dos municípios vizinhos de Ananindeua e Benevides, direção de onde vem o vento predominante que atua na cidade de Belém. O vento predominante na cidade são os alísios³ oriundos de Nordeste, que

²É um indicador, também utilizado pelo IBGE, que se baseia nos serviços urbanos básicos, como rede coletora de esgoto, abastecimento de água, luz elétrica e coleta de lixo, que permite avaliar as condições de vida de uma população.

³ Vento alísios são ventos persistentes, principalmente na atmosfera inferior, que sopram sobre vastas regiões de um anticiclone subtropical em direção às regiões equatoriais. Os ventos alísios predominantes são de nordeste do Hemisfério Norte e sudeste do Hemisfério Sul.

penetram quase que zonalmente, no sentido de Leste para Oeste, em nossa região, ajudando as trocas e renovação das massas de ar sobre a superfície.

Estudos realizados por Brasil (1995) mostram que a vegetação tem papel importante na amenização da temperatura do ar na cidade, principalmente, para as áreas urbanas localizadas em regiões de clima equatorial como, o caso de Belém. Diante da necessidade de existirem áreas verdes no município de Belém, e também serem preservadas, foi criada a Política e Sistema de Meio Ambiente do Município de Belém, através da Lei N° 8.494/2005.

Esta Lei instituiu diversas diretrizes, inclusive o Plano de Gestão Municipal Ambiental (PGMA) que estabelece normas para garantir a conservação ambiental, com intenção de melhorar as condições de qualidade ambiental para a população. O PGMA tem como um dos seus papéis normativos, o da manutenção e ampliação da arborização no sistema viário e áreas verdes na cidade. Segundo Rodrigues (1996), as áreas verdes são muito importantes para manter o equilíbrio ambiental urbano, pois a mesma exerce as funções de controlar o aquecimento urbano, reduzir a poluição do ar atmosférico, reduzir a erosão e facilitar a infiltração de água no solo, amenizar os fenômenos da ilha de calor através da evapotranspiração⁴, além de funcionar como isolamento acústico, reduzindo os ruídos do trânsito.

Segundo Rodrigues (1996), o processo de verticalização na cidade gera alguns aspectos problemáticos, por formarem “muralhas” de edifícios justapostos criando corredores⁵ que contribuem para a reverberação⁵ dos ruídos do trânsito e da rua e para a piora da qualidade do ar. Esse processo também propicia a formação de ilhas de calor, o que corrobora com os resultados desta pesquisa.

Segundo o mesmo autor, outro problema causado pela verticalização é a impermeabilização do solo, chegando a interferir de forma danosa nos lençóis freáticos. A impermeabilização do solo contribui para alterações do ciclo hidrológico na área urbana, reduzindo a capacidade de infiltração da água no solo, propiciando a formação de alagamentos e disseminação de doenças de veiculação hídrica, principalmente nas áreas de baixada e sujeitas a alagamentos. Na cidade de Belém a verticalização é

⁴ A Evapotranspiração é a forma pela qual a água da superfície terrestre passa para a atmosfera no estado de vapor, tendo papel importantíssimo no Ciclo Hidrológico em termos globais. Esse processo envolve a evaporação da água de superfícies de água livre (rios, lagos, represas, oceano), dos solos e da vegetação úmida (que foi interceptada durante uma chuva) e a transpiração dos vegetais. Sua unidade de medida é o milímetro.

⁵ Reverberação é um fenômeno acústico complexo de reflexão do som.

concentrada, principalmente, na sua área central, sendo que no ano de 2000, aproximadamente, 10,4% das habitações eram apartamentos (LIMA; MOYSÉS, 2009).

O processo de urbanização gera mudanças radicais na superfície natural e nas propriedades atmosféricas desta região, pois envolve as transformações radiativas, térmicas, da umidade e aerodinâmicas, provocando desequilíbrios hidrológicos e no balanço de energia solar (OKE, 1987).

1.1.1 Balanço de energia e radiação na superfície

A radiação é uma forma de energia eletromagnética, e é transferida por fótons, ou pacotes de energia que têm propriedades similares às partículas e ondas, e viaja através de ondas. Nas aplicações atmosféricas os comprimentos de onda mais importantes estão compreendidos entre 0,1-100 μm (1 $\mu\text{m} = 10^{-6}$ m), que representam apenas uma porção muito pequena do espectro electromagnético total da porção visível do espectro. O comprimento de onda está exclusivamente relacionado com a energia dos ftons, de modo que é possível calcular o fluxo de energia dos ftons, em qualquer comprimento de onda dado, ou banda de onda. Todos os corpos possuem energia e emitem radiação, isto é, sua temperatura está acima do zero absoluto, $K = -273,2^{\circ}\text{C}$ (OKE, 1987).

A energia que é emitida pelo Sol que chega ao nosso planeta, passa pela atmosfera onde a mesma exerce um papel fundamental de filtrar e atenuar alguns comprimentos de onda dessa radiação. Quando a radiação solar direta (ondas curtas) chega à superfície terrestre, parte dela é absorvida pela superfície e a outra parte é refletida para atmosfera em forma de radiação de ondas longas. A radiação de ondas longas é responsável pelo aquecimento atmosférico⁶, e contribui para a ocorrência de diversos processos físicos que irão modular o tempo e o clima (OKE, 1987; SELLERS, 1965).

Durante a passagem da radiação pela atmosfera, os raios solares encontram nuvens e outros constituintes atmosféricos incluindo vapor de água, os cristais de sal, as partículas de poeira e vários gases. Cada um destes componentes tem o seu próprio conjunto de propriedades radiantes em relação à radiação incidente de ondas curtas, portanto, parte do feixe é refletida (espalhada), uma parte é absorvida e o restante é

⁶ O processo de aquecimento atmosférico ocorre, principalmente, através da interação da radiação de ondas longas com as moléculas dos gases constituintes da atmosfera e nela lançados pelo homem. As emissões de calor antropogênico também contribuem para este aquecimento juntamente com os gases lançados pelo homem na atmosfera como o CH_4 , CO_2 , N_2O . Estes gases interagem com alguns comprimentos de onda da radiação, onde são absorvidos retendo o calor aquecendo a atmosfera.

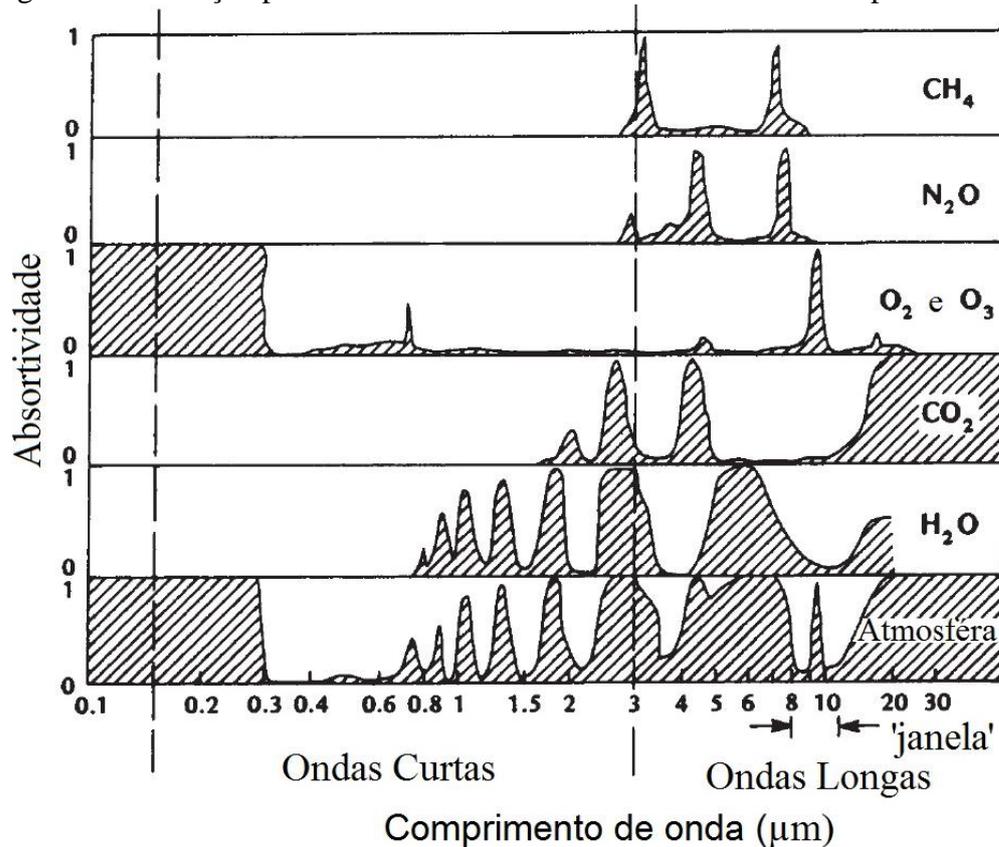
transmitido para a superfície. A relação entre a entrada extraterrestre destes valores define a refletividade atmosférica, absortividade, e transmissividade. A quantidade de absorção dos raios solares vai depender da natureza dos gases atmosféricos, das nuvens e outros aerossóis, conforme ilustrado na Figura 1. A Figura 1 mostra que a atmosfera não é uma boa amortecedora de radiação de ondas curtas (0,15 -3,0 μ m), no entanto, a partir destes comprimentos de onda alguns gases absorvem mais essa radiação.

O processo de trocas de ondas longas na atmosfera é bastante complexo, mas em geral, a atmosfera é relativamente uma boa absorvedora da radiação de ondas longas (3,0 a 100,0 μ m). Isso ocorre, principalmente, devido a absortividade do vapor de água (H₂O), do dióxido de carbono (CO₂) e do ozônio (O₃), sendo o vapor de água o mais importante deles para o estudo da meteorologia.

Os principais processos de transmissão da energia na atmosfera são através dos mecanismos de condução térmica e de convecção. A condução térmica é o processo pelo qual o calor é transmitido dentro de uma substância pela colisão das moléculas que se deslocam rapidamente, sendo esse processo é pouco eficiente na atmosfera. Já o processo de convecção envolve a troca vertical de massas de ar, através da turbulência, que é mais eficiente para espalhar a energia (OKE, 1987).

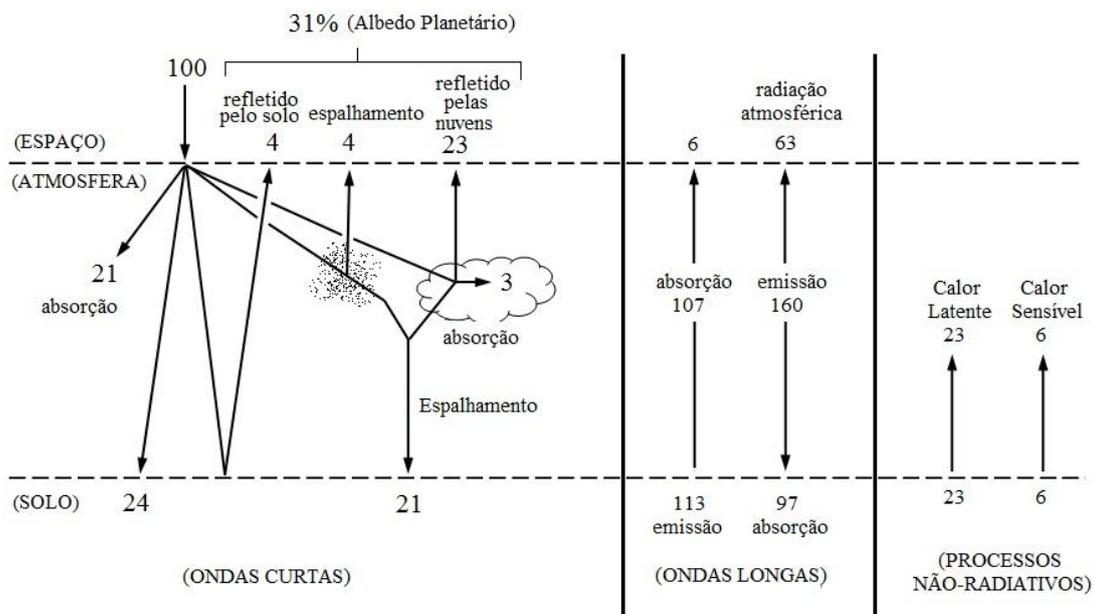
A radiação ao entrar na atmosfera terrestre ela é particionada, onde parte dela é refletida de volta ao espaço e o restante que penetra na atmosfera é atenuado por seus gases constituintes, pelos aerossóis e pelas nuvens, sobrando outra parte que chega até a superfície na forma de ondas curtas. Após a incidência da radiação na superfície, uma parte é absorvida e outra é refletida em forma de ondas longas (Figura 2).

Figura 1 – Absorção pelos constituintes atmosféricos em vários comprimentos de onda.



Fonte: Oke (1987).

Figura 2 – Esquemática da partição da radiação solar ao entrar na atmosfera terrestre.



Fonte: Vianello e Alves (2000).

O conhecimento do balanço de energia solar⁷ de uma região é de grande importância para que se possam planejar de forma coesa as formas de ocupação do solo, a fim de se obter uma melhor adaptação aos efeitos gerados pelo clima. O balanço de energia envolve os processos de troca de calor, de umidade e de *momentum* entre a atmosfera e a superfície (WHITE et. al., 1978; FERREIRA, 2010).

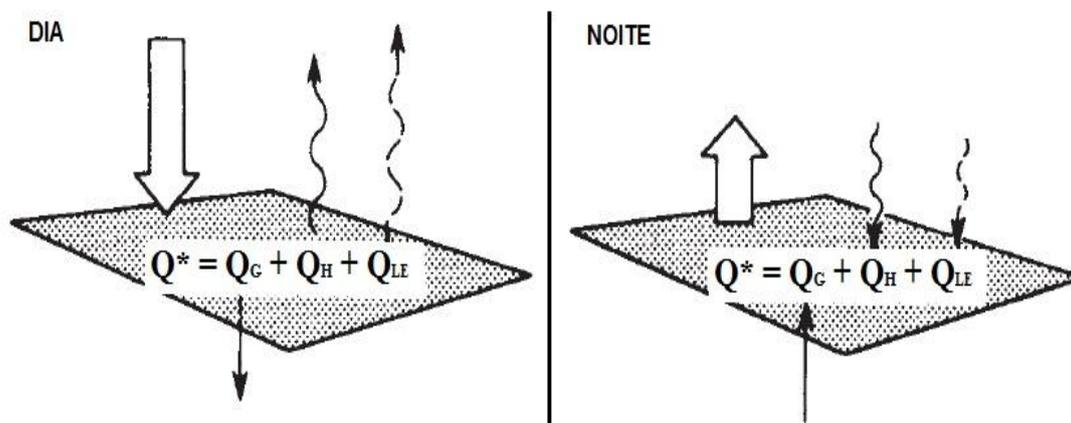
A Figura 3 apresenta uma variação típica diurna e noturna dos componentes do balanço de energia em uma superfície hipoteticamente “ideal”. O fluxo de radiação total (Q^*) é o equilíbrio da soma do fluxo de calor sensível (Q_H), do fluxo de calor latente (Q_{LE}) e do fluxo de calor no solo (Q_G), conforme demonstrado na Equação 01. Q^* será positivo quando houver um ganho de energia durante o dia e negativo quando houver perdas energéticas durante a noite (OKE, 1987).

Segundo Oke (1987), a exata partição energética se dará pelo excesso ou déficit de radiação entre o Q_H , Q_{LE} e Q_G que é governado pelo tipo de superfície e pela capacidade de transferência de calor do solo e da atmosfera. Em áreas de floresta primária, a componente do fluxo do calor do solo normalmente é desprezada do balanço de energia por ser muito pequeno, quando comparado aos Q_H e Q_{LE} . Nas áreas urbanas o Q_G é provavelmente o mais importante dos termos da Equação 1, especialmente para o estudo de microclimas.

$$Q^* = Q_H + Q_{LE} + Q_G \quad \text{Eq. 1}$$

⁷ Balanço de energia solar é

Figura 3 – Esquema do balanço de energia e uma superfície hipoteticamente ideal durante o dia e a noite.



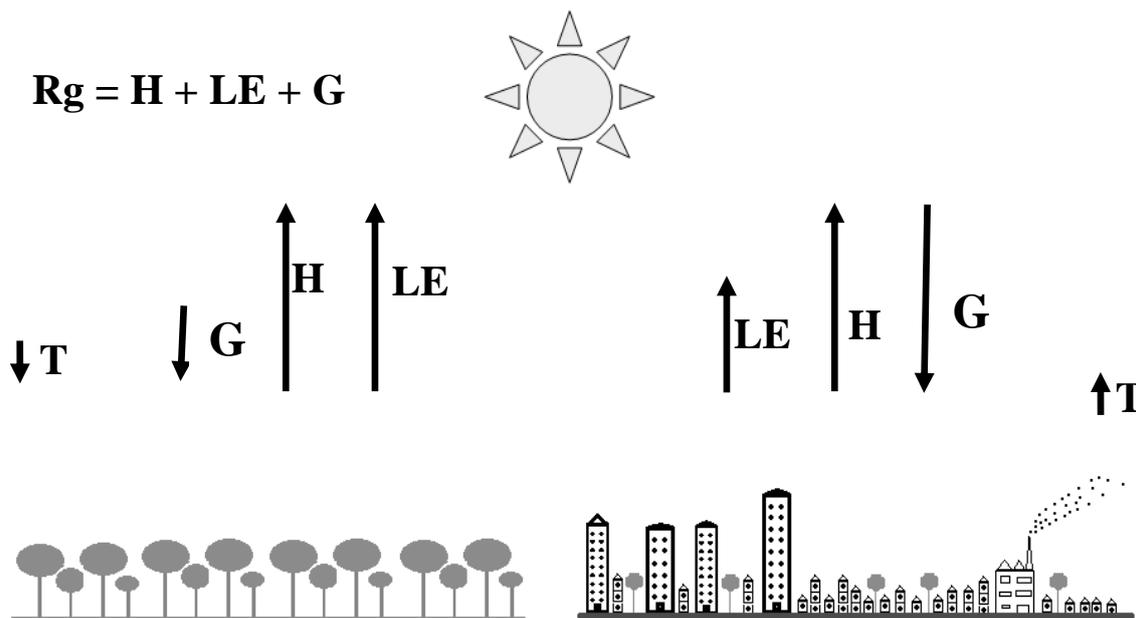
Fonte: Oke (1987).

As superfícies das áreas urbanizadas absorvem e armazenam mais energia do que nas áreas naturalmente vegetadas ou rurais, pois a combinação do efeito da geometria urbana e os materiais utilizados tornam o albedo⁸ e a capacidade térmica menor e a condutividade térmica maior do que nas áreas superfícies rurais (LANDSBERG, 1981). As áreas urbanas também contribuem com uma fonte extra de energia, que está associada às atividades antropogênicas (GRIMMOND, 1992).

Na Figura 4 temos ilustrado uma esquematização simplificada da partição do balanço de energia em uma área vegetada (rural) e em uma área urbana. Independentemente do tipo de ecossistema, a radiação solar que chega ao topo da atmosfera é igual, e a mesma será atenuada após sua passagem pela atmosfera, onde esse processo de atenuação ocorrerá basicamente por duas formas, por absorção e por dispersão. A dispersão pode ocorrer através dos processos físicos do espalhamento de Rayleigh e de Mie, que dependerão do tamanho das partículas em suspensão na atmosfera e dos seus constituintes (OMETTO, 1981; VIANELLO; ALVES, 1991; LIMA et. al., 2007). Neste exemplo, temos a radiação global (R_g) que será o somatório do fluxo de calor armazenado no solo (G), do calor sensível (H) e do calor latente (LE). As setas indicam o sentido dos fluxos enérgicos, assim como sua magnitude.

⁸ Albedo é uma medida da quantidade de radiação solar refletida por um corpo ou uma superfície, e é calculado como sendo a razão entre a quantidade de radiação refletida pela quantidade de radiação recebida. O albedo varia de 0 a 1, sendo que, quando ele é igual a 1 (um) equivale a uma reflexão total (toda a luz recebida é refletida), e quando seu valor é igual a 0 (zero) equivale a uma absorção total (a superfície se comportaria como um corpo negro). O albedo médio do Planeta Terra é de 0,39 (a Terra reflete 39% da luz solar recebida).

Figura 4 – Partição do Balanço de energia em uma área vegetada e na área urbana.



Fonte: Do autor.

1.1.2 Albedo

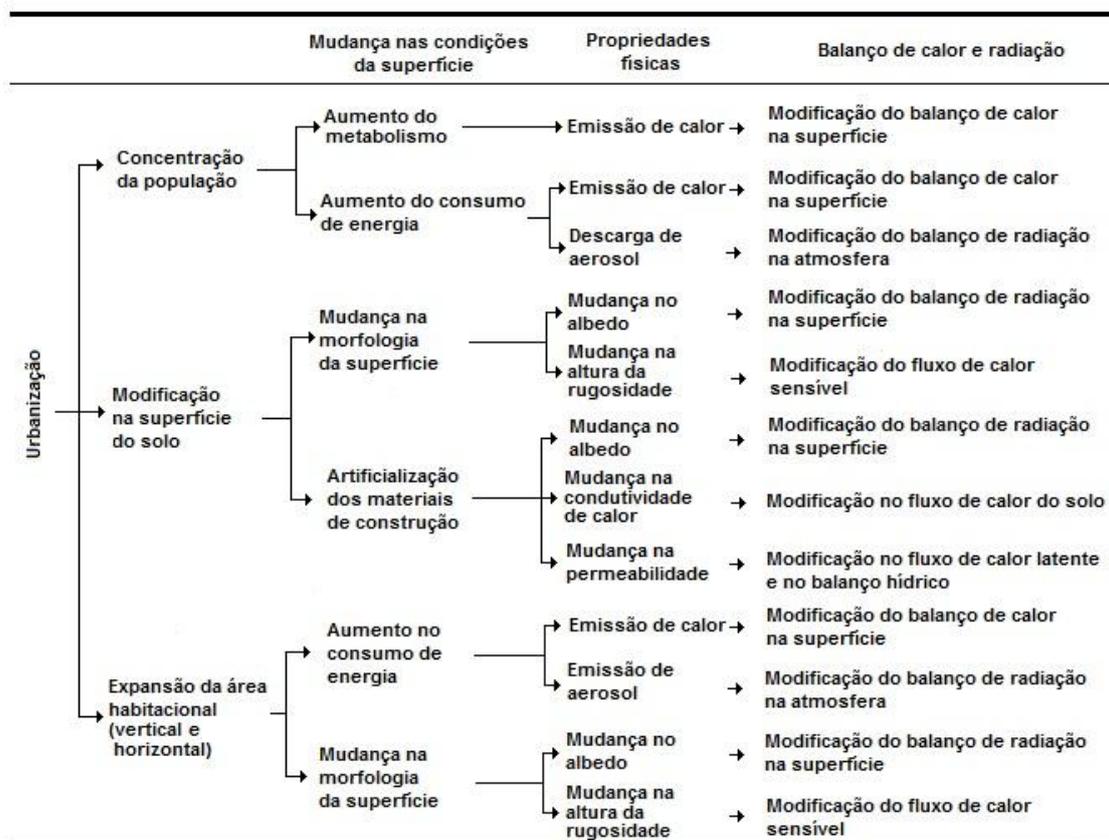
O albedo é um elemento importante em estudos relacionado ao balanço de radiação e energia, pois quando alterado, ele pode influenciar na degradação das condições do conforto térmico humano (BEZERRA et. al., 2011).

Segundo Yamashita (1988), as mudanças na morfologia da superfície vão modificar o albedo e a rugosidade da mesma, afetando diretamente o balanço de radiação e o fluxo de calor latente próximo ao solo. Como resultado dessas alterações, o balanço de radiação, o fluxo de calor do solo e o fluxo de calor latente são fortemente influenciados, sendo que a mudança de um elemento produz a alteração do outro, conforme exemplificado nas relações mostradas na Tabela 1.

A mudança no balanço energético em uma região influenciará na quantidade de energia disponível para o aquecimento, podendo fazer com que o calor sensível⁹ (H) aumente, devido à propriedades dos materiais utilizados. O aumento do calor sensível implicará em uma maior produção de calor e, conseqüentemente, de desconforto térmico.

⁹ Calor sensível é a quantidade de calor responsável pelo aquecimento ou resfriamento de um corpo.

Tabela 1 – Modificações causadas no balanço de radiação e energia proporcionadas pela urbanização.



Fonte: Yamashita (1988).

O albedo de uma superfície (α) é uma propriedade fundamental que vai determinar diretamente a absorvidade¹⁰ da mesma. Essa propriedade está relacionada diretamente com a cor da superfície, e pode ser facilmente alterada, com um tratamento específico da mesma. Um maior albedo reduz a absorção da radiação, fazendo com que essa superfície absorva menos calor (OKE, 1987).

Nas pesquisas sobre ilhas de calor, este fator é importante, pois algumas mudanças no albedo podem equilibrar os efeitos causados pelo aquecimento. O albedo dos materiais construtivos é calculado levando em consideração o espectro eletromagnético da luz visível e das radiações infravermelha e ultravioleta, já que ambos influenciam no microclima urbano. Na Tabela 2 temos alguns valores médios de

¹⁰ É o processo no qual a energia luminosa incidente é retida por uma dada substância. A radiação absorvida é então transformada em energia molecular.

albedos de diversas superfícies e na Figura 5 temos ilustrado o albedo de materiais encontrados frequentemente em áreas urbanas.

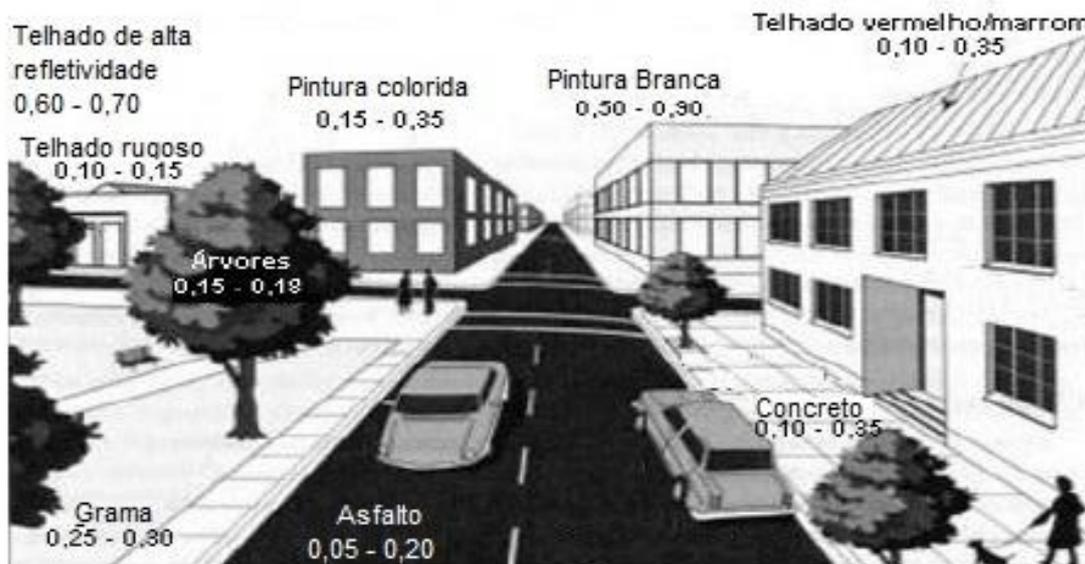
Existe uma iniciativa no município de São Paulo-SP, cuja Câmara Municipal tramita um Projeto de Lei, que todos os telhados da cidade devem ser pintados de branco, que é uma cor com alta refletividade. Essa ideia parte do princípio físico de aumentar o albedo dessas superfícies para amenizar o aquecimento destas e tentar reduzir a intensidade do fenômeno da ilha de calor urbana. Um estudo desenvolvido por Levinson e Akbari (2010), para diversas cidades dos Estados Unidos mostrou que o uso de telhados pintados com uma cor de alta refletividade, como a cor branca, pode reduzir a temperatura do ar de 2,0°C a 3,0°C, além de reduzir os custos com refrigeração em até 20%, sendo esta uma ação simples que trás benefícios econômicos e a qualidade ambiental.

Tabela 2 – Albedo de alguns tipos de superfícies.

Superfícies	Comentários	Albedo (α)
Solo	Escuro, úmido	0,05
	Claro, seco	0,40
Deserto	-	0,20 – 0,45
Grama	Alta (1,0 m)	0,16
	Baixa (0,02 m)	0,26
Plantações, tundras	-	0,18 – 0,25
Pomares	-	0,15 – 0,20
Florestas decíduas	Sem folhas	0,15
	Com folhas	0,20
Coníferas	-	0,05 – 0,15
Água	Ângulo zenital pequeno	0,03 – 0,10
	Ângulo zenital grande	0,10 – 1,00
Neve	Antiga	0,40
	Nova	0,95
Gelo	Mar	0,30 – 0,45
	Geleira	0,20 – 0,40
Floresta Tropical Amazônica	-	0,08 – 0,11

Fonte: Oke (1987); Souza Filho e Ribeiro (2002).

Figura 5 – Albedos de materiais encontrados frequentemente em áreas urbanas.



Fonte: NASA.

1.1.3 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é o movimento ininterrupto da água entre os oceanos, os continentes e a atmosfera, sendo este movimento alimentado pela força gravitacional e a energia solar, que geram a precipitação pluvial e a evaporação da água, respectivamente. Na atmosfera, na forma de nuvens, água pode precipitar atingindo os continentes e oceanos. Nos oceanos a água oriunda da atmosfera através da precipitação pluvial soma-se a da superfície dos oceanos e que fica disponível para evaporar retornando a atmosfera. Nos continentes a água pode infiltrar e percolar¹¹ no solo, evaporar retornando para a atmosfera, congelar formando camadas de gelo no cume das montanhas e escoar sobre a superfície, quando a precipitação é superior à capacidade de infiltração e percolação de mesma no solo, fato este que ocorre com maior frequência nas áreas urbanas.

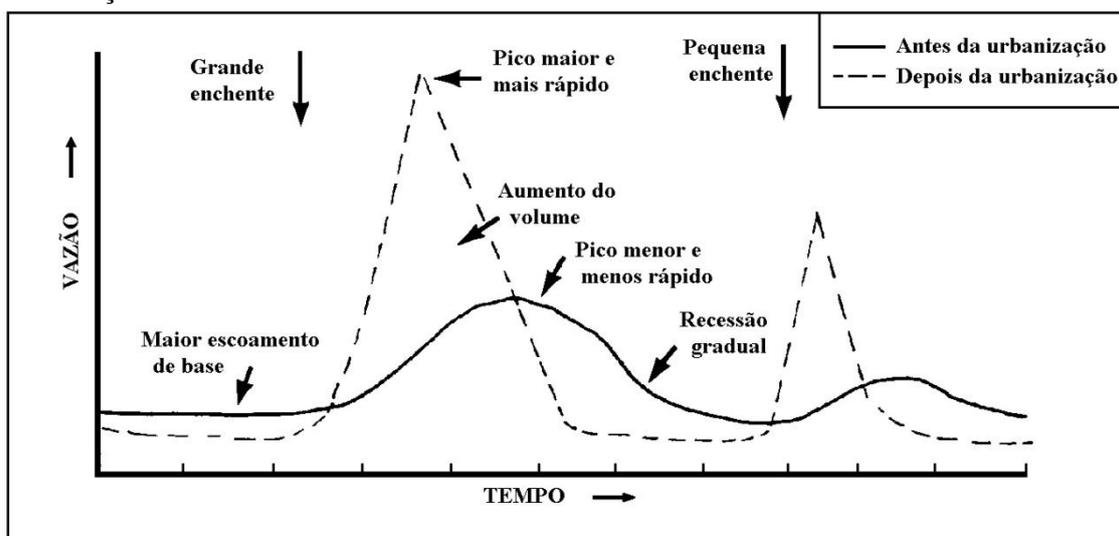
O processo de urbanização desordenado causam graves impactos no ciclo hidrológico na área urbana, pois alteram acentuadamente a drenagem aumentando os riscos de enchentes e trazendo riscos a saúde humana (BENINI, 2005). De acordo com Tucci (2003), os principais efeitos do processo de urbanização são: o aumento do escoamento superficial e a redução do tempo de escoamento causando o aumento das vazões máximas e antecipando o pico da cheia (Figura 6); a redução do escoamento

¹¹ Refere ao fenômeno de deslocamento da água lentamente através do solo ou rochas.

subterrâneo (Figura 7); a redução dos processos de evapotranspiração e de infiltração de água no solo.

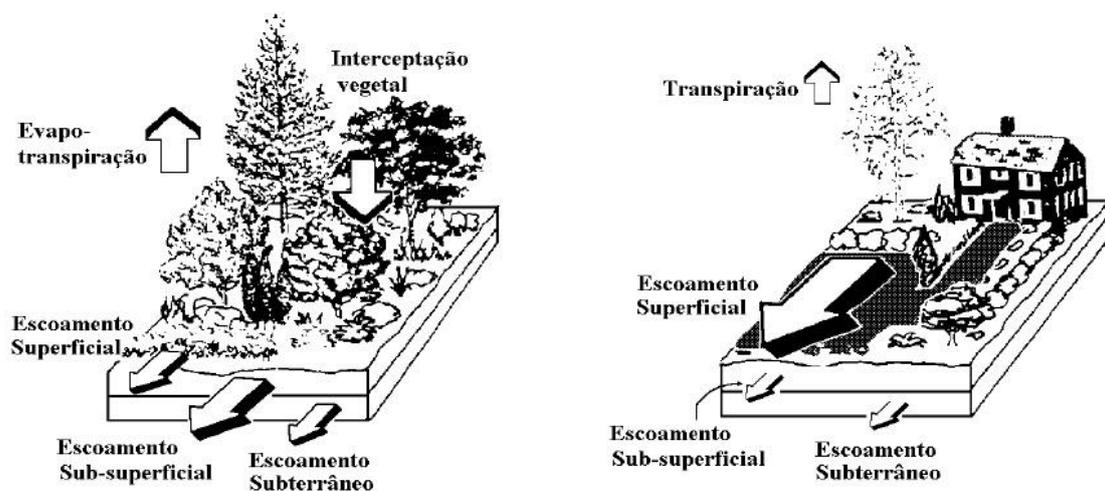
Segundo Santos (2010), o processo de ocupação do solo urbano desordenado desencadeia alterações hidrológicas, principalmente, por reduzir a capacidade de o solo reter a água das chuvas por meio da infiltração. Quando esse componente do ciclo hidrológico é comprometido, a tendência é que a região fique mais suscetível aos rigores do clima, principalmente, dos eventos de inundações urbanas.

Figura 6 – Aumento das vazões máximas e antecipação do pico das cheias devido a urbanização.



Fonte: Tucci, (2003).

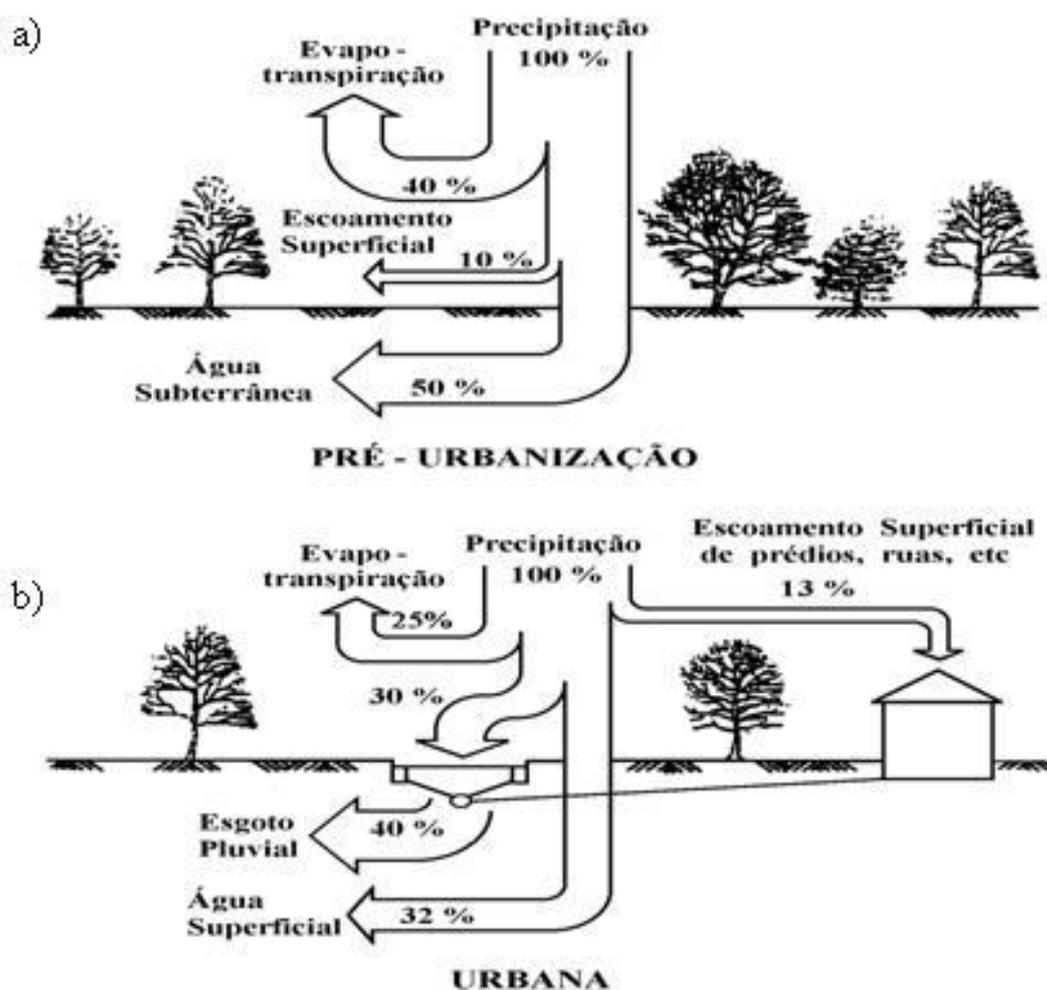
Figura 7 – Balanço hídrico típico em uma área urbana.



Fonte: Tucci (2003).

Na Figura 8, temos ilustradas as características do balanço hídrico de uma bacia urbana em dois momentos: a) área pré-urbanização e b) área urbanizada. O solo, quando preservado em seu estado original, possui uma grande capacidade de absorção da água da chuva até um determinado limite, e após esse limite fica saturado. Ao se retirar a vegetação, boa parte dessa capacidade de infiltração é reduzida. No momento que o mesmo é coberto por calçamentos e edificações, essa capacidade praticamente se anula, aumentando a quantidade de água disponível para a superfície, que causa alagamentos acarretando em problemas econômicos, sociais e ambientais, conforme ilustrado na Figura 8a e 8b (TUCCI, 2003).

Figura 8 – Características do Balanço hídrico de uma bacia urbana. a) Área pré-urbanização. b) Área Urbana.



Fonte: Tucci (2003).

1.1.4 Vento em áreas urbanas

O vento é o deslocamento do ar no sentido horizontal, originário de gradientes de pressão, ou seja, da diferença de pressão entre duas áreas, deslocando-se da região com maior pressão para as de menor pressão. A intensidade e a direção dos ventos são determinadas pela variação espacial e temporal do balanço de energia na superfície terrestre, que causa variações no campo de pressão atmosférica, gerando os ventos (SILVA JUNIOR et. al., 2003).

Uma importante alteração causada pelo processo de urbanização no microclima das áreas urbanas são as alterações aerodinâmicas, que são provocadas pela rugosidade da superfície e que modificam o escoamento do vento. Uma boa ventilação na área urbana contribui para aumentar o conforto térmico humano, pois o vento é um dos responsáveis pela renovação do gradiente térmico daquele local. O modelo a ser adotado para o planejamento e construção em áreas urbanas deve levar em consideração esses fatores que interferem no microclima urbano (OKE, 1987; FROTA; SCHIFFER, 2001).

