



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

LEDA VILHENA CORRÊA

**ANÁLISE DOS EFEITOS TÉRMICOS DE SUPERFÍCIE NA
CIDADE DE BELÉM-PARÁ-BRASIL UTILIZANDO IMAGENS
DE SATÉLITE**

Belém - Pará
2011

LEDA VILHENA CORRÊA

**ANÁLISE DOS EFEITOS TÉRMICOS DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE
BELÉM-PARÁ-BRASIL UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais vinculado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para obtenção de título de mestre.

Área de Concentração: Física do Clima

Orientadora: Prof.^a Dr.^a. Maria Isabel Vitorino

Belém - Pará
2011

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

C824a Corrêa, Leda Vilhena

Análise dos efeitos térmicos de superfície na cidade de Belém-Pará-Brasil utilizando imagens de satélite / Leda Vilhena Corrêa; Orientador: Maria Isabel Vitorino - 2011.

80fl.: il.

Dissertação (mestrado em ciências ambientais) – Universidade Federal do Pará, Museu Paraense Emilio Goeldi e EMBRAPA, Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Belém, 2011.

1. Sensoriamento remoto. 2. Ilhas de calor urbano. 3. Temperatura do ar. 4. Temperatura da superfície. 5. Belém (PA). I. Vitorino, Maria Isabel, *orient.* II. Universidade Federal do Pará IV. Título.

CDD 22º ed.: 621.3678098115

LEDA VILHENA CORRÊA

**ANÁLISE DOS EFEITOS TÉRMICOS DE SUPERFÍCIE NA CIDADE DE
BELÉM-PARÁ-BRASIL UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITE**

Dissertação de mestrado apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais vinculado ao Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará em convênio com EMBRAPA-Amazônia Oriental e Museu Paraense Emílio Goeldi, para obtenção de título de mestre.

DATA DA DEFESA: 12 / 08 / 2011

CONCEITO: BOM

BANCA EXAMINADORA:

Prof^a. Maria Isabel Vitorino - Orientadora
Doutora em Meteorologia
Universidade do Federal do Pará

Prof^o Edmilson Freitas Dias - Membro
Doutor em Meteorologia
Universidade de São Paulo

Prof^a Maria Aurora Santos da Mota - Membro
Doutora em Meteorologia
Universidade do Federal do Pará

Prof^o Steel Vasconcelos - Membro
Doutor em Recursos e Conservação Florestais
EMBRAPA Amazônia Oriental

À Deus e minha família, que trazem a
esperança da vida para alcance das minhas
conquistas.

AGRADECIMENTOS

À Deus, presença constante em minha vida, iluminando o meu caminho e me dando forças para segui-lo;

Aos familiares pela orientação pessoal e profissional, pelo incentivo diário, apoio nos momentos difíceis, amor incondicional e por acreditarem na minha capacidade;

A todos os colegas do curso e às amizades construídas, em especial aos professores do PPGCA. Muito obrigada pelo carinho, amizade, respeito e trocas de informações acadêmicas.

Aos meus queridos orientadores, Isabel Vitorino e Adriano Sousa, que mais do que orientar, me adotaram, me acolheram e me incentivaram bastante.

À EMBRAPA e ao INMET pelo fornecimento de informações necessárias para o desenvolvimento desta pesquisa.

À FAPESPA pelo auxílio financeiro durante os dois anos de pesquisa.

À todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

RESUMO

Utilizando dados observacionais de precipitação e temperatura do ar para o período de 1967 a 2008, do qual se elaborou a climatologia destas variáveis, e analisando as condições atmosféricas influenciadas pelo fenômeno ENOS, pretende-se identificar, caracterizar e analisar os efeitos térmicos espaciais na cidade de Belém-PA, a partir de dados meteorológicos de superfície e de imagens do sensor MODIS, o qual está disposto sobre a plataforma do satélite *Aqua*. Observou-se que, a média da precipitação anual foi de 2978,6 mm/ano, e que apresenta tendência de aumento ao longo dos anos, comportamento semelhante observou-se para a temperatura do ar. Em geral, os resultados mostram dois núcleos de maiores intensidade de temperaturas da superfície, um na cidade de Belém e outro na cidade vizinha, Ananindeua. Estes variam espacialmente e temporalmente de intensidade. Durante eventos de La Niña, o núcleo da ilha de calor fica localizado em bairros mais próximos a baía do Guajará, enquanto que durante eventos de El Niño estes bairros apresentam temperaturas mais amenas do que os bairros mais afastados dos corpos hídricos. Observou-se ainda que, a amplitude térmica da temperatura superficial entre áreas urbana e rural variam bastante, com a maior variação de 30,8°C e a menor de 16,8°C. Neste sentido, as maiores temperaturas da superfície foram observadas nos bairros com baixo NDVI, consequência de uma urbanização mais densa. As superfícies urbanas e as superfícies vegetadas apresentam relações de causa e efeito muito próximas, principalmente, durante o período menos chuvoso, isto pode ser percebido pela correlação que apresenta valor acima de 50%. Este estudo apresenta resultados que auxiliam no melhor entendimento do comportamento e dos efeitos térmicos espaciais e temporais na cidade de Belém, pois o uso de imagens do satélite é de fundamental importância para a identificação e caracterização das condições ambientais climáticas e ilhas de calor urbanas.

Palavras-chave: Sensoriamento remoto. Ilhas de calor urbano. Temperatura do ar. Temperatura da superfície. Belém (PA).

ABSTRACT

Using observational data of precipitation and air temperature from 1967 to 2008, which drafted the climatology of these variables and analyzed the weather influenced by ENOS, were made an identification, characterization and analysis of spatial thermal effects in Belem (PA), from surface meteorological data and MODIS sensor images (which is prepared on a platform of the *Aqua* satellite). The average annual precipitation was 2978.6 mm/year, and presented an upward trend over the years, similar behavior has proved to the air temperature. In General, the results show two centers of greater intensity of surface temperatures: a center in Belem and another center in nearby town, Ananindeua. These centers vary spatially and temporally in intensity. During La Niña events, the center of heat island is located in the neighborhoods closest to Guajara Bay, while in the El Niño events, these neighborhoods have milder temperatures than the neighborhoods farther from water sources. The thermal amplitude of surface temperature between urban and rural areas varies greatly, with largest variation of 30,8°C and the lowest of 16,8°C. Thus, the highest surface temperatures were observed in neighborhoods with low NDVI, which is a consequence of a denser urbanization. Urban areas and most vegetated surfaces show cause/effect relationships very close, especially during the dry season, this can be realized by correlation that has value greater than 50%. This study presents results that assist in better understanding of behavior and spatial and temporal thermal effects in Belem, because the use of satellite images is important for the identification and characterization of climatic environmental conditions and urban heat islands.

Keywords: Remote Sensing. Urban heat islands. Air temperature. Surface Temperature. Belem (PA).

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Albedos de materiais urbanos	14
Figura 2- Perfis de temperaturas potenciais típicas diurnas em áreas rurais e urbanas	21
Figura 3 - Perfis de temperaturas potenciais típicas noturnas em áreas rurais e urbanas	21
Figura 4 - Região Metropolitana de Belém - RMB	27
Figura 5 – Mapa da evolução urbana de Belém	29
Figura 6 - O comportamento das isotermas sobre uma região urbana e regiões vizinhas	37
Gráfico 1 - Acumulado de precipitação e média climatológica para o período de 1967 - 2008.....	46
Gráfico 2 - Temperatura máxima do ar e média climatológica para o período de 1967 - 2008.....	48
Gráfico 3 - Temperatura média do ar e média climatológica para o período de 1967 - 2008.....	49
Gráfico 4 - Temperatura mínima do ar e média climatológica para o período de 1967 - 2008.....	51
Gráfico 5 - Variabilidade temporal da temperatura máxima diária para os anos de 2005, 2006 e 2008 para a estação meteorológica do INMET.....	53
Quadro 1 - Caracterização da precipitação e da temperatura do ar mensal e suas anomalias para as datas pré-selecionadas na cidade de Belém-Pa	53
Figura 7 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 01/01/2005	55
Figura 8 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 31/01/2005	56
Figura 9 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 02/03/2006	57
Figura 10 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 01/11/2006	58

Figura 11 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 03/02/2008	59
Figura 12 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 12/09/2008	60
Figura 13 – Mapa da espacialização do NDVI na Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 12/09/2008	62
Quadro 2 - Alvos com seus respectivos valores de temperatura superficial e índice de vegetação	63
Gráfico 6 - Correlação espacial entre NDVI e a temperatura da superfície	64
Figura 14 – Mapa da seleção de áreas no centro da cidade Belém que favorecem o conforto térmico	65
Gráfico 7 - Variação espacial da temperatura da superfície em diferentes paisagens para o dia 31/08/2005	66
Quadro 3 - Comparação entre a temperatura do ar e da superfície dos pontos onde estão localizados	67
Quadro 4 - Análise estatística do desvio da temperatura do ar e da temperatura da superfície	67
Figura 15 - Localização e apresentação das características da superfície de diferentes áreas	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Expansão urbana	28
Tabela 2 - Evolução da população do Município de Belém	28
Tabela 3 - Área, população e unidades imobiliárias por bairro do município de Belém	30
Tabela 4 - Comparativo acumulado anual com suas respectivas fontes e período de análise	45
Tabela 5 – Climatologia mensal de precipitação	47
Tabela 6 - Comparativo de temperatura máxima do ar com suas respectivas fontes e período de análise	47
Tabela 7 – Climatologia mensal da temperatura máxima do ar	48
Tabela 8 – Climatologia mensal da temperatura média do ar	50
Tabela 9 - Comparativo de temperatura máxima do ar com suas respectivas fontes e períodos de análise	50
Tabela 10 – Climatologia mensal da temperatura mínima do ar	51
Tabela 11 - Seleção de áreas no centro da cidade de Belém que favorecem o conforto térmico	69