Nas regiões onde o clima¹² é quente e úmido a decisão para se construir e planejar futuras áreas a serem edificadas é bastante distinto das decisões adotadas em um clima quente e seco. Devido às variações térmicas não serem muito acentuadas, e para que exista a sensação de alívio térmico à noite, projetar a posição das edificações de modo a permitir a ventilação de todos os edifícios e de forma cruzada nos seus interiores seria a forma mais correta, conforme ilustrado na Figura 9a, devendo-se proteger as aberturas da radiação solar direta, de forma que não se bloqueie o vento. Isto significa que o partido arquitetônico¹³ deve prever construções alongadas no sentido perpendicular ao vento dominante. Com relação às ruas, as que estiverem situadas na posição perpendicular à direção predominante dos ventos devem ser mais largas, evitando que

¹² Em meteorologia é feita uma distinção entre o tempo e o clima. O tempo é o estado da atmosfera em um determinado momento e lugar, ou é o estado da atmosfera com relação aos seus efeitos sobre a vida e as atividades humanas. O clima é a síntese do tempo num determinado lugar para um determinado período de tempo. O Clima, se refere às características da atmosfera inferidas de observações contínuas durante um longo período, como por exemplo 30 anos (normal climatológica). Assim, o clima representa uma generalização, enquanto o tempo lida com eventos específicos.

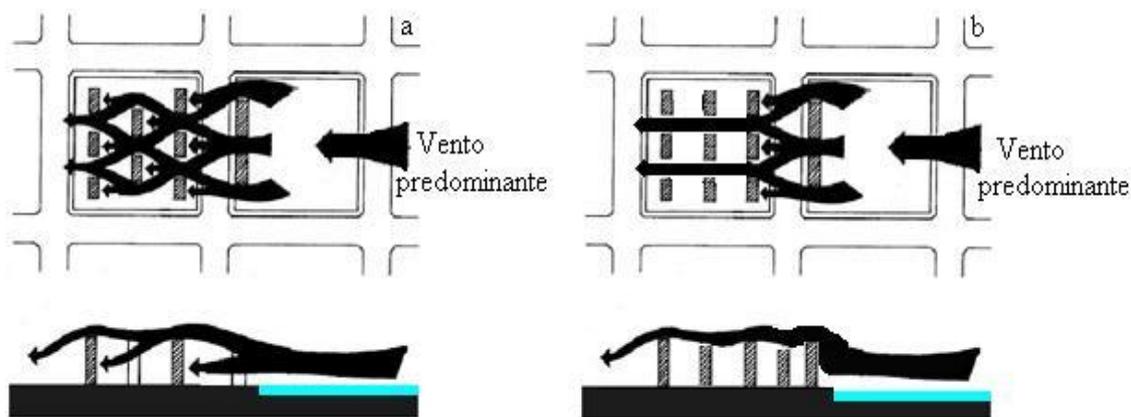
¹³ Conjunto de diretrizes gerais que serão determinantes para o projeto arquitetônico (planta do edifício, topografia do terreno, a orientação, o clima, e outras diretrizes definidas pelo arquiteto).

as construções situadas no lado oposto das ruas funcionem como obstáculos a circulação do vento.

Na Figura 9b, temos o padrão habitual dos projetos de edificações que, criando barreiras à ventilação, fazendo que o vento predominante seja canalizado entre as edificações. Quando ocorre a situação ilustrada na Figura 9a, temos uma melhor distribuição da ventilação nas edificações e conseqüentemente, um melhor conforto térmico no interior das mesmas devido a constante renovação do gradiente térmico daquele local, enquanto que no exemplo da Figura 9b, devido à canalização do vento entre as edificações, a renovação do ar entre os prédios fica reduzida, contribuindo para um maior desconforto térmico.

A vegetação também tem um papel importante na atenuação de temperatura, devido à sua folhagem que produz sombra e a participação nos processos de evapotranspiração. No entanto, a altura das copas da vegetação deve ser limitada para que não impeça a passagem dos ventos, funcionando como barreiras a circulação do ar.

Figura 9 – Esquema de ventilação urbana em climas úmidos. a) Posicionamento correto; b) Posicionamento habitual.



Fonte: Adaptado de Frota e Schiffer (2001).

De acordo com os obstáculos encontrados pelo vento, ele terá seu caminho preferencial para passar, o que exigirá o menor esforço. Na Figura 10, temos ilustrado diversos tipos de obstáculos que podem ser encontrados com frequência nas áreas urbanas.

Na Figura 10a, observamos o efeito canto, em que o vento ao passar por um objeto hipotético (ex. edifício) de formato cúbico, na face frontal (onde o vento incide primeiro) temos uma maior pressão do vento por ser impedido de passar e o mesmo é

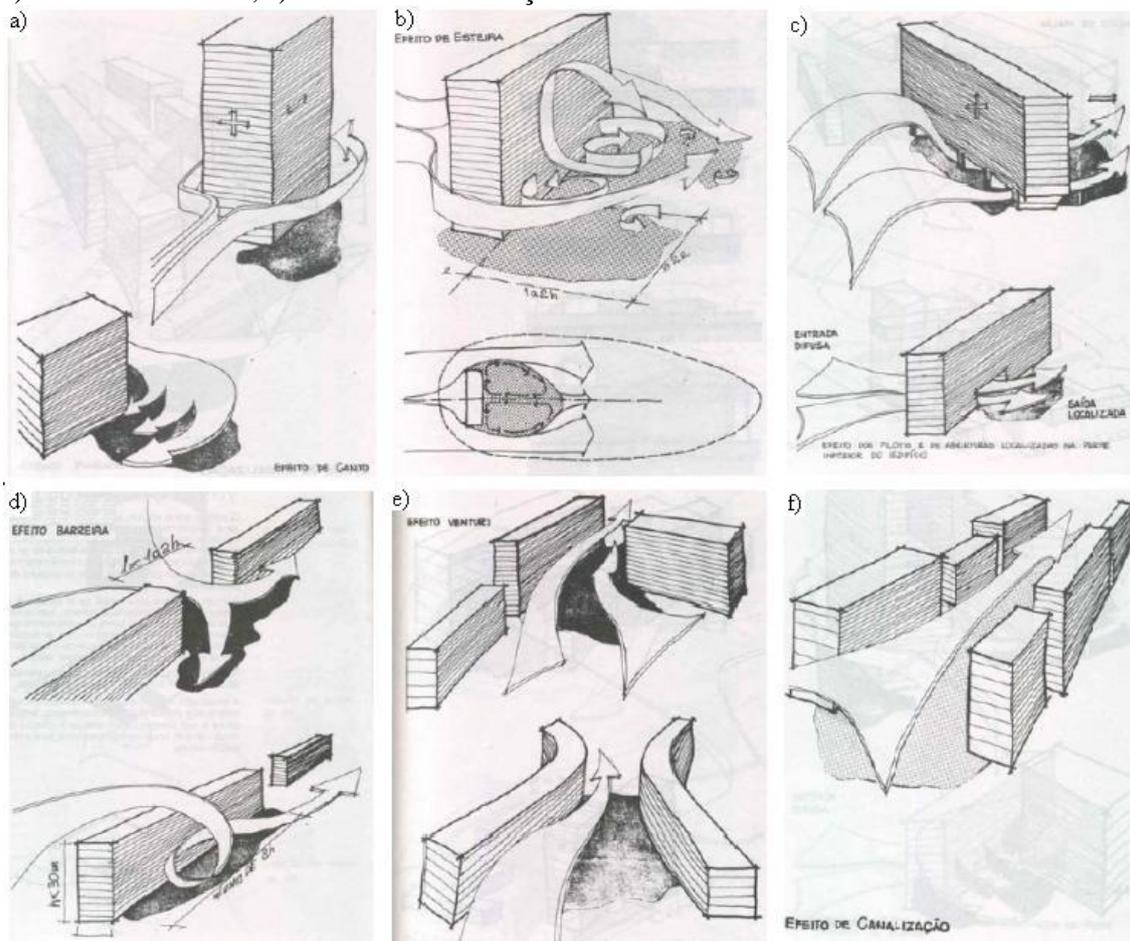
obrigado a desviar pelas laterais. Ao atingir o final da lateral o vento vai causar um efeito de turbulência nas proximidades da face de trás do objeto e a circulação do ar será menor, logo mais desconfortável termicamente com relação à face frontal, e à medida que se afasta da face de traz, a velocidade do vento vai tender a aumentar, proporcionando uma maior renovação do ar presente naquele local.

Na Figura 10b, temos exemplificado o efeito esteira, onde a edificação esta posicionada perpendicularmente à direção do vento predominante. Neste caso observa-se que após o vento contornar a edificação, na face oposta que o recebe diretamente, cria-se uma área com uma circulação bastante turbulenta próxima a edificação. Na Figura 10c, temos exemplificado o efeito piloti em uma edificação, onde o pavimento térreo é aberto. Esse padrão é comumente encontrado em prédios residenciais onde no andar térreo fica a garagem. Nestes casos, como a edificação cria uma barreira ao vento, boa parte deste vento passa por baixo da edificação, fazendo que esta área seja bastante ventilada. A pressão exercida pelo vento na face que o recebe diretamente é mais forte do que a da face oposta.

Na Figura 10d, temos exemplificado o efeito barreira, onde duas ou mais edificações estão posicionadas perpendicularmente à direção predominante do vento, fazendo que o mesmo ao passar entre as edificações intensifique e após essa passagem sua velocidade é reduzida, havendo uma distribuição na face posterior dos obstáculos. Na Figura 10e, temos exemplificado o efeito de Venturi, onde as edificações estão dispostas em um formado de “funil”, com um alinhamento paralelo a predominância do vento, e vai reduzindo a distancia entre as mesmas fazendo que o a velocidade do vento no ponto mais estreito seja maior do que nos outros pontos. Este efeito é explicado pelo princípio de Bernoulli e pelo princípio da continuidade da massa.

Na Figura 10f, temos exemplificado o efeito de canalização. Este efeito é muito comum ser encontrado nas grandes cidades, devido ao processo de edificação com pouco ou nenhum planejamento. Nesse exemplo, devido ao posicionamento das ruas serem paralelas à direção predominante do vento aliado com a construção de edificações altas em ambos os lados das ruas, o vento fica canalizado nesse espaço, que fica muito bem ventilado, e, no entanto atrapalha a ventilação das ruas perpendiculares do entorno.

Figura 10 – Alguns padrões de escoamento do vento de acordo com as características urbanas. a) efeito de canto; b) efeito de esteira; c) efeito de piloti; d) efeito de barreira; e) efeito de Venturi; f) efeito de canalização.



Fonte: Shimomura (2008).

O campo de vento na camada limite atmosférica¹⁴ é amplamente controlado pelo arraste da fricção imposta pela superfície e essa fricção do ar na superfície é responsável pela redução de sua velocidade neste nível. Não havendo efeitos térmicos fortes, a rugosidade superficial será responsável pela sua redução em superfície. Na Figura 11 está ilustrado um exemplo do perfil vertical do vento para três situações distintas.

Na área aberta, com pouca ou nenhuma rugosidade e com poucos efeitos térmicos, o topo da camada limite atmosférica¹⁵ (Z_g) encontra-se abaixo de 300 m de altura, ou

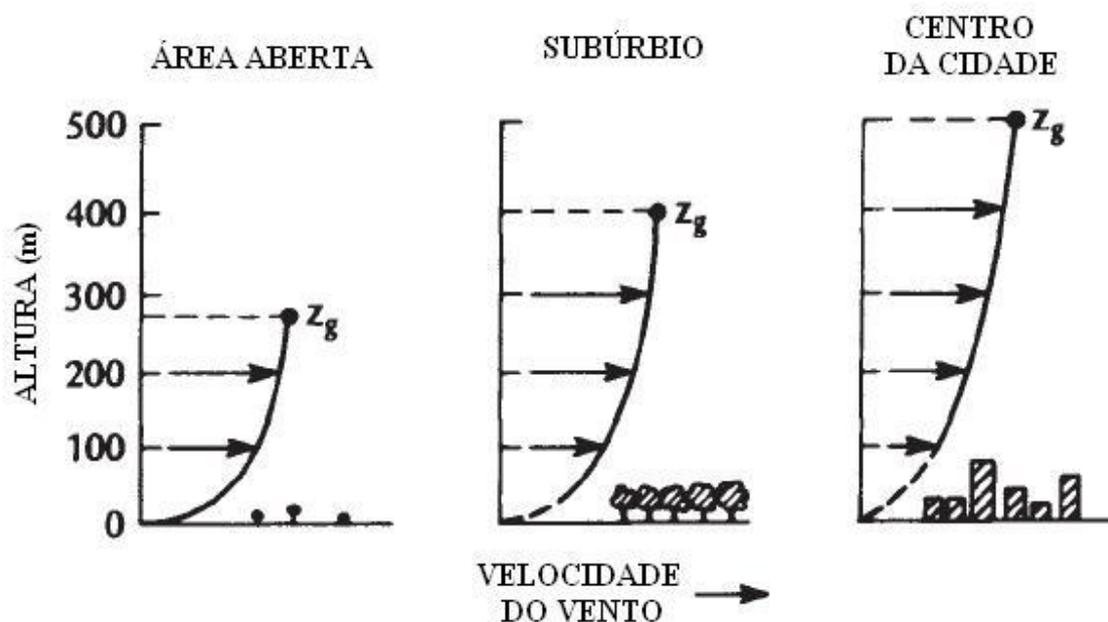
¹⁴ Camada Limite Atmosférica (CLA) é a parte baixa da atmosfera que atua como ligação entre a superfície e a atmosfera livre. A CLA efetua transportes verticais de energia, momentum e propriedades escalares que, por sua vez, agem modificando a dinâmica e a termodinâmica das circulações, devido a influenciadas características da superfície e, de modo inverso, nos fluxos turbulentos de superfície (FISCH et al., 2004).

¹⁵ Topo da camada limite atmosférica é a parte superior da CLA que faz divisa com a atmosfera livre (parte da atmosfera que não sofre o efeito da rugosidade da superfície).

seja, é uma área onde existe uma boa ventilação na superfície, que dissipa o calor com mais eficiência, através da renovação do gradiente de ar local por outros advindos das vizinhanças. Na área do subúrbio, o topo da camada limite atmosférica foi encontrado em aproximadamente 400 m de altura, devido à presença de rugosidade e efeitos térmicos moderados. Devido aos efeitos da rugosidade produzidos por esse tipo de superfície, essa região será menos confortável termicamente do que uma área que seja aberta com pouca rugosidade.

No centro da cidade, o topo da camada limite atmosférica foi encontrado a 500 m de altura, devido à sua maior rugosidade da superfície e de fortes efeitos térmicos. Esse efeito causado pela rugosidade favorece a redução da velocidade do vento na superfície, assim como a dissipação do calor e da poluição atmosférica sobre os centros urbanos. Este fenômeno é bastante comum nas grandes cidades, principalmente quando temos no entorno do centro urbano uma área industrial desenvolvida emissor de poluentes atmosféricos, como existe na cidade de São Paulo. Na vertical, após o topo da camada limite atmosférica, temos um escoamento predominantemente laminar, sem o efeito da rugosidade e de perturbações da superfície (OKE, 1987).

Figura 11 – Perfil vertical do vento em três áreas com tipos de cobertura distintas.



Fonte: Oke (1987).

O conforto térmico ao qual uma população está submetida afeta diretamente no seu modo de vida, pois o corpo humano funciona de modo similar a uma máquina, que

possui uma temperatura ótima para seu melhor rendimento. Quando o corpo é submetido a um estresse térmico, seja por frio ou calor, o rendimento é reduzido para que o mesmo tente reestabelecer a sua faixa de temperatura ótima para o seu correto funcionamento, que é entre 36,1 °C e 37,2°C (FROTA; SCHIFFER, 2001).

A ISO 7733 definiu conforto térmico como “um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa”. O estresse térmico está associado com a combinação das seguintes condições: temperatura e umidade do ar; quantidade de radiação solar, atividade física exercida no momento e das vestimentas utilizadas. As variáveis para se obter um pleno conforto térmico são diversas e esse desafio levou os estudiosos a desenvolverem os índices de conforto térmico. Os índices de conforto térmico podem ser biofisiológicos ou subjetivos, onde o primeiro leva em consideração as trocas de calor do corpo e nas reações fisiológicas do mesmo e o segundo se baseia nas sensações subjetivas de conforto térmico experimentado pelos indivíduos (FROTA; SCHIFFER, 2001). Por exemplo, de acordo com Yaglou (1947), um indivíduo trabalhando em uma temperatura de 21°C poderia produzir duas vezes mais do que outro exposto à temperatura de 34°C, devido às condições térmicas e fisiológicas de seu organismo, que se comporta como uma máquina.

1.2 BREVE PANORAMA DA EVOLUÇÃO HISTÓRICA, POPULACIONAL E GEOGRÁFICA DA OCUPAÇÃO DE BELÉM.

A cidade de Belém nasce quando a Coroa Portuguesa exerce um grande esforço e ofensiva no intuito de consolidação do domínio do território amazônico, e neste momento temos a construção do Forte do Castelo no ano de 1616, que é um marco histórico-arquitetônico da fundação de Belém, que ocorreu em 12 de janeiro do mesmo ano. A cidade de Belém, devido à sua importância histórica e privilegiada localização geográfica, foi um ponto de apoio fundamental para a conquista da Amazônia (DIAS; DIAS, 2007; PONTE 2003).

Em 1803 iniciaram-se as obras de aterragem do Igarapé Piri e o seu alagado, integrando assim os bairros da Cidade com o da Campina. Com o passar do tempo e o crescimento da cidade, a mesma começou a crescer pelas margens da baía do Guajará, na direção da ponta do mel, atualmente a Vila de Icoaraci (PONTE, 2003).

Na segunda metade do séc. XIX a Amazônia começa a desenvolver-se devido à extração da borracha, por motivo da subida do seu preço nos mercados europeus e

americano. No auge do ciclo da borracha a cidade de Belém teve um maior desenvolvimento com a implantação de alguns serviços públicos, principalmente no governo do Intendente Antônio Lemos, que durou de 1897 até 1912. Foram criados na cidade os serviços de iluminação pública, serviços de esgoto, de bondes elétricos, calçamento de vias, etc. Nesse período houve uma consolidação da expansão da cidade na direção do atual bairro do Marco, que foi planejado dentro do limite da 1ª Léguas Patrimonial. Com o surgimento dos núcleos agrícolas na região Bragantina e de Ananindeua, a chegada de mão de obra nordestina e a facilidade de escoamento da produção através da construção da Estrada de Ferro de Bragança, houve um grande aumento demográfico, o maior da região Amazônia na época. Como efeito do crescimento local surgiram em Belém indústrias de tecelagem, doces, fumo, curtumes, sabão e etc. que se instalaram, principalmente, no atual bairro do Reduto (PONTE, 2003; RODRIGUES, 1996).

No final do século XIX, foram comuns intervenções urbanísticas nas grandes cidades, baseando-se no modelo da cidade de Paris, que possuía ruas largas, iluminação pública e áreas verdes, e com Belém não foi muito diferente.

Com o aumento da riqueza, houve um acréscimo populacional acentuado entre os anos de 1872 e 1920 de, aproximadamente, três vezes e meia a quantidade da população (Figura 12). Ainda no governo de Antônio Lemos, foi encomendado um planejamento para os novos bairros, na área de expansão da 1ª Léguas patrimonial (BASSALO; NASCIMENTO, 2002).

Durante o governo do Presidente Juscelino Kubichek (1955-60), o Governo Federal preocupado em ocupar melhor o território na região Amazônica, iniciou um processo para um maior desenvolvimento desta região através do Plano de Desenvolvimento Nacional (PDN), com a construção de Brasília. No final do ano de 1960 os governos militares dedicaram especial atenção à ocupação estratégica da Amazônia, uma região extensa e pouco conhecida, devido à sua grandiosidade e enormes distâncias, que mantinham seus núcleos urbanos praticamente isolados do restante do país. Durante este período foram criados instrumentos¹⁶ com o objetivo de assumir o controle dessa região, palco de ações de movimentos revolucionários e supostamente alvo da cobiça internacional, e grande mudanças começaram a ocorrer na região, como a implantação de grandes projetos de mineração, hidroelétricas, abertura

¹⁶ Incentivos dados pelo governo da época para migração populacional para a região Amazônica.

de estradas, etc. com intuito de desenvolver economicamente a região Norte do Brasil (MARTINS, 1982).

Após a abertura e inauguração da BR-010 (Rodovia Belém-Brasília), a penetração e colonização da região ficaram mais fáceis, já que o transporte aéreo e por embarcações faziam a integração desta região ao centro sul do país. No período entre 1960 e 1991 a população urbana de Belém cresceu mais que a população total da região, com um total aproximado de 130% (KAMPEL et.al., 2001).

Com o crescimento populacional das áreas urbanas, em que muitas vezes sua infraestrutura já está no limite, as condições ambientais ficaram esquecidas, pois a luta cotidiana pela sobrevivência tinha mais importância, o que causa um declínio na qualidade de vida e no ambiente urbano, e diversos desses problemas estarão ligados, diretamente ou indiretamente ao clima dessas áreas urbanas (OKE et. al., 1991)

Segundo Rodrigues (1996), nos últimos séculos, os índices de crescimento populacional em Belém foram superiores à média nacional. Este processo gera a ocupação do espaço intra-urbano causando danos ambientais através da mudança das características da cobertura do solo, principalmente, através da supressão vegetal para dar espaço a edificações e áreas pavimentadas, modelo este classificado como irracional pelo o autor.

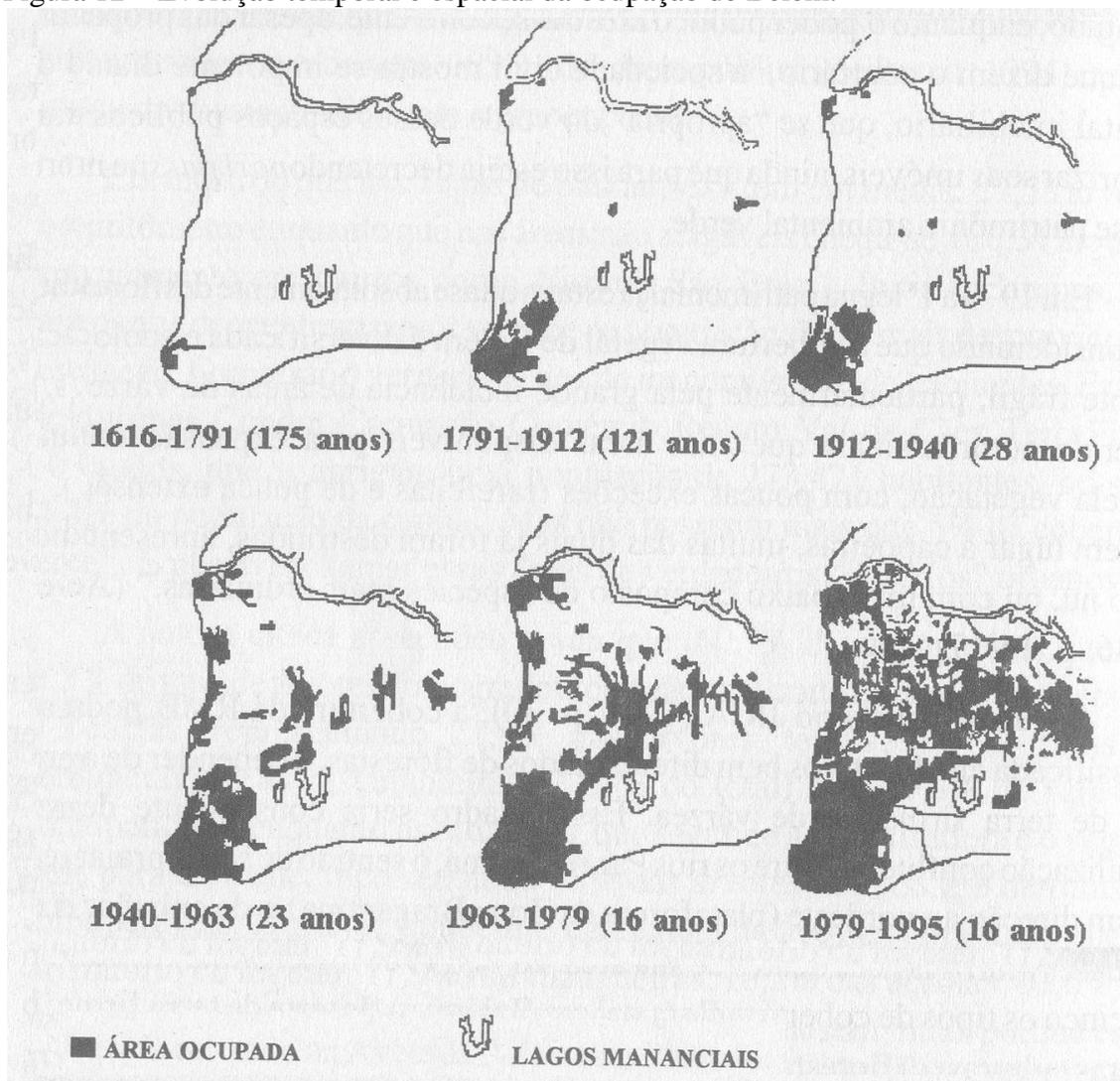
Na Figura 12 temos ilustrado a evolução temporal e espacial da ocupação de Belém em seis momentos diferentes. No primeiro período entre 1616 e 1791, a área ocupada foi apenas no entorno do Forte do Castelo devido às dificuldades enfrentadas na época, tanto de ordem logística e financeira para transpor as áreas de várzea. Nessa época, mais exatamente em 1637 a população de Belém era de 130 habitantes, sendo oitenta moradores e cinquenta soldados (AMARAL, 2010).

No segundo período entre 1791 e 1912, com o crescimento populacional e o aumento das riquezas, houve uma maior expansão da área urbana para as áreas mais elevadas, onde os bairros foram planejados até a 1ª Léguas Patrimonial, com base nos moldes de cidades europeias. No terceiro período (1912 – 1940), após o governo do Antônio Lemos, a expansão da área urbana foi menor, em direção as margens da Baía do Guajará.

No quarto período (1940-1963), houve uma maior expansão territorial devido ao aumento populacional, que foi de aproximadamente 90%. Esse crescimento se dá

devido à crise da economia gomífera¹⁷ no pós-guerra, onde as populações dos seringais migraram para os polos urbanos próximos, principalmente Belém. No quinto período (1963 a 1979), se observa o crescimento nas áreas mais elevadas após a 1ª Léguas Patrimonial, principalmente, no entorno dos eixos da Avenida Tito Franco (atual Avenida Almirante Barroso) e da Estrada do Maranhão (atual BR-316), com ramificações no seu entorno. No sexto período (1979-1995) houve um crescimento populacional de aproximadamente 24% (~295 mil habitantes).

Figura 12 – Evolução temporal e espacial da ocupação de Belém.



Fonte: Rodrigues (1996).

¹⁷ Economia baseada no extrativismo da borracha dos seringais.

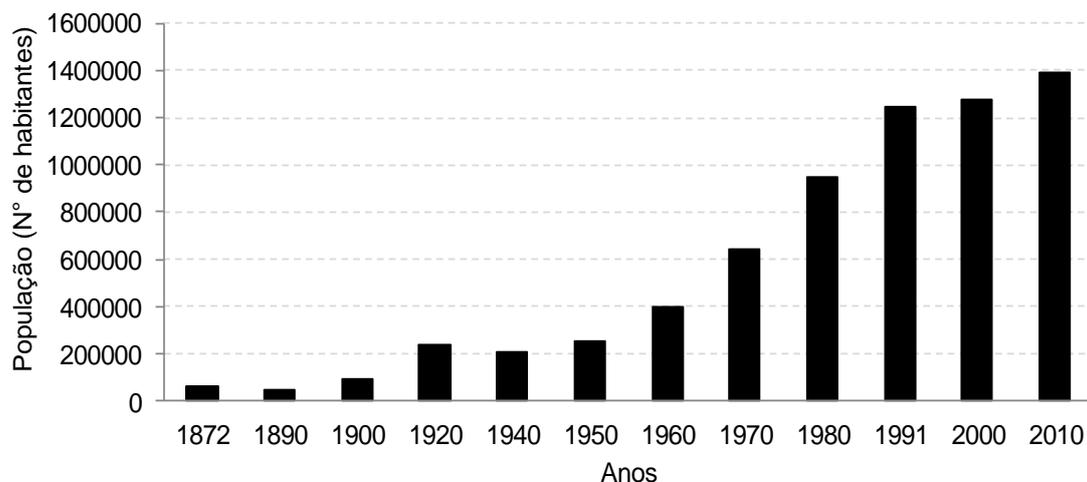
Segundo Hogan (2001), um rápido processo de urbanização reflete tanto a diminuição progressiva do potencial agrícola para absorver migrantes, como sinaliza a existência de um contingente de trabalhadores sub empregados ou desempregados, que migraram para a região urbana pois não foram fixados no campo. Ao mesmo tempo em que houve o crescimento populacional em Belém, no período de 1616 até o presente, a pressão sobre os recursos naturais da cidade também aumentou, com uma drástica redução as áreas verdes, substituição das superfícies por concreto, mudanças nos corpos hídricos e alterações do campo térmico da cidade (BRASIL, 1995; RODRIGUES, 1996).

Nos anos 2000 o município de Belém apresentou uma tendência de estabilização do seu crescimento populacional, enquanto que os outros 4 municípios de sua região metropolitana (Ananindeua, Marituba, Benevides e Santa Bárbara do Pará) cresceram intensamente na última década, e no município de Ananindeua o incremento populacional chegou a um valor médio de 12% ao ano. No período de 2000 a 2007 a cidade de Belém crescem, aproximadamente, 2% ao ano. Basicamente, o crescimento urbano faz-se por aumento vegetativo¹⁸, migrações e incorporação de áreas anteriormente classificadas como rurais (KAMPEL, 2004; RODRIGUES, 2007).

Devido ao crescimento da urbanização em todo o mundo durante o século 20, a importância da climatologia urbana torna-se cada vez mais evidente. O Gráfico 1 mostra o crescimento da população do município de Belém de 1872 a 2010. Em termos relativos, o processo é semelhante ao de qualquer outro país em desenvolvimento. A população urbana de Belém cresceu de quase 62 mil habitantes em 1872, para quase 255 mil habitantes em 1950, um crescimento de 75,7%. De 1950 até 2010 esse crescimento foi de 81,7% com um total de 1.393.399 habitantes (IBGE, 2010).

¹⁸ Aumento vegetativo é quando o número de nascimentos subtraído do de óbitos é positivo e crescente, ou seja, é crescimento da população.

Gráfico 1 – Crescimento da população residente no município de Belém no período de 1872 a 2010.



Fonte: IBGE (2010).

A ocupação do território urbano em Belém se deu por três tipologias mais frequentes que foram as favelas, a verticalização e os conjuntos habitacionais (RODRIGUES, 1996). Segundo Ferreira (2004), a definição de favela é “conjunto de habitações populares toscamente construídas e com recursos higiênicos deficientes”.

O problema do déficit habitacional e das condições precárias do espaço urbano em Belém ocorre desde a época do ciclo da borracha, onde os trabalhadores moram segregados espacialmente, além de serem excluídos socialmente, e as classes de alta renda vivem em melhores condições, desfrutando da melhor parte da infraestrutura da cidade (RODRIGUES, 1996). Para Campos Filho (1992), a distribuição da população nas áreas urbanas segue uma regra básica, que segundo a qual “quem tem maior poder aquisitivo melhor se localiza na cidade”.

De acordo com Rodrigues (1996), historicamente em Belém, as camadas de baixo poder aquisitivo seguiram duas trajetórias de segregação, sendo a primeira, indo para as áreas alagáveis nas proximidades do centro, cujas condições de vida são deploráveis, e a segunda no sentido da periferia geográfica no sentido nordeste.

Devido ao déficit habitacional das últimas décadas na cidade de Belém, as áreas de baixadas sofreram uma ocupação informal por famílias de baixa renda (BASSALO; NASCIMENTO, 2002).

Segundo Oliveira (1992), o processo de verticalização em Belém, tem se intensificado a partir da década de 50 na 1ª légua patrimonial, ocupando inclusive áreas de favelas, devido ao avanço tecnológico na área da construção civil. Em Belém alguns

bairros são bastante verticalizados e outros estão passando por um processo de verticalização, como os bairros do Marco e da Pedreira. Oliveira (2005) verificou novas tendências na verticalização de Belém, entre elas a elevação da altura das edificações e o aumento da densidade de edifícios em determinadas áreas da cidade.

Segundo Trindade Junior (1998), Belém é uma cidade marcada por ambiguidades e contrastes, com um lado moderno e sofisticado, e o outro lado de baixa renda com o crescimento da favelização e a insuficiência de serviços. Devido ao seu tamanho territorial reduzido, o espaço urbano vem passando por uma reestruturação espacial, com o processo de valorização do solo, que vem gerando a verticalização, e também, deslocando a população que residia anteriormente naquele espaço para as periferias. Essas novas áreas de expansão (periféricas) também sofrem com a precariedade dos serviços básicos de infraestrutura e de organização.

O aumento da verticalização e da densidade de edifícios nas últimas décadas em determinadas áreas da cidade contribuiu com o aumento da seletividade social, devido aos altos padrões das construções, e da instalação de equipamentos urbanos¹⁹ nestas áreas, o que vem causando uma supervalorização imobiliária. Segundo o mesmo autor, esse comportamento tende a segregação sócio-espacial dessas áreas, com uma maior concentração das classes sociais alta e média alta, o que corrobora com os estudos desenvolvidos por Cardoso et. al., (2006) e Cardoso (2007).

1.3 A CLIMATOLOGIA DA CIDADE E OS LOCAIS DE COLETA DE DADOS MICROMETEOROLÓGICOS

1.3.1 A climatologia da cidade

O clima em Belém, segundo a classificação de Köppen (1900-1936) é do tipo Am, ou seja, clima tropical chuvoso de monção. No Gráfico 2 temos as médias mensais climatológicas da temperatura do ar (a), da precipitação pluvial (b), da umidade relativa do ar (c), da evaporação (d), do brilho solar (e) e da nebulosidade (f). A média anual da temperatura do ar é de $26,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, com máximas e mínimas variando de $31,5 \pm 0,7$ a $22,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente, durante o ano. A pluviosidade média anual é de 2.858,7

¹⁹ Equipamentos urbanos, segundo a NBR 9284, é um termo que designa todos os bens públicos ou privados, de utilidade pública, destinado à prestação de serviços necessários ao funcionamento da cidade, implantados mediante autorização do poder público, em espaços públicos e privados.

$\pm 76,6$ mm/ano com maior volume no período chuvoso (dezembro a maio), correspondendo a 71,2% do total anual, e os 28,8% restantes relacionados ao período menos chuvoso (Junho a Novembro). A média da umidade relativa do ar é de $85,8 \pm 2,8$ %, com valores maiores na época chuvosa (91%) e os menores ocorrendo na época menos chuvosa (83%). A média anual da evaporação²⁰ total é 771,6 mm, com valores médios máximos e mínimos de 83,6 mm/mês ocorrendo em agosto e 38,5 mm/mês em fevereiro, respectivamente. O brilho solar²¹ nos diz a quantidade total de horas em que há incidência direta dos raios solares sobre a superfície, e é registrado com um heliógrafo. Em média, o brilho solar é de 185 horas.mês⁻¹, sendo que na época chuvosa a média de horas de brilho solar é de 137,7 horas.mês⁻¹, correspondendo a 37,2% do total anual e no período menos chuvoso a média é de 232,3 horas.mês⁻¹, correspondendo a 62,8% do total anual. A nebulosidade é estimada em décimos, ou seja, divide-se a abóboda celeste em dez partes e se estimam quantas dessas partes possuem nebulosidade. A média anual da nebulosidade para a Cidade de Belém é de 7/10, sendo os valores mínimos e máximos de nebulosidade aproximadamente, 5/10 e 8/10, respectivamente (BRASIL, 2009).

Alguns sistemas atmosféricos atuam na região, gerando grandes quantidades de chuvas e modulando o clima no local. Os principais sistemas atuantes na região são a Zona de Convergência Intertropical²² (ZCIT), os Ventos Alísios, as Ondas de Leste²³ (OL), as Linhas de Instabilidades²⁴ (LI), Sistemas de Brisas Marítimas, Complexos

²⁰ A evaporação significa a passagem da umidade, em sua forma líquida ou sólida, para o estado gasoso.

²¹ Brilho solar é o número de horas em que a luz solar incide diretamente em uma superfície.

²² A Zona de Convergência Intertropical é uma área onde os ventos dos Hemisférios Norte e Sul, convergem geralmente, localizados a 10 graus de latitude entre o norte e o sul do Equador. É uma extensa área de baixa pressão atmosférica onde, tanto o efeito Coriolis (é uma força que também atua na atmosfera, no sentido perpendicular ao movimento, que desvia levemente o movimento para esquerda no Hemisfério Sul e para direita no Hemisfério Norte) como o declínio da baixa pressão atmosférica estão enfraquecidos permitindo, ocasionalmente, a formação de perturbações tropicais. Nesta região forma-se uma estreita faixa de nuvens onde se encontram os ventos alísios dos dois hemisférios, que influem diretamente nas chuvas da Região Norte.

²³ As Ondas de Leste são oscilações nos campos de pressão e vento, que se encontra em fase na superfície, na frente do cavado (é uma região alongada de uma relativa baixa pressão num plano horizontal. Na região de cavado as linhas de pressão não são fechadas. As linhas de pressão abertas apresentam uma ondulação para o lado das altas pressões) há características de bom tempo e na retaguarda há predominância de mau tempo, causando grande quantidade de precipitação.

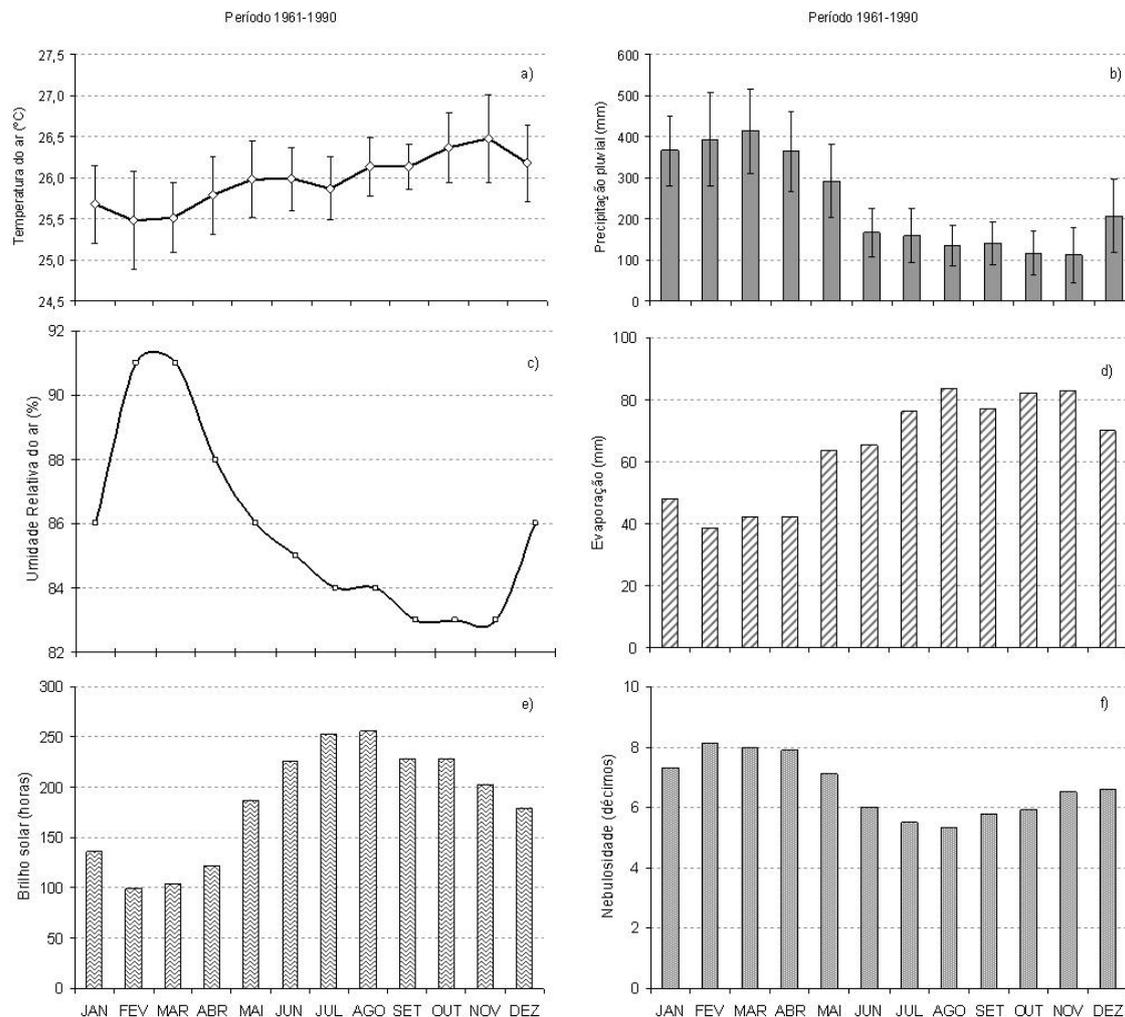
²⁴ A Linha de Instabilidade é uma linha mais ou menos interrompida de nuvens cumulonimbus, com tempestades e trovoadas com um deslocamento retilíneo. Em geral é mais duradoura que uma rajada de vento, ocorrendo com a passagem de um eixo de cavado, e assim que este passou,

Convectivos de Mesoescala²⁵ (CCM) e de grande escala, muitas vezes associados à penetração de Sistemas Frontais nas regiões S e SE do Brasil que interagem com a Região Amazônica ativando a convecção na região (MOLION, 1987; FISCH, et. al., 1996, 1998).

o vento muda rápido com uma violenta rajada, a temperatura cai de modo súbito, acompanhada por pancadas de chuva e granizo e muitas vezes, por relâmpagos e trovões. O vento pode aumentar abruptamente de calmo até 20 a 30 nós.