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 JUSTIFICATIVA	15
1.2 HIPÓTESE	15
2 OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVO GERAL	16
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3 REFERENCIAL TEÓRICO	17
3.1 O QUE É ILHA DE CALOR?.....	17
3.2 CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR	17
3.3 HISTÓRICO DOS ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR	21
3.4 COMO IDENTIFICAR ILHAS DE CALOR?	22
3.5 IMPACTOS CAUSADOS PELO FENÔMENO ILHA DE CALOR.....	24
4 ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	26
4.1 ÁREA DE ESTUDO: BELÉM	26
4.2 HISTÓRICO DA URBANIZAÇÃO DE BELÉM.....	31
4.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA	33
5 DADOS E MÉTODOS	38
5.1 DADOS	38
5.1.1 Dados observacionais de superfície	38
5.1.2 Dados observacionais de imagens de satélite	38
5.2 MÉTODOS	41
5.2.1 Climatologia dos dados meteorológicos	41
5.2.2 Seleção dos eventos extremos	41

5.2.3 Ferramentas e métodos de análise das imagens de satélite.....	42
5.2.4 Correlação entre a temperatura da superfície e índice de vegetação	43
5.2.5 Validação da temperatura da superfície e da temperatura do ar	44
6 RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
6.1 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO E DA TEMPERATURA DO AR	45
6.1.1 Precipitação	45
6.1.2 Temperatura do ar	47
6.2 ANÁLISE DA PRÉ-SELEÇÃO	52
6.3 ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE	54
6.4 CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E NDVI.....	61
6.5 VALIDAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE	66
6.6 ÁREA ADEQUADA PARA MORADIA.....	68
7 CONCLUSÕES	71
8 RECOMENDAÇÕES E SUGESTÕES.....	73
REFERÊNCIAS	74

1 INTRODUÇÃO

A urbanização é caracterizada pela substituição do ecossistema natural por estruturas artificiais, e isto é um processo contínuo na sociedade moderna. Quando este processo ocorre sem planejamento adequado, se nota no ambiente urbano, impactos nas mais diversas esferas: biosfera, litosfera, hidrosfera e atmosfera. Os impactos produzidos nesta última esfera ocorrem na maioria das vezes pela substituição das áreas verdes por casas e prédios, ruas e avenidas e uma série de outras construções, que é maior à medida que se aproxima do centro das grandes cidades (LOMBARDO, 1985).

Pesquisas constataram que as áreas de maior adensamento da cidade apresentam uma maior concentração de gases e materiais particulados, lançados principalmente pelos automóveis, indústrias e demais fontes poluentes, proporcionando um aumento da temperatura da superfície (JAUREGUI, 1997). Desta forma, estas características colaboram para a formação de ilhas de calor urbanas. Além disso, em um período longo de alterações das propriedades químicas da atmosfera pode-se observar alterações no clima.

Outro fator que contribui para o desenvolvimento de uma ilha de calor urbana, conforme observado por Oke (1987), são as cidades que têm sua massa edificada, constituída por materiais com diferentes propriedades químicas que influenciam junto com a vegetação e as superfícies pavimentadas ou não a quantidade de energia térmica acumulada e irradiada para a atmosfera. Estas são expressas principalmente pelo albedo (capacidade do material de refletir energia), pela absorvância e pela emitância de radiação (Figura 1).

Qualquer análise para o estudo de um clima urbano, além de requererem a observação de dados de estação meteorológica, de dados da superfície de uma determinada área extraídos através de imagens de satélite, requer a descrição também da morfologia urbana, como áreas verdes urbanas, áreas verticalizadas, áreas com corpo hídrico, etc. Segundo Lombardo (op.cit.) e Jauregui (op.cit.), a descrição e a observação são importantes para a caracterização do efeito das ilhas de calor, por exemplo, nos núcleos de grande edificação e acumulação de calor se produz ilha de calor, as quais em regiões de clima tropical pode ser persistente, devido serem locais de grande insolação, conseqüentemente de temperatura mais

altas quando comparadas com áreas subtropicais, causando desconforto térmico que ultrapassa os limites de tolerância dos habitantes.

Figura 1- Albedos de materiais urbanos.



Fonte: Environmental Protection Agency - EPA (s.a.)

A ilha de calor urbano não é característica exclusiva das metrópoles, este problema ambiental existe em qualquer núcleo urbano, o qual pode se agravar quando há um planejamento urbano deficiente ou inexistente, que se desenvolve a partir de pressupostos que poderiam ser mitigados com ações tomadas previamente ao assentamento da população (TEZA; BAPTISTA, 2005).

Outros estudos mostram que não só as ilhas de calor são responsáveis pelas alterações do clima tropical, mas estas podem ter relação também com variabilidades atmosféricas nas escalas interanuais e intrasazonais dos fenômenos El Niño Oscilações Sul (ENOS) e da Oscilação de Madden-Julian, respectivamente (WEICKMANN, 1983; RASMUSSEN; ARKIN, 1985; VITORINO, 2002). Tais variabilidades modulam as variações de intensidade dos sistemas meteorológicos da região, como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Sistemas Frontais (SF), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), as Linhas de Instabilidades (LI) e os aglomerados convectivos (MARENGO, 1992; SOUZA; AMBRIZZI, 2006; VITORINO et al., 2006). Todavia, a priori, vamos nos ater a analisar os efeitos térmicos causados apenas pelo fenômeno urbanização.

1.1 JUSTIFICATIVA

Segundo Leão et. al (2008), na Região Metropolitana de Belém (RMB), a floresta urbana diminuiu de 33% em 2001, para 31% em 2006, bem como a população de Belém duplicou em apenas três décadas de aproximadamente 600.000 para 1.300.000 habitantes (IBGE).

Associado a estes dados, o alerta do aumento da frequência dos eventos climáticos extremos provocados pela intensificação do aquecimento global, divulgado pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* – IPCC (MARENGO, 2006), fortalece um maior desenvolvimento de estudos superfície-atmosfera que possam revelar a interferência do clima no ambiente urbano, com condições de diferentes superfícies. Portanto, este estudo pretende avaliar os efeitos térmicos, causados pelo crescimento urbano e as suas relações com diferentes paisagens na cidade de Belém-PA.

Por fim, uma das principais justificativas para que tal trabalho fosse desenvolvido é que em Belém estudos dessa natureza ainda são bastante incipientes. No entanto, é de grande importância para o desenvolvimento sócio-ambiental da cidade, devido o crescimento urbano provocar impactos nas condições atmosféricas do tempo e do clima como: alagamentos, ventanias e extremos de temperatura do ar.

1.2 HIPÓTESE

Parte-se do pressuposto de que a intensa e atual expansão imobiliária no centro da cidade Belém associada com a diminuição da vegetação urbana no mesmo tem ocasionado efeitos térmicos negativos, que implicam em formações de núcleos de altas temperaturas no centro da cidade.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Identificar, caracterizar e analisar espacialmente os efeitos térmicos na cidade de Belém-PA, a partir de dados meteorológicos de superfície e de imagens de satélite.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Obter a climatologia da precipitação, e da temperatura do ar para a cidade de Belém, com base em dados observacionais das estações meteorológicas;
- Selecionar e estudar datas associadas às condições climáticas extremas de precipitação na cidade de Belém-Pa, a partir da climatologia local;
- Determinar a temperatura da superfície, a fim de avaliar a concordância entre os dados observados em estações meteorológicas de superfície e as imagens de satélite;
- Verificar a variação espacial da temperatura na superfície em diferentes paisagens (com/sem vegetação, com/sem presença de corpo hídrico) dentro do espaço urbano, utilizando imagens de satélite;
- Determinar a correlação entre a temperatura da superfície e o índice de vegetação normalizado para locais com diferentes condições de superfície;
- Gerar a partir de mapas temáticos informações para subsidiar intervenções de políticas públicas urbanas de áreas adequadas a moradia na cidade de Belém-Pa.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo são apresentados conceitos, definições, características e conteúdo básico referente ao fenômeno Ilha de Calor.

3.1 O QUE É ILHA DE CALOR?

É um fenômeno presente em áreas urbanas e suburbanas, onde a temperatura do ar e da superfície são maiores do que em áreas rurais circundantes. Isto ocorre porque os materiais de construções comuns que compõem estas áreas retêm mais a radiação de onda curta (oriundas do sol) do que os materiais naturais que são predominantes em áreas rurais (GARTLAND, 2010).

A maior parte dos materiais de construções é impermeável e estanque, e por essa razão, tendem a absorver mais radiação solar do que dissipar (GARTLAND, op.cit.). Além disso, a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração tipo cânion absorve e armazenam mais energia solar. Em contrapartida os materiais naturais como a vegetação, interceptam a radiação solar, utilizando tal energia para o metabolismo do vegetal e amenizam a poluição do ar, pois liberam O₂ (MASCARÓ; MASCARÓ, 2009). Consoante Oke (1987), apenas 20% do fluxo incidente de radiação solar que atinge a cobertura vegetal chega a aquecer o solo. Fatores como: o calor antropogênico, menores velocidades do vento e poluição do ar em áreas urbanas também contribuem para a formação de ilhas de calor (GARTLAND, op.cit.).

Segundo Tavares e Lastória (1994) e Teza e Baptista (2005), as temperaturas mais elevadas nas áreas centrais, que declinam em direção à periferia, estão associadas à rugosidade urbana, ou seja, diversidade de edificações. E, nos trópicos, local de grande insolação, esse efeito ocorre com maior intensidade.

3.2 CARACTERÍSTICAS DAS ILHAS DE CALOR

As características das ilhas de calor apresentadas a seguir estão relacionadas com os efeitos causados pelas diferentes superfícies e a camada superficial da atmosfera.

a) Ilhas de calor são mais intensas após o pôr-do-sol, quando comparadas às áreas rurais e mais frescas ao amanhecer. Pela manhã, a diferença de temperatura entre a área urbana e rural é menor, aumentando ao longo do dia conforme as superfícies urbanas se aquecem. Sendo assim, a intensidade da ilha de calor é geralmente mais forte à noite, uma vez que as superfícies urbanas apenas liberam calor a noite, não mais absorvendo por não haver mais radiação solar incidente, diminuindo assim o arrefecimento durante o período noturno (GARTLAND, 2010).

Segundo Oke (1987), a perda de calor durante a noite, por radiação infravermelha para a atmosfera e para o espaço, é parcialmente compensada nas cidades pela liberação de calor das fontes antropogênicas, tais como veículos, indústrias e construções em geral.

b) As temperaturas da superfície são bem mais variáveis do que as temperaturas do ar ao longo do dia. Muitas superfícies urbanas com maior número de construções são aquecidas rotineiramente pelo sol e suas temperaturas podem variar de 27°C a 50°C (GARTLAND, op.cit.). A temperatura do ar em uma cidade como Belém apresenta temperatura média anual de 26,5°C, em março a temperatura média mensal é de 25,7°C e em outubro 27,9°C. Os menores valores de temperatura são observados durante o período chuvoso (fevereiro a abril), e os maiores valores médios mensais observados durante a estação menos chuvosa (setembro a novembro) (COSTA, 2001).

Efeito inverso ocorre em áreas urbanas com quantidade maior de vegetação, onde a temperatura do ar tende a manter o ambiente mais fresco sob o sol de verão, variando muito pouco a temperatura da superfície. A vegetação costuma manter a temperatura igual ou superior à temperatura do ar, desde que esteja devidamente hidratada (GARTLAND, op.cit.).

c) As temperaturas do ar e da superfície são realçadas quando o dia é estável, pois quando o dia apresenta tal característica mais energia solar é capturada, devido a pouca nebulosidade e o calor é removido de maneira mais branda, pois os ventos são mais fracos próximo da superfície (GALVÍNCIO et al, 2009). Ainda segundo os autores, as variações da temperatura do ar e da superfície no Sítio Boa Felicidade, localizado no nordeste do Brasil, foram obtidas a partir das

anomalias climatológicas observacionais diárias da temperatura mínima, máxima e média do ar e das imagens de satélite. Os mesmos concluíram que as imagens compostas por dias de céu claro apresentaram melhor representatividade das variáveis estudadas.

De modo pontual, Costa (1998), percebeu que a intensidade da variação da temperatura média diária do ar observada em diferentes pontos na cidade de Belém (Pará) atinge 3°C a mais em dias mais claros e calmos do período seco.

d) Áreas com menos vegetação e mais desenvolvidas urbanamente tendem a ser mais quentes, e as ilhas de calor tendem a ser mais intensas conforme o crescimento das cidades. Segundo os estudos, a intensidade das ilhas de calor é maior em áreas densamente construídas (GARTLAND, 2010) e com pouca vegetação (ONISHI et al, 2010).

A vegetação proporciona, além de sombra, a umidificação do ar através do vapor d'água, liberado pelo metabolismo do vegetal. Em geral, a vegetação tende a mitigar os efeitos do clima sobre seus arredores imediatos, auxiliando na estabilização da temperatura do ar, absorvendo energia, filtrando parte dos poluentes contidos na atmosfera (ALMEIDA, 2006; WONG; YU, 2005). Segundo Costa (op.cit.), a vegetação urbana minimiza os contrastes térmicos existentes entre diferentes ambientes urbanos. De acordo com Moreira e Galvíncio (2009), as ilhas de calor são menos intensas não só em ambientes onde há um maior predomínio de vegetação, mas também próximos de corpos hídricos, não significa dizer que em áreas pequenas elas não existam. Todavia, em áreas menores, os gradientes de temperatura serão menos intensos.

Santos (2009) analisou o gradiente térmico da superfície de Belém-PA, através de imagens de satélite do Landsat TM5, e constatou que conforme as áreas urbanizadas se aproximam dos locais que ainda existe cobertura vegetal, as temperaturas da superfície tendem a diminuir.

Freitas e Dias (2005) verificaram alguns aspectos sobre o efeito da urbanização na formação do fenômeno ilha de calor urbana, o qual através de modelos numéricos da atmosfera mostraram, que diferenças de temperatura significativas só são verificadas em áreas urbanas relativamente extensas, como a Região Metropolitana de São Paulo, região estudada por eles, o que prova que as ilhas de calor são mais intensas em áreas mais desenvolvidas urbanamente.

e) Ilhas de calor também apresentam o ar mais quente na camada limite planetária. Elas geralmente criam colunas de ar mais quentes sobre as cidades, e inversões de temperatura (ar mais quente sobre o ar mais frio) causadas por elas não são incomuns (LIN et al., 2008). As ilhas de calor afetam também as temperaturas do ar acima das árvores e edifícios em áreas urbanas. Os efeitos são vistos na camada limite, que tem extensão média de 2000m da atmosfera terrestre, onde o calor e o arraste da superfície terrestre criam turbulência (GARTLAND, op.cit.).

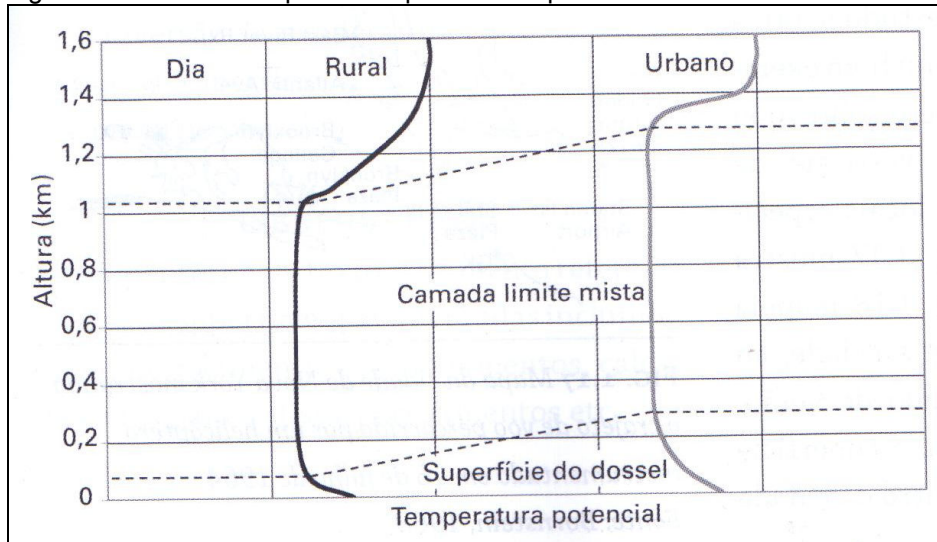
Baseado em Oke (1987), o ar na atmosfera está sujeito a duas tendências concorrentes. Primeiro, a pressão do ar é mais baixa em altitudes elevadas, levando o ar a expandir e resfriar ligeiramente com a altitude. Isso ocorre em um ritmo natural chamado de gradiente adiabático de temperatura. O termo adiabático significa que o ar não ganha nem perde energia ou calor com a mudança de altitude. O gradiente adiabático de temperatura varia de acordo com a quantidade de umidade no ar. Isso pode variar até 10°C por 1000m para o ar seco e 6°C por 1000m para o ar úmido dentro da camada limite. Por causa dessa característica o ar é mais frio em altitudes elevadas.

Na figura 2 e 3 são mostrados perfis típicos de temperaturas durante o dia e à noite na camada limite, tanto em áreas rurais como urbanas. Durante o dia, o ar é aquecido na superfície terrestre e sobe até o ar menos aquecido da camada limite, onde é misturado ao ar atmosférico para formar uma camada limite de temperatura constante. A mistura leva o ar quente para cima, além da camada limite, onde uma inversão térmica do ar quente sobre o ar frio acontece. A camada limite é mais espessa e mais quente em áreas urbanas do que em áreas rurais porque as superfícies urbanas capturam e liberam mais calor.

Em áreas rurais, à noite, a superfície terrestre é mais fria do que o ar acima dela. Uma vez que o ar deixa de ser aquecido pela superfície, não sobe ar quente. Ao contrário, o ar se acomoda em uma inversão térmica à temperatura do solo, ou em uma massa estável de ar frio próximo ao solo com ar mais quente acima dela. O ar acima de uma área urbana se comporta de maneira diferente à noite. Como as superfícies urbanas ficam mais quentes, elas continuam a aquecer o ar acima delas após o pôr-do-sol. Esses efeitos de aquecimento e mistura de ar são mais fracos à noite do que durante o dia, por isso o ar aquecido não sobe, se misturando por toda a camada limite, assim, como mostra a figura 2, é formada uma inversão térmica (ar

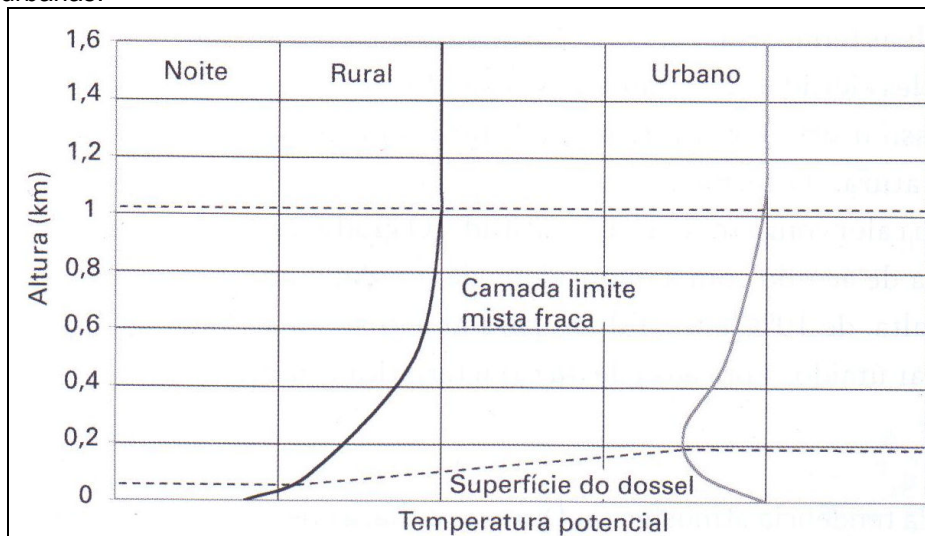
quente sobre o ar frio) no topo do dossel. Essa inversão tende a bloquear a subida do ar mais quente da cidade, prendendo-o no dossel próximo ao solo (OKE, 1987).