²⁵ O CCM é um conjunto de nuvens cumulonimbus cobertos por uma densa camada de cirrus que podem ser facilmente identificados em imagens de satélite devido a seu formato aproximadamente circular e com um crescimento explosivo de 6 a 12 horas. A maioria dos CCM se forma ao entardecer e primeiras horas da noite, indicando que é necessário um mecanismo de modulação diurna para acionar o gatilho da convecção, desde que a atmosfera esteja condicionalmente estável do ponto de vista termodinâmico. Estes sistemas têm uma duração de 6 a 36 horas e, normalmente, contêm chuvas torrenciais, ventos, granizo, relâmpagos e, possivelmente, até tornados.

Gráfico 2 – Dados das Normais Climatológicas do INMET, do período de 1961 a 1990, para a Cidade de Belém, PA. a) média da temperatura do ar e seus respectivos desvios padrões (°C); b) média dos totais mensais da precipitação pluvial e seus respectivos desvios padrões (mm); c) média da umidade relativa do ar (%); d) média da evaporação total (mm); e) duração mensal do brilho solar (horas); f) média mensal do total de nebulosidade (décimos).



Fonte: Do autor.

1.3.2 Locais de coleta de dados micrometeorológicos

No desenvolvimento deste trabalho foram utilizados onze pontos para aquisição de informações micrometeorológicas, distribuídos na área urbana de Belém, de forma que houvesse um contraste das características físicas e sociais entre essas áreas. Esta escolha também se baseou na facilidade de acesso aos locais e na segurança dos observadores e dos equipamentos. Estes locais selecionados foram delineados em duas classes, sendo a primeira a dos pontos fixos e contínuos de observação e a segunda

classe, os locais móveis, que foram utilizados durante a campanha intensiva de coleta de dados micrometeorológicos e aplicação de questionários.

Os locais de coleta de dados fixos foram constituídos por quatro estações meteorológicas, sendo três automáticas pertencentes ao INMET, DTCEA-BE e ao Projeto CLIMURB/CNPq, e uma convencional pertencente ao INMET, ilustrados nas Fotografias 11, 8, 7 e 10, respectivamente. Nas estações automáticas do INMET e DTCEA as informações foram registradas a cada 60 minutos e na do Projeto CLIMURB/CNPq (Projeto de Monitoramento do Clima Urbano em Cidades de Diferentes Tamanhos na Região Amazônica Brasileira) a cada 30 minutos, enquanto que na estação convencional os registros ocorreram nos horários sinóticos (00, 12 e 18 horas GMT²⁶) seguindo o padrão adotado pela Organização Meteorológica Mundial, e também a cada 30 minutos através do uso de um micrologger automático, modelo U10-003.

Nas localidades denominadas como móveis, e que foram utilizadas apenas durante a campanha intensiva de coleta de dados, foram instalados microloggers automáticos modelo U10-003 dentro de abrigos para proteger os sensores da radiação solar direta. Em cada um destes locais também foram realizadas as observações do tempo presente (vento, nebulosidade e chuva).

Para a classificação dos tipos de cobertura do solo foi utilizado uma imagem de satélite de alta resolução da cidade de Belém, obtida pelo satélite SPOT no ano de 2009. Após a imagem passar por correções iniciais (georreferenciamento²⁷), a mesma foi recortada no entorno das áreas de coleta de dados em um raio aproximado de 800 metros. Os recortes dos pontos passaram por um processo de classificação supervisionada que consiste em atribuir assinaturas multiespectrais aos alvos em superfície definido manualmente de acordo as observações do usuário. Essa técnica leva os pontos (pixels) de mesma assinatura espectral atribuída pelo usuário aos outros pontos idênticos existentes na imagem formando conjuntos de classes.

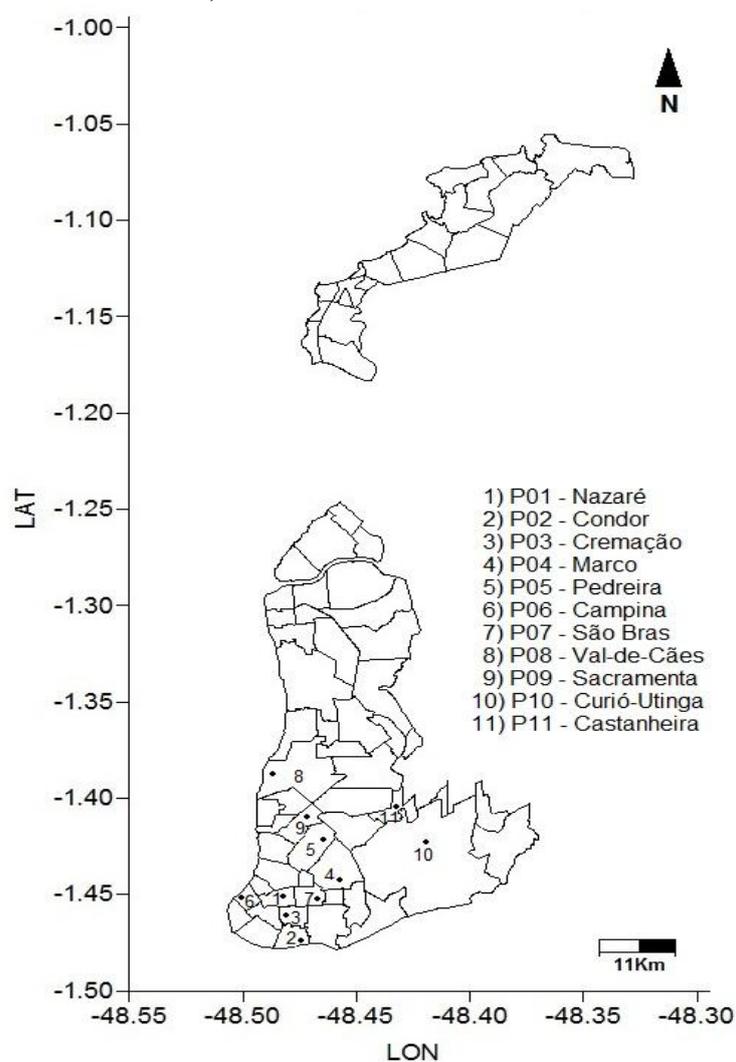
²⁶ Greenwich Mean Time (GMT): Coordenada de Tempo Universal, com referência ao Meridiano de Greenwich (Inglaterra), equivalente ao horário de Londres, que corresponde a três horas a mais em relação ao horário de Brasília, O fuso horário oficial do Brasil com relação a hora de Greenwich é de -3 horas.

²⁷ Georreferenciamento de uma imagem é um procedimento realizado para efetuar as correções geométricas da mesma a fim de ajustar as distorções do terreno, através do estabelecimento da relação das coordenadas geográficas de pontos de controle com suas coordenadas geográficas reais.

Neste trabalho criou-se três classes para a análise, que foram definidas como “calçamento”, “vegetação” e “lâmina de água”. A classe definida como “calçamento” foram as áreas da superfície cobertas por asfalto, cimento, edificações e ruas de terra. A classe definida como “vegetação” englobou as espécies arbóreas e as gramíneas e a classe definida como “lâmina de água” abrangeu os corpos hídricos em geral (rios e lagos) e as piscinas.

No Mapa 1, temos um mapa ilustrando a distribuição espacial dos bairros de Belém e os pontos onde houve as coletas de informações ambientais. Abaixo, temos descritas as características individuais de cada ponto.

Mapa 1 – Distribuição espacial dos pontos de coleta de informações ambientais na cidade de Belém, PA.



Fonte: Do autor.

O Ponto 01 (P-01) ficou localizado no bairro de Nazaré, no cruzamento da Travessa Quintino Bocaiuva com a Avenida Nazaré (lat. 01°22'08"S; 048°29'11"W; alt.

22 m). Este ponto se encontra em uma área central da cidade, e que possui edificações altas e arborização nas calçadas entre os edifícios, formando corredores, e um trânsito bastante intenso, conforme ilustrado na Fotografia 1. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 77,0%, 22,8% e 0,2%, respectivamente.

Fotografia 1 – Local de observação meteorológica no bairro de Nazaré.



Fonte: Do autor (2010).

O Ponto 02 (P-02) ficou localizado no bairro da Condor, no cruzamento da Travessa Padre Eutíquio com a Avenida Alcindo Cacela (lat. 01°28'17"S; lon. 048°28'34"W; alt. 6 m). Este bairro margeia o Rio Guamá, onde predominam edificações baixas e poucas áreas arborizadas, com predominância do uso residencial e baixo volume de trânsito, conforme ilustrado na Fotografia 2. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 88,8%, 10,9% e 0,3%, respectivamente.

Fotografia 2 – Local de observação meteorológica no bairro da Condor.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 03 (P-03) ficou localizado no bairro da Cremação, na Avenida Conselheiro Furtado, esquina com a Avenida Alcindo Cacela (lat. 01°27'30"S; lon. 048°28'38"W; alt. 10m). Este bairro vem passando por mudanças, pois se tornou uma área de expansão para a verticalização, onde o uso predominante do seu espaço é residencial, conforme ilustrado na Fotografia 3. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 88,8%, 10,9% e 0,3%, respectivamente.

Fotografia 3 – Local de observação meteorológica no bairro da Cremação.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 04 (P-04) ficou localizado no bairro do Marco, na Avenida Almirante Barroso, no cruzamento com a Travessa Humaitá (lat. $01^{\circ}26'30''S$; $048^{\circ}27'43''W$; alt. 18 m). Este bairro também é uma área que vem passando pelo processo de verticalização e pela pressão imobiliária em busca de novos espaços para empreendimentos. O trânsito no ponto de medida é muito intenso, e o bairro é tipicamente residencial, conforme ilustrado na Fotografia 4. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 96,0%, 3,9% e 0,1%, respectivamente.

Fotografia 4 – Local de observação meteorológica no bairro do Marco.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 05 (P-05) ficou localizado no bairro da Pedreira, no cruzamento da Avenida Pedro Miranda com a Avenida Mauriti (lat. $01^{\circ}25'41''S$; lon. $048^{\circ}28'19''W$; alt. 15 m), conforme ilustrado na Fotografia 5. Neste local as edificações são predominantemente baixas, com três andares no máximo, o trânsito de veículos e pedestres são altos e pouca arborização. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 87,3%, 12,7% e 0,0%, respectivamente.

Fotografia 5 – Local de observação meteorológica no bairro da Pedreira.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 06 (P-06) ficou localizado no bairro da Campina, na Rua Gaspar Viana, na Praça das Mercês (lat. 01°27'03''S; lon. 048°30'02''; alt. 15 m), conforme ilustrado na Fotografia 6. Este bairro faz parte do centro comercial e histórico da cidade, e atualmente foi protegido pelo Instituto do Patrimônio Histórico e Artístico Nacional – IPHAN, o que impede a pressão imobiliária sobre esta área. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 84,9%, 04,4% e 10,7%, respectivamente.

Fotografia 6 – Local de observação meteorológica no bairro da Campina.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 07 (P-07) ficou localizado no bairro de São Brás, na Avenida José Bonifácio esquina com a Avenida Magalhães Barata, dentro da área da COSANPA – Companhia de Saneamento do Pará, conforme ilustrado na Fotografia 7. Neste ponto encontra-se a Estação Meteorológica Automática do Projeto CLIMURB/CNPq, que iniciou sua operação em 27/03/2009. Nesta localidade a proporção de cobertura do solo do seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 93,7%, 5,9% e 0,4%, respectivamente. A estação é da marca Campbell SCI, e é composta por um datalogger (armazenador de dados) modelo CR-1000, um painel solar, um piranômetro modelo CS300-L (sensor que mede a radiação solar no comprimento de onda do intervalo de 300 a 1100 nm), um sensor que mede a temperatura e umidade relativa do ar HMP45C e um pluviógrafo de balança modelo TB4MM (lat. 01°27'02"S; lon. 048°28'09"W; alt. 20 m).

Fotografia 7 – Local de observação meteorológica no bairro de São Brás.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 08 (P-08) ficou localizado no bairro de Val-de-Cães, na Avenida Júlio Cezar, no Aeroporto Internacional de Belém (lat. $1^{\circ}23'05''S$; lon. $048^{\circ}28'57''W$; alt. 12 m), conforme ilustrado na Fotografia 8. Esta estação está sob a administração do Destacamento de Controle do Espaço Aéreo de Belém (DTCEA-BE) órgão vinculado ao Ministério da Aeronáutica. Esta é uma área periférica, com poucas edificações, margeando a Baía do Guajará, onde existem diversas áreas portuárias e comerciais e alguns conjuntos habitacionais. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 60,0%, 40% e 0,0%, respectivamente.

Fotografia 8 – Local de observação meteorológica no bairro de Val-de-Cães.



Fonte: Flávio Jesus.

O Ponto 09 (P-09) ficou localizado no bairro da Sacramento, na Avenida Senador Lemos, cruzamento com a Avenida Doutor Freitas (lat. $1^{\circ}24'50''S$; lon. $048^{\circ}28'06''W$; alt. 15 m), conforme ilustrado na Fotografia 9. O bairro é predominantemente residencial mas com algumas áreas empresariais, e as edificações são baixas devido à sua proximidade do aeroclube e aeroporto da cidade e por possuir pouca quantidade de vegetação. Nesta localidade a proporção da cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 93,4%, 6,4% e 0,2%, respectivamente.

Fotografia 9 – Local de observação meteorológica no bairro da Sacramento.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 10 (P-10) ficou localizado no bairro do Curió-Utinga, localizada na Estrada da Ceasa, S/N, conforme ilustrado na Fotografia 10. Neste ponto fica situada a Estação Meteorológica Convencional do INMET (lat. 01°26'08"S; lon. 048°26'14"W; alt. 10 m), que começou a operar em 01/11/1923 e continua funcionando até os dias atuais, sendo mais de 85 anos coletando e armazenando informações climáticas na capital do Estado do Pará. Neste local a proporção de cobertura do solo em seu entorno por calçamento, vegetação e lâminas de água são 17,6%, 79,6% e 2,8%, respectivamente. A estação possui um abrigo meteorológico com instrumentos em seu interior para medir as temperaturas do ar médias, mínimas e máximas diárias, umidade relativa do ar e evaporação do ar (evaporímetro de piché), dentro do cercado existe um conjunto de geotermômetros para medir a temperatura do solo, um anemômetro a 10 metros de altura para registrar a direção e velocidade do vento, um pluviômetro e um pluviógrafo para quantificar a chuva e a estimativa da quantidade de nebulosidade é realizada por um observador.

Fotografia 10 – Local de observação meteorológica no bairro do Curió-Utinga.



Fonte: Do Autor (2010).

O Ponto 11 (P-11) ficou localizado no bairro Castanheira, na Avenida Almirante Barroso, nº 5.384, no interior da área do Ministério da Agricultura e Abastecimento, no 2º DISME – Distrito de Meteorologia, conforme ilustrado na Fotografia 11. Neste ponto encontra-se a Estação Meteorológica Automática do INMET (lat. 01°24'40"S; 048°26'22"W; alt. 24 m), que iniciou sua operação em 20/01/2003. As proporções da cobertura do solo do entorno deste ponto é composta por calçamentos, vegetação e lâminas de água na proporção de 83,6%, 16,3% e 0,1%, respectivamente.

Fotografia 11 – Local de observação meteorológica no bairro Castanheira.



Fonte: Do Autor (2010).

1.4 SISTEMATIZAÇÃO DA INTERAÇÃO ENTRE O CLIMA, A CIDADE E A SOCIEDADE.

Analisar as interações entre os fenômenos de natureza física juntamente com os de natureza social é uma tarefa complexa, principalmente dentro do ambiente urbano, o que exige o uso de um instrumental diferenciado para se compreender este conjunto. A solução mais apropriada foi recorrer à Teoria Geral dos Sistemas (TGS), para podermos dar uma melhor resposta à questão deste trabalho.

A TGS surgiu através de trabalhos publicados no século XX por Ludwig Von Bertalanffy. A primeira publicação de Bertalanffy sobre a teoria dos sistemas foi *The Theory of Open Systems in Physics and Biology* publicado em 1950, seguidos por outras obras que também contribuíram significativamente para a TGS como “*General Systems Theory: A New Approach to Unity of Science*” (1951), “*General Systems Theory*” (1956), “*General Systems Theory*” (1968).

Segundo Chiavenato (1983), a TGS não busca solucionar problemas ou questões práticas, e sim produzir formulações teóricas para criar condições de se aplicar na prática. A TGD se baseia em alguns pressupostos iniciais, como a existência da integração entre as ciências naturais e sociais, em que a integração tende ao rumo da teoria dos sistemas (TS), que pode ser usada para auxiliar a compreensão dos campos não físicos do conhecimento científico. Outro pressuposto da TGS é que, ao desenvolver princípios unificadores, os mesmos transpassam as diversas ciências envolvidas, o que pode nos levar a uma integração muito necessária na educação científica.

Segundo Fenzl (1998), para podermos definir os sistemas, primeiramente, precisamos distinguir os tipos existentes de sistemas. De acordo com Kondepudi (1952), um fato importante na definição de sistemas é a existência de limites que separam o sistema do seu exterior, controlando a forma com que o este interage com os elementos externos, pois a forma como ele troca energia e matéria são importantes para defini-los. Os sistemas podem ser isolados, fechados e abertos, de acordo com a forma que os mesmos interagem com o seu exterior, conforme ilustrado na Figura 13.

Os sistemas isolados não trocam energia ou matéria com o exterior, exceto para todo o universo como um todo, logo os sistemas isolados fogem do nosso acesso empírico. O sistema fechado realiza a troca de energia interna, não a importando do seu exterior, e tais sistemas podem ser facilmente realizados num laboratório. O sistema

aberto troca tanto energia quanto massa com o exterior, gerando processos irreversíveis, onde todos os seres vivos e sistemas ecológicos estão inclusos por serem sistemas abertos (KONDEPUDI, 1952). Os seres humanos são sistemas abertos, pois interagem com o meio ambiente, e nesta interação ocorrem às trocas térmicas que estão vinculadas diretamente as condições de conforto térmico por eles experimentados.

Figura 13 – Tipos de sistemas.



Devido à dificuldade de se encontrar sistemas isolados, Bertalanffy (1950) preferiu fazer uma classificação mais realística abordando apenas os sistemas que realmente possam ser encontrados na natureza, e definiu que os sistemas podem ser fechados ou abertos. Um sistema fechado, conforme a 2ª Lei da Termodinâmica, deve se atingir um estado de equilíbrio, independentemente do tempo, com a entropia²⁸ máxima e o mínimo de energia livre, em que a razão entre as suas fases permanece constante. Um sistema fechado e em equilíbrio não precisa de energia para a sua manutenção, mas também não pode ser obtido de energia a partir do mesmo. Em outras palavras, a 2ª Lei da termodinâmica pode se descrita como “a quantidade de entropia de qualquer sistema isolado termodinamicamente, tende a incrementar-se com o tempo, até alcançar um valor máximo”, ou seja, quando uma parte de um sistema fechado interage com outra parte, a energia tende a dividir-se por igual, até que o sistema alcance um equilíbrio térmico (SMITH; COOPER, 1972; VAN WYLEN et. al., 1998). E os sistemas abertos, segundo Bertalanffy (1950), necessitam receber energia para se manter existindo e poder trocar massa com o seu exterior.

²⁸ A entropia é uma medida da quantidade de desordem de um sistema. Entropia é a palavra grega para "evolução".

De acordo com Chick (2003), os sistemas abertos existem tanto no mundo real como no teórico, e afirma que no mundo real, as teorias dos sistemas buscam identificar os agentes e suas ações e os meios em que essas ações ocorrem e se interligam a outras partes do sistema. No entanto, a autora faz uma crítica aos sistemas abertos por serem arriscados do ponto de vista psicológico, por não seguirem a lógica clássica dos sistemas fechados, e principalmente, por não oferecerem certezas.

A TGS baseia-se em três premissas, sendo a primeira que um sistema existe dentro de outro, a segunda que os sistemas são abertos e a terceira que as funções de um sistema dependem da sua estrutura. Shimoda et. al., (2005) e Yamashita (1988) evidenciaram essas premissas ao construírem modelos que mostram a interação do microclima com a estrutura urbana e seus efeitos, onde temos um exemplo claro de um sistema aberto, com subsistemas que se relacionam entre si e dependem uns dos outros.

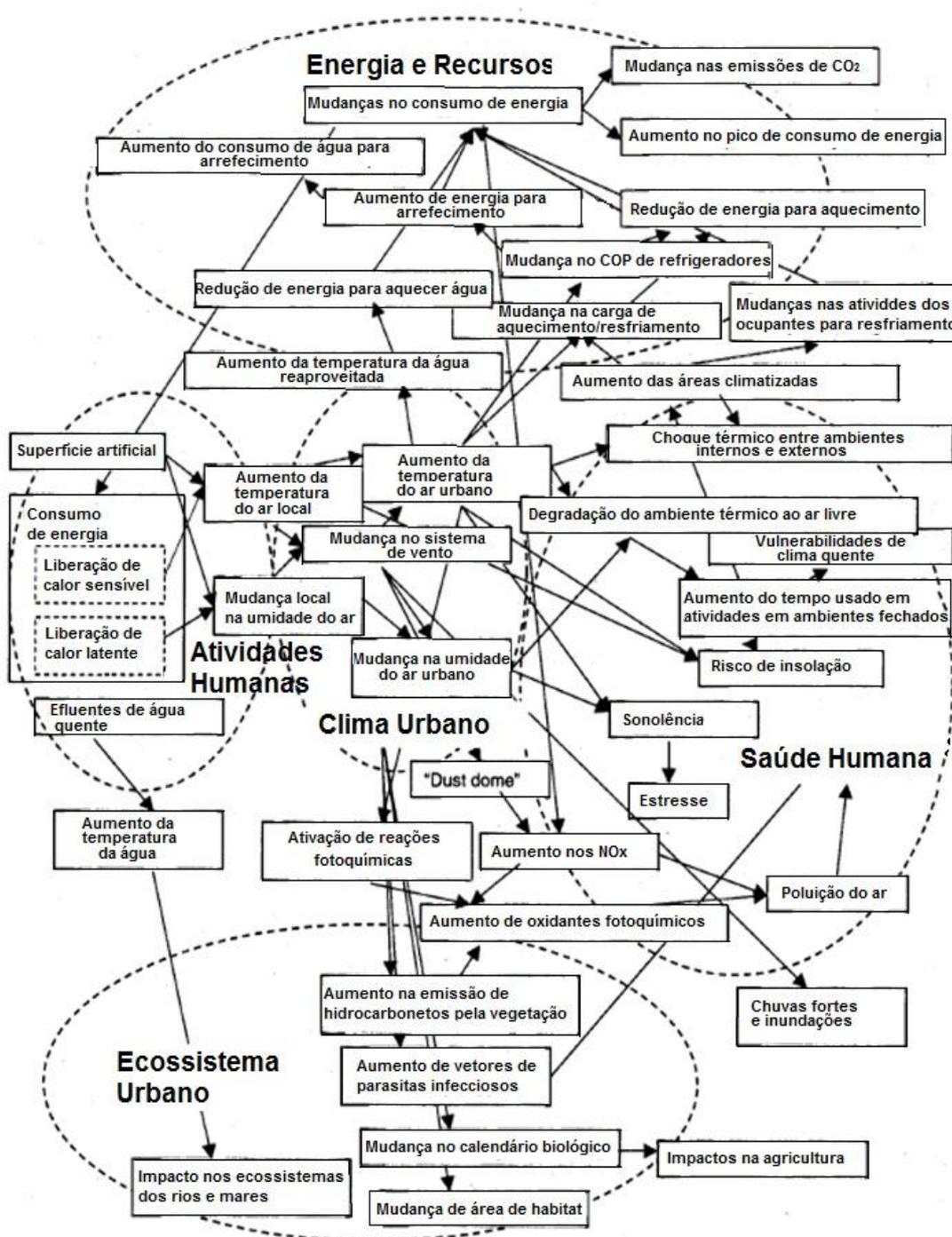
Segundo Ferreira e Freitas (2007), um sistema não é o somatório das partes que os constituem, e sim o conjunto de interações e articulações entre as partes, ou seja, há uma complementaridade entre as partes e o todo existente no seu interior. Fazendo uma analogia a este raciocínio, podemos analisar a diferença entre o total e a totalidade, onde o total é *o que constitui ou abrange um todo*, e a totalidade é *o conjunto das partes que constituem um todo*.

Aplicando estes elementos teóricos da TGS, se pode compreender melhor como que as modificações no tipo de cobertura das superfícies urbanas geram alterações nos padrões microclimáticos, assim como a formação do fenômeno da ilha de calor urbana. A ilha de calor urbana é responsável por vários tipos de impactos no ambiente urbano, como na saúde humana, no consumo de água e de energia, no ecossistema urbano, no ambiente local e global (SHIMODA et. al., 2005), e estes impactos possuem estreitas relações uns com os outros, conforme mostrado na Figura 14, ficando caracterizado um sistema principal (o meio ambiente) com diversos subsistemas que interagem entre si, cujo resultado é um sistema principal aberto que comunica-se com seu meio.

As relações de causa e efeito ilustradas no sistema proposto por Shimoda et. al., (2005) mostram que todos os subsistemas estão interligados, e que para o funcionamento de apenas um deles é necessário a existência do outro.

No sistema proposto temos a descrição do ambiente urbano hipotético, onde temos como entrada do sistema *input* Energia e Recursos e mais quatro subsistemas interagindo entre si.

Figura 14 – Causas e efeitos das atividades humanas e seus impactos para a formação da ilha de calor.



Fonte: Shimoda et. al. (2005).

Ao partir do princípio em que uma cidade se comporta como um sistema aberto, pois a mesma importa, transforma, incorpora e exporta energia de formas complexas,

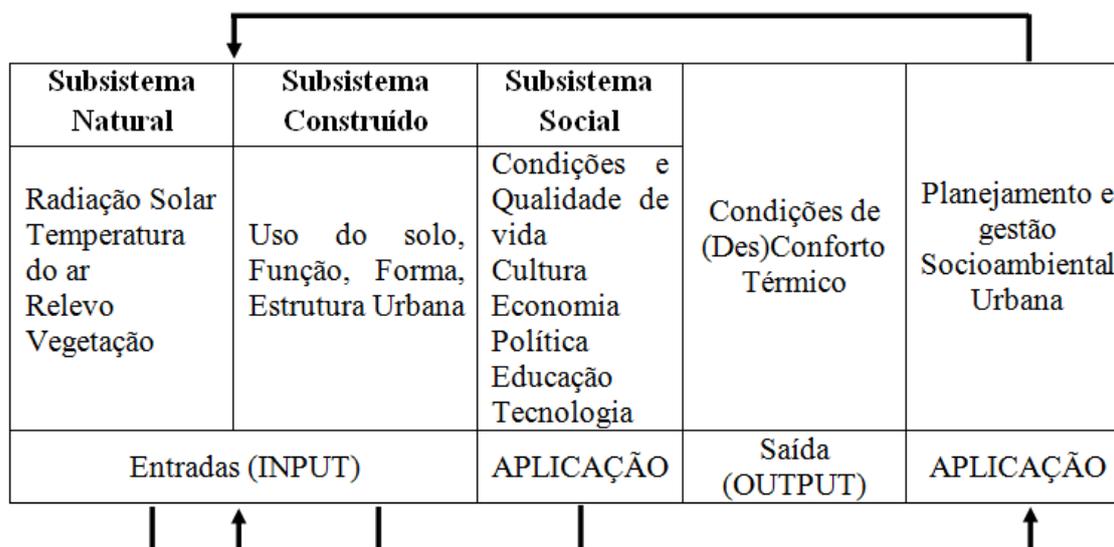
além de o seu núcleo interagir com o próprio sistema em que se insere, Monteiro (1975) propôs o Sistema Clima Urbano (SCU).

O SCU parte de duas premissas fundamentais, sendo a primeira em que o vetor climático é apenas uma parte da complexidade que caracteriza a condição urbana, ou seja, ele é apenas um subsistema, e a segunda premissa é que existe uma sintonia entre a sociedade urbana e o poder público, necessitando-se para isso, um sistema político com base na democracia.

Posteriormente, foi criado o Sistema Ecológico Urbano (SEU), com três subsistemas: o Construído, o Social e o Natural.

Com base nos Sistema Clima Urbano e no Sistema Ecológico Urbano, Mendonça (2004) desenvolveu o Sistema Ambiental Urbano (SAU) que enxerga a cidade como apenas um sistema, complexo e aberto, com três subsistemas: o Social, o Natural e o Construído, conforme ilustrado na Figura 15. Segundo Dumke (2007) o SAU permite uma melhor visão dos impactos socioambientais, facilitando assim soluções mais eficientes e rápidas. O conforto térmico é influenciado pelos subsistemas Natural e Construído, que por sua vez se relaciona com o Social.

Figura 15 – Diagrama do Sistema Ambiental Urbano.



Fonte: Mendonça (2004).

Monteiro (1975), ao desenvolver o SCU discorreu sobre os sistemas político, econômico e social do país no momento em que convergia seus estudos para a

climatologia das cidades, onde buscou um direcionamento técnico e teórico para elaboração do SCU que é um sistema aberto que possui três canais de percepção do clima urbano, sendo o primeiro o conforto térmico, o segundo a qualidade do ar e o terceiro o impacto meteórico²⁹.

Uma grande vantagem do SCU é que o mesmo é um sistema democrático, logo é passível de regulação, onde a mesma é exercida pelos cidadãos inseridos em seu meio através do seu poder de decisão, que se baseia a partir das suas percepções e necessidades de intervir e adaptar o funcionamento do sistema através da reciclagem e da retroalimentação capazes de conduzir a seu desenvolvimento e crescimento, seguindo metas preestabelecidas.

Apesar das vantagens do SCU, devido as suas complexidades em suas interações devido envolver diversos atores, Mendonça (2004) adaptou o SCU criando o SAU composto por três subsistemas, onde dois funcionam como entradas (INPUT) e o outro como uma aplicação além de mais dois módulos onde um é uma aplicação voltada para gerenciar os subsistemas e o outro módulo é a saída dos sistemas. Ao criar estes subsistemas, Mendonça (2004) supriu algumas necessidades do SCU com a inclusão da parte social e as características morfológicas da estrutura urbana, detalhamento este que faltava no SCU. Por outro lado o SCU é um sistema que aborda mais as características físicas e meteorológicas que interagem o homem.

Shimoda et. al., (2005) ao propor o diagrama de causas e efeitos das atividades humanas e seus impactos para a formação da ilha de calor, na verdade estava propondo um sistema mais detalhado e abrangente em alguns aspectos e deficiente em outros, pois as questões socioeconômicas não foram suficientemente contempladas, provavelmente por sua formação ser na área das ciências exatas (engenharia). Já os sistemas propostos por Monteiro (1975) e Mendonça (2004) não entraram no nível de detalhamento que Shimoda et. al., (2005) realizaram.

Ambos os sistemas propostos por Monteiro (1975), Mendonça (2004) e Shimoda et. al., (2005), fazem abordagens fundamentais para o entendimento da questão do clima urbano, juntamente, com as suas relações com o meio urbano (social, econômico e ambiental). No entanto, ao observar e analisar todas essas interações complexas de forma separada se geraria um prejuízo por perda de informações existentes no sistema

²⁹ Efeitos dos elementos meteorológicos como a precipitação pluvial, o vento, a radiação solar e outros.

urbano, mas também, equacionar todas essas interações integradamente é algo demasiadamente complexo, e que está sendo realizado para um trabalho futuro.

O sistema urbano, foco desta pesquisa é composto por vários outros subsistemas, sendo que, os principais são os que abrangem o meio físico e o biótico e ainda o sistema que abrange a natureza social, o qual não será feito uma análise detalhada, pois o mesmo está incluído nos outros sistemas implicitamente representado pelas ações oriundas do pensamento do homem. Mas para uma melhor compreensão e análise destes sistemas é necessário que exista uma definição dos seus limites, ou seja, das suas fronteiras com o meio externo, assim como dos seus atores.

Do ponto de vista das interações físicas, o Sistema Físico (ambiental) que estamos analisando foi delimitado geograficamente, sendo que seu limite é a área que compõe o município de Belém, a qual abriga uma população estimada de 1.410.430 habitantes (IBGE, 2012), e que diariamente a cidade recebe indivíduos, principalmente, dos municípios do entorno que trabalham, estudam, buscam atendimento médico, fazem compras no comércio local e realizam outras atividades, o que faz o número de indivíduos na cidade aumentar, mas também existem os indivíduos que saem da cidade para exercerem atividades diversas e retornam ao final do dia, caracterizando um fluxo diário do sistema com seu entrono.

Os Sistemas de natureza Biótica são compostos por diversos organismos biológicos que vão desde a escala microscópica até a macroscópica, e neste caso vamos nos ater aos principais organismos macroscópicos, como a vegetação e os seres humanos, pois são eles que geram maiores influências sobre o meio ambiente. Os organismos microscópicos, apesar de sua grande importância na manutenção do sistema, os mesmos não serão analisados diretamente neste trabalho. Os indivíduos constituintes do sistema biótico são capazes de interferir no microclima local e de efetuar mudanças na paisagem, onde temos como principal ator ser humano.

O Sistema Social, segundo Luhmann (1997), é composto exclusivamente por comunicações, ou seja, mensagens e informações, sendo o homem e o indivíduo excluídos como pessoa deste sistema. Segundo o mesmo autor, a teoria sistêmica democratiza a visão da sociedade fazendo-a mais científica e mais sociológica, sendo que a diferenciação não está no interior das pessoas e sim entre elas. O Sistema Social funciona de acordo com a autopoiese, ou seja, de forma fechada e gerando uma rede de produção própria dos seus elementos de funcionamento sem influenciado pelo meio externo.

Os sistemas de natureza física e biótica são considerados abertos, já o sistema social, ele pode ser avaliado como fechado, e o sistema urbano é admitido como aberto e fechado simultaneamente por englobar os três sistemas, além de efetuar trocas com o meio externo e ainda ser regulado por normas, ou seja, um sistema de enorme complexidade.

Para o uso dessa ferramenta, o mais coerente seria a realizar uma análise da questão a ser respondida e utilizar os instrumentais propostos nos respectivos sistemas. Com base nos elementos destes sistemas supracitados, realizar a avaliação conjunta de elementos climáticos e sociais em áreas urbanas fica mais viável, pelo fato de ambos os sistemas serem abertos, admitindo alterações, e por envolverem as complexidades inerentes às análises urbanas, atendendo a esta necessidade.

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 Objetivo Geral

A presente tese visa avaliar alguns elementos micrometeorológicos e as condições do conforto térmico na cidade de Belém, além de verificar a existência de uma relação dessas condições de conforto térmico com a estratificação socioespacial da cidade.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Avaliar alguns elementos micrometeorológicos na cidade de Belém;
- b) Avaliar e calcular o conforto térmico na cidade de Belém
- c) Verificar a existência de uma possível relação entre a estratificação socioespacial e as condições de conforto térmico;
- d) Verificar se as desigualdades sociais vão intensificar a vulnerabilidade da população com relação ao conforto térmico;

2 ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO NA CIDADE DE BELÉM, PA, NO PERÍODO MENOS CHUVOSO³⁰

Resumo

As pesquisas sobre o conforto térmico surgiram devido às preocupações com a melhoria das condições de trabalho e da qualidade de vida da população. Neste estudo se analisaram as condições de conforto térmico a qual a população da cidade de Belém está submetida, através de medidas de campo e aplicação do Índice de Calor (IC). Os resultados encontrados indicaram que na maior parte do período diurno a cidade é desconfortável termicamente, com base nos valores encontrados do IC. Os bairros com maior porcentagem de impermeabilização do solo e menos cobertura vegetal apresentaram maior desconforto térmico, indicando que os elementos urbanos contribuem para o clima da cidade.

Palavras-chave: clima urbano, conforto térmico, meteorologia, vegetação.

2.1 INTRODUÇÃO

No decorrer da historia da humanidade sempre houve a interação sociedade-clima, independente da forma que ocorreu, positivamente ou não. Quando essa interação se configurou de forma positiva, ocorreu a consolidação de inúmeras civilizações pelo planeta e, na segunda hipótese, a historia amarga inúmeros casos de desgraças, fome, crises da humanidade, restando só a adaptação ao meio ou a migração em massa para outras regiões devido às condições climáticas que os povos foram expostos (MONTEIRO; MENDONÇA, 2001). O surgimento das questões ambientais no decorrer da história está diretamente ligado a esses fenômenos que assolaram e continuam assolando a humanidade, como alguns eventos de origens climáticas como as secas, as enchentes, os furacões, os efeitos dos fenômenos ENOS (El Niño/La Niña) e outros de causas naturais, como terremotos, erupções vulcânicas, tsunamis e etc. As ocorrências desses eventos extremos deveriam servir para advertir a humanidade para os complexos problemas socioambientais gerados por esses fenômenos, tentando assim, descobrir maneiras para abrandá-los, quando for possível, e adaptar-se aos seus efeitos.

³⁰ Este capítulo foi publicado na Revista Brasileira de Geografia Física (v.2, 2012, p.218-232).

Os primeiros estudos relacionados ao conforto térmico datam do início do século XIX na Europa, quando teve início o movimento para melhoria das condições de trabalho nas indústrias de metalúrgicas e têxteis, em vista dos frequentes acidentes e enfermidades devido à influência do calor.

As condições de conforto térmico são funções das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, das suas vestimentas e das variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente (FANGER, 1972). A identificação e quantificação dos fenômenos climáticos urbanos e das características térmicas de uma cidade, assim como a sua correlação com diversos outros fatores, são de grande importância no sentido de dar subsídio a projetos de planejamento urbano, favorecendo a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes (OKE, 1987).

Neste estudo foram analisadas as condições de conforto térmico nos bairros de Belém através de medidas de campo e do cálculo do IC durante 3 dias na época menos chuvosa do ano de 2010.