Figura 2 - Perfis de temperaturas potenciais típicas diurnas em áreas rurais e urbanas.



Fonte: Adaptado de OKE (1987).

Figura 3 - Perfis de temperaturas potenciais típicas noturnas em áreas rurais e urbanas.



Fonte: Adaptado de OKE (1987).

3.3 HISTÓRICO DOS ESTUDOS DE ILHAS DE CALOR

Os primeiros estudos sistemáticos sobre o assunto foram realizados por Luke Howard e Emilien Renou, em cidades na Inglaterra e França, respectivamente. Estes estudos datam do início do século XIX, utilizando dados de estações

meteorológicas para diagnosticar o efeito da urbanização no clima da cidade. A região central de Londres mostrou ser 2,2°C mais quente que seus arredores e Paris 1°C (HOWARD, 1833; RENOUE, 1855, 1862, 1868 *apud* GARTLAND, 2010). Wilhelm Schmidt encontrou essas condições em Viena no início do século XX. Nos Estados Unidos, estudos sobre ilhas de calor começaram apenas na primeira metade do século XX (MITCHELL, 1953, 1961 *apud* GARTLAND, *op.cit.*).

No Brasil, estudos sobre a variação espacial da temperatura do ar nas cidades começaram a ser desenvolvidos no final da década de 70. Um dos primeiros estudos foi realizado na cidade de Porto Alegre, diagnosticando a formação de ilhas de calor, com uma intensidade média de 5°C (DANNI, 1987 *apud* ROSSI; KRUGER, 2005). O estudo feito na cidade de São Paulo, em 1985, também aponta para a formação de ilha de calor, com intensidade de 10°C (LOMBARDO, 1985). Na década de 90, outros estudos foram realizados nas mais diversas capitais do Brasil, dentre elas Belém (COSTA, 1998), onde se constatou que durante a época menos chuvosa a intensidade da ilha de calor urbana variou cerca de 4,5 graus °C a mais em bairros deficientes de vegetação e com intensa atividade urbana do que em bairros mais vegetados, enquanto que na época chuvosa estes valores foram de apenas 1,5°C para as mesmas condições.

3.4 COMO IDENTIFICAR ILHAS DE CALOR?

Identificar uma ilha de calor em qualquer cidade seria examinar os padrões do clima regional com e sem a cidade. Lógico que seria impossível remover a cidade, daí a importância de um estudo climatológico de dados de estações meteorológicas de superfície bem distribuídas espacialmente. De acordo com Gartland (*op.cit.*), as estações observacionais são o método mais simples e comum para analisar uma ilha de calor, podendo comparar dados sobre duas ou mais localidades.

A maioria das cidades ao redor do mundo possui estações meteorológicas com informações acumuladas durante anos sobre temperaturas do ar, velocidades dos ventos, nebulosidade, umidade e níveis de precipitação. Algumas estações também incluem informações sobre radiação solar em termos de watts por metro quadrado ou uma porcentagem da radiação solar total disponível.

Os dados de estações fixas têm sido utilizados mais comumente de três maneiras diferentes: (1) comparação de dados provenientes de um único par de estações meteorológicas, uma urbana e outra rural; (2) estudo de dados de múltiplas estações a fim de encontrar impactos bidimensionais e regionais; e (3) investigação de um grande número de dados históricos para avaliar as tendências de uma ilha de calor ao longo do tempo, à medida que uma região é urbanizada.

Costa (1998) estudou o comportamento do fenômeno ilha de calor urbana espalhando por vários pontos da cidade de Belém-Pa termo-higrômetros, e observou que na época mais chuvosa o fenômeno ocorre com menos intensidade, ou seja, as temperaturas do ar foram menores para o período estudado.

Os estudos de ilhas de calor baseados em dados da temperatura do ar são importantes, todavia a magnitude das temperaturas de superfícies urbanas em uma ilha de calor só pode ser totalmente compreendida se forem analisadas espacialmente. No século XX, satélites e aeronaves equipadas puderam mapear as temperaturas da superfície terrestre e mostrar pontos de calor bastante distinguíveis em áreas urbanas, bem como em seus arredores por todo o mundo (GARTLAND, 2010).

Uma visão mais detalhada de temperaturas de superfície urbana pode ser obtida a partir de uma aeronave, uma vez que esta pode voar mais próxima à superfície terrestre e assim coletar imagens com maior resolução.

Yuan e Bauer (2007) utilizando dados do satélite LANDSAT compararam a área da superfície impermeável e o índice de vegetação, para relacionar as duas variáveis a fim de verificar o comportamento do fenômeno ilha de calor em diversas superfícies da Região de Minnessota (EUA). Eles constataram que há uma relação inversa da temperatura da superfície com o índice de vegetação, enquanto que a temperatura da superfície com área da superfície impermeável são diretamente proporcionais, logo as ilhas de calor são presentes nestas áreas.

Imhoff et al. (2010), utilizaram dados do satélite com o sensor MODIS para identificar os efeitos da ilha de calor em diversos biomas dos EUA. Exemplos, mais recentes, de imagens de satélites sendo utilizadas para espacializar a temperatura da superfície puderam ser observados nos trabalhos: Andrade, Souza e Sakuragi (2006), onde eles utilizaram imagens do Sensor Orbital Thematic Mapper (TM) do satélite Landsat 5, a fim de comprovar a diferença de temperatura entre a área urbana de São José dos Campos-SP e seu entorno, além de comparar os efeitos do

fenômeno ilha de calor durante períodos de verão e inverno; Teza e Baptista (2005), os quais utilizaram imagens do sensor ASTER para as cidades do Rio de Janeiro, São Paulo e Belo Horizonte, a fim de identificar as ilhas de calor urbana nestas cidades; Moreira e Galvêncio (2009), utilizaram imagens do Landsat TM-5 a fim de analisar a intensificação das ilhas de calor de Recife-PE, no ano de 2007 em comparação com o ano de 1984.

Em Belém Santos (2009) observa, também, a partir das imagens do sensor termal do Landsat TM5, que a expansão urbana propicia a intensificação da formação de ilhas de calor urbanas na cidade de Belém.

Apesar dos dados do satélite Landsat TM5 serem uns dos mais utilizados na identificação das ilhas de calor, por ter uma resolução espacial muito boa, Yuan e Bauer (2007) recomendam que para uma análise da dinâmica das ilhas de calor pode se obter melhores resultados com os dados de satélite que tenha uma excelente resolução temporal.

3.5 IMPACTOS CAUSADOS PELO FENÔMENO ILHA DE CALOR

Ilhas de calor contribuem para o desconforto das pessoas, para problemas de saúde, principalmente doenças relacionadas ao sistema respiratório, contas de energia mais elevadas e maior poluição (LAI; CHENG, 2009; GARTLAND, 2010).

A formação do fenômeno influencia de forma direta no balanço de energia em superfície, e as mudanças neste podem ser geralmente observadas nas áreas urbanas, com diminuição na radiação solar refletida e aumento na emissão de radiação infravermelha, diminuição nos valores de fluxo de calor latente e aumento nos valores de fluxo de calor sensível, aumento no armazenamento de energia em superfície, em prédios e obstáculos, além de maiores emissões de calor antropogênico (MIRZAEI; HAGHIGHAT, 2010).

De acordo com Veríssimo e Mendonça (2004), vários fenômenos ligados às novas condições climáticas das áreas urbanas, dentre estes a poluição atmosférica, surgiram em função do crescimento urbano acelerado e desordenado e, cada vez mais, passam a fazer parte do cotidiano da população, tornando-a vulnerável a inúmeros problemas deles decorrentes. Trentini e Rocha (2006) compararam o resultado da aferição térmica com o da percepção humana em três pontos da cidade de Bauru-SP, num raio que vai do centro a periferia, através de dados de

temperatura do ar e entrevistas aplicadas a população da cidade. Encontraram a diferença térmica entre o centro e a periferia de Bauru-SP na aferição térmica e observaram que os resultados das entrevistas coincidem com os dos termômetros, ou seja, a sensação de conforto térmico é melhor onde os termômetros indicam uma temperatura menor, e nos locais onde há maior desconforto, provavelmente deve haver maior emissão de poluentes, devido à demanda de energia para amenizar o calor.

Em cidades mais frias, em latitudes e altitudes mais elevadas, os efeitos de aquecimento das ilhas de calor são vistos como benefícios. Em algumas áreas urbanas, durante o verão, as sombras ao redor dos edifícios podem até criar áreas mais frescas durante alguns períodos do dia (GARTLAND, 2010).

O efeito da ilha de calor nas cidades de clima frio (nas latitudes médias e altas) tem ocorrência noturna, o que é mais favorável para o conforto térmico da população, durante as noites, reduzindo a necessidade de sistemas de ar para o aquecimento do ambiente (VOOGT, 2002).