2.2 MATERIAL E MÉTODOS

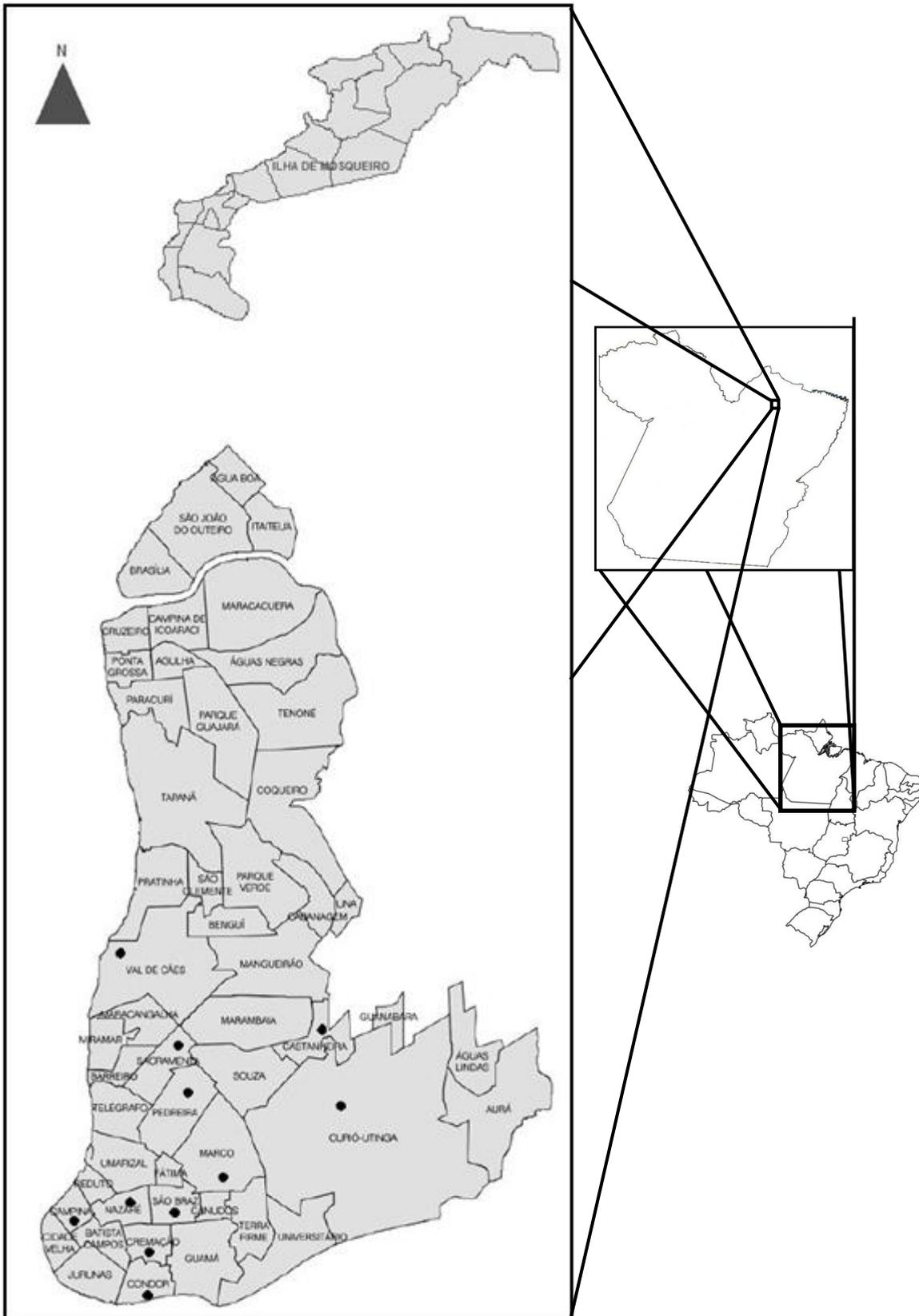
A Cidade de Belém, a capital do estado do Pará, que faz divisas ao oeste com a Baía do Guajará, ao sul com o rio Guamá, ao norte com a Baía de Santo Antônio e a leste com o município de Ananindeua, possui uma população de 1.393.399 habitantes (IBGE, 2010). O município possui uma área territorial de 1.065 km², em que estão compreendidas 39 ilhas. A cidade de Belém está sob influência do regime de marés, possui uma altitude média de 10 metros acima do nível médio do mar, com um relevo predominantemente plano, com 60 % de sua área acima da cota de 4 metros em relação ao nível médio do mar. O clima em Belém, segundo a classificação de Köppen (1900-1936) é do tipo Am, ou seja, clima tropical chuvoso de monção (SILVA JUNIOR et. al., 2011). A média anual climatológica da temperatura do ar é de $26,0 \pm 0,4$ °C, com máximas e mínimas variando de $31,5 \pm 0,7$ a $22,0 \pm 0,3$ °C, respectivamente. A pluviosidade média anual é de $2.858,7 \pm 76,6$ mm ano⁻¹ com maior volume no período chuvoso (dezembro a maio), correspondendo a 71,2% do total anual, enquanto que os 28,8% restantes são distribuídos nos meses de junho a novembro (COSTA, 1998).

Para a coleta dos dados meteorológicos foram utilizados 08 microloggers modelo HOBO U10, (Onset, EUA) que realizaram registros a cada 30 minutos, no período das 06 às 19 horas, além de uma Estação Meteorológica Automática (EMA) (Campbell Sci,

EUA) com datalogger modelo CR-1000 e sensores de temperatura do ar (°C) e de umidade relativa do ar (%) modelo HMP45C, que registraram as informações a cada 30 minutos. A EMA está localizada em uma área central da cidade, no bairro de São Brás (P-07). Na Figura 15 está ilustrado o mapa da cidade de Belém, com a localização dos bairros. A coleta dos dados ocorreu entre os dias 17 e 19 de novembro de 2010, no horário das 06 às 19 horas, devido à falta de segurança nos bairros durante o período noturno, impossibilitando o registro durante as 24 horas, na maioria dos os pontos. As medidas foram realizadas simultaneamente, em locais previamente selecionados, de forma a contrastar suas características de cobertura do solo, sociais e ambientais, conforme ilustrado na Tabela 3. Esses três dias foram escolhidos devido aos mesmos estarem compreendidos na época menos chuvosa na região e pela disponibilidade da equipe de campo. Os microloggers foram aferidos junto com a EMA antes de serem utilizados em campo, e foram instalados no interior de abrigos adequados para proteger os sensores da radiação solar direta. Foram utilizados dados das estações meteorológicas (automática e convencional) do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, situadas no bairro Castanheira e no bairro do Curió-Utinga, respectivamente, e do aeroporto internacional de Belém Júlio Cezar Ribeiro/Val-de-Cães.

Na descrição física do entorno dos locais de medidas, adotou-se um raio de influência de aproximadamente 800 metros.

Figura 15 – Ilustração da cidade de Belém com a localização dos bairros.



Fonte: Cardoso et. al., (2006).

Tabela 3 – Localização e caracterização dos pontos de coleta de dados na cidade de Belém.

Ponto	Localização	Descrição física do local
P-01	Travessa Quintino Bocaiuva, no cruzamento com a Avenida Nazaré, no bairro de Nazaré.	Situado na zona central da cidade, possui grande número de edificações, o solo é coberto basicamente por asfalto nas ruas e concreto nas calçadas, que são bastante sombreadas por mangueiras, sendo o trânsito de veículos nesta área bastante intenso.
P-02	Travessa Padre Eutíquio, no cruzamento com a Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Condor.	Situado na zona sul da cidade, sendo uma área periférica, onde as edificações são, predominantemente, baixas com no máximo dois andares. Existe pouca vegetação nesta área, o solo é coberto por asfalto nas ruas e cimento nas calçadas, sendo o trânsito de veículos não muito intenso.
P-03	Avenida Conselheiro Furtado, no cruzamento com a Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Cremação.	Situado na zona sul da cidade, onde existe pouca vegetação, o solo é coberto basicamente por asfalto e cimento, o trânsito de veículos é intenso, as edificações são, predominantemente, altas compostas por edifícios, existindo também edificações menores.
P-04	Avenida Almirante Barroso, no cruzamento com a Travessa Humaitá, no bairro do Marco.	Situado em uma área central da cidade, onde a cobertura do solo é, predominantemente, composta por asfalto e cimento, possui poucas áreas com vegetação, o trânsito de veículos é bastante intenso e as edificações são, predominantemente, baixas, com poucos edifícios altos.
P-05	Avenida Pedro Miranda, no cruzamento com a Travessa Mauriti, no bairro da Pedreira.	Situado na zona oeste da cidade, a cobertura do solo predominante é o asfalto e o cimento, possui algumas áreas com vegetação, as edificações são predominantemente baixas, com três andares no máximo, o transito de veículos e pedestres são altos.

P-06	Rua Gaspar Viana, na Praça das Mercês, no bairro da Campina.	Situado na zona central da cidade, onde está localizado o centro comercial, com edifícios históricos com no máximo três andares e alguns edifícios altos mais novos, a área vegetada é pequena devido as ruas serem estreitas. A cobertura do solo é composta por calçamentos de paralelepípedo, asfalto e cimento, e o trânsito de pedestres é mais intenso que o de veículos, nas ruas centrais, mas nas ruas do entorno, o fluxo de veículos é intenso.
P-07	Avenida José Bonifácio, no bairro de São Brás, na área da Companhia de Saneamento do Pará.	Situado na zona central da cidade, onde a cobertura do solo predominante é o calçamento por asfalto e cimento, possui poucas áreas arborizadas, apresentam edificações altas e baixas, o trânsito de veículos é intenso.
P-08	Avenida Julio Cesar, Aeroporto Internacional de Belém, no bairro de Val-de-Cães.	Situado na zona oeste da cidade, e um pouco afastada do centro urbano, onde o calçamento predominante é asfalto (pista do aeroporto) e concreto (estacionamento e as edificações dos terminais). A vegetação é composta, basicamente, por gramíneas nas laterais das pistas e algumas espécies arbóreas no entorno do aeroporto, não existindo muitas edificações na região.
P-09	Avenida Senador Lemos, no cruzamento com a Avenida Doutor. Freitas, no bairro da Sacramentoa.	Situado na zona oeste da cidade, a cobertura do solo é composta por asfalto e cimento, há pouca vegetação, as edificações são baixas devido à proximidade do aeroclube e o trânsito de veículos é bastante intenso.
P-10	Estrada da Ceasa, no bairro do Curió - Utinga, Estação Meteorológica Convencional do INMET.	Situado na zona leste da cidade, possui uma área bastante vegetada, com poucas edificações e vias pavimentadas, e um baixo trânsito de veículos. A Área de Preservação Ambiental (APA) de Belém é vizinha a esta estação.

P-11 Avenida Almirante Barroso, no bairro da Castanheira, Estação Meteorológica Automática do INMET. Situado na zona leste da cidade e possui pouca pavimentação, as edificações são predominantemente baixas com altura média de dois pavimentos, o solo é coberto por grama e poucas espécies arbóreas.

Fonte: Do autor.

Neste estudo foi utilizado o Índice de Calor (IC), derivado do índice humidex desenvolvido por Winterling no ano de 1978 e adaptado com base nos trabalhos de Steadman (1979). O IC foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para determinados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas situações em que as temperaturas estão elevadas, estando à pessoa à sombra em condições de vento fraco. Este índice foi testado na cidade de Belém por Silva Junior et.al., (2011), onde o índice apresentou uma boa correlação com a percepção térmica dos indivíduos entrevistados durante uma campanha de coleta de dados.

Após os valores da temperatura do ar serem convertidos para o Fahrenheit, foi calculado o IC com a Equação 2, e, foram aplicadas as suas correções quando necessárias e, posteriormente, os valores de IC foram convertidos em graus Celsius. Quando a umidade relativa do ar é inferior a 13% e a temperatura encontra-se entre 26,6°C e 44,4°C, então subtrai-se o valor encontrado na Equação 4 do valor da Equação 2. No entanto, se a umidade relativa do ar for superior a 85% e a temperatura estiver entre 26,6°C e 30,5°C, o valor encontrado na Equação 4 é somado ao valor da Equação 3. Quando os valores da temperatura e umidade relativa do ar não se enquadrarem nas duas opções de ajuste é porque não existe a necessidade de fazê-los. Os níveis de alerta e suas prováveis consequências para a saúde humana são apresentados na Tabela 4. O cálculo do IC é obtido pela expressão:

$$I C = -4,2379 - 2,049015 \times T - 1,014333 \times UR - 0,224755 \times T \times UR - 6,83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5,4817 \times 10^{-2} \times UR^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times UR + 8,52821 \times 10^{-4} \times T \times UR^2 - 1,99106 \times UR^2 \quad \text{Eq. 2}$$

Onde, T é a temperatura do bulbo seco (°F) e UR é a umidade relativa do ar (%).

$$AJUSTE = ((13 - UR)/4) \times \sqrt{\{|17 - |(T - 95)|\}/17} \quad \text{Eq. 3}$$

$$AJUSTE = [(UR - 85)/10] \times [(87 - T)/5] \quad \text{Eq. 4}$$

Tabela 4 - Níveis de alerta do IC e suas prováveis consequências para a saúde.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Sintomas
Perigo Extremo	IC > 54°C	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1 °C a 54,0 °C	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposição prolongada com atividades físicas.
Cautela Extrema	32,1°C a 41,0°C	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1°C a 32,0°C	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas ao ar livre.
Não há alerta	IC < 27,0°C	Não há problemas

Fonte: Adaptado de National Weather Service, Weather Forecast Office, NOAA.

Com os resultados obtidos após o cálculo do IC, foi utilizado um software para interpolar os valores para o restante da cidade através do método de kriging, que é baseado em equações lineares. Para minimizar os efeitos de borda, foram utilizadas informações de estações meteorológicas situadas nos municípios de Barcarena, Soure e Castanhal, que são vizinhos a Belém. A interpolação espacial dos pontos pelo método da kriging foi adotada por produzir melhores estimativas, pois é embasada na não tendenciosidade do estimador e na variância mínima das estimativas, além de apresentar uma ótima qualidade estatística (MELLO et. al., 2003). Segundo Reichardt e Timm (2012), o método de kriging é a melhor técnica de interpolação linear, pois durante a execução dos cálculos são atribuídos pesos aos valores dos pontos amostrais, e estes pesos variam em função da distância que separa o ponto a ser estimado do ponto de valor conhecido.

A caracterização do tipo de cobertura do solo foi realizada com o uso de uma imagem do satélite SPOT em alta definição da cidade de Belém, com auxílio da ferramenta de classificação supervisionada do software de interpretação e análise de imagens orbitais. Esta metodologia é um processo que leva pontos (pixels) ou partes de uma imagem a serem atribuídas a uma classe de um conjunto de classes. Esse

procedimento usa as propriedades estatísticas dos dados da imagem (valores dos pixels) para estabelecer as fronteiras entre os conjuntos de dados que se agrupam naturalmente, gerando a porcentagem de cada classe.

Havia nessas análises três classes denominadas: urbanização, vegetação e outras. Na classe urbanização se considerou os tipos de pavimentação (asfalto, concreto, e ruas não pavimentadas), as edificações (edifícios, casas e construções em geral) e na classe vegetação levou-se em consideração todos os tipos de vegetações (gramados e espécies arbóreas). A terceira classe, “outros” foi desprezada neste trabalho, pois tratava de pixels classificados nas duas classes anteriores (vegetação e urbanização).

Para analisar as correlações entre o IC e a urbanização e a vegetação, e foi calculado o p de Pearson que mede o grau da correlação entre os elementos analisados.

2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

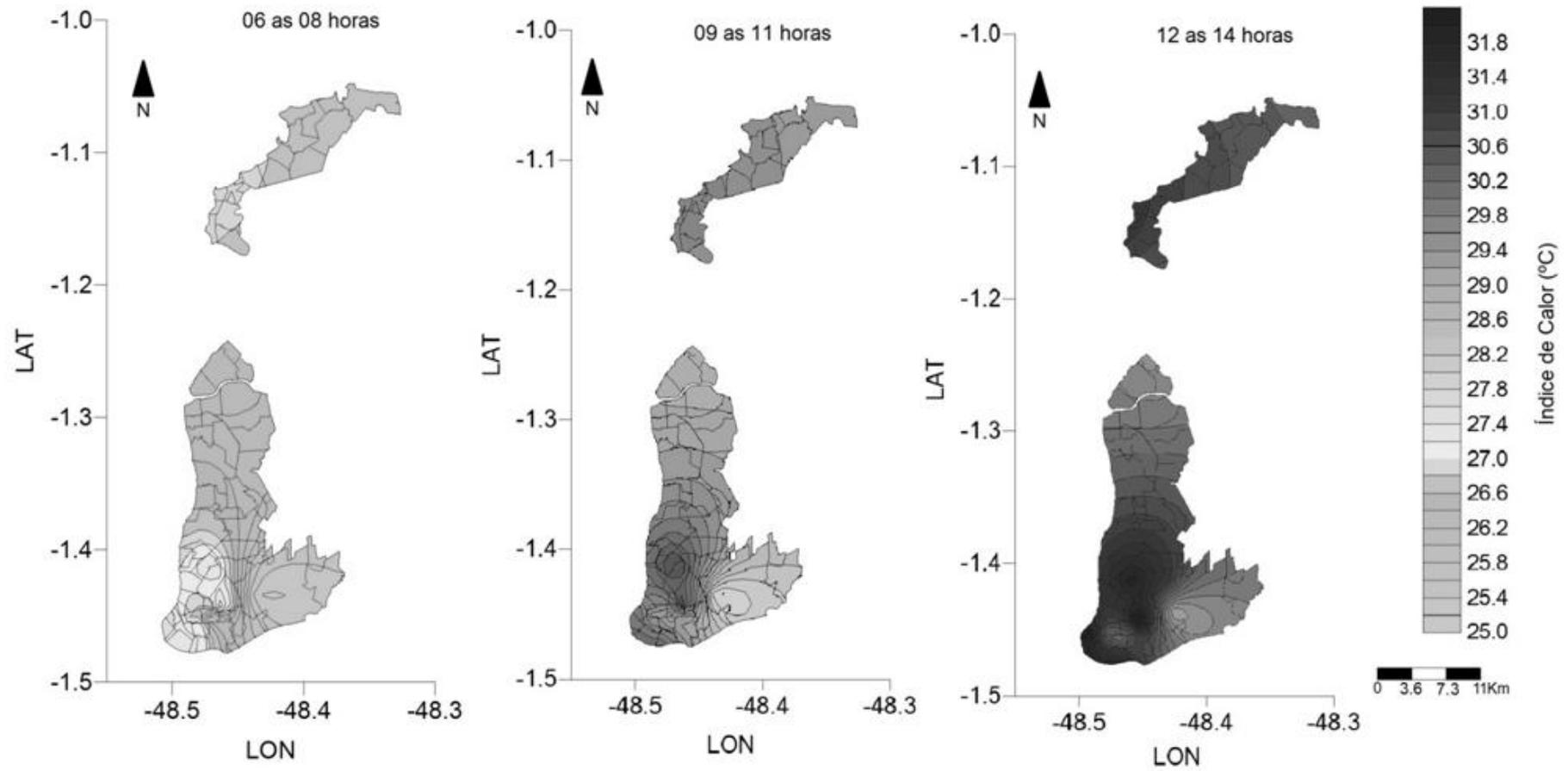
Foram analisados os Mapas 2 e 3 gerados a partir de Índices de Calor (IC), calculados no turno diurno, intervalo das 06 às 19 horas, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Possibilitou-se, desta forma determinar as áreas com maior e menor conforto térmico da cidade de Belém do Pará. No Mapa 2a, para o intervalo das 06 às 08 horas, se observou que a área menos confortável termicamente é a região central da cidade, onde a cobertura da superfície é composta basicamente por áreas edificadas e asfaltadas (área sudoeste do mapa), e que está na faixa de cautela da escala do IC (27,1 a 32,0°C). Esta área central apresenta esse comportamento por ser uma área mais verticalizada, e possuir a capacidade de armazenar mais calor que a região adjacente, fazendo com que o calor absorvido durante o dia seja liberado de forma mais lenta após o pôr do sol, mantendo-se aquecida por mais tempo. Uma particularidade na área central da cidade foi observada no bairro de Nazaré (P-01) no intervalo das 06 às 08h. Pois, apesar de elevada urbanização do bairro, acima de 77%, foi observado um IC de 26,6°C, dentro da faixa de conforto pleno. Isto decorre do enorme sombreamento provocado pelas edificações de grandes prédios residenciais e comerciais na área, que não permite que os raios solares atinjam a superfície nas primeiras horas da manhã, provocando uma sensação térmica confortável neste horário. O bairro que se apresentou mais confortável termicamente, no início da manhã, foi o Curió - Utinga (P-10) com IC=25,2°C, Este bairro contém a Área de Preservação Ambiental (APA) de Belém. Os tipos de vegetação e de cobertura do solo exercem papel fundamental nas características térmicas de uma

região. Nas áreas menos confortáveis termicamente, os bairros do Marco (P-04), Campina (P-06), São Brás (P-07) e, Val-de-Cães (P-08), o valor máximo do IC encontrado foi de 27,7°C (faixa de cautela). A diferença térmica foi causada pela presença da vegetação e pouca cobertura do solo por asfalto e concreto no P-10, comparativamente aos outros bairros. Em média, o IC para a cidade de Belém, nesse horário, foi de 26,7°C.

No Mapa 2b, para o intervalo das 09 às 11 horas, se observou que a toda a cidade está dentro da faixa de cautela, sendo que a área menos confortável termicamente está situada no bairro da Sacramento (P-09), onde o valor do IC foi de 30,8°C, seguido pelo bairro do Marco (P-04) onde o valor do IC encontrado foi de 30,7°C. Nos bairros da Sacramento e do Marco as suas características físicas associadas à baixa quantidade de cobertura vegetal proporcionaram zonas termicamente menos confortáveis. O bairro do Curió-Utinga (P-10) foi o que apresentou a área mais confortável termicamente, com o menor valor do IC que foi de 27,6°C, neste horário. A média do IC para a cidade, entre 09 e 11 horas, foi de 29,6°C.

No Mapa 2c, no intervalo das 12 às 14 horas, observou-se que toda a cidade está na faixa de cautela do IC, com exceção de duas áreas que estão na faixa de cautela extrema (32,1°C a 41,0°C). Uma no bairro da Campina (P-06) e outra no bairro do Marco (P-04), onde os valores do IC foram de 32,2°C e 32,4°C, respectivamente. No bairro do Marco, tanto o trânsito intenso como a baixa cobertura vegetal contribuem para que este seja o local menos confortável termicamente da cidade, nesse horário. Novamente, o bairro do Curió – Utinga (P-10) apresentou a área mais confortável termicamente, com o valor do IC de 29,1°C. A média do IC para a cidade nesse horário foi de 31,0°C.

Mapa 2 – Variabilidade média horária espacial do índice de calor ($^{\circ}\text{C}$) na cidade de Belém do Pará, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Das 06 às 08 horas (a), das 09 às 11 horas (b), das 12 às 14 horas (c).



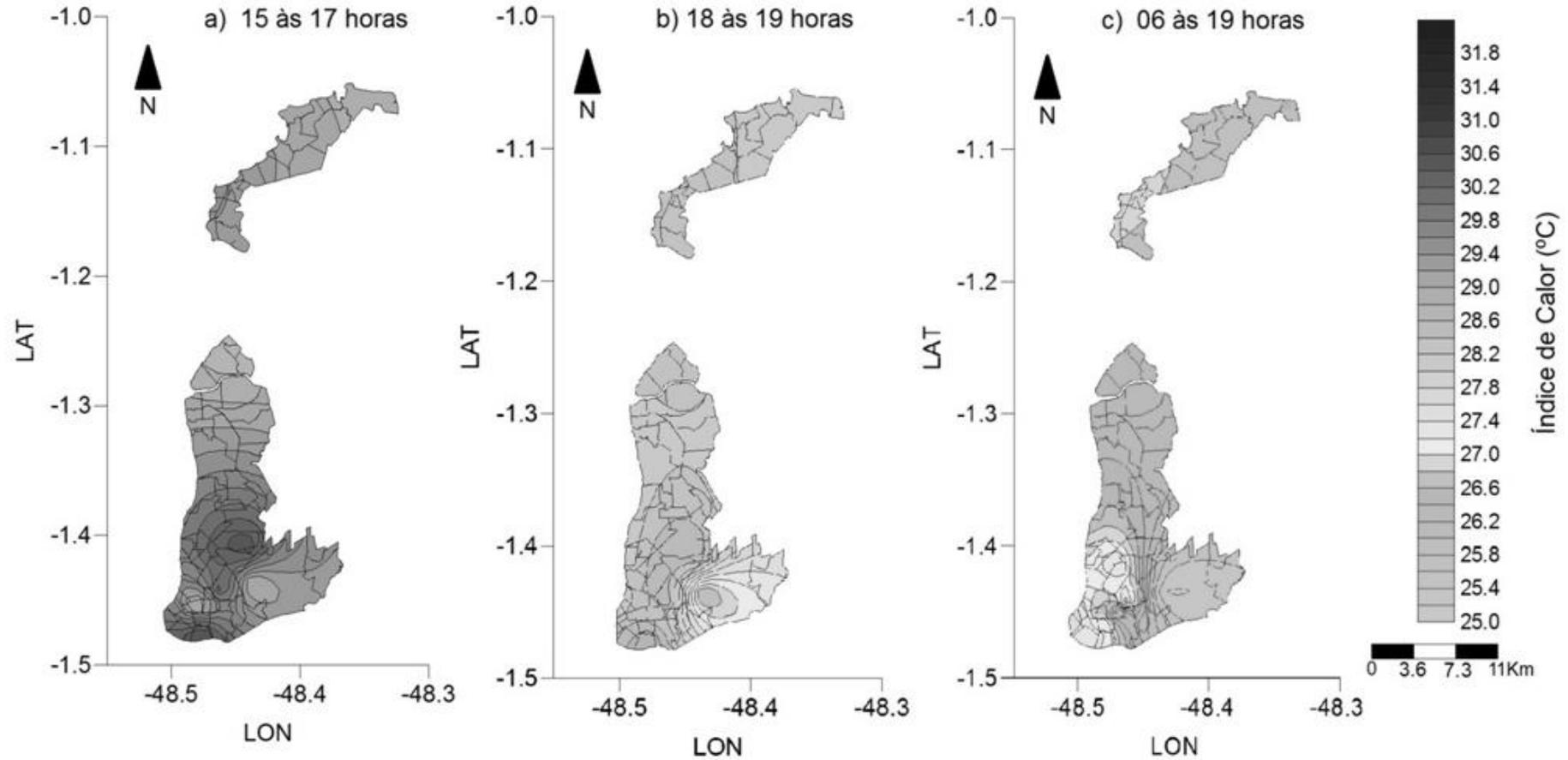
Fonte: Do autor.

No Mapa 3a, para o intervalo das 15 às 17 horas, as variações dos valores do IC são similares ao intervalo do horário anterior. Estando toda a cidade dentro da faixa de cautela, no entanto, observa-se o início da desintensificação dos valores do IC. O bairro de Val-de-Cães (P-08), que apresentava IC acima dos 31,0°C, no intervalo das 12 às 14 horas, agora já registra valores de IC abaixo dos 30,0°C. No entanto, o bairro da Castanheira (P-11), apresentou uma pequena área que foi a menos confortável durante este horário com o IC atingindo 31,6°C, ou seja, 0,9°C acima da média registrada para a cidade nesse horário. Já as regiões mais confortáveis foram a Ilha de Outeiro, o bairro de Maracacuera e a área ao nordeste da Ilha de Mosqueiro, que registraram valores do IC entre 28,5°C a 29,0°C.

No Mapa 3b, no intervalo das 18 às 19 horas, se observou que, com a maior inclinação solar para o poente, os valores do IC reduziram, e criaram-se três áreas distintas, onde os valores do IC continuaram elevados. A menor área localizou-se no bairro do Marco (P-04), a segunda área ocorreu na porção sul da cidade (bairros do Jurunas, Condor (P-02) e Guamá, próximos à beira do rio Guamá), bairros estes predominantemente de edificações baixas. A terceira área está situada nos bairros da Sacramento (P-09), Marambaia e Souza, mais ao norte da cidade, que são bairros com pouca vegetação e bastante cobertura do solo por pavimentação e casas residenciais. Em todas as figuras analisadas, observou-se que a área que apresentou o valor mais baixo (IC=26,3°C) foi o bairro do Curió – Utinga (P-10).

No Mapa 3c, se observaram os valores médios diurnos (intervalo das 06 às 19 horas) do IC. Onde se destacaram as áreas mais e menos confortáveis termicamente, na cidade de Belém, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. As regiões menos confortáveis foram o bairro do Marco (P-04), no cruzamento da Avenida Almirante Barroso com a Travessa Humaitá e o bairro da Sacramento (P-09), no cruzamento das Avenidas Senador Lemos e Dr. Freitas, Ambos os locais possuem características superficiais parecidas de urbanização e vegetação. As áreas mais confortáveis termicamente foram os bairros do Curió - Utinga (P-10), Val-de-Cães (P-08) e Mangueirão.

Mapa 3 – Variabilidade média horária espacial do índice de calor ($^{\circ}\text{C}$) na cidade de Belém do Pará, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Das 15 às 17 horas (a), das 18 às 19 horas (b) e da média das 06 às 19 horas (c).



Fonte: Do autor.

Costa, (1998) estudando as variações termo-higrométricas na cidade de Belém na década de 90, detectou que no horário das 07 às 09 horas a área mais aquecida era a região do centro da cidade enquanto que a menos aquecida foi à região do bairro do Curió-Utinga. Já no horário das 10 às 12 horas a temperatura na área mais aquecida aumentou e continuou sendo a central. No horário das 13 às 15 horas a área mais aquecida foi o bairro do Marco e da Sacramento, e no horário das 16 às 18 horas houve uma leve redução das temperaturas e a mesma tendeu a ser mais homogênea espacialmente sobre a cidade, permanecendo a área menos quente o bairro do Curió-Utinga, na área da APA da cidade, o que corrobora com as medidas de conforto térmico realizadas neste estudo. Pezzuto (2007), estudando o ambiente térmico na cidade de Campinas, encontrou que as áreas com maior impermeabilização do solo e densidade populacional apresentaram maiores valores na temperatura do ar, indicando que a urbanização influencia na formação de áreas termicamente mais aquecidas, enquanto que nas áreas com solos mais permeáveis e com menor densidade de habitantes a temperatura do ar foi menor.

Na Tabela 5 apresentam-se as caracterizações das superfícies em diversos pontos de medidas e a variabilidade horária do IC em cada ponto. As localidades estudadas que apresentaram as maiores porcentagens de urbanização, acima de 93%, foram os bairros do Marco (P-04), São Brás (P-07) e Sacramento (P-09). Os bairros com os menores percentuais de urbanização foram, Curió - Utinga (P-10), com menos de 18% da área, e Val-de-Cães (P-08) já com 60% da área urbanizada. Na área do bairro do Curió - Utinga encontra-se a maior parte da Área de Preservação Ambiental de Belém e a presença de instituições públicas com grandes áreas, e no bairro de Val-de-Cães tem-se o aeroporto internacional e várias áreas militares, o que retém a expansão da cidade nestas direções, ficando mais preservadas as áreas verdes do entorno da cidade.

A localidade menos confortável termicamente é o bairro do Marco (P-04), no cruzamento da Travessa Humaitá com a Avenida Almirante Barroso, onde todos os valores do Índice de Calor foram superiores a 30,1°C, ficando dentro da faixa de Cautela. Sendo que, no horário das 12 às 14 horas esse valor atingiu a faixa de Cautela extrema, com 32,4°C. Por outro lado, a área mais confortável da cidade foi no Bairro do Curió - Utinga (P-10), onde os valores do IC estiveram na faixa de Cautela nos horários de 09 horas até às 17 horas, e para o restante do dia não houve alerta, apresentando

conforto térmico pleno, segundo as faixas de conforto térmico, apresentadas na Tabela 4.

O bairro da Castanheira (P-11), apesar de registrar elevada urbanização (83,6%), também apresentou índices de calor que representam plenamente o conforto térmico. No início da manhã, das 06 às 08h, apresentou $IC = 25,7^{\circ}C$, o menor dentre todos os pontos amostrais, e durante o período das medidas apresentou uma amplitude de $5,64^{\circ}C$. Também no intervalo das 06 às 08h, há uma situação interessante no bairro de Nazaré (P-01), já na área central de Belém. Apesar de possuir grande urbanização (77%), o bairro de Nazaré apresentou o $IC=26,6^{\circ}C$, dentro da faixa de conforto pleno neste horário. Como houve perda radiativa considerável durante a noite, a superfície se mostra relativamente fria logo ao amanhecer. Um maior aquecimento será observado somente quando o ângulo zenital formado pelos raios solares e o zênite local diminuir, isto somente mais próximo ao meio-dia. No bairro da Condor (P-02) a média do IC no período diurno (06 às 19h) foi de $29,7^{\circ}C$, sendo que o horário menos confortável foi das 12 às 14 horas ($IC = 31,7^{\circ}C$), e nesta localidade ocorreu uma amplitude diurna de $4,6^{\circ}C$ do IC. O bairro da Campina (P-06) foi o segundo menos confortável no horário das 12 às 14 horas, e apresentou uma amplitude diurna de $4,5^{\circ}C$ no valor do IC.

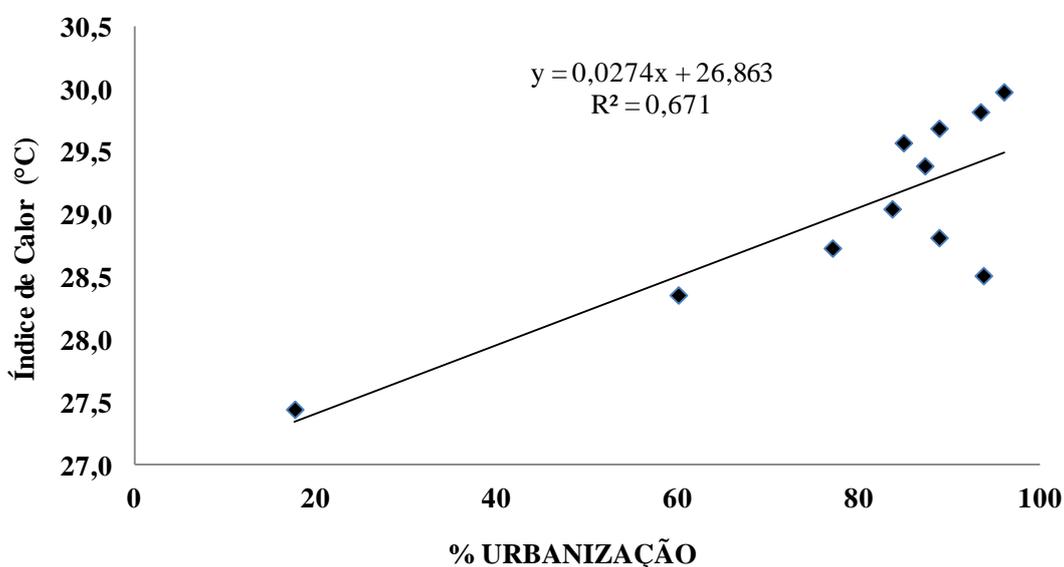
Tabela 5 – Características da cobertura do solo, Urbanização e Vegetação (%) e Índices de Calor (°C) nos 11 pontos de coletas na área urbana de Belém do Pará.

Ponto	Bairro	Urbanização (%)	Vegetação (%)	Índice de Calor (°C)					
				06-08h	09-11h	12-14h	15-17h	18-19h	06-19h
01	Nazaré	77,0	22,8	26,6	29,2	30,4	29,0	28,3	28,7
02	Condor	88,8	10,8	27,1	30,2	31,7	30,6	28,9	29,7
03	Cremação	88,8	10,8	27,2	29,4	30,3	28,8	28,4	28,8
04	Marco	96,0	03,3	27,7	30,8	32,4	30,4	28,6	30,0
05	Pedreira	87,2	12,7	27,0	30,2	31,3	29,9	28,5	29,4
06	Campina	84,9	04,4	27,7	30,1	32,2	29,8	28,1	29,6
07	São Brás	93,7	05,9	27,7	28,7	30,6	29,4	28,1	28,9
08	Val-de-Cães	60,0	39,9	27,8	29,0	30,1	28,7	28,2	28,8
09	Sacramenta	93,4	05,9	27,5	30,8	31,9	30,3	28,6	29,8
10	Curió-Utinga	17,6	79,6	26,8	27,6	29,1	28,8	26,3	27,8
11	Castanheira	83,6	16,2	25,7	29,3	31,1	30,6	28,5	29,0

Fonte: Do autor.

O Gráfico 3 apresenta a correlação entre o IC e a porcentagem de urbanização na cidade de Belém. Observou-se que há uma correlação linear entre a urbanização e a elevação do IC no local. À medida que aumenta a urbanização, o IC também aumenta, indicando que quanto mais urbanizadas as áreas, mais desconfortáveis são esses locais. O coeficiente de determinação foi $R^2=0,671$, o que significa que cerca de dois terços da variância do IC pode ser explicados pela quantidade do percentual de área urbanizada. O coeficiente de correlação entre o IC e a porcentagem de área urbanizada foi de $R=0,81$, indicando uma boa correlação direta entre essas variáveis. O p de Pearson encontrado foi de 0,745 indicando uma boa correlação entre estes elementos.

Gráfico 3 – Correlação entre o IC a porcentagem de urbanização para a cidade de Belém.



Fonte: Do Autor.

No Gráfico 4 é apresentada a correlação entre o IC e a porcentagem de vegetação na cidade de Belém. À medida que a cobertura de vegetação é reduzida, os valores do IC aumentam, como esperado. O coeficiente de correlação entre o IC e a porcentagem de área vegetada foi de $R=0,84$, indicando uma boa correlação entre essas variáveis. O coeficiente de determinação encontrado entre essas variáveis foi $R^2=0,70$, o que significa que 70,1% da variância do IC pode ser explicado pela quantidade do percentual de área vegetada.

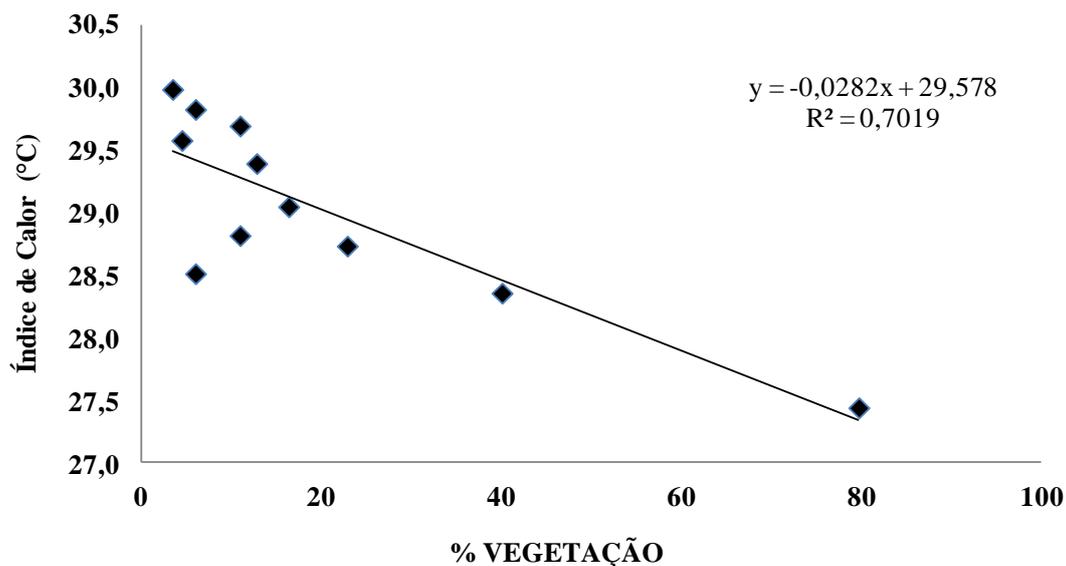
O p de Pearson encontrado foi de -0,762 indicando uma boa correlação negativa entre estes elementos, ou seja, quanto mais áreas vegetadas no espaço urbano, mais

amena a tende ser a temperatura naquele local assim como o seu conforto térmico, pois a vegetação intercepta a maior parte dos raios solares, impedindo que os mesmos atinjam a superfície, reduzindo assim o seu aquecimento. Santos et.al., (2011) ao estudar o campo térmico em João Pessoa, também detectou que as áreas mais vegetadas dentro do campus da UFPB registraram as menores temperaturas.

Feitosa et.al., (2011), estudando a influência da vegetação na temperatura da superfície na cidade de Teresina observou que as temperatura mais elevadas ocorreram nas regiões com maior concentração de áreas construídas e menos arborizadas, enquanto que, nas áreas periféricas com mais vegetação as temperaturas foram mais amenas, corroborando com os resultados encontrados em Belém, e também por Oliveira et.al., (2005) em Viçosa, que encontrou diferenças na temperatura do ar de 1,5 °C entre uma área de solo nu e outra com o solo coberto por vegetação. Grodzki et.al., (2010) estudando o gradiente de temperatura do ar na cidade de Posso Fundo-PR, encontraram diferenças de 2,0 °C entre duas áreas com e sem cobertura vegetal, o que indica a importância da existência de áreas vegetadas nos centros urbanos para melhorar as condições do conforto térmico.

Dumke (2007), estudando localidades na cidade de Curitiba, durante o inverno, verificou que a região mais desconfortável termicamente devido ao frio foi a região central da cidade, onde existem muitas edificações altas. O microclima local foi influenciado por estas edificações de forma análoga a Belém, pois os edifícios contribuíram para reduzir a radiação solar que incide sobre a superfície do solo, de modo que tanto em Curitiba como Belém esta característica contribuiu para amenizar o aquecimento superficial.

Gráfico 4 – Correlação entre o IC e a porcentagem de vegetação para a cidade de Belém.



Fonte: Do autor.

2.4 CONCLUSÕES

Na análise dos valores do Índice de Calor (IC) para a Cidade de Belém do Pará durante o período que os dados foram coletados, em parte do período diurno, a cidade encontra-se dentro da faixa de Cautela com relação ao conforto térmico. O bairro do Marco (P-04), com a maior quantidade de impermeabilização da superfície por asfalto e cimento, caracterizando uma urbanização de 96%, e menor arborização (menos de 4% da área), apresentou o maior valor do IC (32,4°C das 12 às 14h) e menor conforto térmico, com IC sempre acima dos 27,0°C, mesmo ao amanhecer. Em contraste, o bairro do Curió - Utinga (P-10) que apresentou baixa urbanização (17,6%) e quase 80% de vegetação na área, registrou IC abaixo de 27,0°C (condição de pleno conforto) no início da manhã e no final da tarde e, um IC máximo de 29,1°C das 12 às 14 horas. As correlações entre o IC e as porcentagens de urbanização ($R=0,81$) e de vegetação ($R=0,84$), foram fortes, demonstrando a grande contribuição destes elementos urbanos nas condições predominantes de conforto térmico de Belém do Pará.

3 ESTUDO DA ILHA DE CALOR URBANA NA CIDADE DE BELÉM, PA³¹

Resumo

Os estudos sobre a climatologia urbana e as ilhas de calor urbanas surgiram através da necessidade de compreender melhor a ação dos elementos meteorológicos e suas influências na vida da população. Neste estudo analisaram-se a sazonalidade de alguns elementos meteorológicos de uma área urbana, e de outra área mais afastada do centro urbano, para se calcular a intensidade da ilha de calor urbana nesta cidade. Foram usadas informações de um mês bastante chuvoso e de outro menos chuvoso. Os resultados encontrados evidenciaram a existência de uma ilha de calor na cidade de Belém de baixa intensidade, assim como uma forte sazonalidade da precipitação pluvial, da temperatura e umidade relativa do ar.

Palavras-chave: meteorologia, ilha de calor, clima urbano, temperatura do ar

3.1 INTRODUÇÃO

A interação entre o homem e o clima sempre ocorreu, e foi determinante para consolidação de diversas civilizações, e no decorrer dessa história, o homem vem cada vez mais degradando do meio ambiente. O clima de uma região está ligado às características do meio ambiente no seu entorno, além de exercer influências sobre as atividades humanas (COSTA; MATTOS 1998; MAITELLI et. al., 2004; MONTEIRO; MENDONÇA, 2001). As maiores mudanças provocadas pelo homem no meio ambiente ocorrem nas cidades, com a emissão de poluentes para a atmosfera e as alterações da paisagem, com a substituição da superfície por edificações e pavimentações (MAITELLI et. al., 2004). Uma das alterações provocadas pela degradação ambiental são as alterações meteorológicas, e um dos exemplos é o que ocorre nas áreas urbanas, com o aumento da temperatura do ar nas áreas centrais com relação ao seu entorno rural, fenômeno este, conhecido como ilha de calor urbana (COSTA, 1998; OKE, 1987).

Howard (1818) foi pioneiro neste tipo de estudos e observou esse comportamento pela primeira vez na cidade de Londres, onde constatou que a temperatura do ar na área

³¹ Este capítulo está escrito sob as normas da Revista Brasileira de Meteorologia ao qual foi submetido e está em análise.

mais densa da metrópole era superior a das áreas periféricas da mesma, atribuindo esse fato ao efeito da população e da queima do carvão para o aquecimento.

Segundo Maitelli (1994), o fluxo de calor armazenado pela área urbana adicionada ao calor antrópico também gerado pela dinâmica urbana é a principal causa da formação de ilhas de calor, fato este ocasionado pelas maiores condutividades térmicas e capacidade de armazenar calor da estrutura urbana, quando comparadas ao ambiente rural.

As áreas urbanizadas, onde predominam a pavimentação e edificações, apresentam menores valores do albedo, quando comparadas com áreas vegetadas, implicando no seu maior aquecimento (RIOS et. al., 2011). Este fato ocorre devido a dois fatores principais: o primeiro é que os materiais de construção utilizados são de cores escuras, que absorvem e armazenam mais energia, e o segundo fator é que a maior parte desses materiais é impermeável, fazendo com que a água da chuva seja drenada, não conseguindo infiltrar e dissipar a energia armazenada através do processo de evaporação ou da evapotranspiração, quando existem vegetais (GARTLAND, 2010).

Freitas e Silva Dias (2005), ao estudarem os efeitos das áreas urbanas na geração das ilhas de calor na cidade de São Paulo, detectaram que as diferenças entre a temperatura da área urbana e das suas vizinhanças são dependentes do tamanho da área urbana, e nas áreas urbanas pequenas os efeitos da ilha de calor podem ser imperceptíveis, devido à rápida mistura do ar com as regiões vizinhas.

Estudos realizados em Belo Horizonte por Assis e Abreu (1998) foi encontrado que as áreas mais densamente urbanizadas acumulam internamente mais energia do que as áreas do entorno menos urbanizadas, sendo uma das principais causas das mudanças nos padrões de circulação atmosférica local. Em estudo posterior no mesmo município, Abreu e Assis (2010) detectaram que a área central que possui a maior densidade de edifícios comerciais não foi a localidade mais quente, no entanto foi onde ocorreu o menor resfriamento noturno.

Araujo et. al., (2010) realizaram estudos na cidade de Presidente Prudente e detectaram que as diferenças térmicas na área urbana estão ligadas diretamente ao tipo de uso e ocupação do solo, assim como aos materiais utilizados e as formas arquitetônicas, além de identificar como cada tipo de uso e ocupação do solo contribui com o aumento ou diminuição da temperatura do ar.

Santos (2009) pesquisando o comportamento térmico da cidade de Belém através de imagens orbitais do sensor termal do satélite LANDSAT dos dias 27/07/1984 e

09/08/2006, observou a formação de ilhas de calor na cidade em ambas as cenas, onde na imagem do ano de 2006, o autor encontrou uma diferença de temperatura entre as áreas urbana e rural de até 6,0°C.

Souza e Alvalá (2011), estudando o efeito da expansão urbana na cidade de Manaus e a evolução do seu microclima, detectaram que nas últimas décadas houve um acréscimo superior a 2,0°C na temperatura naquela cidade, devido ao processo de urbanização e aumento da população. Santos et. al., (2011) estudando o campus da Universidade Federal da Paraíba, em João Pessoa, ratificou a importância da vegetação na atenuação do conforto térmico e no planejamento da ordenação urbana, para auxiliar a melhoria da qualidade ambiental e preservação dos recursos naturais.

Dessa forma o presente trabalho tem como objetivo quantificar a intensidade da ilha de calor urbana na cidade de Belém, com intuito de contribuir com um maior conhecimento do clima urbano de uma cidade localizada na região Amazônica.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado no município de Belém, Estado do Pará (Mapa 4), onde sua população estimada é de 1.309.000 habitantes, com uma área territorial de 1.065,0 Km², com uma densidade demográfica de 1.315,27 habitantes por Km². A Cidade de Belém possui uma altitude média de 10 metros, com um relevo predominantemente plano, com aproximadamente 60 % de sua área acima da cota de 4 metros com relação ao nível do mar (COSTA, 1998; IBGE, 2010). Na região Norte do Brasil, próximo à linha do Equador, as quatro estações do ano não são bem definidas como ocorre nas regiões sudeste e sul do país, logo, fazemos uma classificação mais geral, onde existem a época chuvosa e a época menos chuvosa na região.

O recorte temporal deste estudo foram dois meses do ano de 2011, sendo um no período chuvoso e outro no menos chuvoso, escolhidos estrategicamente devido ao forte efeito da sazonalidade na região. O mês de Abril foi escolhido por ter apresentado uma melhor distribuição da precipitação no decorrer do período, com 26 dias chuvosos que totalizou um volume de 593,2 mm, enquanto que no mês de Setembro ocorreram apenas 13 dias com chuva, totalizando 58,6 mm.

O clima na cidade, segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, ou seja, clima tropical chuvoso de monção. A média anual da temperatura do ar é de 26,0 ± 0,4°C, com máximas e mínimas variando de 31,5 ± 0,7 a 22,0 ± 0,3°C, respectivamente,

durante o ano (BRASIL, 2009). Segundo Costa (1998), pela baixa variabilidade anual da temperatura do ar na região, as variações sazonais são classificadas com base na pluviometria, que é o parâmetro climatológico mais importante nesta região, pois é ela que vai determinar o clima amazônico, onde fica bastante evidente o efeito da sazonalidade com a ocorrência de dois períodos bastante distintos, sendo um chuvoso de dezembro a maio, e outro menos chuvoso de junho a novembro (FISCH et. al., 1998).

A pluviosidade média anual é de $2.858,7 \pm 76,6$ mm/ano com maior volume no período chuvoso, correspondendo a 71,2% do total anual, e os 28,8% restantes relacionados ao período menos chuvoso. A média anual da umidade relativa do ar é de $85,8 \pm 2,8$ %, com valores maiores na época chuvosa (91,0%) e os menores ocorrendo na época menos chuvosa (83,0 %), conforme as normais climatológicas (BRASIL, 2009).

Com base em uma série histórica com 80 anos de informações de precipitação da estação convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) desta cidade, a média de precipitação do mês de abril é de $378,8 \pm 97,8$ mm e do mês setembro é de $120,1 \pm 41,5$ mm. Os valores observados nos meses selecionados foram anômalos, onde o mês de abril a pluviosidade foi 43,4% acima da média histórica e em setembro o volume acumulado de chuva foi 51,2% inferior a média histórica, e estas anomalias nos volumes de precipitação contribuíram em ambos os meses para melhor expor as características das referidas épocas.

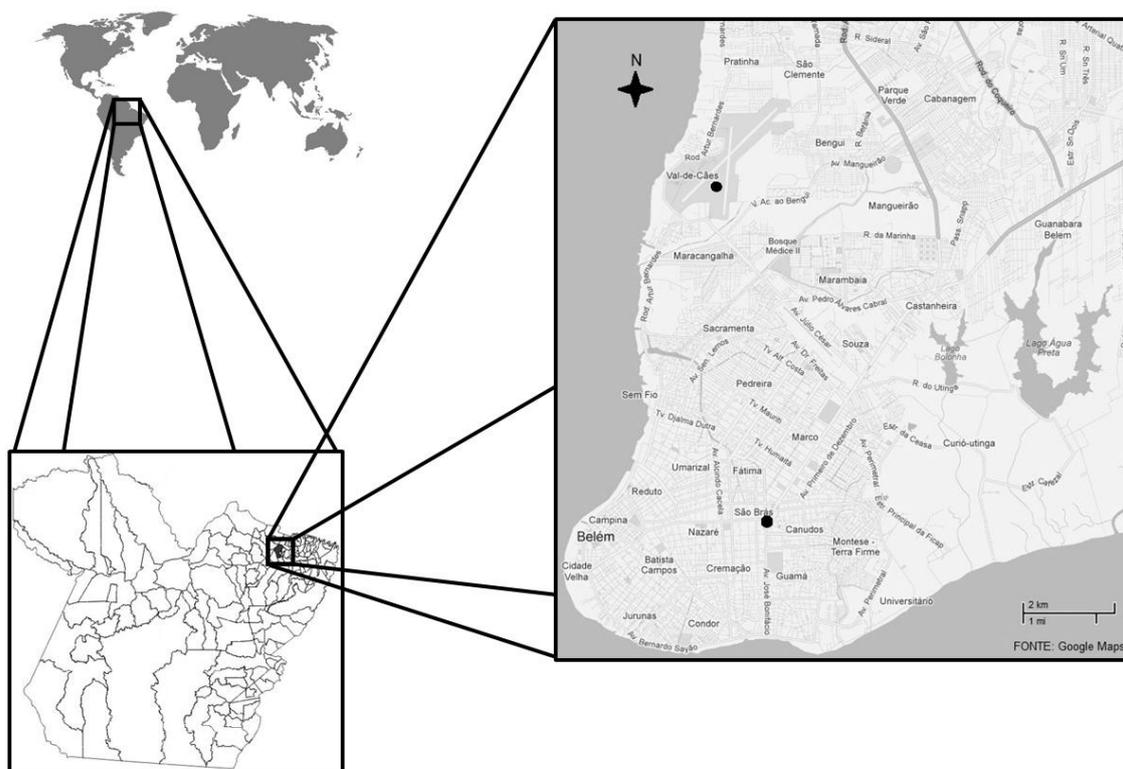
Este trabalho foi desenvolvido com a utilização de dados meteorológicos médios horários (hora local) adquiridos através de duas estações meteorológicas automáticas, uma instalada no bairro de São Brás (Urbano) e a outra, pertencente ao Aeroporto Internacional de Belém – SBBE (Periférica), no bairro de Val-de-Cães, com uma distância entre ambas de aproximadamente 7,4 km.

A estação localizada no bairro de São Brás fica situada na zona central da cidade, que é uma área bastante urbanizada, onde a cobertura do solo predominante são o asfalto e o cimento, possui poucas áreas arborizadas, apresentam edificações altas e baixas, o trânsito de veículos é intenso. Esta estação é composta por um datalogger modelo CR-1000 da CampbellSci e está equipada com o sensor que mede a temperatura do ar e a umidade relativa do ar (HMP45C - Vaisala) o qual apresenta uma precisão de $\pm 0,2^{\circ}\text{C}$ (a 20°C) da medida da temperatura e de $\pm 2\%$ (a 20°C) da medida de umidade relativa do ar, e o mesmo foi adquirido já calibrado.

A estação situada no bairro de Val-de-Cães fica situada em uma região periférica, zona oeste da cidade, um pouco afastada do centro urbano, onde a tipologia da cobertura do solo predominante é de grama, seguidos pelo asfalto (pista de pouso) e o concreto (estacionamento e as edificações dos terminais). A vegetação é composta, basicamente, por gramíneas nas laterais das pistas e algumas espécies arbóreas no entorno do Aeroporto, não existindo muitas edificações na região. A referida estação é utilizada nas operações do aeroporto, e conseqüentemente, a mesma é calibrada periodicamente devido a importância vital de suas informações.

Para detecção do fenômeno da ilha de calor na cidade, foi utilizada a equação ΔT_{u-r} que representa a diferença entre a temperatura urbana e a temperatura da área do seu entorno ou a rural (OKE, 1987). Nesse estudo fez-se a diferença entre os valores da temperatura do ar da área urbana e da periférica, medida esta que nos dá a intensidade da ilha de calor urbano. Nas séries de dados foi aplicado o teste estatístico T de Student, para variáveis independentes com um nível de significância de 95% para verificar se as diferenças entre os valores possuem ou não significância estatística.

Mapa 4 – Localização geográfica de Cidade de Belém, PA e dos pontos de coleta de dados.

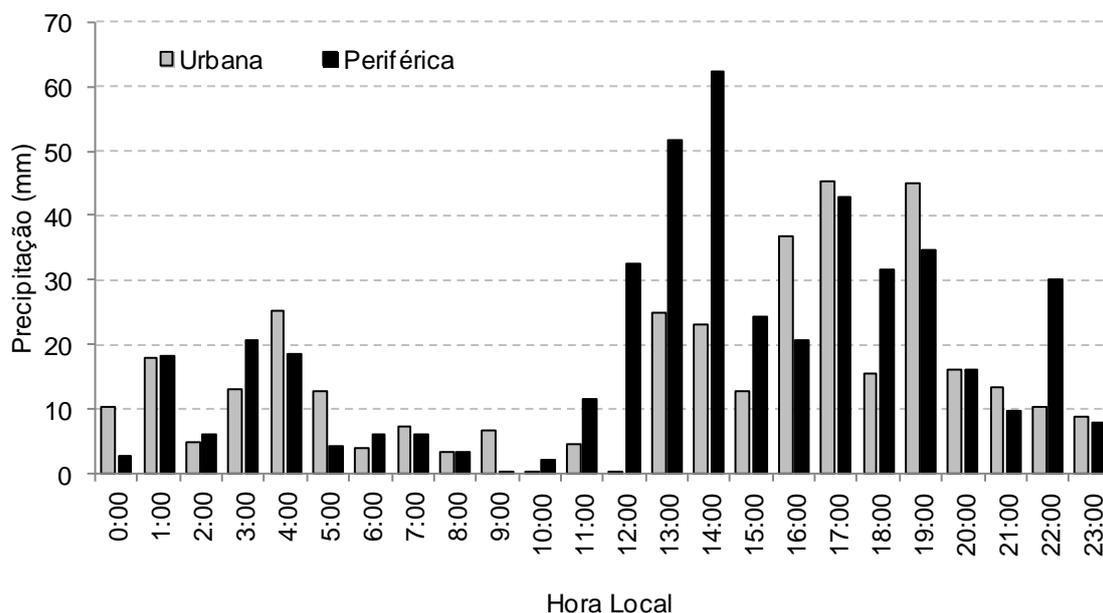


Fonte: Adaptado pelo autor.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No Gráfico 5 temos ilustrado a variabilidade média horária dos totais de precipitação pluvial na cidade de Belém das duas áreas estudadas na época chuvosa. Observou-se que as duas áreas analisadas no mês de abril apresentaram uma distribuição da pluviosidade semelhantes, com predomínio das chuvas no período da tarde, que são causadas por sistemas convectivos, enquanto que no restante do dia são influenciadas por sistemas de grande escala, como a zona de convergência intertropical (ZCIT) (MOLION, 1987; FISCH et. al.,1996, 1998). Na área periférica, a precipitação pluvial iniciou mais cedo, apresentando maiores valores acumulados em quase todas as horas. O volume mensal de precipitação acumulado na área periférica foi de 464,2 mm, com apenas dois dias sem a ocorrência de chuvas, enquanto que na área urbana a precipitação acumulada este mês foi de 363,0 mm. Na área urbana a precipitação foi 21,8% menor do que a ocorrida na periferia.

Gráfico 5 – Variabilidade horária dos totais da precipitação pluvial na cidade de Belém nas duas áreas estudadas na época chuvosa.

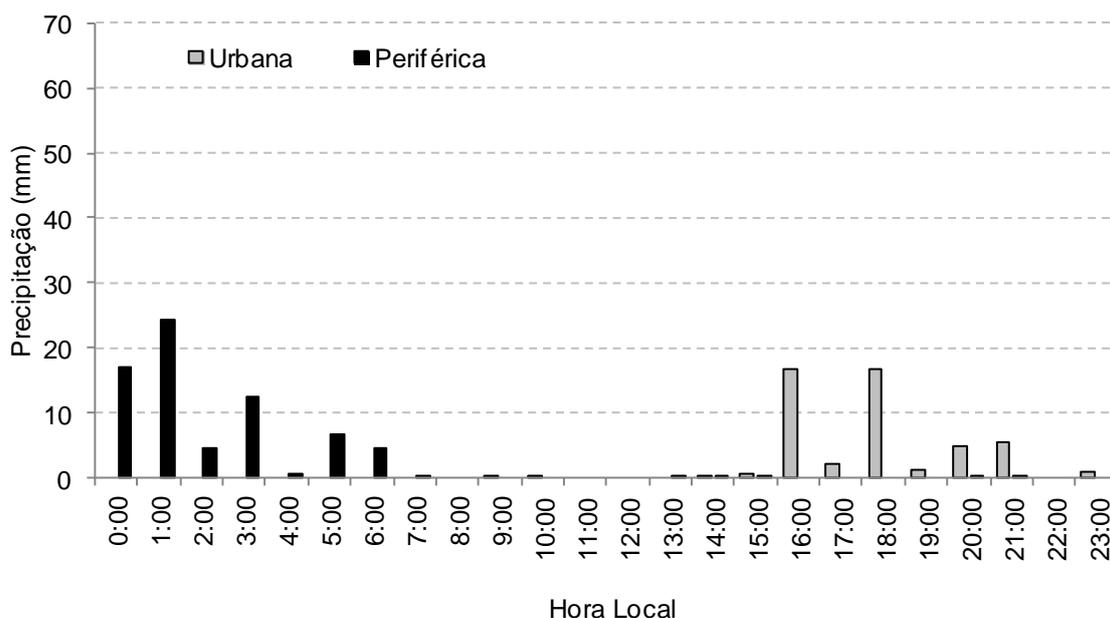


Fonte: Do autor.

No Gráfico 6 temos apresentado a variabilidade horária dos totais da precipitação pluvial na cidade de Belém nas duas áreas estudadas na época menos chuvosa. Observou-se que as distribuições da pluviosidade nestas áreas são bastante distintas,

apesar de estarem relativamente próximas. Na área urbana as chuvas ocorreram preferencialmente no final da tarde e a noite, totalizando 49,6 mm, enquanto que na área periférica a ocorrência da precipitação foi predominantemente durante a madrugada, com um volume acumulado de 72,0 mm. As precipitações na época menos chuvosa são causadas, principalmente, por sistemas convectivos localizados. Durante o período da tarde, a área urbana fica mais aquecida do que a periférica, e quando ocorre o encontro de duas massas de ar com características distintas (térmicas e hidrométricas), a mais úmida vai subir através do processo da convecção, causando as precipitações na área urbana oriundas de nuvens cúmulos e cumulonimbus. As precipitações ocorridas na área periférica foram decorrentes do sistema de brisas lacustres, devido à proximidade do aeroporto de uma grande massa de água, a Baía do Guajará.

Gráfico 6 – Variabilidade horária dos totais da precipitação pluvial na cidade de Belém nas duas áreas estudadas na época menos chuvosa.



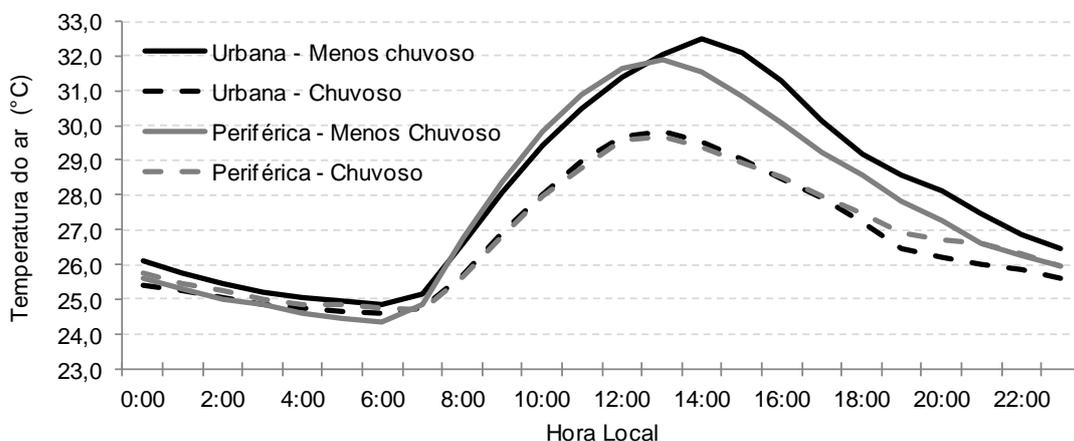
Fonte: Do autor.

No Gráfico 7 temos ilustrada a variabilidade média horária da temperatura do ar nos períodos chuvoso e menos chuvoso da área urbana e periférica, no período menos chuvoso e chuvoso. Observou-se que a temperatura do ar no período menos chuvoso, em ambos locais, foram superiores ao período chuvoso. No período menos chuvoso a temperatura do ar na área urbana foi superior durante as 24 horas aos valores encontrados na área periférica quando comparada com o período chuvoso, o que não

ocorre na área periférica, onde entre as 00 e 06 horas a temperatura do ar do período chuvoso foi superior ao período seco, invertendo este comportamento a partir das 07 horas e as mesmas voltaram a igualar-se às 21 horas. Este comportamento ocorre na área periférica, pois no período menos chuvoso a quantidade de nebulosidade é menor, facilitando a perda radiativa durante a noite, além de esta área possuir algumas áreas vegetadas.

Na área urbana as amplitudes médias da temperatura do ar foram de 7,6 °C e 5,2 °C nos períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente, enquanto que na área periférica, as amplitudes médias da temperatura do ar foram de 7,6 °C e 4,2 °C nos períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente. Na área urbana as médias da temperatura do ar nos períodos menos chuvoso e chuvoso foram de 28,1 °C e 26,7 °C, respectivamente, enquanto que na área periférica esses valores foram de 27,6 °C e 26,6 °C, respectivamente. Acredita-se que essa diferença esteja associada ao tipo de cobertura da superfície de ambos os locais, o que corrobora com resultados obtidos por Costa e Oliveira (1996).

Gráfico 7 – Variabilidade sazonal média horária da temperatura do ar na área urbana e periférica da cidade de Belém, no período menos chuvoso e chuvoso.



Fonte: Do autor.

Na estrutura física da área urbana foram utilizados materiais que armazenam mais o calor e que são impermeáveis, como o concreto e o asfalto, fazendo com que o aquecimento da superfície e a dissipação de energia seja ligeiramente mais lenta. Ananias et.al., (2010), estudando o perfil vertical da atmosfera em Belém encontrou valores médios da temperatura do ar próximos da superfície de 26,0 °C, na área

periférica e detectou anomalias da temperatura do ar entre os anos considerados chuvosos e secos, onde as mesmas foram maiores nos anos chuvosos e menores nos anos secos na superfície.

Segundo Silva Junior et.al., (2002), durante a ocorrência de eventos ENOS – El Niño Oscilação Sul, independentemente se ser El Niño ou La Niña, tanto a temperatura do ar como a precipitação pluvial sofrem alterações nos seus comportamentos. Durante a ocorrência do fenômeno El Niño, devido às mudanças na circulação de grande escala na atmosfera, como o enfraquecimento dos ventos alísios sobre o Oceano Pacífico Equatorial e o deslocamento da célula de Walker para Leste que força o ramo descendente de ar para cima da Amazônia inibindo a convecção que é um dos principais mecanismos de formação da precipitação em nossa região. Com isso, a temperatura do ar da cidade de Belém tende a ficar mais elevada do que o normal e a precipitação pluvial é reduzida. No entanto, quando ocorrem os fenômenos La Niña este comportamento se inverte, e a temperatura do ar tende a ser mais amena e o volume da precipitação pluvial aumenta. Esse comportamento durante os eventos de La Niña ocorrem devido aos ventos alísios se intensificarem sobre o Oceano Pacífico Equatorial, a presença de um ramo da célula de Walker ascendente mais intenso sobre a Amazônia favorecendo a convecção e a ocorrência de maiores volumes de precipitação pluvial.

Na área urbana, o valor máximo da temperatura do ar na época chuvosa ocorreu às 13 horas (29,8 °C), e na época menos chuvosa às 14 horas (32,5 °C) iniciando então o resfriamento naquele local. Oliveira et.al., (2002), estudando a climatologia dos valores máximos e mínimos da temperatura do ar e sua tendência na cidade de Belém, com uma série de 104 anos encontraram os valores máximos da temperatura do ar de 33,7 °C e 31,8 °C nos períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente. Já as menores temperaturas do ar registradas foram de 21,8 °C e 22,4 °C nos períodos menos chuvoso e chuvoso, respectivamente, havendo pouca variabilidade deste elemento meteorológico, e durante este período analisado foi encontrada uma tendência de aumento na temperatura de 0,01 °C nas temperaturas média, máxima e mínima para a região.

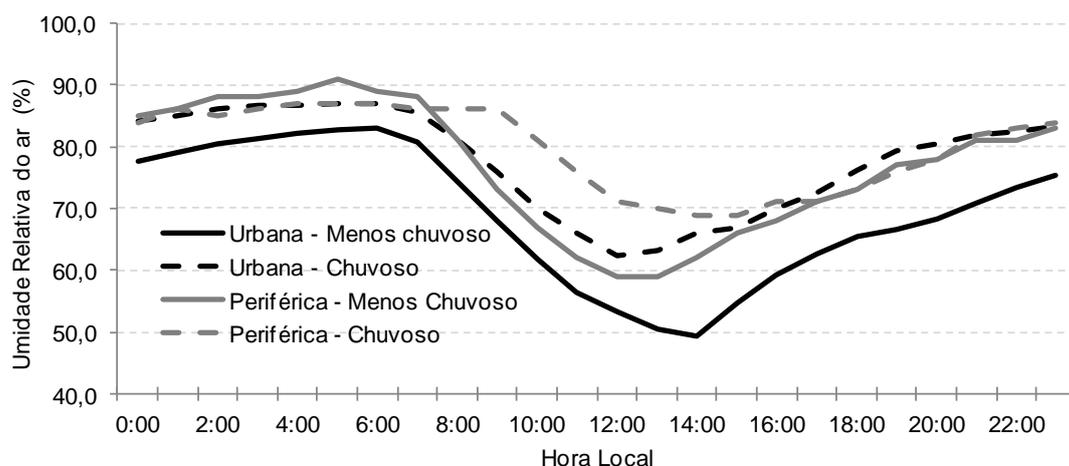
Na época menos chuvosa a diferença da temperatura do ar nos dois locais foi pequena, ficando a área urbana mais aquecida do que a periférica, e das 08 as 13 horas a área periférica ligeiramente mais quente que a urbana, devido a distinção das características da superfície dos locais. Após as 13 horas a área periférica começa a esfriar enquanto que a urbana só inicia o resfriamento após as 14 horas. Costa e

Oliveira (1996), estudando as influências das atividades urbanas na temperatura do ar na cidade de Belém descreveram este mesmo comportamento na década de 90. A diferença da temperatura média entre os dois períodos na área urbana foi apenas de 1,4 °C, no entanto na área periférica essa diferença foi menor ainda, com apenas 1,0 °C. Apesar da diferença de temperatura entre os períodos serem pequenas, na área urbana isso representa 18,4% da variação média diária, enquanto que, na área periférica isso vai representar 16% da variação média diária.

No Gráfico 8 temos ilustrada a variabilidade sazonal média horária da umidade relativa do ar na área urbana e periférica. Durante a época chuvosa, nas primeiras horas do dia a umidade relativa do ar apresenta valores muito próximos em ambos os locais, a partir das 07 horas, com o início do aquecimento, na área urbana a umidade relativa do ar sofre uma maior redução quando comparado com a área periférica, voltando a ficar com valores próximos do final da tarde até o término do dia. Na área urbana no período chuvoso os valores máximos, médios e mínimos da umidade relativa do ar foram de 87%, 78% e 62%, respectivamente, enquanto que no período menos chuvoso os valores da umidade relativa do ar foram de 83%, 69% e 49%, respectivamente. Na área periférica durante o período chuvoso os valores máximo, médio e mínimo da umidade relativa do ar foram de 87%, 78% e 69%, respectivamente, enquanto que no período menos chuvoso os valores da umidade relativa do ar foram de 83%, 69% e 49%, respectivamente.

A umidade relativa do ar na área urbana, em média foi menor do que na periférica durante o período chuvoso, fato este atribuído a pouca vegetação e a presença das estruturas existentes na área urbana que não existem na área periférica. No horário das 16 horas foi observada a inversão das curvas da umidade relativa do ar, onde na área urbana a concentração de umidade ficou ligeiramente superior a da região periférica, o que está associado à redução do aquecimento da superfície e ao calor específico dos materiais que constituem essas áreas.

Gráfico 8 – Variabilidade sazonal média horária da umidade relativa do ar na área urbana e periférica, no período menos chuvoso e chuvoso.



Fonte: Do autor.

Na Tabela 6 temos ilustrados os resultados dos testes estatísticos aplicados as séries de temperatura do ar das duas localidades, no período menos chuvoso e chuvoso. Foi aplicado o teste estatístico T de Student para variáveis independentes, em uma análise uni-caudal com um nível de confiança de 95%, com intuito de verificar a significância das diferenças entre os locais e as épocas chuvosa e menos chuvosa, onde obtivemos uma significância estatística para $p < 0,0001$ quando comparamos: a área urbana nas duas épocas; a área periférica nas duas épocas; a área urbana com a periférica na época seca, o que indicou que o comportamento da temperatura do ar nesses locais e épocas são distintos. Quando foram comparadas as áreas urbana e periférica na época chuvosa, não foi encontrada uma significância estatística ($p = 0,3536$), indicando uma homogeneidade da temperatura do ar nesses locais durante este período.

Tabela 6 - Resultados dos testes estatísticos aplicados às séries de temperatura do ar das duas localidades, no período menos chuvoso e chuvoso.

	Urbana: Chuvosa x Menos Chuvosa	Periférica: Chuvosa x Menos Chuvosa	Urbana x Periférica: Menos Chuvosa	Urbana x Periférica - Chuvosa
R ²	0,6	0,5	0,3	0,5
R	0,7	0,7	0,5	0,7
P	≤ 0,0001	≤ 0,0001	= 0,0005	= 0,3536

Fonte: Do autor.

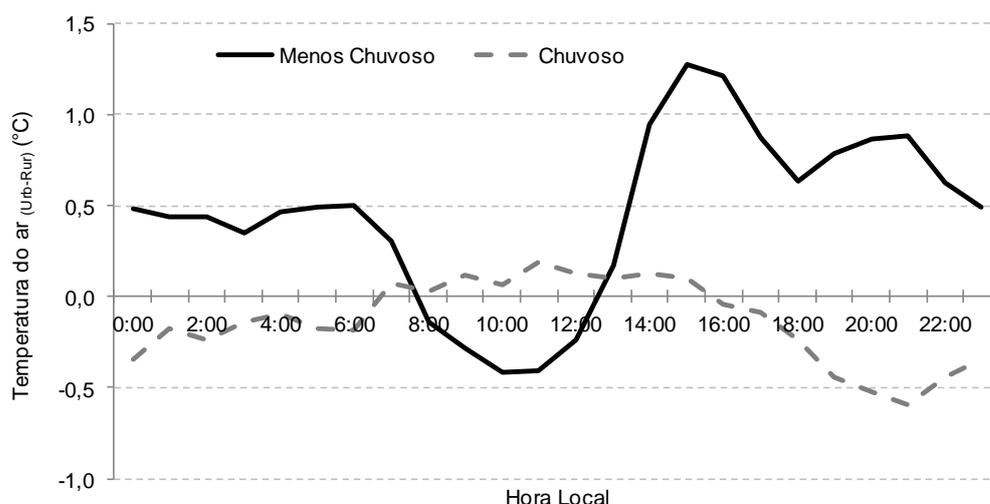
No Gráfico 9 temos ilustrado a variabilidade sazonal média horária da ilha de calor urbana na cidade de Belém. Durante o período menos chuvoso pode-se observar a ocorrência do fenômeno da ilha de calor na cidade de Belém, onde sua intensidade máxima ocorreu às 15 horas com um valor de 1,3 °C. Das 13 às 23 horas e da 00 às 08 horas a área urbana encontra-se mais aquecida do que a área periférica, havendo uma inversão de locais entre as 08 e 12 horas. Esta inversão ocorre devido à perda radiativa da cidade durante a madrugada, e das 08 às 10 horas com o início da incidência dos raios solares, a área urbana volta a aquecer novamente.

No período chuvoso a área urbana encontra-se mais fria do que a área periférica no período da 00 as 07 e das 16 às 23 horas devido a grande quantidade de nebulosidade e a precipitação, que contribuem para um maior resfriamento da superfície, principalmente, em função do calor latente da água. Com o nascer do sol, o ambiente urbano se aquece mais rapidamente do que o periférico devido o seu calor específico ser menor do que o da área periférica. Em média a temperatura do ar é 1,4 °C e 1,0 °C menores na época chuvosa na área urbana e na periférica, respectivamente. Foi aplicado também o teste estatístico T de Student para variáveis independentes, em uma análise uni-caudal com um nível de significância de 95%, para averiguar a significância dessas diferenças da intensidade da ilha de calor urbana entre as épocas chuvosa e menos chuvosa, e foi obtida uma significância estatística para $p < 0,001$, o que indica que o comportamento da temperatura do ar entre a área urbana e periférica são distintos.

Os resultados obtidos por Santos (2009) através de imagens orbitais do LANDSAT 5 mostraram valores entorno de 6,0°C de diferença da temperatura da superfície entre a área urbana e áreas vegetadas no entorno de Belém, no entanto, estes valores foram obtidos para um único dia sem nebulosidade, durante a passagem do satélite às 10 horas e 16 minutos, enquanto que no presente estudo os valores apresentados são médios horários, o que minimiza os valores extremos.

Ao analisar os dados horários das estações utilizadas neste trabalho, fazendo os cálculos individualmente para cada horário, observou-se uma diferença da temperatura do ar entre a área urbana e a periférica no período menos chuvoso de 8,3°C às 15 horas do dia 11/09/2011, indicando uma forte intensidade do fenômeno este dia.

Gráfico 9 – Variabilidade sazonal horária da ilha de calor urbana na cidade de Belém, no período menos chuvoso e chuvoso.



Fonte: Do autor.

3.4 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas foi observado que o volume da pluviosidade ocorrido na área periférica foi maior do que na área urbana, e na época chuvosa a distribuição horária é bastante semelhante, corroborando que nesta época existe uma homogeneidade entre as áreas. Na época menos chuvosa, foi observado que a predominância da precipitação pluvial ocorreu durante a tarde e a noite na área urbana e na periférica foi durante a madrugada. A umidade relativa do ar na área urbana apresentou uma maior diferença entre a época menos chuvosa e a chuvosa, quando comparado com a área periférica. Essa diferença entre os valores da umidade relativa do ar na área periférica foi menor devido às características do local e da quantidade de vegetação presente em seu entorno. Existe uma diferença com significância estatística ($p < 0,001$) entre as temperaturas do ar nos locais e entre os dois locais estudados durante a época seca, no entanto durante a época chuvosa a diferença entre a área urbana e a periférica não possuem uma significância estatística ($p = 0,353$). A cidade de Belém apresentou, em média, maiores valores de temperaturas do ar em relação às áreas do seu entorno, caracterizando a ocorrência de uma ilha de calor de fraca intensidade, no período noturno na época menos chuvosa da região. Analisando a série diariamente, encontrou-se um valor de $8,3^{\circ}\text{C}$ da diferença da temperatura da superfície entre as duas áreas estudadas, indicando uma forte intensidade da ilha de calor na cidade.

4 VARIABILIDADE ESPACIAL DO CONFORTO TÉRMICO E A SEGREGAÇÃO SOCIAL DO ESPAÇO URBANO NA CIDADE DE BELÉM, PA³²

Resumo

O presente trabalho vem contribuir com o estudo do clima urbano na cidade de Belém durante a época menos chuvosa, juntamente com uma análise da segregação social³³ deste espaço urbano. Foi realizada uma campanha de coleta de dados meteorológicos durante três dias na época menos chuvosa da região para se calcular o índice de conforto térmico nos bairros e os comparar com as tipologias sociais de cada bairro. Os resultados indicaram que as zonas da cidade menos confortáveis foram a Oeste e a Central, por serem mais urbanizadas e possuírem menos vegetação que as demais áreas, enquanto que as zonas mais confortáveis foram a Leste e Noroeste, que possuem mais áreas vegetadas e predominância de edificações baixas. As análises indicaram que não existe um padrão bem definido entre as tipologias sociais dos bairros e as condições de conforto nos mesmos, pois as características da superfície são mais significativas para as mudanças microclimáticas locais.

Palavras-chave: clima urbano, sociedade, segregação social, conforto térmico, Amazônia.

4.1 INTRODUÇÃO

A cidade de Belém está localizada na região Amazônica e posicionada estrategicamente na foz do Rio Amazonas, e devido a sua importância histórica e privilegiada localização geográfica a cidade foi um ponto de apoio fundamental para a conquista da Amazônia, além de lhe render um grande desenvolvimento econômico e urbano. Por ficar distante dos outros centros urbanos ao sul do país, tornou-se um ponto de referência na região, principalmente durante o ciclo da borracha, onde o transporte e a exportação eram realizados através dos seus portos (CARDOSO, 2007; DIAS; DIAS, 2007; PONTE 2003).