4 ÁREA DE ESTUDO E CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

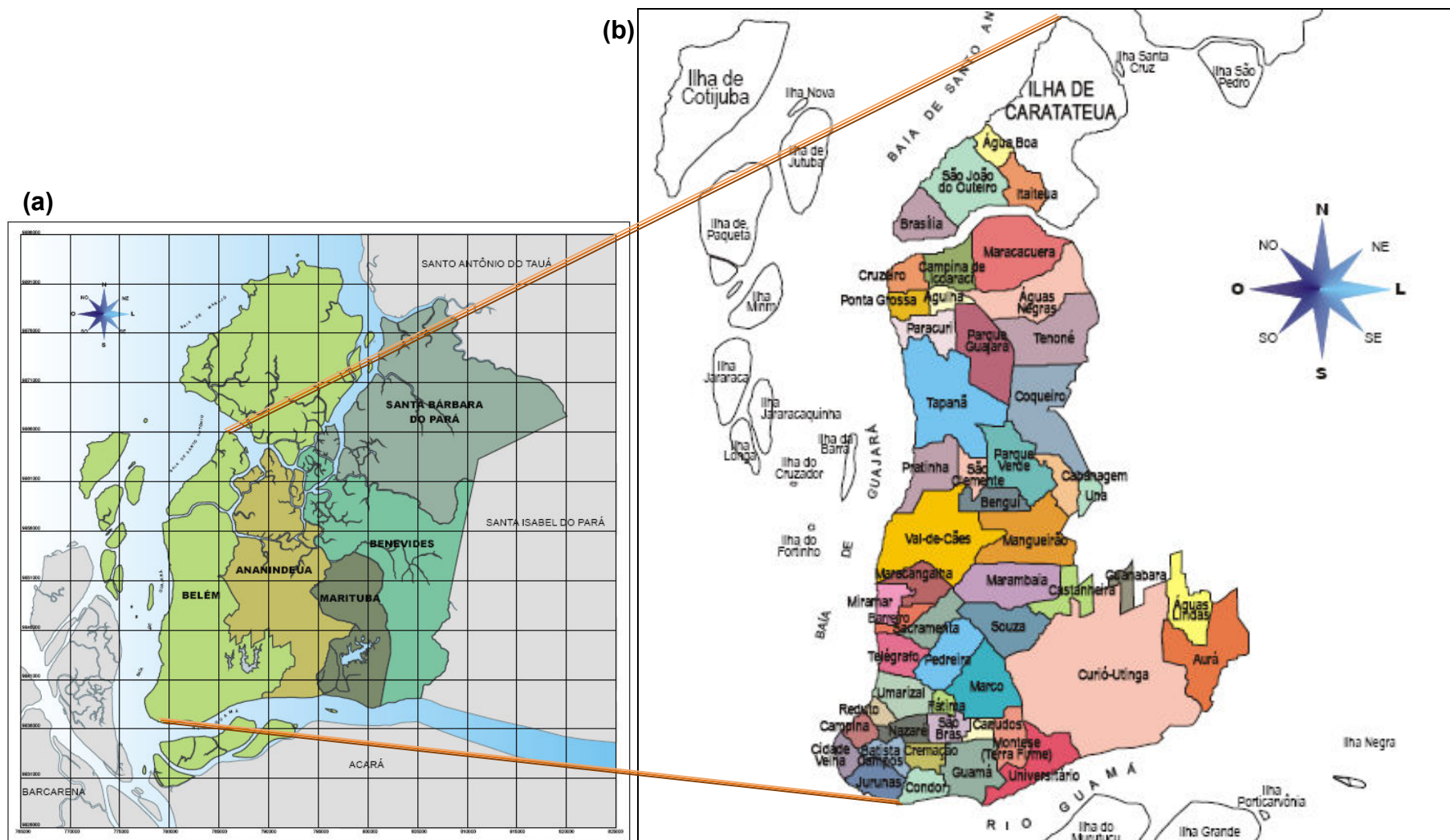
Este capítulo apresenta dados sobre a área de estudo, bem como as características gerais de Belém, além de mostrar a origem e o desenvolvimento do processo de urbanização. Além disso, visa contextualizar as variabilidades atmosféricas das diferentes escalas de tempo, desde a escala interanual a mesoescala.

4.1 ÁREA DE ESTUDO: BELÉM

Belém, capital do estado do Pará localiza-se no extremo norte do País a aproximadamente 160km da linha do Equador, às margens da baía do Guajará e do rio Guamá. Localizada sob as coordenadas geográficas 01°27' S e 48°28' W, com população estimada de 1.392.031 habitantes, segundo o IBGE (2010), distribuídos num território de 1.065km². Ela está dividida em 8 distritos administrativos e 71 bairros, com uma porção continental de 34,36% da área total, e a porção insular composta por 39 ilhas, que correspondem a 65,64%.

O contingente populacional na área urbana resulta de uma taxa de urbanização muito superior à observada para o conjunto da Amazônia e para o Estado do Pará (OLIVEIRA, 2007), apresentando atualmente, uma densidade demográfica de 1.349,86 habitantes por quilômetro quadrado. Por apresentar boa parte do seu território em área insular a cidade teve pouco espaço para expansão, ocasionando conurbação com municípios próximos dando origem a Região Metropolitana de Belém (RMB) ou Grande Belém (figura 4), a qual tem população de 2.040.843 (IBGE, op.cit.).

Figura 4 - Região Metropolitana de Belém - RMB (a) a RMB é composta por 5 municípios. (b) Representação do município de Belém às margens do Rio Guamá e Baía do Guajará, e os bairros da cidade.



Fonte: (PARÁ, 1993; 2008)

Para uma melhor compreensão do processo histórico da evolução urbana de Belém e Região Metropolitana, seguem as tabelas 1 e 2, com dados da população, além de figuras com mapas especificando os bairros de Belém.

Fica evidente na tabela 1 que, em 30 anos as unidades imobiliárias triplicaram dentro da região metropolitana, enquanto que a população de Belém quintuplicou nos últimos 60 anos (ver tabela 2), o percentual da urbanização da cidade chega a ser de 99,2% em 2010.

Tabela 1 - Evolução da expansão urbana

Ano	Quantidade de Unidades Imobiliárias
1970	120.000 unidades imobiliárias na RMB
2000	360.358 unidades imobiliárias na RMB
2003	362.064 unidades imobiliárias na RMB
2008	359.821 unidades imobiliárias em Belém

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010)

Tabela 2 - Evolução da população do Município de Belém

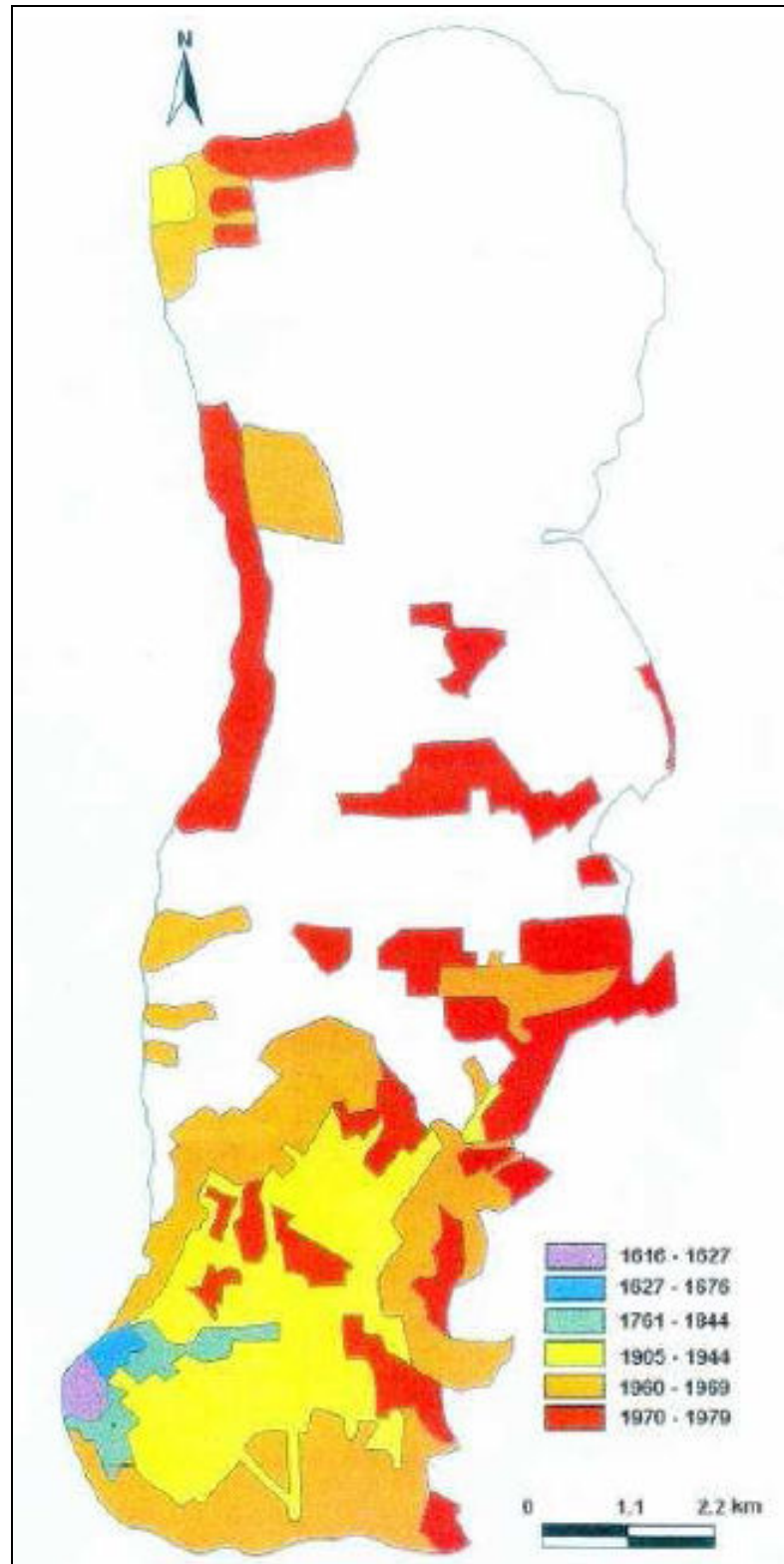
Ano	População (Habitantes)	Taxa de Urbanização (%)
1950*	242.000	-
1955*	303.000	-
1960*	378.000	-
1965*	477.000	-
1970*	601.000	-
1975*	726.000	-
1980*	827.000	-
1985*	966.000	-
1991	1.244.689	68,2
2000	1.280.614	99,4
2010	1.392.031	99,2

Fonte: (IBGE, op.cit.)