³² Este capítulo está escrito sob as normas da Revista Brasileira de Meteorologia ao qual foi submetido e está em análise.

Na década de 1950 houve a intervenção do Estado na região Amazônica através do Plano de Desenvolvimento Nacional (PDN), com a construção de Brasília e as primeiras estradas, e no final dos anos 1960 os governos militares dedicaram especial atenção à ocupação estratégica da Amazônia, onde grandes mudanças começaram a ocorrer na região, como por exemplo, a implantação de grandes projetos de mineração, hidroelétricos e abertura de estradas, com intuito de desenvolver economicamente a região Norte do Brasil (MARTINS, 1982). Após a abertura e inauguração da BR-010 (Rodovia Belém-Brasília), a penetração e colonização da região ficaram mais fáceis. Segundo Hogan (2001), um rápido processo de urbanização reflete a existência de um contingente de trabalhadores sub-empregados ou desempregados, que migraram para a região, além de um crescimento urbano carente de planejamento. Entre os anos de 1960 e 1990 a cidade de Belém experimentou um forte crescimento populacional, de aproximadamente 130%, onde a população passou de 402.170 para 1.244.688 habitantes (IBGE, 2010), o que aumentou a pressão sobre os recursos naturais, sobre os espaços existentes na cidade, especificamente nas regiões de baixadas, devido ao déficit habitacional. Segundo Castells (1989), este déficit se constitui em um grave problema que afeta a população, sobretudo quando ocorrem grandes mudanças territoriais. Com o crescimento populacional e o déficit habitacional, a população tende a organizar-se no espaço intra-urbano, e devido à habitação ser resultado de um processo produtivo, ela é responsável por boa parte dessa organização em sítios sociais (CASTELLS, 1989; VILLAÇA, 2001).

De acordo com Barbirato (2010), a realização de pesquisas sobre o clima de uma localidade é uma ferramenta fundamental para o planejamento urbano. No entanto, frequentemente esse fator é ignorado devido ao crescimento desordenado das cidades, o que implica na não criação de espaços mais confortáveis termicamente para a população. O crescimento desordenado das áreas urbanas vai gerar alterações nos padrões climáticos daquela região, devido às alterações ambientais, sobretudo devido as mudanças das características da cobertura do solo, o que pode gerar o surgimento de microrregiões termicamente desconfortáveis (MAITELLI et. al., 1991; GOLDREICH, 1992; JÁUREGUI, 1992).

As condições do conforto térmico são funções das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, das suas vestimentas e das variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente (FANGER, 1972). A identificação e quantificação dos fenômenos climáticos urbanos e das características térmicas de uma cidade, assim

como a sua correlação com diversos outros fatores, mostram-se de grande importância no sentido de dar subsídio a projetos de planejamento urbano, favorecendo a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes.

Os índices de conforto térmico foram desenvolvidos com base nas necessidades de aumentar o rendimento do trabalho durante a revolução industrial, para determinar a influência das condições da temperatura e umidade relativa do ar no rendimento do trabalho físico dos operários, e também situações especiais de guerra, quando as tropas eram deslocadas para regiões de diferentes tipos de clima (USAPHC, 2011; YAGLOU, 1947). O conforto térmico foi definido pela ISO 7730 como “um estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente que envolve uma pessoa”, logo é uma percepção subjetiva que vai depender dos aspectos fisiológicos e emocionais dos indivíduos. Os índices de conforto térmico procuram integrar o efeito conjunto de algumas variáveis, levando em consideração a atividade exercida, as indumentárias e as variáveis ambientais para diferentes condições que o indivíduo pode ser submetido (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Segundo Oliveira et. al., (2005), o processo de segregação urbana na cidade de Belém é antigo, e data da época de fundação da cidade, onde as instituições que conduziram a fundação da mesma instalaram-se nas melhores áreas, as mais elevadas, enquanto que as famílias desprovidas de posses foram ocupar as áreas mais baixas, sujeitas a alagamentos, e essa configuração de segregação existiu por um longo período, baseando-se nas áreas centrais e na cota dos terrenos da cidade.

A segregação urbana foi definida por Castells (1983) como “*uma tendência à organização do espaço em zonas de forte homogeneidade social interna e com intensa disparidade social entre elas, sendo esta disparidade compreendida não só em termos de diferença, como também de hierarquia*”. Ou seja, a segregação socioespacial é uma tendência de agrupamento no espaço de grupos sociais homogêneos, que derivam de uma disparidade social proclamada na organização do território, sendo também a expressão dos processos de reprodução do trabalho vinculada com a estrutura social (DUMKE, 2007). Segundo a afirmação de Castells (1983), a estratificação e a segregação urbana não são responsáveis diretas pelo sistema de estratificação social no espaço urbano, mas articulam-se ao seu processo de produção como forma de distribuição dos seus indivíduos, explicando que “*cada conjuntura histórica específica o tipo de urbanização e a segregação do espaço*”. Villaça (2001) definiu a segregação das classes sociais como “*um processo segundo o qual diferentes classes ou camadas*

sociais tendem a se concentrar cada vez mais em diferentes regiões gerais ou conjuntos de bairros da metrópole”.

Essa situação descrita por estes autores podem ser observada em diversas áreas de Belém, e uma das formas de enxergar é através dos custos para habitar-se determinados locais, dos aspectos físicos e estéticos dos imóveis e da sua localização geográfica no espaço intra-urbano.

Nesse estudo analisamos a distribuição espacial do conforto térmico em diferentes regiões na cidade de Belém e também, sob o ponto de vista climático, se as condições térmicas destas regiões estão relacionadas com as tipologias socioespaciais³⁴ dos sítios sociais, onde as tipologias socioespaciais estão relacionadas com a segmentação social dos cidadãos, baseada no poder aquisitivo e na ocupação dos mesmos.

4.2 MATERIAIS E MÉTODOS

4.2.1 Caracterização do local de estudo e aquisição de informações

A Cidade de Belém, capital do Estado do Pará, está localizada em uma região tropical na porção oriental da Amazônia, e teve no passado um papel importante na ocupação dessa região, o que contribuiu, significativamente, para o seu crescimento, tendo atualmente uma população de 1.393.399 habitantes IBGE, (2010). O clima em Belém, segundo a classificação de Köppen (1900-1936) é do tipo Am, ou seja, clima tropical chuvoso de monção, com a média anual da temperatura do ar de $26,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, com máximas e mínimas variando de $31,5 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ a $22,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente, durante o ano. A pluviosidade média anual é de $2.858,7 \pm 76,6$ mm/ano com maior volume no período chuvoso (dezembro a maio), correspondendo a 71,2 % do total anual, enquanto que os 28,8% restantes são distribuídos nos meses de junho a novembro (COSTA, 1998; SILVA JUNIOR et. al., 2011).

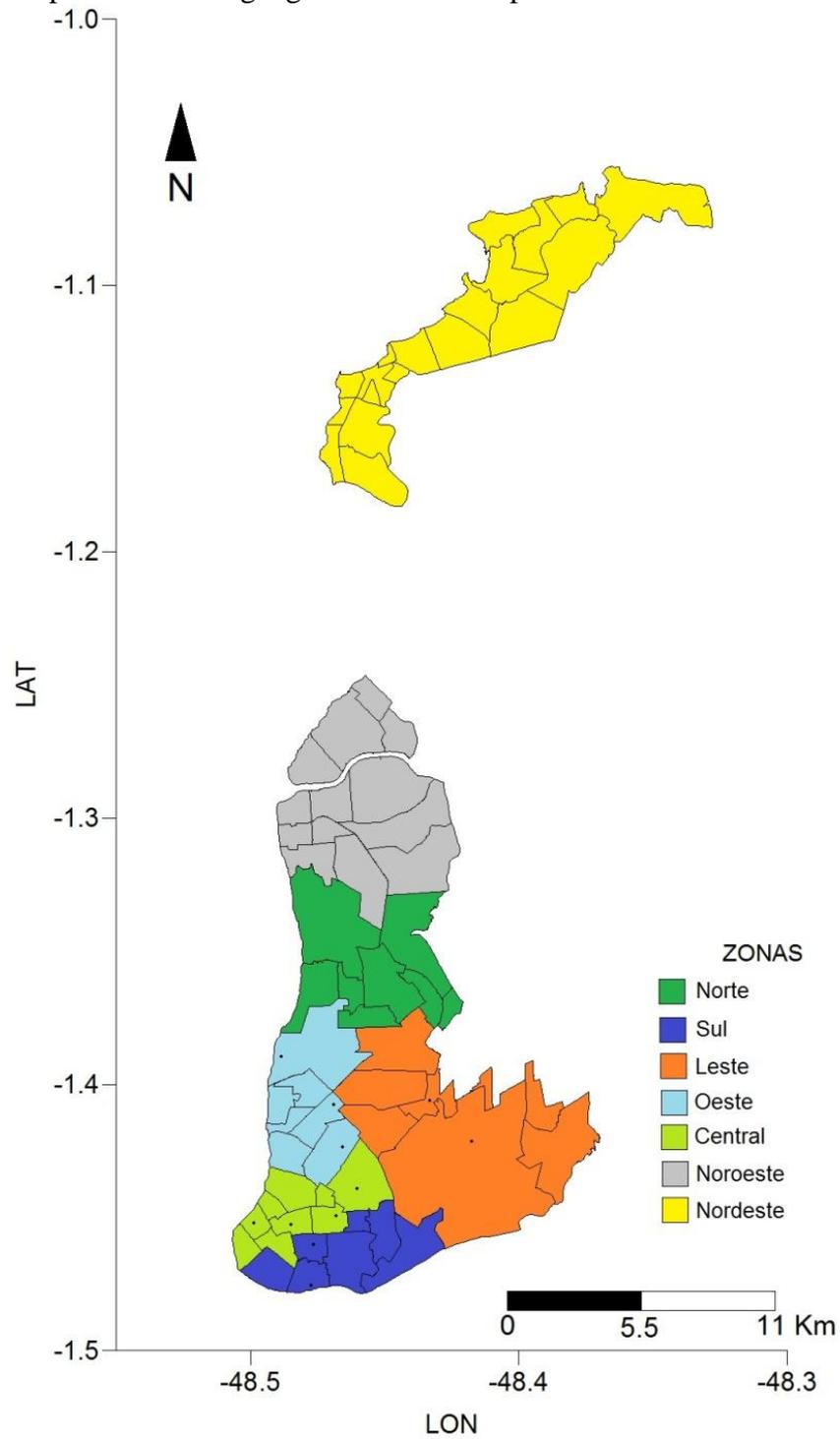
Os dados meteorológicos foram coletados utilizando 08 microloggers modelo HOBO U10-003, da Onset, que realizaram registros a cada 30 minutos, no período das 06 às 19 horas. Os microloggers foram instalados no interior de abrigos adequados para proteger os sensores da radiação solar direta e que permitisse uma ventilação adequada.

³⁴ Tipologia socioespacial é entendida como a distribuição espacial da população baseada em sua renda e ocupação profissional.

Antes e depois de serem utilizados em campo os mesmos foram aferidos junto à uma Estação Meteorológica Automática (EMA).

Foram utilizadas informações de uma EMA da marca CampbellSci, que registrou os dados de temperatura e umidade relativa do ar a cada 30 minutos, estando esta EMA localizada em uma área central da cidade. As localizações dos pontos de coleta de dados estão ilustrados na Tabela 7. Utilizaram-se também dados das estações meteorológicas (automática e convencional) do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e do Aeroporto Internacional de Belém. A coleta dos dados ocorreu dos dias 17 a 19 de novembro de 2010, simultaneamente em locais previamente selecionados em diferentes bairros da cidade, de forma a contrastarem suas características de cobertura do solo, aspectos sociais e ambientais. A cidade foi dividida geograficamente em zonas (Mapa 5), a fim de facilitar a identificação dos bairros nas tabelas.

Mapa 5 – Divisão geográfica da cidade por zonas.



Fonte: Do autor.

Tabela 7 – Locais de coleta de dados meteorológicos na cidade de Belém.

Ponto	Local
P-01	Travessa Quintino Bocaiuva, no cruzamento com a Avenida Nazaré, no bairro de Nazaré, zona central da cidade.
P-02	Travessa Padre Eutíquio, no cruzamento com a Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Condor, zona sul da cidade.
P-03	Avenida Conselheiro Furtado, no cruzamento com a Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Cremação, zona sul da cidade.
P-04	Avenida Almirante Barroso, no cruzamento com a Travessa Humaitá, no bairro do Marco, área central da cidade.
P-05	Avenida Pedro Miranda, no cruzamento com a Travessa Mauriti, no bairro da Pedreira, zona oeste da cidade.
P-06	Rua Gaspar Viana, na Praça das Mercês, no bairro da Campina, zona central da cidade.
P-07	Avenida José Bonifácio, no bairro de São Brás, na área da Companhia de Saneamento do Pará, zona central da cidade.
P-08	Avenida Júlio Cesar, Aeroporto Internacional de Belém, no bairro de Val-de-Cães, zona oeste da cidade.
P-09	Avenida Senador Lemos, no cruzamento com a Avenida Doutor. Freitas, no bairro da Sacramento, zona oeste da cidade.
P-10	Estrada da Ceasa, no bairro do Curió-Utinga, Estação Meteorológica Convencional do INMET, zona leste da cidade.
P-11	Avenida Almirante Barroso, no bairro da Castanheira, Estação Meteorológica Automática do INMET, zona leste da cidade.

Fonte: Do autor.

4.2.2 Índice de conforto térmico

Neste estudo foi utilizado o Índice de Calor (IC), derivado do índice humidex desenvolvido por George Winterling em 1978 e posteriormente adaptado com base nos trabalhos de Steadman (1979). O IC foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para dados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas

situações em que as temperaturas estão elevadas, estando à pessoa à sombra em condições de vento fraco.

O IC foi calculado através da Equação 5 sendo aplicadas algumas correções, quando necessárias. Quando a umidade relativa do ar é inferior a 13 % e a temperatura encontra-se entre 26,6°C e 44,4°C, então subtrai-se o valor encontrado na Equação 6 do valor da Equação 5. No entanto, se a umidade relativa do ar for superior a 85 % e a temperatura estiver entre 26,6°C e 30,5°C, o valor encontrado na Equação 7 é somado ao valor da Equação 5. Quando os valores da temperatura e umidade relativa do ar não se enquadrarem nas duas opções de ajuste é porque não existe a necessidade de fazê-los. Os níveis de alerta e suas consequências à saúde humana estão ilustrados na Tabela 8.

A expressão para cálculo do IC à sombra é dada por:

$$\begin{aligned}
 IC = & -4,2379 + 2,049015 \times T - 1,014333 \times UR - 0,224755 \times T \times UR \\
 & - 6,83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5,4817 \times 10^{-2} \times UR^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times UR \\
 & + 8,52821 \times 10^{-4} \times T \times UR^2 - 1,99106 \times 10^{-6} \times UR^2
 \end{aligned} \quad \text{Eq. 5}$$

Onde, T é a temperatura do bulbo seco (°F) e UR é a umidade relativa do ar (%).

$$\text{AJUSTE} = [(13 - UR)/4] \times \sqrt{\{|17 - |(T - 95)|\}/17} \quad \text{Eq. 6}$$

$$\text{AJUSTE} = [(UR - 85)/10] \times [(87 - T)/5] \quad \text{Eq. 7}$$

Tabela 8 - Níveis de alerta e suas consequências a saúde humana.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Sintomas
Perigo Extremo	54,0°C ou mais	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1°C - 54,0°C	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposição prolongada com atividades físicas.
Cautela Extrema	32,1°C - 41,0°C	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1°C - 32,0°C	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas.
Não há alerta	IC < 27,0°C	Não há problemas

Fonte: Adaptado de National Weather Service, Weather Forecast Office, NOAA.

Com os resultados obtidos após o cálculo do IC, foi utilizado o software Surfer 10 (versão de demonstração) para interpolar os valores para o restante da cidade através do processo de kriging³⁵ baseado em equações lineares. Para minimizar os efeitos de borda, foram utilizadas informações de estações meteorológicas situadas nos municípios de Barcarena, Soure e Castanhal, que são vizinhos a Belém. A interpolação espacial dos pontos pelo método da Kriging foi adotada por produzir melhores estimativas, pois é embasada na não tendenciosidade do estimador e na variância mínima das estimativas, além de apresentar uma ótima qualidade estatística, conforme resultados apresentados por Mello et.al.,(2003).

4.2.3 A estratificação social do espaço urbano na cidade de Belém

A classificação das áreas a partir de tipologias sócio-ocupacionais que iremos utilizar neste estudo foram baseadas nos trabalhos de Cardoso et.al., (2006) e Cardoso (2007), que se subdividem em oito tipologias: Popular, Popular Periférica, Popular Operária, Operária, Média, Média Inferior, Média Superior e Superior. Na Tabela 9 temos a descrição das tipologias socio-ocupacionais. Estas tipologias são em função da estrutura social da cidade, obtidas com base nos dados censitários do IBGE, levando em

³⁵ Metodologia matemática utilizada para interpolação espacial de dados.

consideração a escolaridade, as condições de ocupação da área, a renda, a posição na ocupação e ramo de produção, definidos pelo IBGE.

Tabela 9 – Tipologias sócio-ocupacionais.

Tipologia	Descrição característica
Popular Periférica	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade pelos trabalhadores domésticos, biscateiros e agricultores.
Popular	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade pelos operários da construção civil, seguidos por trabalhadores do comércio, trabalhadores domésticos e biscateiros.
Popular Operária	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade de prestadores de serviço não especializados, seguidos por trabalhadores da indústria moderna e tradicional, operários da construção civil, operários de serviços auxiliares e prestadores de serviço especializados.
Operária	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade de trabalhadores do comércio e prestadores de serviços especializados, seguidos de prestadores de serviços não especializados, trabalhadores domésticos, operários da construção civil, escritórios e biscateiros.
Média Inferior	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade de trabalhadores da indústria moderna, da indústria tradicional e os operários dos serviços auxiliares, seguidos de profissionais autônomos de nível superior, ocupações médias de saúde e educação e agricultores.
Média	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade por profissionais da área de saúde e educação, seguidas das ocupações artísticas, técnicas e de segurança pública, justiça e correios.
Média Superior	Esta categoria ocupacional possui uma maior representatividade por ocupações que envolvem a segurança pública, justiça e correios, seguida pelos grandes empregadores, dirigentes do setor público e privado, pequenos empregadores, profissionais

	de nível superior sejam: empregados, estatutários e professores, bem como ocupações de supervisão.
Superior	Envolve os bairros mais infraestruturados e com maior concentração de bens, serviços e ofertas de emprego do município. Essa tipologia é representada pelos grandes empregadores, dirigentes do setor público e privado, pequenos empregadores, ocupações artísticas e profissionais de nível superior, sejam autônomos, empregados, estatutários e professores, bem como ocupações técnicas de escritório e de supervisão.

Fonte: Lima e Moyses (2009).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas últimas décadas, devido ao grande crescimento populacional, as famílias mais privilegiadas economicamente que não conseguiram se instalar nas áreas centrais, começaram a ocupar edifícios de alto padrão em áreas mais afastadas do centro, e com estas mudanças as áreas passaram a ficar mais valorizadas, gerando mais atrativos para migrações para esta área. Segundo Palheta Junior (2005), a migração dentro de Belém ocorre devido à insatisfação com o imóvel anteriormente ocupado, à localização do imóvel, por causa de fatores como a qualidade do bairro e dos serviços nele existentes e também do nível de renda do indivíduo.

A pesquisa desenvolvida pelo Cardoso et.al., (2007) também constatou a existência da segregação socioespacial na cidade de Belém, estudo esse realizado com base na metodologia desenvolvida pelo Observatório das Metrôpoles, auxiliada com dados dos censos do IBGE, onde foram estabelecidas hierarquias sociais baseadas em classes que possuem recursos e que não possuem recursos; que exercem trabalho manual e não manual; trabalho formal e informal e entre os setores econômicos (secundário x terciário; moderno x tradicional). Na metodologia utilizada por Cardoso (2007), foi analisado outros dois aspectos complementares, a separação espacial das áreas devido a segregação social e a homogeneidade e heterogeneidade entre os habitantes de cada área.

Na Tabela 10 temos ilustrado a descrição das tipologias sócio-ocupacionais dos bairros na cidade de Belém e o respectivo valor do IC para cada um deles. Em média, a

zona Oeste apresentou o menor conforto térmico na cidade, seguida pelas zonas Central, Sul, Norte, Nordeste, Noroeste e Leste, com valores médios do IC de 29,3°C; 29,2°C; 29,1°C; 29,0°C; 28,8°C; 28,7°C; 28,7°C, respectivamente, onde as tipologias socioespaciais predominantes nessas zonas são Oeste (Operário), Central (Superior), Sul (Operária), Norte (Popular Operária), Nordeste (Popular Periférica), Noroeste (Médio Inferior) e Leste (Operário). O local que apresentou o maior valor do IC registrado foi o bairro do Marco com um valor médio de 30,0°C.

Tabela 10 – Descrição das tipologias sociais dos bairros na cidade de Belém com seus respectivos valores médios do IC e suas localizações por zonas.

Bairro	Tipologia	IC (°C)	Zona	Bairro	Tipologia	IC (°C)	Zona
Cidade Velha	S	29,3	C	Ilha de Mosqueiro	PP	29,0	NE
Batista Campos	S	29,3	C	Paracuri	MI	28,8	NO
Campina	S	29,6	C	Ponta Grossa	MI	28,8	NO
Reduto	S	29,3	C	Agulha	MI	28,8	NO
Nazaré	S	28,7	C	Parque Guajará	P	28,8	NO
São Braz	S	28,5	C	Tenoné	PO	28,8	NO
Umarizal	S	29,3	C	Águas Negras	PO	28,8	NO
Fátima	M	28,5	C	Maracacuera	PO	28,5	NO
Marco	M	30,0	C	Campina de Icoaraci	MI	28,8	NO
Curió-Utinga	O	27,4	L	Cruzeiro	MI	28,8	NO
Aura	O	28,3	L	Ilha de Outeiro	PP	28,3	NO
Águas Lindas	O	28,3	L	Pedreira	P	29,4	O
Guanabara	O	28,5	L	Telegrafo	M	29,3	O
Castanheira	O	29,0	L	Barreiro	O	29,5	O
Souza	P	29,5	L	Sacramenta	O	29,8	O
Marambaia	P	29,3	L	Maracangalha	O	29,5	O
Mangueirão	P	29,3	L	Val de Cães	P	28,4	O
Una	M	28,8	N	Miramar	O	29,3	O

Bairro	Tipologia	IC (°C)	Zona	Bairro	Tipologia	IC (°C)	Zona
Bengui	O	29,3	N	Jurunas	O	29,8	S
São Clemente	PO	29,3	N	Condor	O	29,7	S
Parque Verde	O	29,0	N	Guamá	O	29,0	S
Coqueiro	M	28,8	N	Cremação	MS	28,8	S
Pratinha	PO	29,0	N	Terra firme	P	28,8	S
Tapanã	PO	28,8	N	Universitário	O	28,5	S
Cabanagem	P	28,8	N	Canudos	M	28,8	S

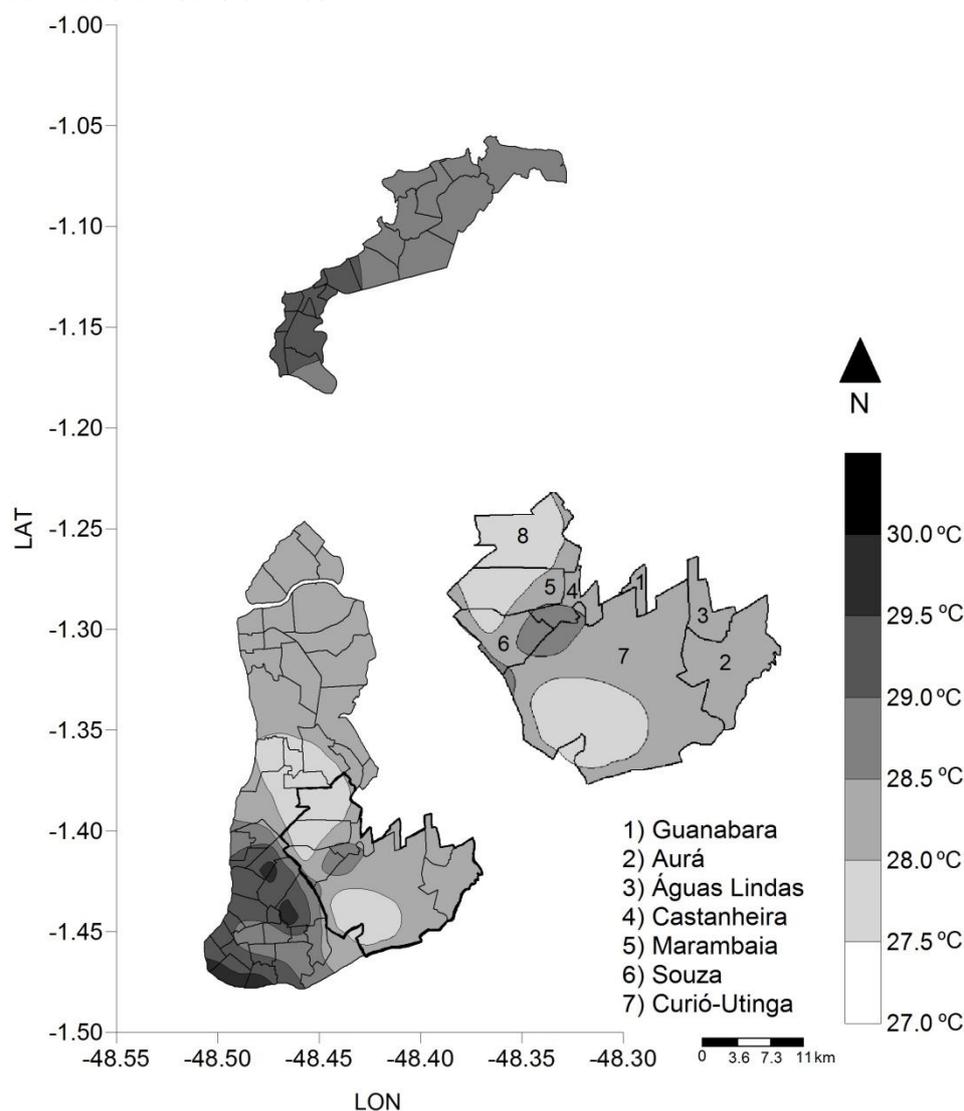
P - Popular; PP - Popular Periférica; PO - Popular Operária; O - Operária; M - Média; MI - Média Inferior; MS - Média Superior; S - Superior.

Fonte: Do autor.

Nos Mapas 6, 7, 8, 9, 10 e 11 temos ilustrados as médias diurnas (06 às 19 horas) do IC para o município de Belém enfatizando os bairros por zonas. Observou-se que existem áreas distintas com relação ao conforto térmico, com valores máximos, médios e mínimos do IC de 30,0°C, 28,9°C e 27,4°C, respectivamente durante o dia. Com base nas faixas de alerta ilustradas na Tabela 8, observa-se que a cidade fica dentro da faixa de cautela no período diurno. No entanto, quanto maior o valor alcançado pelo IC, maior será o desconforto térmico experimentado pela população. Os bairros de Belém, por possuírem características físicas de uso do solo e ocupação distintos, apresentaram variações quanto aos valores do IC. Um dos elementos urbanos que exercem grande influência nessa variação do conforto térmico é a vegetação, que é responsável pela atenuação e absorção de parte dos raios solares, e outro fator importante é o sombreamento, seja ele proporcionado pelas árvores ou pelas edificações. Com o projeto de urbanização realizado durante a gestão de Antônio Lemos (1897 - 1912), dentro da primeira Léngua Patrimonial, avenidas foram abertas e houve a preocupação com o plantio de espécies arbóreas no decorrer dessas principais avenidas da época, e essas áreas estavam localizadas nas áreas centrais da cidade, como a Avenida Presidente Vargas, Avenida Nazaré, Avenida Gov. José Malcher e a Avenida gentil Bittencourt. Por serem áreas centrais e terem sido urbanizadas primeiro que outras áreas, as mesmas sofreram um processo maior de valorização. No eixo dessas Avenidas foram plantadas grandes quantidades de mangueiras (*mangifera indica L.*), que atualmente colaboram para atenuar a incidência dos raios solares a superfície, juntamente com o sombreamento dos edifícios, tornam essas áreas menos desconfortáveis termicamente, apesar de estarem situadas em uma área central da cidade.

No Mapa 6 temos ilustrado a distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém, enfatizando a zona Leste da cidade e seus bairros. Nessa área da cidade, predominam nos bairros as tipologias sociais Popular, Operário e Médio. O bairro do Curió-Utinga foi o menos desconfortável termicamente, fato este atribuído a Área de Proteção Permanente (APA) de Belém e instituições públicas, que ocupam quase toda extensão do bairro. Os demais bairros da zona leste são bastante urbanizados, não possuem edifícios muito altos, a quantidade da área vegetada também não é grande, logo apresentaram maior desconforto térmico. Em média, os valores do IC observados na zona Leste da cidade durante o período estudado foram de 29,5°C (máximo diário), 28,7°C (médio diário) e 27,4°C (mínimo diário), sendo todos classificados como desconfortável termicamente, estando na faixa de cautela do IC.

Mapa 6 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Leste e seus bairros.

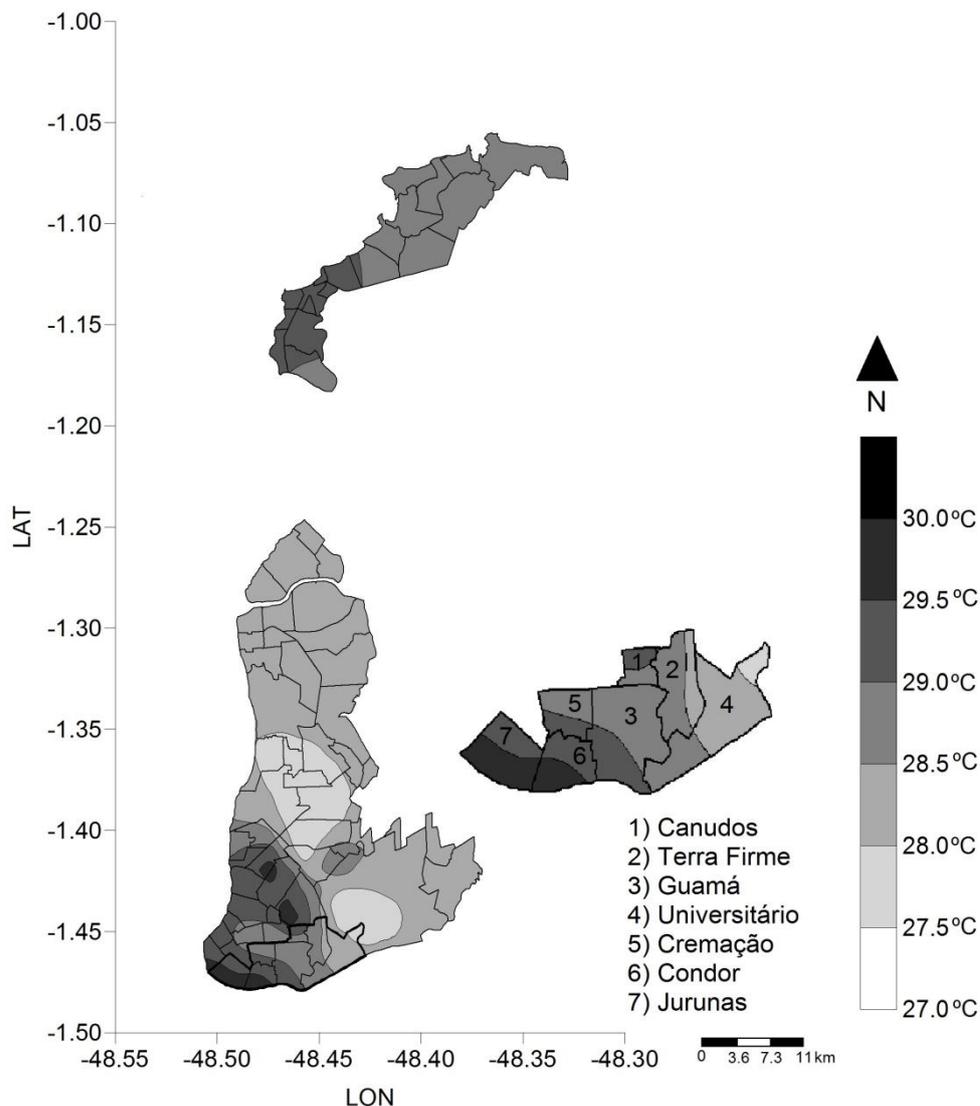


Fonte: Do autor.

No Mapa 7 temos ilustrado a distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém, enfatizando a zona sul da cidade e seus bairros. Nessa área da cidade, predominam os bairros com a tipologia social Operário e Popular. Os bairros do Jurunas e Condor apresentaram os maiores valores de desconforto térmico com o IC de 28,8°C e 28,9°C, respectivamente. Esses bairros estão situados nas margens do Rio Guamá, que possuem diversos portos privados, existe pouca vegetação arbórea, sua ocupação é pela tipologia social Operária, a altura predominante das residências são de dois pavimentos, construídas em alvenaria e/ou madeira. O bairro menos desconfortável termicamente foi o Universitário, com IC de 28,5°C. Em média, os valores do IC observados na zona Sul

da cidade durante o período estudado foram de 29,8°C (máximo diário), 29,0°C (médio diário) e 28,5°C (mínimo diário), sendo todos classificados como desconfortável termicamente, estando na faixa de cautela do IC.

Mapa 7 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Sul e seus bairros.

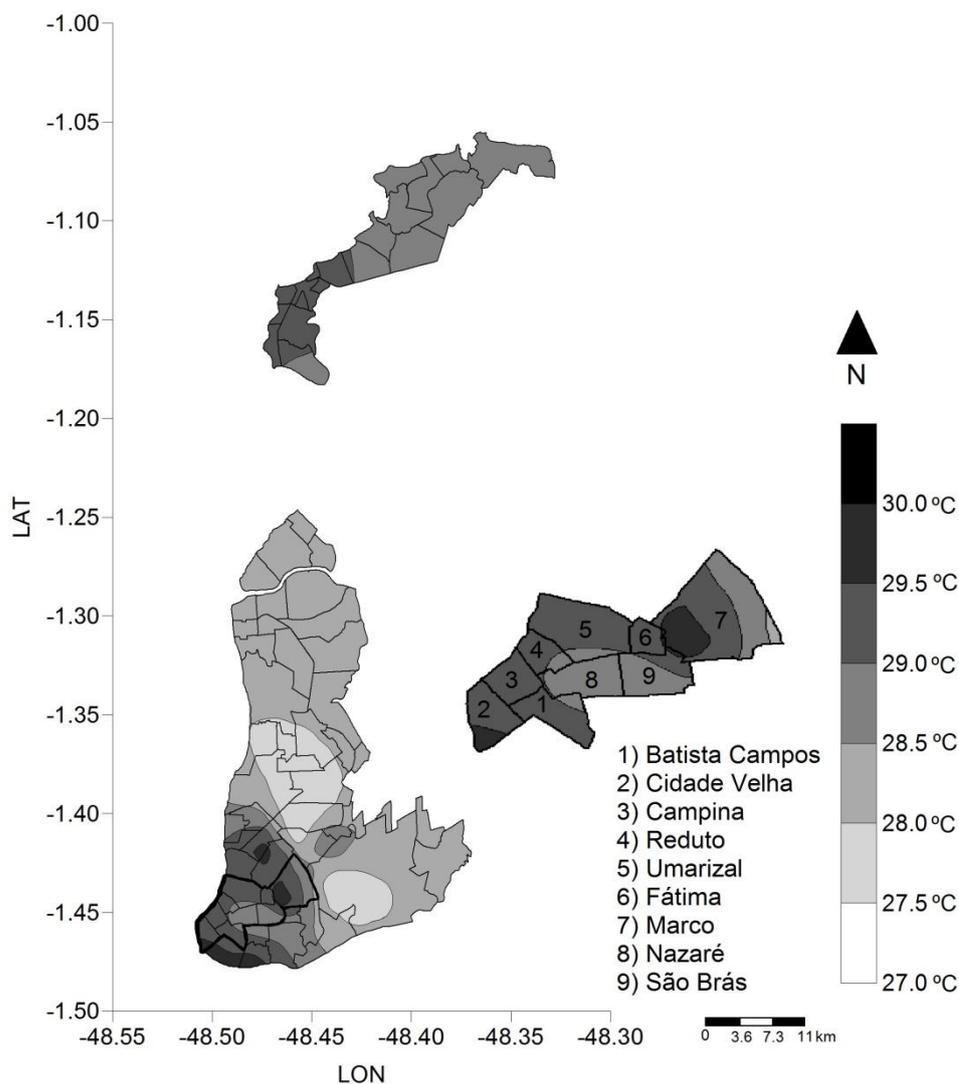


Fonte: Do autor.

No Mapa 8 temos ilustrado a distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém, enfatizando a zona central da cidade e seus bairros. Nessa área da cidade, predominam os bairros com tipologia social Superior, essa área foi ocupada primeiramente nas margens do rio Guamá, devido sua localização estratégica e melhores condições do terreno, e posteriormente, a cidade cresceu em direção aos

outros bairros mais afastados do rio. Esta área, atualmente, é a mais verticalizada da cidade e o efeito do sombreamento, tanto dos edifícios como das árvores, ajudam a amenizar o desconforto térmico para os pedestres, sendo que os valores máximos, médios e mínimos observados na zona central da cidade foram de 30,0°C, 29,2°C e 28,5°C, respectivamente. Esta área da cidade ficou dentro da faixa cautela por desconforto térmico, conforme as faixas do IC.

Mapa 8 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Central e seus bairros.

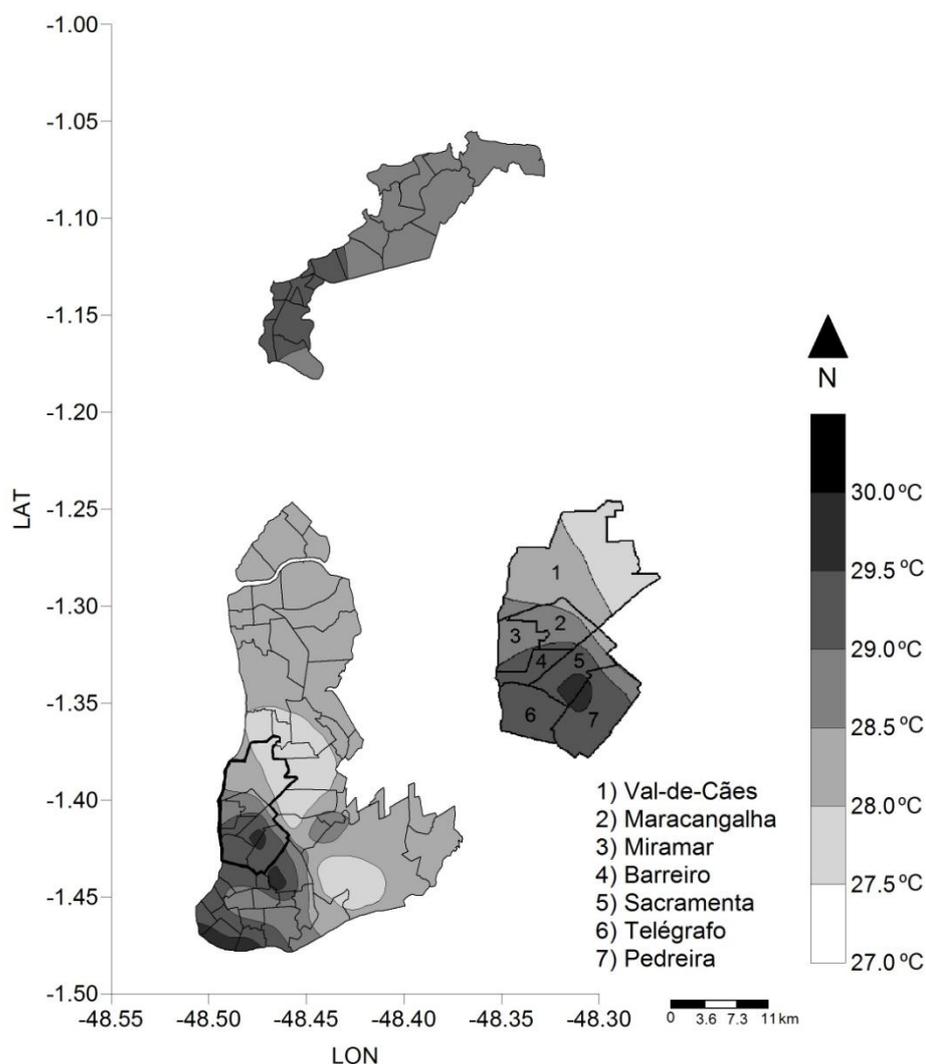


Fonte: Do autor.

No Mapa 9 temos ilustrado a distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém, enfatizando a zona Oeste da cidade e seus bairros. Nessa área da cidade,

predominam os bairros com as tipologias sociais Operário e Popular, onde o bairro da Sacramento apresentou maior desconforto térmico durante o período estudado, com valor do IC de 29,8°C, enquanto que o bairro menos desconfortável foi o de Val-de-Cães, onde o valor do IC registrado foi de 28,4°C, fato este associado as proximidades das áreas vegetadas no entorno do aeroporto. Nesta região da cidade, as construções predominantes são baixas com dois a três pavimentos, e alguns edifícios, no entanto, no bairro da Pedreira já existem edifícios mais altos, acima de 10 andares, pois esse bairro é uma área de que está passando por um processo de verticalização nos últimos anos devido à saturação do espaço na área central da cidade, conforme explica Oliveira et.al., (2005). Os valores médios diários máximo, médio e mínimo observados foram de 29,8°C, 28,7 °C e 28,4°C, respectivamente.

Mapa 9 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Oeste e seus bairros.

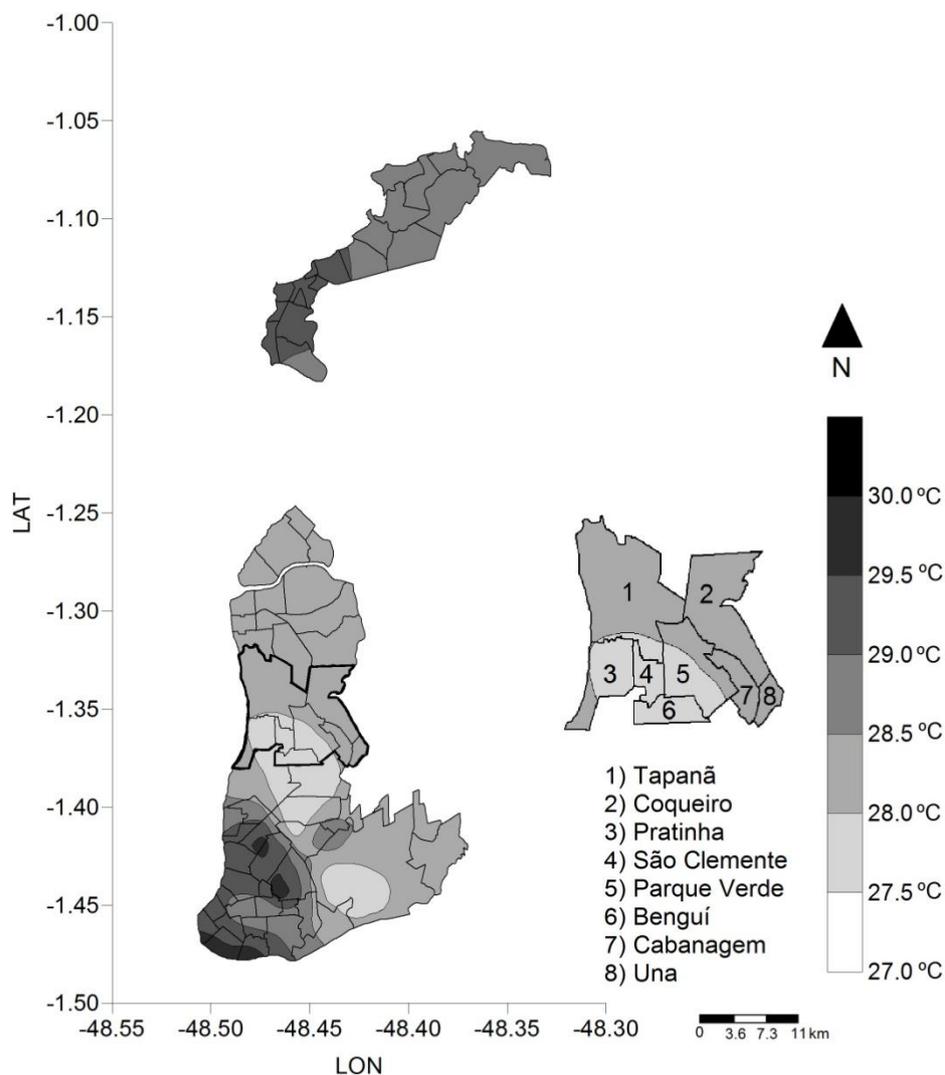


Fonte: Do autor.

No Mapa 10 temos ilustrado a distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém, enfatizando a zona Norte da cidade e seus bairros. Nessa área da cidade, predominam os bairros com as tipologias sociais Popular Operário, Operário e Médio. Nessa região os bairros mais desconfortáveis termicamente foram o Benguí e São Clemente, onde foi registrado valores do IC de 29,3°C. Essa região é caracterizada por edificações baixas, diversos conjuntos residenciais, sendo alguns de alto padrão. Ao longo do eixo da Avenida Augusto Montenegro, via de grande importância para a região, por ainda existirem terrenos disponíveis, está havendo uma expansão para essa direção, com a construção de diversos condomínios verticais e de casas de alto padrão.

Os valores máximos, médios e mínimos observados do IC nessa zona da cidade foram de 29,3°C, 28,9°C e 28,8°C, respectivamente, ou seja, uma variação bastante pequena.

Mapa 10 - Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando a zona Norte e seus bairros.

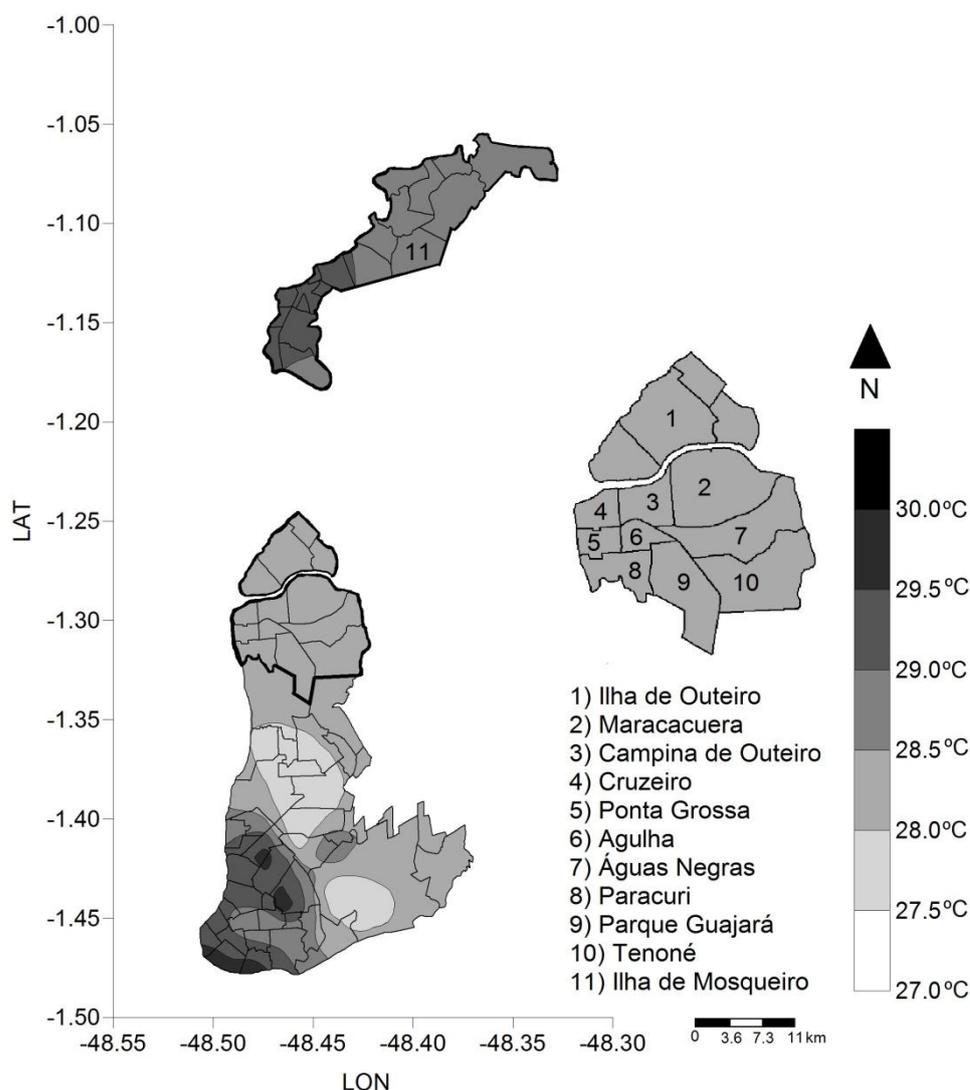


Fonte: Do autor.

No Mapa 11 temos ilustrado a distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém, enfatizando as zonas Nordeste e Noroeste da cidade e seus bairros. Nessas áreas da cidade, as tipologias sociais predominantes foram a Popular Periférico, Médio Inferior e Popular Operário. Nestas duas zonas, os valores máximos, médios e mínimos observados do IC foram de 29,3°C, 28,7°C e 28,3°C, respectivamente, ou seja, uma variação de apenas 1,0°C no IC, sendo a área menos desconfortável os bairros situados

na Ilha de Outeiro (Brasília, São João de Outeiro, Água Boa e Itaiteua). Este fato deve-se tanto ao efeito da brisa como dos ventos de grande escala, os alísios de nordeste, além da contribuição do tipo de cobertura do solo na ilha, onde existem bastantes áreas vegetadas, edificações baixas que permitem uma boa ventilação urbana e pouca impermeabilização do solo.

Mapa 11 – Distribuição espacial do Índice de Calor na Cidade de Belém enfatizando as zonas Nordeste e Noroeste da cidade e seus bairros.



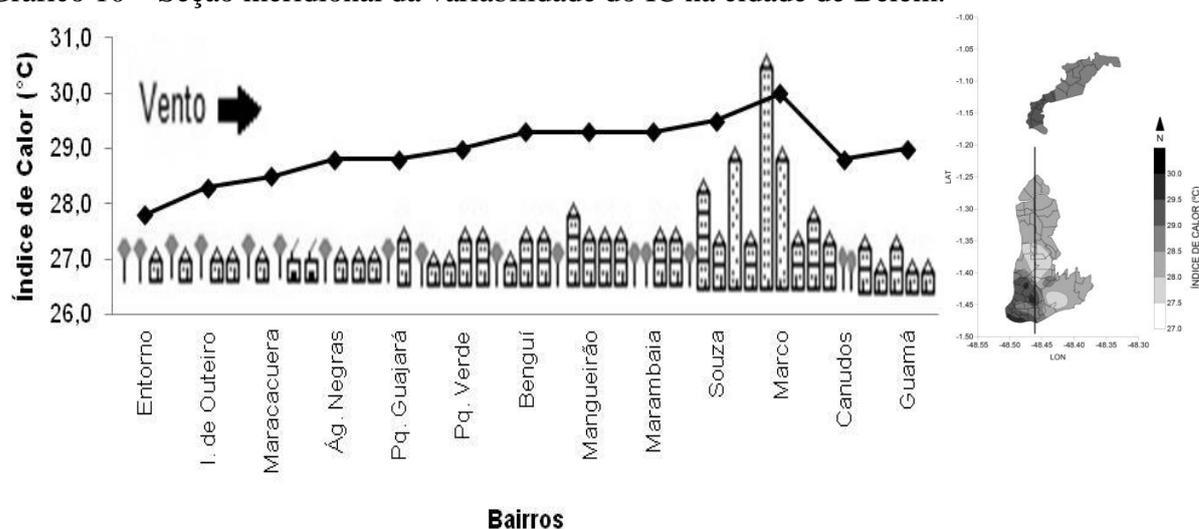
Fonte: Do autor.

No Gráfico 10 temos ilustrada a variação característica do índice de Calor na cidade de Belém, em um corte meridional³⁶, indo de uma área periférica menos

³⁶ Corte meridional é uma amostragem do parâmetro analisado no sentido Norte-Sul.

urbanizada para a área central da cidade. Este perfil meridional é análogo a uma ilha de calor, o que comprova a existência da mesma na cidade, uma vez que o calor na área mais urbanizada é maior do que em uma área menos urbanizada afastada da área central. Essa variação no IC chegou a 2,2°C durante o período de medidas. Essa variabilidade ocorre, principalmente, devido às características da cobertura do solo. Na área menos urbanizada temos menos edificações, mais vegetação e menor impermeabilização do solo, e à medida que se desloca para a área central da cidade essas características vão se invertendo, onde existem mais edificações, menor quantidade de vegetação e maior impermeabilização do solo, comportamento este descrito na literatura por Oke (1987). Howard (1818) observou esse comportamento pela primeira vez na cidade de Londres, onde constatou que a temperatura do ar na área mais densa da metrópole era superior a das áreas periféricas da mesma, atribuindo esse fato ao efeito da população e da queima do carvão para o aquecimento.

Gráfico 10 – Seção meridional da variabilidade do IC na cidade de Belém.



Fonte: Do autor.

Ao analisar a relação entre as tipologias sócio-ocupacionais e o IC na Cidade de Belém, observou-se que apesar de todos os bairros estarem dentro da faixa de desconforto térmico, a intensidade deste desconforto não é igual para os mesmos. A relação entre as tipologias sócio-ocupacionais com o IC não apresentaram um padrão bem definido, onde nos bairros com a tipologia social “Operário” foi observado o menor valor do IC (27,4°C) e também o segundo maior valor registrado do IC (29,8°C), indicando que esta relação também pode estar associada aos outros fatores que

contribuem para essas diferenças térmicas, como: o tipo de cobertura do solo, a densidade demográfica, o trânsito, os materiais empregados nas edificações e as condições atmosféricas. O bairro do Curió-Utinga que apresentou a condição de maior conforto térmico deve ser analisado separadamente dos demais bairros, pois grande parte de sua extensão é ocupada pela APA de Belém e por instituições públicas, fato este que impede o desmatamento e sua ocupação residencial, o que o diferencia dos demais bairros da cidade. Na zona central da cidade temos um número maior de edifícios altos, que dificultam a circulação do vento, reduzindo sua velocidade, o que implica na redução da troca das massas de ar daquela região, propiciando a formação de microclimas mais desconfortáveis, no entanto existe o efeito do sombreamento dos prédios, que impedem que a radiação solar aqueça diretamente a superfície, fazendo com que estas localidades sejam um pouco mais confortáveis quando comparado a áreas onde predominam edificações baixas. Segundo Dumke (2007), em Curitiba-PR, os bairros com a menor taxa de pobreza foram os mais desconfortáveis termicamente pelo efeito do frio, onde os mesmos apresentam uma urbanização mais adensada, com edifícios altos, o que certamente contribuiu para amenizar o aquecimento da superfície durante o dia.

4.4 CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas, as zonas mais desconfortáveis termicamente foram a Oeste e Central, devido à baixa quantidade de áreas vegetadas e a grande quantidade de áreas pavimentadas e edificadas. A zona mais confortável foi a Leste, devido grande parte de cobertura superficial ser ocupada por vegetação, e também, ser uma área pouco urbanizada. Não foi encontrado um padrão bem definido entre as tipologias sociais dos bairros e as condições de conforto térmico nos mesmos, fato este que pode estar associado, principalmente, com as características da cobertura da superfície.

5 RELAÇÕES ENTRE AS PERCEPÇÕES TÉRMICAS E ÍNDICES DE CONFORTO TÉRMICO DOS HABITANTES DE UMA CIDADE TROPICAL NA AMAZÔNIA ORIENTAL ³⁷

Resumo

Visando avaliar a percepção térmica de seus habitantes, foi realizado na cidade de Belém do Pará (01°27'S; 48°30'W; 10m altitude), um estudo com a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar, além de aplicações de questionários pessoais. O experimento de campo ocorreu nos dias 17 a 19 de novembro de 2010, simultaneamente, em sete locais de diferentes configurações urbanas. Foram aplicados mais de dois mil questionários, para uma amostra populacional com idades entre 10 e 89 anos. Com as informações meteorológicas obtidas em campo foram calculados índices de Calor (IC) e, de Temperatura efetiva (ITE), os quais foram analisados conjuntamente com as informações obtidas nos referidos questionários. Os resultados indicaram que ambos os índices apresentaram resultados compatíveis com às percepções pessoais. Também ficou bastante claro o desconforto térmico sentido pela população de Belém, entre o período das 11 às 14horas.

Palavras-chave: Biometeorologia, Conforto Térmico, Índices de Conforto Térmico.

5.1 INTRODUÇÃO

Indivíduos são expostos constantemente ao estresse térmico no seu dia a dia, sejam durante o trabalho, as atividades de lazer ou mesmo ao caminharem nas ruas, e essa condição pode reduzir a eficiência do trabalho e da produtividade e até ameaçar a sobrevivência desses indivíduos (EPSTEIN; MORAN, 2006).

Os primeiros estudos a relacionados ao conforto térmico datam do início do século XIX na Europa, quando teve início o movimento para melhoria das condições de trabalho nas indústrias metalúrgicas e têxteis, em vista dos frequentes acidentes e enfermidades devido à influência do calor e umidade do ar. Esses estudos tinham o

³⁷ Este capítulo foi publicado na *Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research médium* (v. 3, n. 2, 2012, p.395-407).

objetivo principal de avaliar de que maneira as condições termohigrômicas³⁸ afetavam o rendimento do trabalho dos operários, a fim de tentar estabelecer alguns critérios e melhorias ambientais, principalmente, relacionado ao conforto térmico para um aumento na produção e redução dos acidentes e enfermidades associadas ao trabalho (MAIA; GONÇALVES, 2002).

As condições de conforto térmico são definidas em função das atividades desenvolvidas pelos indivíduos, por suas vestimentas e pelas variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente. Devido à necessidade de se criar uma metodologia para analisar as relações dos elementos climáticos com o rendimento do corpo humano criou-se os índices de conforto térmico. Assim, os índices de conforto térmico procuram englobar, em um único parâmetro, diversas variáveis como a velocidade do vento, temperatura do ar, umidade relativa do ar, o tipo de vestimenta e o estado de saúde do indivíduo (FANGER, 1972).

O conforto térmico de é obtido por trocas térmicas que irão depender de diversos fatores, sejam eles ambientais ou pessoais. Esses fatores são governados por processos físicos de transferência de calor, como a convecção, a radiação, a evaporação e ocasionalmente a condução. O conforto térmico em um indivíduo é a sua resposta fisiológica, ao estresse térmico, e o grau de conforto ou desconforto térmico será definido por esse conjunto de interações entre os fatores ambientais e fisiológicos, e a escolha do índice de conforto térmico deverá estar relacionada com as condições ambientais e com as atividades desenvolvidas pelos indivíduos (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Segundo a ISO 7730 e a ASHRAE (1966), o conforto térmico é definido como a condição de espírito que expressa à satisfação com o ambiente térmico, ou seja, é uma sensação subjetiva de cada indivíduo.

O clima³⁹ e o tempo⁴⁰ influenciam o comportamento e a saúde dos indivíduos, e os estudos dessas influências sobre os organismos vivos têm se intensificado nos últimos decênios, através da descrição da Biometeorologia, que mostram diversos trabalhos relacionando variáveis ambientais e doenças em geral (MAIA; GONÇALVES, 2002).

³⁸ Termo que refere-se a temperatura e umidade relativa do ar.

³⁹ O Clima é uma integração dos estados da atmosfera no decorrer de um grande intervalo de tempo. Uma séria para ser considerada climática, ela deve ter no mínimo 30 anos.

⁴⁰ Tempo é o estado da atmosfera do momento atual.

Deste modo o presente estudo tem como objetivo investigar as relações entre as percepções do conforto térmico da população da cidade de Belém e os resultados propostos pelos índices de conforto térmico nesta região.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Visão geral da área de estudo

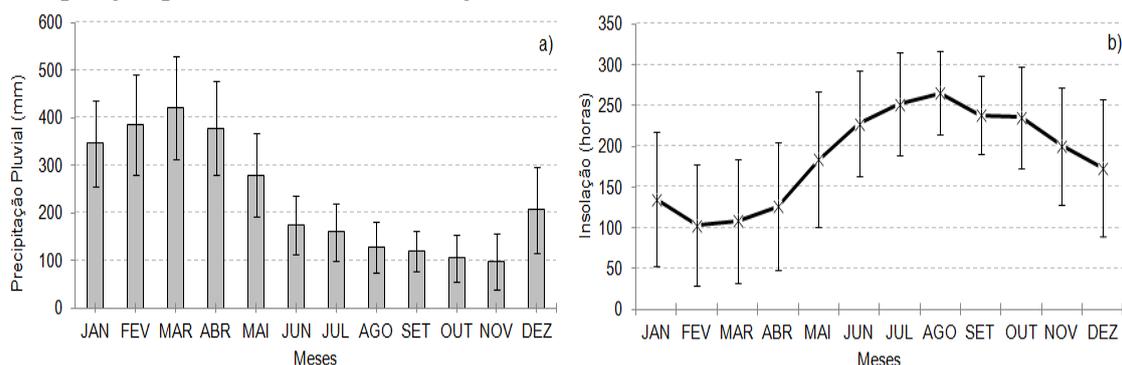
O experimento foi realizado na cidade de Belém, PA, que está situada na região tropical amazônica (Lat. 01°27'S, Lon. 048°30'W). O clima da cidade, segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, ou seja, clima tropical chuvoso de monção, com uma média anual da temperatura do ar de $26,0 \pm 0,4^{\circ}\text{C}$, com máximas e mínimas variando de $31,5 \pm 0,7^{\circ}\text{C}$ a $22,0 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$, respectivamente. A pluviosidade média anual é de $2.858,7 \pm 76,6$ mm/ano com maior volume no período chuvoso (dezembro a maio), correspondendo a 71,2 % do total anual, enquanto que os 28,8% restantes são distribuídos nos meses de junho a novembro, conforme ilustrado no Gráfico 11 (BRASIL, 2009; SILVA JUNIOR et. al., 2011).

O regime de pluviosidade nesta região está ligado as flutuações de grande escala, e principalmente, as circulações de Hadley e Walker (MOLION, 1987), que é regida pelos padrões oceano-atmosfera de grande escala através dos fenômenos El Niño - Oscilação Sul (ENOS) no oceano Pacífico e também pelo dipolo sobre o oceano Atlântico (SOUZA et. al., 2009).

Devido à cidade de Belém estar localizada na região tropical, próximo a linha do equador, climatologicamente não existe uma grande variabilidade em algumas características meteorológicas. Por exemplo, a precipitação pluvial oscila de aproximadamente 110 mm/mês, nos meses de outubro e novembro, até acima dos 400 mm/mês, em fevereiro e março (Gráfico 11a), sendo a precipitação pluvial o parâmetro climatológico mais importante da região (MOLION, 1987), em conjunto com a nebulosidade (FISCH et. al., 1998). Para a insolação, que representa o número de horas de brilho solar efetivo, ou seja, quando os raios solares realmente atingem a superfície terrestre, obviamente os mínimos, em torno de 100 horas/mês, ocorrem nos meses de fevereiro e março, período de maior precipitação, enquanto que os máximos, acima de 250 horas/mês, são registrados em julho e agosto (Gráfico 11b).

Desta forma, as quatro estações climáticas do ano não são muito bem definidas, pois, chove bastante e faz muito sol, durante todo o ano. Por estes motivos, para a caracterização climática de Belém, são adotados dois períodos, o chuvoso que compreende os meses de dezembro a maio, e período menos chuvoso que vai de junho a novembro (COSTA, 1998).

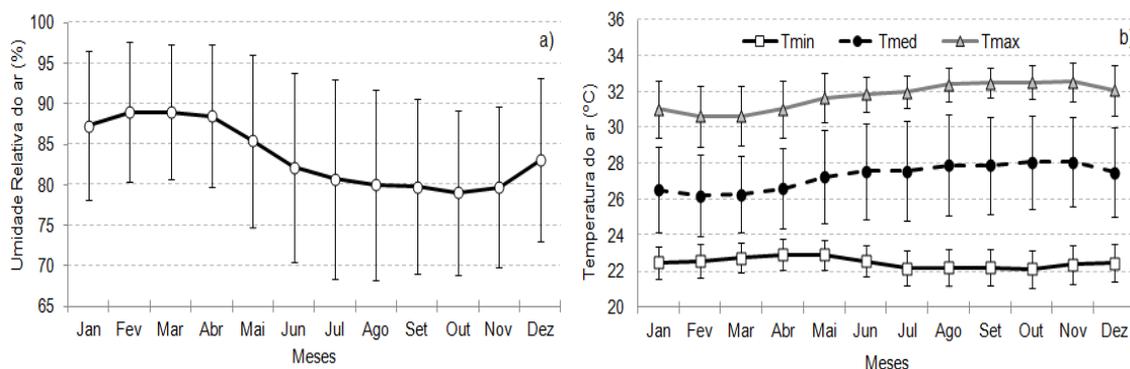
Gráfico 11 – Valores das normais climatológicas para a cidade de Belém do Pará. a) Precipitação pluvial (mm). b) Insolação (horas).



Fonte: Do autor.

A climatologia da cidade de Belém mostra que durante o ano, a umidade relativa do ar (Gráfico 12a) oscila, em média, em torno de 83%, nos meses de outubro e novembro (época menos chuvosa) até máximos de 91%, em fevereiro, março e abril (época chuvosa). Quanto aos valores da temperatura do ar existe certa homogeneidade durante o ano. Na média climatológica, as temperaturas máximas oscilam de 30,4°C em março a 32,3°C em novembro, enquanto que as temperaturas mínimas vão de 22,6°C em abril e maio, a 21,6°C em outubro (Gráfico 12b). Os menores valores das temperaturas mínimas mensais ocorridas em outubro são devidos à menor nebulosidade existente durante as noites desta época do ano, que provoca uma maior perda radiativa do solo para a atmosfera, possibilitando menores temperaturas do ar no final da madrugada. Esta amplitude térmica em torno de 10°C durante o ano indica uma grande variabilidade das temperaturas na cidade de Belém.

Gráfico 12 – Valores das normais climatológicas para a cidade de Belém do Pará. a) Umidade Relativa do ar (%). b) Temperatura do ar (°C).



Fonte: Do autor.

5.2.2 Medições ambientais

As medições dos parâmetros ambientais foram realizadas durante três dias no mês de novembro de 2010. O mês de novembro foi escolhido por estar compreendido na época menos chuvosa da região, e também por questões logísticas, como a disponibilidade de pessoal para aplicação dos questionários, a chegada dos microloggers para as medidas e a disponibilidade de veículos para dar apoio as equipes em campo.

Na coleta das informações meteorológicas foram utilizados seis microloggers modelo U10-003, que registraram informações de temperatura e umidade relativa do ar. Durante o estudo também foi utilizada uma estação meteorológica automática fabricada pela Campbell Scientific, com datalogger modelo CR-1000 e sensor de temperatura e umidade relativa do ar HMP45C. Todos os equipamentos foram programados para fazerem medições e registrar as informações a cada 30 minutos, durante a aplicação dos questionários de conforto térmico.

5.2.3 Pesquisa subjetiva de conforto térmico

Foram aplicados questionários quantitativos e estruturados com perguntas fechadas (Figura 16), para avaliar a percepção térmica da população, que ocorreram durante os dias 17, 18 e 19 de novembro de 2010, simultaneamente, em sete pontos da cidade, onde também se coletaram as medições ambientais. O numero total de questionários aplicados foi de 2.484, em uma amostra em que a idade dos indivíduos variou dos 10 aos 89 anos, onde foram utilizados apenas os questionários dos indivíduos

que se declararam com bom estado de saúde, totalizando um universo amostral de 2.236 questionários aptos para análise.

Os questionários aplicados envolveram as seguintes informações: Pessoais, sobre as vestimentas, sobre as atividades realizadas no momento e sobre a percepção térmica experimentada pelo indivíduo naquele instante.

A primeira parte com informações pessoais abrangeu a idade, o peso, a altura, a cor da pele e o sexo. Na segunda parte foi descrita, cuidadosamente, a tipologia de vestimentas usadas pelos indivíduos entrevistados. Na terceira parte foi registrado o tipo de atividade física em que o indivíduo estava realizando no momento. Na quarta e última parte foi registrada a sensação térmica experimentada pelo indivíduo no momento da entrevista.

Figura 16 – Questionário de avaliação do conforto térmico.

		QUESTIONÁRIO DE CONFORTO TÉRMICO																		
QUESTIONÁRIO N° _____ DATA: ___/___/___ HORA ___:___ LOCAL: _____																				
Sexo: (M) (F) Idade: _____ Peso: _____ kg		<table border="1"> <tr> <td>M – Magro</td> </tr> <tr> <td>N – Normal</td> </tr> <tr> <td>G – Gordo</td> </tr> </table>		M – Magro	N – Normal	G – Gordo	Cor da pele: (B) (M) (N) (P)													
M – Magro																				
N – Normal																				
G – Gordo																				
<table border="1"> <tr> <td>B – Branca</td> </tr> <tr> <td>M – Morena</td> </tr> <tr> <td>N – Negra</td> </tr> <tr> <td>P – Parda</td> </tr> </table>		B – Branca	M – Morena	N – Negra	P – Parda															
B – Branca																				
M – Morena																				
N – Negra																				
P – Parda																				
Tipo de vestimentas:																				
SUPERIOR: _____ / _____			INFERIOR: _____ / _____																	
<table border="1"> <tr> <td>C – Camiseta</td> <td>CORES / TIPO</td> </tr> <tr> <td>CMC – Camisa manga comprida</td> <td>C – Clara E – Escura</td> </tr> <tr> <td>CM – Camisa de manga</td> <td>P – Pesada L – Leve</td> </tr> </table>		C – Camiseta	CORES / TIPO	CMC – Camisa manga comprida	C – Clara E – Escura	CM – Camisa de manga	P – Pesada L – Leve	<table border="1"> <tr> <td>B – Bermuda</td> <td>VC – Vestido curto</td> </tr> <tr> <td>C – Calça comprida</td> <td>VL – Vestido longo</td> </tr> <tr> <td>S – Short / Saia</td> <td></td> </tr> </table>		B – Bermuda	VC – Vestido curto	C – Calça comprida	VL – Vestido longo	S – Short / Saia		<table border="1"> <tr> <td>CORES / TIPO</td> </tr> <tr> <td>C – Clara E – Escura</td> </tr> <tr> <td>P – Pesada L – Leve</td> </tr> </table>		CORES / TIPO	C – Clara E – Escura	P – Pesada L – Leve
C – Camiseta	CORES / TIPO																			
CMC – Camisa manga comprida	C – Clara E – Escura																			
CM – Camisa de manga	P – Pesada L – Leve																			
B – Bermuda	VC – Vestido curto																			
C – Calça comprida	VL – Vestido longo																			
S – Short / Saia																				
CORES / TIPO																				
C – Clara E – Escura																				
P – Pesada L – Leve																				
Estado de saúde: (B) (D)		<table border="1"> <tr> <td>B – Bom</td> </tr> <tr> <td>D – Doente</td> </tr> </table>				B – Bom	D – Doente													
B – Bom																				
D – Doente																				
Atividade exercida do momento: (TL) (TM) (TP) (CA) (CO) (P)				<table border="1"> <tr> <td>TL – Trabalho Leve</td> <td>CA – Caminhando</td> </tr> <tr> <td>TM – Trabalho Moderado</td> <td>CO – Correndo</td> </tr> <tr> <td>TP – Trabalho Pesado</td> <td>P – Parado</td> </tr> </table>		TL – Trabalho Leve	CA – Caminhando	TM – Trabalho Moderado	CO – Correndo	TP – Trabalho Pesado	P – Parado									
TL – Trabalho Leve	CA – Caminhando																			
TM – Trabalho Moderado	CO – Correndo																			
TP – Trabalho Pesado	P – Parado																			
Sensação térmica: (F) (N) (Q)		(MC) (C) (R) (D) (MD)																		
<table border="1"> <tr> <td>F – Frio</td> </tr> <tr> <td>N – Normal</td> </tr> <tr> <td>Q – Quente</td> </tr> </table>		F – Frio	N – Normal	Q – Quente	<table border="1"> <tr> <td>C – Confortável</td> <td>MD – Muito desconfortável</td> </tr> <tr> <td>D – Desconfortável</td> <td>MC – Muito confortável</td> </tr> <tr> <td colspan="2">R – Regular (+/-)</td> </tr> </table>				C – Confortável	MD – Muito desconfortável	D – Desconfortável	MC – Muito confortável	R – Regular (+/-)							
F – Frio																				
N – Normal																				
Q – Quente																				
C – Confortável	MD – Muito desconfortável																			
D – Desconfortável	MC – Muito confortável																			
R – Regular (+/-)																				

Fonte: Do autor.

A percepção térmica baseou-se na escala proposta pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers) e posteriormente adaptada por Fanger (1970), que fez uma consideração com relação a esta escala: “encontravam-se insatisfeitas as pessoas que votaram +3, +2, -3 e -2 na escala de sensações”, logo os votos +1 e -1 não caracteriza um grupo de pessoas insatisfeitas com o ambiente. Com base na simplificação proposta por Fanger (1970), de sete para cinco opções, no desenvolvimento desta pesquisa registraram-se apenas estas cinco opções.

Com intuito de facilitar a análise das informações colhidas nos questionários foi realizado uma nova simplificação desta escala, onde a mesma passou a ter três opções para a percepção térmica (confortável, neutro e desconfortável), que também foram registradas nos questionários.

5.2.4 Índices de Conforto Térmico

O corpo humano geralmente resfria-se pela transpiração, na qual a água do suor evapora e retira calor do corpo. Entretanto, quando a umidade relativa do ar é alta, a taxa de evaporação da água é reduzida. Assim, o calor é removido do corpo a uma taxa mais baixa, mantendo mais calor no corpo do que o mesmo teria numa situação de ar seco. A combinação da umidade relativa do ar elevada associada com valores altos da temperatura do ar, aumenta os riscos de exaustão por calor, por insolação e por outros problemas de saúde relacionados, o que pode levar o indivíduo a óbito. Conhecer as relações entre os elementos climáticos e as reações fisiológicas do corpo humano é importante para que se possa melhorar a qualidade de vida dos indivíduos, e por este motivo foram desenvolvidos os índices de conforto térmico.

Os índices de conforto térmico podem ser definidos em duas categorias básicas, sendo a primeira: índices subjetivos, e a segunda: índices biofisiológicos, que é a junção dos índices biofísicos com os fisiológicos.

Os índices subjetivos são baseados nas sensações de conforto térmico experimentadas em condições em que os elementos meteorológicos variam. Estes índices são mensurados através da aplicação de questionários específicos e de medidas meteorológicas realizadas no local da aplicação dos mesmos, simultaneamente. Os índices biofisiológicos são a união dos índices biofísicos e os fisiológicos que se baseiam nas trocas de calor entre o corpo e o ambiente, levando em consideração as condições conhecidas dos elementos meteorológicos, principalmente, da temperatura do ar, da radiação solar, da umidade relativa do ar e da velocidade do vento (FROTA; SCHIFFER, 2001).

Para o cálculo do conforto térmico, nesta pesquisa, foram aplicados dois índices: o Índice de Temperatura Efetiva (ITE) e o Índice de Calor (IC), por apresentarem boas respostas na região estudada (SILVA JUNIOR et. al., 2012).

O ITE é um dos índices mais adequados para as condições climáticas brasileiras e foi calculado através da Equação 8, onde os valores da temperatura do bulbo úmido

(T_w) foram obtidos através da tabela psicrométrica, fazendo-se o caminho inverso com base na umidade relativa do ar e na temperatura do ar. Após a obtenção da temperatura efetiva, estas foram relacionadas com a faixa de conforto correspondente, proposta pela ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers), em 1972, ilustradas na Tabela 10.

$$ITE = 0,4 \times (T_{ar} + T_w) + 4,8 \quad . \quad \text{Eq. 8}$$

Onde: T_{ar} é a temperatura do ar e T_w é a temperatura do bulbo úmido.

Tabela 10 – Sensação de conforto térmico do corpo, relacionado com o Índice de Temperatura Efetiva (ITE).

ITE (°C)	Faixa de conforto
35,0°C – 40,0°C	Muito Desconfortável
28,0°C – 34,9°C	Desconfortável
26,0°C – 27,9°C	Ligeiramente Desconfortável
23,0°C – 25,9°C	Confortável
20,0°C – 22,9°C	Ligeiramente Confortável
15,0°C – 19,9°C	Ligeiramente Desconfortável
10,0°C – 14,9°C	Desconfortável

Fonte: ASHRAE (1972).

O IC foi desenvolvido a partir do índice Humidex, proposto por Winterling em 1978 e posteriormente adaptado por Steadman (1979), a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para determinados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas situações em que as temperaturas estão elevadas.

O IC foi calculado através da Equação 9, e foram aplicadas as suas correções quando necessárias. Os níveis de alerta e suas prováveis consequências para a saúde humana são apresentados na Tabela 11.

$$\begin{aligned}
 IC = & -42,379 + 2,04901523 \times T + 10,14333127 \times UR - 0,22475541 \times T \times UR \\
 & - 6,83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5,481717 \times 10^{-2} \times UR^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times UR \\
 & + 8,5282 \times 10^{-4} \times T \times UR^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \times UR^2
 \end{aligned} \quad \text{Eq. 9}$$

Onde, T é a temperatura do bulbo seco (°F) e UR é a umidade relativa do ar (%).

Tabela 11 - Níveis de alerta do IC e suas prováveis consequências para a saúde.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Sintomas
Perigo Extremo	54°C ou mais	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1°C a 54°C	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposição prolongada com atividades físicas.
Cautela Extrema	32,1°C a 41°C	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1°C a 32°C	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas ao ar livre.
Não há alerta	Menor que 27°C	Não há problemas

Fonte: Adaptado de National Weather Service, Weather Forecast Office, National Oceanic and Atmospheric Administration, USA.

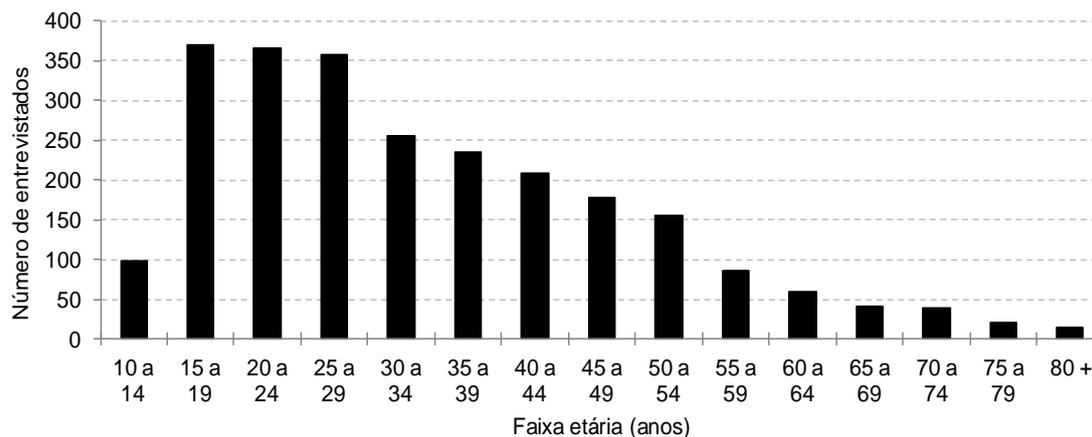
5.3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.3.1 Caracterização da amostra populacional

No Gráfico 13 temos a distribuição, por faixa etária, dos indivíduos entrevistados durante a campanha de coleta de dados, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. O número total de questionários aplicados foi de 2.484, em uma amostra em que a idade variou de 10 a 89 anos, onde 48,4% dos entrevistados são do sexo masculino e 51,6% do sexo feminino. As faixas etárias entre 15 e 29 anos foram as que apresentaram mais indivíduos entrevistados, correspondendo a 44% da amostra.