* Estimativa IBGE

No figura 5, apresenta-se a evolução da expansão urbana desde a fundação da cidade em 1616 até 1993, mostrando que os bairros mais antigos encontram-se próximos a Baía do Guajará, como é o caso do bairro da Cidade Velha, Reduto, Campina, enquanto que os bairros mais recentes encontram-se a Norte, Nordeste, Leste e Sudeste dos bairros mais antigos.

Figura 5 – Mapa da evolução urbana de Belém.



Fonte: (PARÁ - Prefeitura Municipal de Belém, 1993).

Os bairros mais populosos e mais próximos ao centro da cidade, como Guamá, Marco, Pedreira, Terra Firme, têm maior quantidade de unidades imobiliárias (Tabela 3).

Tabela 3 - Área, população e unidades imobiliárias por bairro do município de Belém

Bairro	Área (m ²)	População	Unidades Imobiliárias
Guamá	4.175.366,80	102.165	21.565
Marco	4.892.342,76	63.823	18.306
Tapanã	9.993.490,81	52.482	17.131
Pedreira	3.683.443,68	69.152	16.889
Marambaia	5.031.826,44	62.393	15.330
Terra Firme	2.436.550,85	63.267	14.111
Jurunas	2.358.215,92	62.834	13.434
Coqueiro	6.864.064,81	36.552	12.349
Sacramenta	2.373.269,32	44.307	10.733
Umarizal	2.629.543,36	30.087	9.942
Parque Verde	5.096.805,11	31.538	9.910
Mangueirão	6.118.967,77	32.896	9.589
Telégrafo	2.223.212,35	42.815	9.103
Condor	1.708.833,70	42.027	8.307
Nazaré	1.513.220,68	18.925	8.137
Cremação	1.475.146,50	30.493	7.718
Batista Campos	1.427.103,94	19.449	7.067
Maracangalha	1.992.248,89	27.751	7.018
São Braz	1.626.307,10	19.918	6.971
Cabanagem	1.696.729,77	29.007	6.828
Parque Guajará	5.586.455,87	22.852	6.818
Bengui	1.972.917,21	28.111	6.607
Campina	1.028.070,54	5.506	6.046
Campina de Icoaraci	2.364.371,80	27.078	6.018
Castanheira	2.117.566,02	22.572	5.917
Tenoné	6.580.588,99	14.628	5.598
Pratinha	3.284.216,02	17.985	5.422
Curió-Utinga	29.766.416,25	18.865	5.089
Barreiro	927.538,50	24.433	4.909
Paracuri	2.531.604,32	8.771	4.514
Agulha	1.226.717,64	18.108	4.479
Águas Lindas	2.965.537,18	7.538	4.365
Souza	4.113.028,44	12.948	3.521
Cidade Velha	1.257.903,54	12.079	3.510
Maracacuera	6.997.995,12	9.850	3.480
Canudos	777.342,98	14.602	3.411
Fátima	618.915,00	13.204	3.251
Ponta Grossa	1.276.765,74	12.424	2.801
Reduto	821.708,22	7.025	2.755
Cruzeiro	1.537.148,25	11.368	2.668
Águas Negras	5.051.773,40	7.791	2.022
São Clemente	1.189.804,51	5.834	1.832
Una	888.206,36	4.727	1.459
Val-de-Cães	8.764.774,13	5.520	1.318
Aurá	6.843.907,58	4.869	559
Universitário	4.573.905,45	2.628	525
Guanabara	710.061,34	3.994	432
Miramar	1.473.826,70	36	106

Fonte: (PARÁ - Prefeitura Municipal de Belém, 2008).

4.2 HISTÓRICO DA URBANIZAÇÃO DE BELÉM

A colonização da cidade de Belém data do início do século XVII. Durante um século e meio a cidade se desenvolveu a Beira-Rio, de forma periférica e ribeirinha, porém a partir da segunda metade do século XVIII, o vetor de expansão assumiu uma direção em sentido contrário à gravitação dos rios, para o sudoeste, ao longo do divisor de águas composto pelas avenidas 16 de novembro e Presidente Vargas (PEREIRA, 2009).

Durante a época do ciclo econômico da borracha (1850-1920), o censo indicava que Belém era uma das grandes capitais brasileiras, contando com 96 mil habitantes. Com o declínio da borracha brasileira, na década de 1920, a população belenense, declinou.

A verticalização de Belém, consoante Oliveira (2007), originou-se na década de 40, na área central, obedecendo à lógica da produção e valorização do espaço da cidade, limitando-se, inicialmente, às áreas mais altas e valorizadas. Assim, ela surgiu na Avenida Presidente Vargas, onde uma série de condições especiais favoreceu o surgimento da verticalização.

De acordo com Menegassi e Marques (2006), até a primeira metade do século XX, a ocupação urbana de Belém tangenciava o limite da Primeira Léguas Patrimonial, que atualmente constitui a área central na estrutura urbana da cidade. Na década de 50, a verticalização começou a ultrapassar o eixo central representado pela Avenida Presidente Vargas e dirigiu-se, apenas pontualmente, para alguns bairros ainda na área central, como Batista Campos e Nazaré. Esta necessidade de expandir a verticalização para aqueles bairros decorreu da necessidade de expansão da malha urbana, impulsionada pelo crescimento populacional (OLIVEIRA, op.cit.).

O processo migratório, ocasionado pela revolução industrial da cidade, gerou em Belém um inchaço urbano. São edificados na cidade diversos conjuntos habitacionais (DIAS, C.; DIAS, S., 2007), procurando amenizar o contingente populacional presente nas diversas áreas invadidas pela população. A partir dos anos 60, a cidade de Belém viveu uma produção do espaço urbano muito intenso, que influenciou o crescimento, não só da cidade, como do município vizinho, Ananindeua (OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, J., 2004). A verticalização se expandiu para outros terrenos altos, nas áreas de entorno da Avenida Presidente Vargas e das

praças centrais da cidade, como a da República e a de Batista Campos (OLIVEIRA, 2007).

Na década de 70, o processo de verticalização, que já havia se instalado nos bairros de Nazaré e Batista Campos, direcionou-se para outros bairros centrais, como Reduto e Umarizal. Ananindeua recebeu um grande contingente populacional, em sua maioria, de baixa renda, que foi direcionado pelas políticas públicas da década de 70 (OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, J., 2004). A RMB foi instituída pelo Governo federal em 1973 (Lei Complementar nº14, de 08/06/1973), composta pelos municípios de Belém e Ananindeua. Nesse período, a área de expansão de Belém foi estruturada ao longo da Rodovia Augusto Montenegro, ocupada por vários conjuntos habitacionais de grande porte e, rapidamente, foi objeto de investimentos em outro segmento do mercado de habitação, os condomínios fechados como alternativa de moradia horizontal (CARDOSO et al, 2006).

Na década de 80, com um acentuado crescimento populacional, a verticalização deixou de se concentrar nos bairros centrais e passou a se dirigir para os bairros do Marco e da Pedreira, fora das áreas mais centrais (OLIVEIRA, op.cit.). No final da década de 1980, a conurbação evoluiu na direção dos municípios de Marituba e Benevides, incorporando suas áreas urbanas. O crescimento em direção a Santa Bárbara do Pará só ocorrem nos anos 90 (CARDOSO et al, 2009).

A partir da segunda metade da década de 90, formou-se uma “nova” imagem para Belém, baseado em Dias e Dias (2007), onde se buscam referenciais locais como o rio e a baía, para compor estratégias de marketing urbano, e conseqüentemente, de atração turística. Em 1995, incluíram-se os municípios de Marituba, Benevides e Santa Bárbara na RMB, através da Lei Complementar nº27 de 19/10/1995.

Atualmente, a paisagem urbana de Belém é marcada pela presença da verticalidade dos edifícios, que contrasta, ao mesmo tempo, com a horizontalidade das habitações espalhadas em direção a periferia. O surgimento de áreas extremamente verticalizadas, com áreas cada vez mais elitizadas e selecionadas por estarem localizadas nas proximidades do centro urbano e com amenidades físicas proporcionadas pela baía do Guajará, estão reservadas a uma parcela reduzida da população, que se enclausura em torres de alto padrão de construção.

4.3 CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA

Segundo Costa (2001), a cidade de Belém apresenta dois períodos bem distintos para as variáveis temperaturas do ar e precipitação. Esta apresenta um acumulado de precipitação anual de 2893 mm, com a caracterização de um período chuvoso, que compreende os meses de dezembro até maio, sendo o mês de março o que apresenta as maiores taxas pluviométricas (436 mm/mês) e uma outra estação menos chuvosa, compreendendo os meses de junho a novembro, com o mês de novembro apresentando a característica de menor taxa pluviométrica (112 mm).