Do total de entrevistas realizadas, foram excluídas, em algumas etapas dos questionamentos, aquelas pessoas que se declararam enfermas, pois durante o período em que o corpo encontra-se enfermo o metabolismo fica alterado, o que contribuiria para alteração dos resultados.

Gráfico 13 – Distribuição por faixa etária dos indivíduos entrevistados.



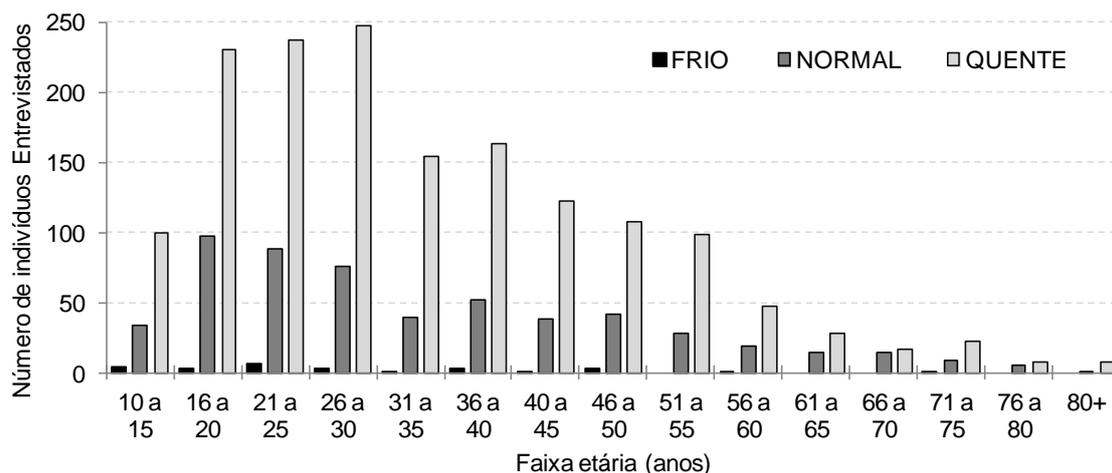
Fonte: Do autor.

5.3.2 Análises das percepções térmicas

O Gráfico 14 ilustra a distribuição da sensação térmica por faixas etárias. Observou-se a predominância da resposta “quente” para o desconforto térmico para todas as faixas etárias analisadas, com 73,2% das respostas. A resposta referente à sensação térmica “normal” seguiu o padrão de distribuição parecido com a opção “quente”, no entanto com apenas 25,6% das respostas, enquanto que, na opção “frio” houve apenas 1,2% do total de indivíduos entrevistados que optaram por esta sensação térmica.

Nas três faixas etárias compreendidas dos 16 aos 30 anos, a grande maioria dos indivíduos entrevistados declarou a situação como “quente” isto, possivelmente ocorreu, porque as pessoas nesta fase da vida possuem normalmente um metabolismo fisiologicamente mais acelerado, estando mais suscetíveis às sensações térmicas elevadas, pois, para sua termorregulação, necessitariam mais intensamente de trocas energéticas com o meio ambiente.

Gráfico 14 - Distribuição da sensação térmica por faixas etárias da amostra entrevistada.



Fonte: Do autor.

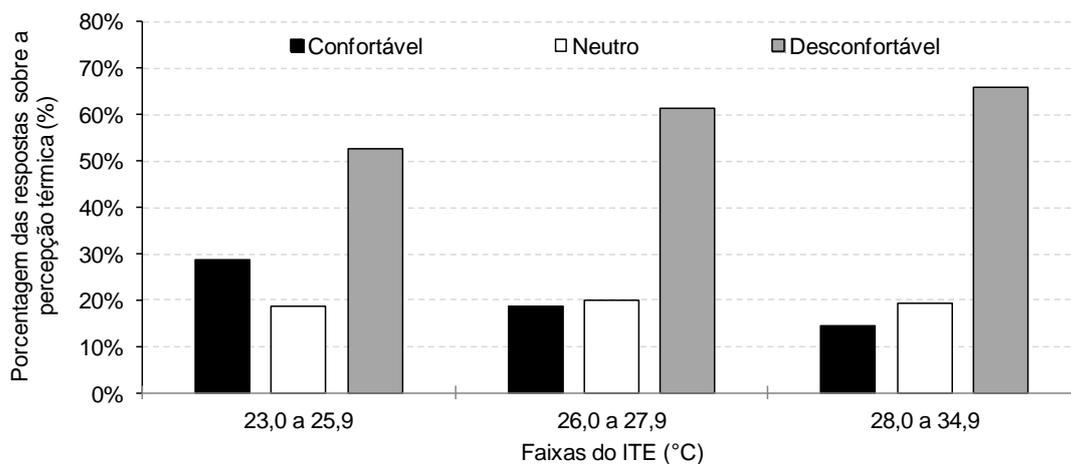
5.3.3 Análise dos Índices (ITE e IC)

Nos Gráficos 15 e 16 são apresentadas a percepção térmica e as faixas de conforto térmico propostas pelo ITE e pelo IC, respectivamente. Observaram-se em ambas as figuras que os dois índices apresentaram uma boa resposta quando relacionados com os dados obtidos através das entrevistas aplicadas.

À medida que se passa para as faixas mais Desconfortáveis termicamente o percentual de indivíduos que responderam estarem sentindo um maior desconforto térmico também aumentou, assim como as respostas referentes à percepção térmica de conforto térmico reduziu.

Na análise do ITE (Gráfico 15) foi observado que os valores calculados estiveram dentro das faixas Confortável, Ligeiramente Desconfortável e Desconfortável. As respostas apresentadas referentes às percepções térmicas quando comparadas com as faixas do ITE, para a opção de resposta “Desconfortável” apresentou um acréscimo de 20,4% do número de respostas ao mudar da faixa Confortável para a Desconfortável. Ao analisar a resposta a percepção térmica “Confortável” foi observada uma redução de 49,4% das respostas à medida que se migrou da faixa Confortável para a Desconfortável.

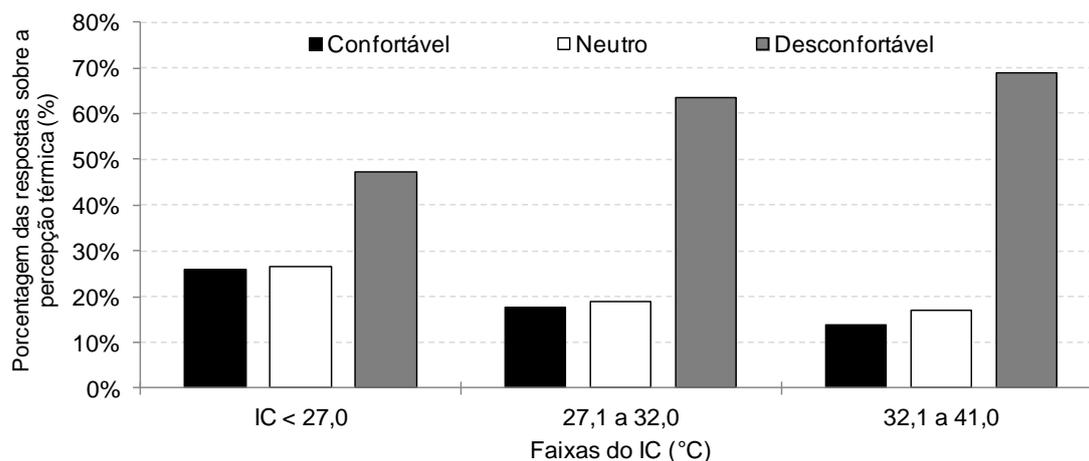
Gráfico 15 – Percepção térmica e as faixas de conforto térmico propostas pelo Índice de Temperatura Efetiva (ITE).



Fonte: Do autor.

Na análise do IC (Figura 16) verificou-se que os valores calculados se encontraram dentro das faixas de Não há alerta, Cautela e Cautela Extrema. Observou um aumento de 31,4% das respostas “Desconfortável” referentes à percepção térmica ao mudar da faixa de “Não há alerta” para a de Cautela Extrema. Ao ser analisada a opção de resposta “Confortável” houve um decréscimo de 53,6% ao migrar da faixa “Não há alerta” para a de “Cautela extrema”.

Gráfico 16 – Percepção térmica e as faixas de conforto térmico propostas pelo Índice de Calor (IC).



Fonte: Do autor.

5.3.4 Análises diurnas

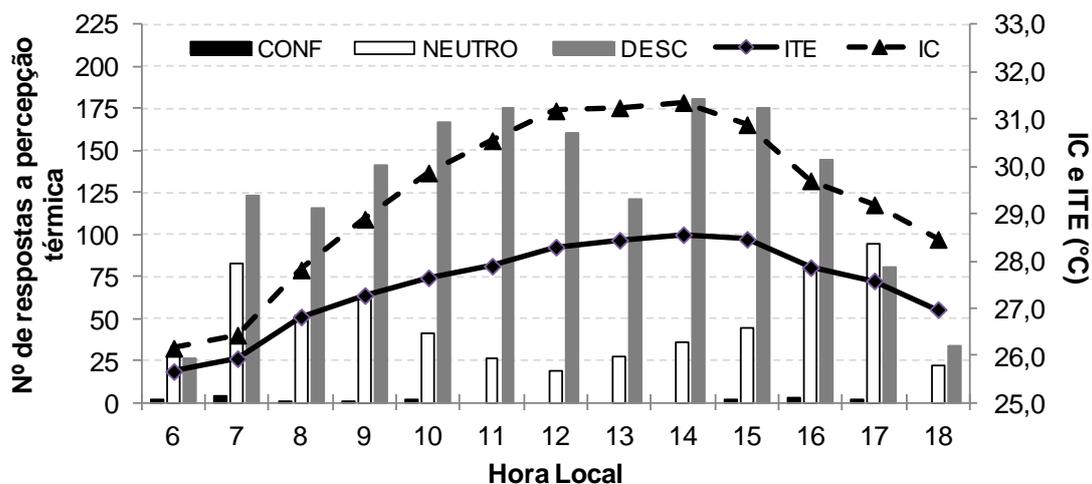
Analisando-se as resposta à percepção térmica dos indivíduos, nos sete pontos amostrais de Belem (Gráfico 17), de acordo com a variação horária, observou-se que há um claro desconforto no período entre 11 e 14 horas. Pois, a grande maioria dos pesquisados se declarou desconfortável termicamente no período, uma quantidade bem menor de indivíduos interpretou a situação como regular termicamente, entretanto, nenhum indivíduo se declarou confortável neste intervalo de tempo. Isto também ocorreu às 18 horas, porém, neste horário houve um pequeno número de entrevistados, o que pode ter ocasionado uma falha amostral.

No período da manhã, entre as 06 e 10 horas, houve um predomínio de pessoas que se sentiram desconfortáveis termicamente, porém existiu um considerável contingente que declarou a sensação térmica regular.

Durante a parte vespertina, às 15 horas iniciou-se a redução do número de entrevistados que se declarou desconfortável e, inversamente aumentou o contingente de pessoas declarando situação térmica normal, também voltam a aparecer os indivíduos que se sentiram confortáveis, fato que vai até às 17 horas.

Os dois índices calculados, o Índice de temperatura efetiva (ITE) e o Índice de calor (IC), apresentaram variações similares durante todo o dia. Ambos atingiram os máximos entre 12 e 15 horas, sendo calculados os picos às 14h, com o IC = 31,4 e o ITE = 28,6. As faixas de melhor conforto térmico ocorreram logo ao amanhecer e nas primeiras horas da manhã, das 06 às 08 horas. Fato que se repetiu após as 16 horas.

Gráfico 17 - Variação diurna na percepção térmica, nas faixas de conforto térmico e nos índices calculados.



Fonte: Do autor.

5.4 CONCLUSÕES

A cidade de Belém do Pará tem entre suas características as elevadas temperaturas e umidades do ar, e, o grande volume de precipitações durante o transcorrer do ano. A percepção de sua população às questões de conforto térmico demonstra claramente estas características ambientais.

A ampla maioria dos indivíduos entrevistados se declarou com desconforto no período entre 11 e 14 horas. Neste mesmo intervalo de tempo, nenhum dos entrevistados se sentiu confortável termicamente.

No início da manhã, assim como no final da tarde, uma certa quantidade de pessoas se disse regularmente confortável termicamente e, um pequeno contingente se declarou confortável nestes períodos do dia.

Os índices de calor (IC) e, de temperatura efetiva (ITE), calculados para o período de 17 a 19 de novembro de 2010 apresentaram resultados compatíveis com às percepções pessoais dos indivíduos entrevistados.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Perante a realidade experimentada pela população da cidade de Belém e as informações apresentadas neste trabalho, pode-se afirmar que é de grande importância a conscientização dos cidadãos perante aos problemas urbano-ambientais em que os mesmos estão inseridos, pois o desconforto térmico deve ser entendido como uma degradação ambiental lenta e ininterrupta ao meio ambiente e que afeta diretamente a sociedade.

A Teoria dos Sistemas forneceu um embasamento teórico adequado, permitindo assim que fossem realizadas algumas análises práticas para o estudo das condições de conforto térmico nesta cidade. Ao interpretar os resultados supracitados nos capítulos, a luz da Teoria Geral dos Sistemas, verificou-se um grande sistema aberto com diversos subsistemas interagindo entre si e realizando trocas de energia e massa para se auto alimentarem e continuarem funcionando. Iniciando estas interações temos uma grande entrada de energia oriunda do Sol, que vai fomentar os demais subsistemas, como os ambientais, que vão garantir condições mínimas para a existência da vida, e que por sua vez, vão interagir com os outros subsistemas relacionados aos meios sociais (das atividades humanas), da saúde humana e ao econômico.

O poder aquisitivo (econômico) está vinculado diretamente ao trabalho que é exercido pelos indivíduos, que por sua vez implicará nas condições e no local de habitação dos mesmos. O conforto térmico está vinculado diretamente às condições ambientais (tempo e clima), assim como, com as características físicas da cobertura do solo destes locais, que foram definidas pelo modelo de ocupação que cada bairro sofreu no início de sua ocupação, e que continuam sofrendo atualmente com o processo de verticalização, contribuindo para gerar segregação social.

Estes são apenas parte dos fatores que interagem entre si formando uma frágil e complexa rede de subsistemas, que funcionam em conjunto para formar o espaço urbano.

Já os elementos meteorológicos também são influenciados por fatores locais, como a morfologia urbanas dos bairros de Belém. Já os eventos de precipitação mais intensas originados por nuvens convectivas e mais pontuais, o aquecimento da superfície local contribui significativamente para aumentar o volume de chuva.

Os resultados desta pesquisa corroboram com os modelos teóricos propostos por Oke (1987), sobre as formações de ilhas de calor e ilhas frias nas áreas urbanas que

variam sua intensidade de acordo com as características da morfologia e uso do solo. Durante o estudo foi encontrada uma ilha de calor com baixa intensidade, além de ilhas frias em alguns pontos da cidade. Os efeitos da sazonalidade sobre os elementos micrometeorológicos ficaram bastante evidentes, mostrando que durante a época chuvosa existe uma homogeneidade na temperatura do ar entre a área periférica e a central da cidade. A ocorrência da pluviosidade no período chuvoso ocorreu, preferencialmente, à tarde e a noite, enquanto que no período menos chuvoso essa ocorrência se deu durante a madrugada. O efeito da ilha de calor urbana gera um aumento da precipitação pluvial nas áreas do seu entorno (SHEPHERD et. al., 2002).

A investigação a respeito do conforto térmico mostrou que em grande parte do período diurno, a cidade esteve dentro da faixa de desconforto térmico, sendo os bairros do Marco e do Curió-Utinga o mais desconfortável e confortável, respectivamente. A vegetação exerceu um papel fundamental na amenização do desconforto térmico na cidade, o que corrobora com os estudos realizados por Brasil (1995) e Rodrigues (1996). A área central, que possui menor cobertura vegetal, e maior densidade de edificações altas não foi a mais desconfortável, quando comparado com a zona oeste da cidade, que possui, predominantemente, edificações baixas. Esse comportamento ocorreu devido ao efeito do sombreamento proporcionado pelos edifícios, que dificultam que os raios solares incidam diretamente sobre a superfície, causando o aquecimento, comportamento este descrito por Carfan et.al., (2010), ao estudar a cidade de São Paulo, além da arborização presente nessa área da cidade.

A zona Leste foi a mais confortável da cidade, devido em sua área estarem situadas a Área de Proteção Ambiental e instituições públicas que possuem extensas áreas ainda vegetadas. Ao analisar a correlação do índice de conforto térmico com as tipologias de uso da cobertura do solo foi constatado que as áreas mais antropizadas apresentaram uma forte correlação com o desconforto térmico.

Verificou-se que não houve um padrão bem definido entre a estratificação social urbana com as condições de conforto térmico, contrariando a pesquisa realizada por Dumke (2007) para a cidade de Curitiba. No caso de Curitiba, o desconforto térmico ocorreu devido ao frio, e em Belém o desconforto foi devido ao calor. No entanto a população de menor poder aquisitivo e que habita as áreas de baixada estão mais vulneráveis aos efeitos associados ao clima, principalmente aos alagamentos, que tem seu efeito potencializado quando o nível da maré está alto e ocorrem eventos de precipitação com volumes elevados em um curto espaço de tempo.

As amplitudes térmicas no decorrer do ano são pequenas em Belém e a umidade relativa do ar está sempre elevada. Com relação a percepção do conforto térmico, toda a população, independentemente de sua posição socioeconômica, estará exposta ao desconforto térmico por calor durante o dia, com pequenas variações de intensidade, que são influenciadas pela tipologia da cobertura e do uso solo da área em que a mesma se encontra. No entanto, este desconforto pode ser contornado através da climatização dos ambientes fechados, através da construção aplicando técnicas arquitetônicas adequadas a região, a fim de minimizar o desconforto térmico, mas grande parte da população que é economicamente menos favorecida vai dispor de menores recursos financeiros para se adaptar e proteger dos efeitos do clima, o que corrobora com os estudos realizados por Mendonça (2004).

A distribuição espacial das habitações está ligada diretamente ao poder aquisitivo, implicando na segregação socioespacial, que se relaciona de forma delicada com as condições de conforto térmico, pois a maior contribuição para o desconforto termal serão as características da cobertura do solo, e não o poder aquisitivo dos residentes naquelas áreas. É fato que os cidadãos com maior poder aquisitivo habitam áreas mais verticalizadas, mas não necessariamente arborizadas, como o bairro do Umarizal. O modelo clássico mostrado por Oke (1987), onde as áreas centrais, que são mais verticalizadas, apresentam temperaturas mais elevadas, quando comparado com a sua região periférica, funciona perfeitamente para diversas cidades. No entanto, é necessário fazer algumas considerações ao se referir a cidade de Belém, pois no Bairro de Nazaré que é bastante verticalizado, as temperaturas foram mais amenas do que no bairro do Marco, que é um menos verticalizado.

A conscientização dos cidadãos referente aos problemas ambientais na área urbana é fundamental, pois existe a necessidade dos mesmos lutarem e exigirem os seus direitos junto aos órgãos que realizam a gestão ambiental e o planejamento urbano da cidade, para que sejam implementadas políticas públicas para melhorar as condições urbano-ambientais, a fim de contribuir com a melhoria das condições de conforto térmico, principalmente, nas áreas em expansão, periféricas e centrais da cidade.

Devido à cidade de Belém ser termicamente desconfortável a maior parte do período diurno, uma boa condição de financeira pode contribuir para a existência de uma melhor condição de conforto térmico a estes cidadãos, no entanto, apenas dentro de suas residências e ambientes fechados, devidamente climatizados onde se pode controlar a temperatura, e por outro lado o consumo energético para estabelecer essas

condições contribui para a geração de calor pelos equipamentos de refrigeração que colaboram para tornar a cidade mais quente e desconfortável termicamente.

Por ser Belém uma cidade relativamente antiga na região (fundada em 1612), a sua estruturação urbana até a primeira légua patrimonial ocorreu de forma planejada e organizada, e deste marco geográfico em diante, e nas áreas de baixada, não houve nenhum tipo de planejamento, predominando a desorganização. Um Plano Diretor associado a uma estruturação urbana, onde ambos sejam desenvolvidos com bases científicas interdisciplinares, contribuiria para amenizar as problemáticas ambientais, inclusive reduzindo o desconforto térmico urbano, logo uma boa condição de vida contribuiria em parte para se atingir uma situação de conforto térmico.

REFERÊNCIAS

ABREU, M. L.; ASSIS, W. L. A Ilha de Calor em Belo Horizonte: Um Estudo de Caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília-DF. **Anais do X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Brasília-DF, [s.n.], 1998.

AMARAL, R. **Fundação de Belém do Pará: Jornada de Francisco Caldeira de Castelo Branco em 1615-1616**. Brasília-DF, Ed. do Senado Federal, 108p., 2010.

ANANIAS, D. S. et. al. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, p.218-226, 2010.

ARAÚJO, A. P. et. al. Ensaio metodológico sobre a utilização de transectos móveis no período diurno em Presidente Prudente-SP. **Revista Formação (Online)**, n.17, v.1, 2010, p.77-95, 2010.

ASHRAE. Handbook american society of heating, refrigerating and airconditioning engineers. Handbook of Fundamentals, Edited by Carl W. MacPhee. New York: ASHRAE, 1972.

ASHRAE. Thermal comfort conditions, ASHRAE Standard 55.66, New York. 1966.

ASSIS, W. L.; ABREU, M. L. O clima urbano de Belo Horizonte: análise têmporo-espacial do campo térmico e hídrico. **Revista de Ciência Humanas**, v.10, n.1, 2010, p. 47-63, 2010.

BARBIRATO, G. M. A importância da abordagem climática no planejamento urbano. In: José C. F. de Oliveira (Org.) **Atmosfera e Sociedade**, v.1, Maceió-Al: EDUFAL, 2010, 122p.

BASSALO, J. M. C.; NASCIMENTO, F. C. **Via dos Mercadores**: Belém, Pará. 2002. Disponível em: <<http://memoriaisdameiadosnove.blogspot.com>> Acessado em 19 jul 2010.

BELL, P. A. Physiological, Comfort, Performance, and Social Effects of Heat. **Journal of Social Issues**. v.37, n. 1, 1981, p.71-94.

BENINI, R. M. **Cenários de ocupação urbana e seus impactos no ciclo hidrológico na bacia do córrego do Mineirinho**. 2005. 122f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

BEZERRA, M. V. C.; SILVA, B. B.; BEZERRA, B. G. Avaliação dos efeitos atmosféricos no albedo e NDVI obtidos com imagens de satélite. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.15, n.7, 2011, p.709-717.

BRASIL, H. M. S. **Caracterização da arborização urbana**: o caso de Belém. Belém, Editora da Faculdade de Ciências Agrárias do Pará, Serviço de Documentação e informação, 1995, 195p.

BRASIL, Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961 – 1990**, 2009, p.253.

CAMPOS FILHO, C. M. **Cidades Brasileiras**: seu controle ou caos. São Paulo: 2.ed., Ed. Nobel, 1992, n.p.

CARDOSO, A. C. D. et. al. A estrutura socioespacial da região metropolitana de Belém: de 1990 a 2000. **Novos Cadernos do NAEA**, v.10, n. 01, 2006, p.143-183.

CARDOSO, A. C. D. **O espaço alternativo**: vida e forma urbana nas baixadas de Belém. Belém: EDUFPA, 2007, 265 p.

CARFAN, A. C.; GALVANI, E.; NERY, J. T. O efeito do sombreamento no conforto térmico estudo de caso: Cidade de São Paulo. In: SEMINÁRIO LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 6, E SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA, 2, 2010, Coimbra. **Anais do VI Seminário LATINO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA E II SEMINÁRIO IBERO AMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA**, Coimbra, [s.n], 2010, n.p.

CASTELLS, M. **A questão urbana**. Rio de Janeiro, Ed. Paz e Terra, 1983, 590p.

CASTELLS, M. **The Informational City**. Cambridge: Blackwell, 1989, 224 p.

CHIAVENATO, I. **Introdução à Teoria Geral da Administração**. 3ª Edição. S. Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1983, 664p.

CHICK, V. Sobre Sistemas Abertos. **Revista da Sociedade Brasileira de Economia Política**, n.13, 2003, p.7-26, 2003.

COSTA, A. C. L. **Estudo de Variações Termo-Higrométricas de Cidade Equatorial devido ao Processo de Urbanização**. O caso de Belém – PA, 1998, 232f., Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo, São Carlos, SP, 1998.

COSTA, A. C. L.; MATTOS, A. Estudo da Ilha de Calor Urbana em cidade de pequeno porte na região equatorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 10, 1998, Brasília - DF. **Anais do X CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Brasília-DF, [s.l.], 1998, n.p.

COSTA, A. C. L.; MATTOS, A. Variações sazonais da ilha de calor urbana na cidade de Belém: PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, 2000, Rio de Janeiro - RJ. **Anais do XI CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Rio de Janeiro, [s.n], 2000, p.2357-2365.

COSTA, A. C. L.; OLIVEIRA, M. C. F. Influência das atividades urbanas no comportamento da temperatura do ar na cidade de Belém - PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 9, 1996, Campos do Jordão - SP. **Anais do IX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Campos do Jordão, [s.n], 1996, n.p.

DIAS, C. S., DIAS, S. I. S. **Belém do Pará: história, urbanismo e identidade**. In: Planejamento Urbano e Regional: ensaios acadêmicos do CAUFAG em 2007.1. Cascavel: Smolarek Arquitetura, 2007, n.p.

DUMKE, E. M. S. **Clima Urbano/Conforto Térmico e Condições de Vida na Cidade** – Uma Perspectiva a partir do Aglomerado Urbano da Região Metropolitana de Curitiba (AU-RMC), 2007, 417f., Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Federal do Paraná, Curitiba - PR, 2007.

EPSTEIN, Y.; MORAN, D. S. Thermal comfort and the Heat Stress indices. **Industrial Health**, v.44, 2006, p.388–398.

FANGER, O. **Thermal comfort – analysis and application in environmental engineering**. Copenhagen, 244p., 1970.

FANGER, P. O. **Thermal comfort**, McGraw-Hill, New York., 1972, 245 pp.

FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; MOITA NETO, J. M.; ANDRADE, C. S. P. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina – Piauí. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v.6, n.2, 2011, p.58-75, 2011.

FENZL, N. O conceito de desenvolvimento sustentável em sistemas abertos. **Poematropic**, v.1, n.1, Jan/Jun. 1998, p.34-42.

FERREIRA, A. B. H. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. Edição eletrônica, 5ª versão, [s.l: s.n: n.p], 2004.

FERREIRA, D. A. A.; FREITAS, M. C. V. Aspectos e reflexões conceituais sobre informação, sistemas e teoria de sistemas. In: CINFOM - INFORMAÇÃO, HUMANISMO E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO, 7, 2007, Salvador – BA. **Anais do VII CINFOM - INFORMAÇÃO, HUMANISMO E DESENVOLVIMENTO CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO**, Salvador, [s.n], 2007, n.p.

FERREIRA, M. J. **Estudo do balanço de energia na superfície da cidade de São Paulo**. 2010, 183f. Tese (Doutorado em Ciências Atmosféricas), Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, 2010.

FISCH, G. et. al. The convective boundary layer over pasture and forest in Amazonia. **Theoretical and Applied Climatology**, v.78, n.1-3, 2004, p.47–59.

FISCH, G. F.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma revisão geral do clima da Amazônia. **Acta Amazônica**, v. 28, n. 2, 1998, p.101-126, 1998.

FISCH, G., MARENGO, J., NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática – Ed. Comemorativa de 10 anos**, 1996, cap. 3, [s.n], Cachoeira Paulista, n.p.

FREITAS, E. D.; SILVA DIAS, P. L. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n.3., 2005, p. 355-366.

FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de Conforto Térmico**. 5ª ed. São Paulo: Studio Nobel. São Paulo: Studio Nobel, 2001, p.243.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. São Paulo-SP: Ed. Oficina de Textos, 2010, p.248.

GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Johannesburg, a sub-tropical city located on a ridge - A review. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. 3, 1992, p. 407-420.

GRIMMOND, C. S. B. The suburban energy balance: Methodological Considerations and results for a mid-latitude west coast city under winter and spring conditions. **International Journal of Climatology**, v.12, 1992, p.481-497.

HOGAN, D. J. **Demographic aspects of global environmental change: What is Brazil Contribution?** Human Dimension of Global Environmental Change. Rio de Janeiro, Academia Brasileira de Ciências, 2001, p.17-41.

HOWARD. L. **The climate of London: meteorological observations, made at different places in the neighborhood of metropolis**. Londres, Ed. W. Phil. 1818, 592p.

IBGE, Cidades, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidades>> Acessado em: 07 nov 2011.

IBGE, Cidades, 2012. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidades>> Acessado em: 11 dez 2012.

ISO 7730 Ergonomics of the thermal environment: analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. International Organization for Standardization, Geneva, 2005.

KAMPEL, S. A. **Geoinformação para estudos demográficos: representação espacial de dados de população na Amazônia Brasileira**. 2004. 166f. Tese (Doutorado em Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Transportes - São Paulo, 2004.

KAMPEL, S. A.; CÂMARA, G.; VIEIRA, A. M. Análise Espacial do Processo de Urbanização da Amazônia. Relatório Técnico, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, dez, 2001, 30p, [s.l].

KONDEPUDI, D. K. **Introduction to modern thermodynamics**. Ed. John Wiley & Sons Ltd, 1952, p.518.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**, New York-NY, Academic Press, 271p., 1981.

LEVINSON, R.; AKBARI, H. Potential benefits of cool roofs on commercial buildings: conserving energy, saving money, and reducing emission of greenhouse gases and air pollutants. **Energy Efficiency**, v.3, 2010, p.53-109, 2010.

LIMA, J. J. F.; MOYSÉS, A. Como andam Belém e Goiânia. Rio de Janeiro, Letra Capital: Observatório das Metrôpoles, 2009, 164p.,

LUHMANN, N. Die Gesellschaft der Gesellschaft (A sociedade da sociedade), v.2, Frankfurt: [s.n], 1997.

MAIA, J. A.; GONÇALVES, F. L. T. UMA ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO E SUAS RELAÇÕES METEOROTRÓPICAS NA CIDADE DE SÃO PAULO – PARTE 1. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz de Iguaçu-PR. **Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Foz do Iguaçu, [s.n], 2002, p.307-314.

MAITELLI, G. T. et. al. Intensidade da ilha de calor em Cuiabá/MT, na estação chuvosa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 2004, Fortaleza - CE. **Anais do XIII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Fortaleza, [s.n], 2004, n.p.

MAITELLI, G. T. Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: o exemplo de Cuiabá-MT. Departamento de Geografia, Universidade de São Paulo, 1994, 200p.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. P. G.; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá-MT: uma abordagem de clima urbano. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 3, Londrina-PR, **Anais do III ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE**, Londrina, [s.n], 1991, p.561-571.

MARTINS, E. **Amazônia, a última fronteira**. Rio de Janeiro: Codecri, 1982.

MELLO, C. R. et. al. Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v.27, 2003, p.925-933, 2003.

MENDONÇA, F. S.A.U. Sistema Ambiental Urbano: uma abordagem dos problemas socioambientais da cidade. In: MENDONÇA, F. A. (Org.). **Impactos Socioambientais Urbanos**. Curitiba: Ed. da UFPR, 2004, p.185-207. 330p.

MOLION, L. C. B. Climatologia Dinâmica da região Amazônica: mecanismos de precipitação. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.2(1): 1987, p.107-117, 1987.

MONTEIRO, C. A. F. A cidade desencantada: entre a fundamentação geográfica e a imaginação artística. In: **Impactos socioambientais urbanos**. Curitiba-PR: Editora da UFPR, 2004, p.13-78.

MONTEIRO, C. A. F. **Teoria e clima urbano** IGEOG-USP, Série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: USP, 1975. 181p.

MONTEIRO, C. A. F., MENDONÇA, F. A. **Clima urbano**. São Paulo-SP, Ed. Contexto, 2001, p.192.

NOAA. National Weather Service Weather Forecast Office, Jackson, KY. 2010.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2.ed., 1987, p.460.

OKE, T. R. et. al. Simulation of nocturnal surface urban heat islands under ideal conditions: Part 2. Diagnosis of causation. **Boundary-Layer Meteorology**, v. 56, p.339-358, 1991.

OLIVEIRA, J. M. G. C. **Produção e apropriação do espaço urbano: a verticalização em Belém**. 1992, 229f., Tese (Doutorado em Geografia), Universidade de São Paulo, São Paulo-SP, 1992.

OLIVEIRA, J. M. G. C.; FRANÇA, C. F.; BORDALO, C. A. L. A verticalização em Belém-Pará, Brasil, nos últimos trinta anos: a produção de espaços segregados e as transformações socioambientais. In: ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA, 10, 2005, São Paulo. **Anais do X ENCONTRO DE GEÓGRAFOS DA AMÉRICA LATINA**, São Paulo, [s.n], 2005, p.10609-10620.

OLIVEIRA, M. C. F. et. al. Tendência das temperaturas média, máxima e mínima em Belém-PA, de 1896 a 2000. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz do Iguaçu. **Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Foz do Iguaçu, [s.n], 2002, p.856-859.

OLIVEIRA, M. L. et. al. Flutuações de temperatura e umidade do solo em resposta à cobertura vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.9, n.4, 2005, p.535-539, 2005.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. 1.ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres, 1981. 425p.

PAHO, **Patterns of Urban Mortality**, Scientific Publications n. 151, Pan American Health Organization, Washington, DC, 1967.

PALHETA JUNIOR, F. X. Mobilidade residencial em Belém do Pará. In: um olhar sobre os aspectos da infraestrutura e do planejamento urbano em Belém do Pará. LOBATO, C. C. Q. (Org.), Belém: Editora CESUPA, 2005, p.61-112.

PEZZUTO, C. C. **Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. Estudo de caso em Campinas**, SP, 2007, 197f., Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo), Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade de Campinas, Campinas-SP, 2007.

PONTE, M. X. 2003. **Rede intra-urbana de água e esgotamento sanitário na cidade de Belém: aspectos históricos, políticos e econômicos da estruturação sanitária**. Rio de Janeiro, 2003, 118f., Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano e Regional), Instituto de Pesquisa em Planejamento Urbano e Regional, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro – RJ, 2003.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo Planta Atmosfera: conceitos, processos e aplicações**. 2.ed., Barueri-SP, 2012, p.500.

RIOS, N. et. al. Estimacão do albedo de superfície usando sensoriamento remoto: contribuições para estudos sobre ilhas de calor urbanas. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4, 2011, João Pessoa-PB. **Anais do IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA**, João Pessoa, [s.n], 2011, n.p.

RODRIGUES, E. B. **Aventura urbana: urbanização, trabalho e meio ambiente em Belém**, Ed. Belém, 1996, 281p.

RODRIGUES, J. M. **População Brasileira cresce mais nas Metrôpoles**. Observatório das Metrôpoles, 2007. Disponível em: <<http://web.observatoriodasmetrolopes.net>> Acessado em 11 out 2010

SANTOS, F. A. A. **Alagamento e Inundação Urbana: Modelo Experimental de Avaliação de Risco**. 2010, 147f., Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), PPGCA/UFPB/MPEG/EMBRAPA, Belém-Pa, 2010.

SANTOS, J. S. et. al. Caracterização do Campo Térmico Urbano e suas Relações com o Uso e Ocupação do Solo no Campus Central da UFPB. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.3, p.445-462, 2011.

SANTOS, M. A **Urbanização brasileira**. 174p., 5.ed., Ed. Edusp, São Paulo-SP, 2009.

SELLERS, W. D. **Physical Climatology**. University of Chicago, Chicago, 1965, 272p.

SHEPHERD, J. M.; PIERCE, H.; NEGRI, A. J. Rainfall modification by major urban areas: observations from spaceborne rain radar on the TRMM satellite. **Journal of Applied Meteorology**, v.41, 2002, p.689-701.

SHIMODA, Y.; NARUMI, D.; MIZUNO, M. Environmental impact of urban heat island phenomena: cause-effect chain and evaluation in Osaka City. **Journal of Life Cycle Assessment**, v.1, n.2, 2005, p.144-148.

SILVA JÚNIOR, J. A. et. al. Caracterização eólica de um ecossistema de manguezal na Amazônia Oriental - Bragança, Pará, Brasil. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL MANGROVE 2003, Salvador. **Anais da CONFERÊNCIA INTERNACIONAL MANGROVE 2003**, Salvador, [s.n], 2003, p.322.

SILVA JUNIOR, J. A. et. al. Estudo da precipitação e temperatura durante o evento La Niña na cidade de Belém-PA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002. **Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Foz de Iguaçu-PR, [s.n], 2002, p.2425-2428.

SILVA JÚNIOR, J. A. et. al. Estudo do Conforto Térmico e o Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Belém-PA durante o ano de 2010. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4, 2011, João Pessoa-PB. **Anais do IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA**, João Pessoa, [s.n], 2011, n.p.

SILVA JUNIOR, J. A.; COSTA, A. C. L. Variações Termo Higrométricas proporcionadas por diferentes tipos de uso de solo urbano na região equatorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz de Iguaçu-PR, **Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Foz do Iguaçu, [s.n], 2002, p.2425-2428.

SILVA JÚNIOR, J. A. et. al. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.2, 2012, p.218-232.

SMITH, A. W.; COOPER, J. N. COOPER. **Elements of Physics**, 8.ed., New York, New York: McGraw-Hill Publishing, 1972, p. 241.

SOUZA FILHO, J. D. C.; RIBEIRO, A. Variações sazonal e horária do albedo sobre a Floresta de Caxiuanã, região leste da Amazônia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 12, 2002, Foz de Iguaçu-PR. **Anais do XII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**, Foz do Iguaçu, [s.n], 2002, p. 2374-2377.

SOUZA, D. O.; ALVALÁ, R. C. S. A expansão urbana e a evolução do microclima de Manaus. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA, 4, 2011, João Pessoa-PB. **Anais do IV SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA**, João Pessoa, [s.n], 2011, n.p.

SOUZA, E. B. et. al. Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: Observações e simulações regionais com o REGCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.24, n.2, p.111-124, 2009.

STEADMAN, R. G. The Assessment of Sultriness. Part I: A temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. **Journal of Applied Meteorology**, v.18, p.861-873, 1979.

TBM 507, Technical Bulletin Medical 507, Heat stress control and heat casualty management, Air Force Pamphlet, n.1, p.48-152, 2003.

TEJADA, A. M.; JAREGUI, E. O. Surface energy balance measurements in the México City region: a review. **Atmósfera**, v.1, p.1-23, 2005.

TRINDADE JUNIOR, S-C. C. **A cidade dispersa**: os novos espaços de assentamentos em belém e a reestruturação metropolitana. 1998. 395f. Tese (Doutorado em Geografia), Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.

TUCCI, C. E. M. Inundações e drenagem urbana. In: **Inundações urbanas na América do Sul**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2003, p.90.

USAPHC, U.S. ARMY, **Heat Acclimatization Guide**. 2011, 6p.

VAN WYLEN, G. J.; SONNTAG, R. E.; BORGNAKKE, C. **Fundamentos da termodinâmica**. 5.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1998, 537p.

VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. 1.ed. Viçosa: Imprensa Universitária, 1991, p.304.

VILLAÇA, F. **Espaço intra-urbano no Brasil**. 2.ed., São Paulo: Studio Nobel / FAPESP / Lincoln Institute, 2001, p.373.

VON BERTALANFFY, L. The Theory of Open Systems in Physics and Biology. **Science**, v. 111, n.2872, 1950, p.23-29.

WEIHE, W. H. Life expectancy in tropical climates and urbanization, in T. R. Oke (ed.), **Urban Climatology and its Applications with Special Regard to Tropical Areas**, Publ. No. 652, World Meteorological Organization, Geneva, 1986, p. 313- 353.

WHITE, J. M.; EATON F. D.; AUER, A. H. The net radiation balance of the St. Louis metropolitan área. **Journal of Applied Meteorology**, v. 17, 1978, p.593-599.

YAGLOU, C. P. A method for improving the effective temperature index. In: **American Society of Heating and Ventilating Engineers Transactions**, 1947, v.53.

YAMASHITA, S. Some studies of heat Island in Japan – With Special Emphasis of the Climatological Aspects. **Geographical Review of Japan**. v. 61 (Ser. B), n. 1, p.1-13, 1988.