Costa (op.cit.) apresenta como temperatura média anual em Belém o valor de 26,5° C, com o mês de março sendo o que apresenta menor média mensal (25,7° C) e o mês de outubro o mais quente (27,9° C). Os menores valores de temperatura são observados durante o período chuvoso, principalmente entre os meses de fevereiro-março-abril, e os maiores valores médios mensais observados durante a estação menos chuvosa. O predomínio do vento na cidade da Belém possui componente de norte-nordeste, principalmente devido à cidade estar localizada na região de confluência dos ventos alísios.

Abaixo seguem os processos Oceano-Atmosféricos ou moduladores dos sistemas atmosféricos que influenciam no clima da região Amazônica, e portanto Belém:

- **ENOS ou El Niño Oscilação Sul e La Niña – Processos na escala Interanual**

Segundo o CPTEC/INPE, o El Niño e La Niña são as anomalias dos sistemas climáticos que representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera no Oceano Pacífico Tropical. O El Niño Oscilação Sul (ENOS) está associado a alterações dos padrões normais da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) e dos ventos alísios na região do Pacífico Equatorial, entre a Costa Peruana e no Pacífico oeste próximo à Austrália. Tal fenômeno pode afetar o clima regional e global, pois com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e, portanto, variações na distribuição das chuvas

em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. Em algumas regiões do globo também são observados aumento ou queda de temperatura.

Além de índices baseados nos valores da temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial, o fenômeno ENOS pode ser também quantificado pelo Índice de Oscilação Sul (IOS). Este índice representa a diferença entre a pressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacífico do Oeste (Darwin/Austrália). Esse índice está relacionado com as mudanças na circulação atmosférica nos níveis baixos da atmosfera, consequência do aquecimento/resfriamento das águas superficiais na região. Valores negativos e positivos da IOS são indicadores da ocorrência do El Niño e La Niña respectivamente.

A La Niña representa um fenômeno com características opostas ao El Niño, e se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas superficiais do Oceano Pacífico Tropical. Alguns dos impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño, mas nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e clima devido à La Niña.

Os impactos na região norte do Brasil do fenômeno El Niño são: diminuição da precipitação e secas e aumento do risco de incêndios florestais. Enquanto que, os impactos causados na mesma região pela La Niña são: aumento de precipitação e maior vazão dos rios. Ambos os impactos são mais perceptíveis nos meses de dezembro, janeiro e fevereiro, no entanto, a partir destes fenômenos podemos definir se o restante do ano será mais chuvoso ou mais seco, haja visto que existe uma média anual de precipitação para o período de estudo (ex. se a precipitação for mais intensa nos primeiros meses do ano, com certeza o verão será mais rigoroso também) (MARENGO e NOBRE, 2006).

- **Dipolo do atlântico ou Gradiente térmico inter-hemisférico ou meridional da temperatura da superfície do mar**

De acordo com Souza (1997) e Lucena et al. (2006), este processo envolve variações da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) centrada na região dos alísios de nordeste e sudeste, em escalas de tempo sazonal, interanual e decadal. É mais frequente durante o período de fevereiro à maio, com máxima ocorrência em março. Caracteriza-se por anomalias da TSM de sinais opostos nas bacias norte e sul do Atlântico, gerando um gradiente térmico norte-sul e inter-hemisférico.

Pezzi e Cavalcanti (2004) utilizaram um Modelo de Circulação Geral Atmosférica (MCGA) para análise da precipitação sobre a América do Sul para uma situação de El-Niño conjugada com dipolo positivo ou negativo de TSM no Atlântico, e constatou que, em anos de El Niño as regiões Norte e Nordeste do Brasil são fortemente afetadas pela diminuição da precipitação, durante o trimestre de março, abril e maio em uma situação de dipolo negativo. Na Região Amazônica, nota-se que o Atlântico pode amenizar o impacto dos efeitos do El Niño quando ocorre uma situação de dipolo negativo, entretanto ainda se verificam extensas áreas com déficit de precipitação, o que sugere que o Pacífico tem maior influência nessa região do que o Atlântico.

Além dos processos acima citados e conceituados, Molion (1993) ressaltou que os principais sistemas meteorológicos precipitantes que atuam na região amazônica são:

- **Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)**

Caracterizada por uma banda de nebulosidade aproximadamente zonal na região equatorial, que faz parte da célula de Hadley, sendo formada principalmente pela convergência em baixos níveis dos ventos alísios de Nordeste e de Sudeste (HASTENRATH; HELLER, 1977 apud MELO; CAVALCANTI; SOUZA, 2009);

- **Linhas de Instabilidade da Amazônia (LIA)**

São sistemas de mesoescala, que podem ser tanto de origem costeira como continental, sendo caracterizadas pela organização de nuvens de grande desenvolvimento vertical em forma de linha, geralmente formadas devido a convergência em baixos níveis da circulação de brisa marítima e os ventos alísios (COHEN; SILVA DIAS; NOBRE, 1989 apud COHEN et al., 2009);

- **Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS)**

Caracterizada por uma banda de nebulosidade e precipitação que se estende desde a Amazônia até o Oceano Atlântico Sul que fica estacionária por mais de 4 dias, durante a estação chuvosa (HERDIES et al, 2007);

- **Jatos de Baixos Níveis (JBN)**

Caracterizados por um forte escoamento em baixos níveis, geralmente entre 925 hPa e 700 hPa, próximo ao litoral dos estados do Pará e Maranhão, mais precisamente observado acima da Floresta Nacional de Caxiuanã (COHEN et al., 2006; NOGUEIRA, 2008; SOUSA, 2005).

- **Alta da Bolívia**

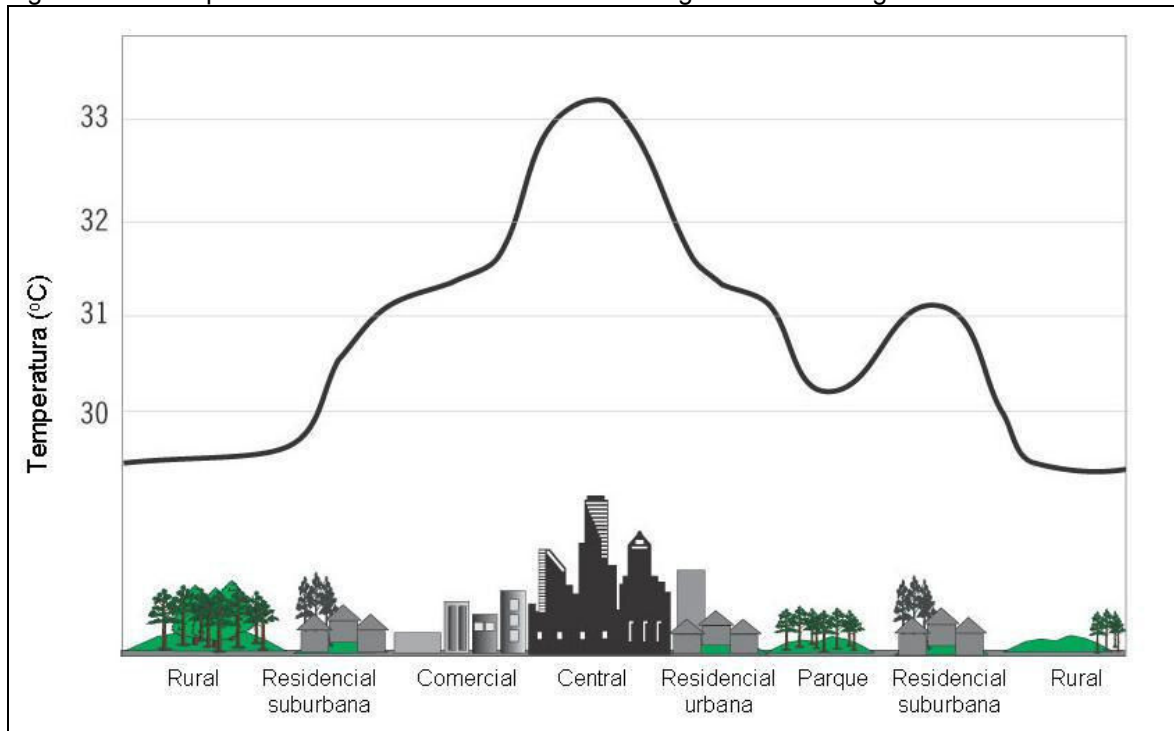
Caracterizada por um sistema de alta pressão em altos níveis da atmosfera que ocorre durante o verão sobre a América do Sul, influenciando de forma direta a atividade convectiva na região amazônica (MARENGO; NOBRE, 2009).

As mudanças no balanço de energia solar podem induzir à formação de circulações atmosféricas locais entre regiões mais quentes e mais frias de uma área urbana. A criação de circulações atmosféricas locais está diretamente relacionada com o armazenamento diferenciado de energia em superfície. Além disto, as circulações locais criadas em uma área urbana podem interagir diretamente com outros tipos de circulações locais, como as brisas fluviais ou lacustres, ou circulações de escala sinótica (AYOADE, 2003)

Na medida em que há um maior o crescimento urbano, há uma busca maior por áreas para construção não só de imóveis residenciais (casas e prédios), como por imóveis comerciais, isso implica afirmar que espaços vegetados serão destruídos. Portanto em se tratando de desmatamento, o crescimento urbano desenfreado pode causar grandes impactos locais e globais na sociedade. Avissar et al (2002) formularam e classificaram o efeito do desmatamento na precipitação, tendo ressaltado que para desmatamentos regionalizados haveria inicialmente um aumento da precipitação, enquanto que na medida que o desmatamento aumenta esse quadro se reverteria com um decréscimo da precipitação em 30% para o desmatamento total.

Do ponto de vista de mudanças no uso e cobertura do solo, a intensa troca da vegetação natural por áreas urbanizadas pode levar a formação do fenômeno de ilha de calor urbana (figura 6), o qual pode influenciar de forma direta a criação de circulações locais, assim como modificar de forma direta o comportamento de diversas variáveis meteorológicas.

Figura 6 - O comportamento das isotermas sobre uma região urbana e regiões vizinhas.



Fonte: (SANTAMOURIS, 2001 adaptado por ARYA, 2001).

5 DADOS E MÉTODOS

Este item apresenta o conjunto de dados utilizados e as metodologias aplicadas aos mesmos, visando o alcance dos objetivos.

5.1. DADOS

5.1.1 Dados observacionais de superfície

Para esta pesquisa foram utilizados dados de precipitação (mm) e temperatura média do ar (°C) para o período de 1967 a 2008. Estes dados foram disponibilizados pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) e pelo Aeroporto Internacional de Val de Cães, Belém-PA (DECEA/SBBE).

5.1.2 Dados observacionais de imagens de satélite

Foram utilizadas as imagens do sensor Moderate-Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), o qual está localizado na plataforma do Satélite *Aqua*, para algumas datas que foram pré-selecionadas pela análise da anomalia climatológica da precipitação e da temperatura do ar. A seguir será apresentada uma breve descrição desse satélite.

a) **Sensor MODIS**

É o principal instrumento das plataformas orbitais *Terra* e *Aqua*, as quais foram lançadas em dezembro de 1999 e em maio de 2002, respectivamente. Ele foi projetado no Programa Earth Observing System (EOS) para fornecer uma série de observações globais da superfície terrestre, oceano e atmosfera nas regiões do visível e infra-vermelho do espectro eletromagnético (RUDORFF et al., 2007).

O sensor possui alta sensibilidade radiométrica (12 bits) em 36 bandas espectrais contidas no intervalo de 0,4 a 14,4 μ m do espectro eletromagnético. As características dessas bandas permitiram o desenvolvimento inicial de 44 produtos MODIS. Todavia, para obter dados da temperatura do ar próximo à superfície e demais informações relacionadas a fatores que influenciam esta variável, como

índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI – Normalized Difference Vegetation Index), utilizaremos imagens de dois produtos: MYD11 e MYD13, os quais tem resolução espacial de 1km.

O MYD11 – *Land Surface Temperature (LST) and Emissivity* – é um produto gerado pelo MODIS, o qual contém a variável temperatura de superfície e a emissividade. Enquanto que o MYD13 – *Gridded Vegetation Indices – Maximum NDVI and Integrated Maximum Vegetation Index (MVI)* – é o produto que contém informações a respeito da área vegetada de uma determinada região. Os produtos MODIS podem ser adquiridos pelo site <http://www.modis-land.gsfc.nasa.gov>.

É válido ressaltar que a utilização de tais dados se deve a resolução temporal do sensor MODIS, a qual se dá em dois horários distintos, durante o dia: às 10:30 horas (na plataforma Terra) e às 13:30 horas (na plataforma Aqua), o que viabiliza o estudo de eventos com variação diurna. Assim, a grande vantagem de se utilizar imagens do sensor MODIS em relação a outros satélites, os quais possuem sensores que geram imagens de alta resolução, é que o MODIS é vantajoso em resolução temporal, todavia em resolução espacial outros satélites podem se sobressair.

b) Produtos MODIS

- **MYD11 – Land Surface Temperature and Emissivity** – contém a temperatura de superfície e a emissividade que são variáveis-chaves para descrever os processos da superfície terrestre (RUDORFF et al., 2007). As informações utilizadas para a análise de temperatura de superfície (T_s) são provenientes do sensor Modis, produto MYD11A2, coleção 5, com resolução espacial de 1km.

A informação de temperatura de superfície produzida pelo sensor Modis utiliza o algoritmo LST para o cálculo de T_s , incluindo o Day LST algorithm (WAN; LI, 1997), desenvolvido especificamente para o Modis, que produz imagens termais diurnas para toda a superfície da Terra, com periodicidade diária, validadas a partir de imagens *Modis Airborne Simulator (MAS)* e por mensurações de campo.

O produto A2 é uma composição de oito dias, realizada a partir de dados diários gerados pelo produto A1 e a coleção 5 foi utilizada por apresentar melhorias metodológicas significativas quando comparada à coleção 4.

Dentre as duas plataformas disponíveis para a obtenção dos dados de temperatura de superfície (*Terra* e *Aqua*), optou-se pela utilização do satélite *Aqua*, visto que análises preliminares mostraram que as informações obtidas através dessa plataforma apresentam menor contaminação das informações por nuvens, após a aplicação do *Quality Control* (QC), que acompanha cada imagem LST e é fornecido para cada pixel.

Como os dados originais do produto MYD11 são fornecidos em Kelvin, foi necessário utilizar um fator de conversão para que os dados da imagem fossem transformados para graus Celsius.

Fator de conversão:

$$P = (B1 * 0.02) - 273 \quad (1)$$

Onde:

P é o valor da temperatura da superfície no pixel em graus Celsius e B1 é o valor da temperatura da superfície original do pixel em Kelvin.

- MYD13 – Gridded Vegetation Indices – Maximum NDVI and Integrated MVI – contém informações a respeito da área vegetada de uma determinada região. O índice de vegetação normalizada (NDVI) é uma relação entre as reflectâncias (ρ) das bandas do infravermelho próximo (IVP) e do vermelho (V), e visa eliminar diferenças sazonais do ângulo de elevação solar e minimizar efeitos da atenuação atmosférica em imagens multitemporais. O NDVI é o índice mais utilizado nos diversos estudos, sobre a vegetação, que envolvem o uso dos dados de sensoriamento remoto, ele é obtido pela equação:

$$NDVI = (\rho_{IVP} - V) / (\rho_{IVP} + \rho_V) \quad (2)$$

5.2 MÉTODOS

5.2.1 Climatologia dos dados meteorológicos

A partir dos dados diários de precipitação e de temperatura do ar para o período de 1967 a 2008 foi calculada a média mensal e anual e a anomalia diária. A climatologia da precipitação anual foi obtida pelo acumulado anual da precipitação diária do INMET. No entanto, a climatologia da temperatura do ar anual foi obtida pela média aritmética da temperatura de cada ano. Para o cálculo da anomalia diária da temperatura e da precipitação foram utilizados a média mensal da temperatura e o acumulado mensal da precipitação. A anomalia diária foi obtida do valor diário da variável meteorológica subtraída do acumulado mensal da mesma (WILKS, 2006).

5.2.2 Seleção dos eventos extremos

Segundo o IPCC (2007), a redução da precipitação na região norte e nordeste do Brasil para o século XXI pode estar relacionada com a ocorrência de anos consecutivos de El Niño e ao desmatamento. Desta forma, este estudo da caracterização da ilha de calor na cidade de Belém pode auxiliar na criação de projetos de lei os quais venham mitigar os impactos causados por eventos climáticos extremos e pelo crescimento urbano.

Após terem sido calculadas as anomalias diárias juntamente com a elaboração da climatologia dos anos estudados, foram selecionadas datas para os eventos extremos. Para tal, foram gerados gráficos que esboçam com clareza os anos e os dias mais anômalos dentre o período de estudo. Estes gráficos forneceram subsídio para selecionar datas que correspondem a três anos com características climáticas diferenciadas. Estas datas compreendem os anos de El Niño, La Niña e normal, datas que seguem observações de anomalia negativa, positiva e normal de precipitação, respectivamente.

A seleção dessas datas foi feita a partir da observação de dados da precipitação do período de 2000 a 2008, pois só se tem registro das imagens do sensor MODIS a partir de 2000. Para tal seleção verificou-se primeiramente no Centro de previsão de tempo e estudos climáticos (<http://www.cptec.inpe.br>) os anos

e meses de El niño e La niña, juntamente com a evolução da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) para este período.

5.2.3 Ferramentas e métodos de análise das imagens de satélite

Após a seleção das datas dos eventos climáticos extremos na cidade de Belém, fez-se a busca no site <https://wist.echo.nasa.gov/wist-bin/api/ims.cgi?mode=MAINSRCH&JS=1> por produtos MODIS (MYD11 e MYD13), os quais se encontram em um formato de “imagem bruta” ou uma grade numérica que foi convertida posteriormente em imagens com dados reais da temperatura em graus Celsius e de NDVI através de softwares, descritos a seguir:

a) MRT – MODIS REPROJECT TOOLS

O Modis Reproject Tool (MRT) é um software desenvolvido para trabalhar com dados MODIS reprojetoando as imagens em mais projeções de mapa padrão. O usuário pode reprojetoar somente partes selecionadas da imagem (seleção de bandas), e ainda pode converter o formato HDF-EOS (Hierarchical Data Format – Earth Observing System) em GeoTIFF (MODIS Reproject Tool User’s Manual – Release 4.0, 2008).

Utilizando tal software as “imagens brutas” foram cortadas (em 1° x 1°) e selecionadas as bandas (LST e NDVI) desta imagem, além de terem sido transformadas do formato HDF para o TIFF.

b) SPRING 5.1.5

É um SIG (Sistema de Informações Geográficas) com funções de processamento de imagens, análise espacial, modelagem numérica de terreno e consulta a bancos de dados espaciais.

Neste importaram-se as grades das bandas LST e NDVI dos produtos MODIS, para se obter o valor da temperatura da superfície em graus Celsius e o valor do índice de vegetação em cada pixel da imagem.

c) SURFER 8

Neste software, filtraram-se da grade os valores negativos e os transforma em valores de temperatura da superfície. Nele são criados os mapas temáticos, os

quais esboçam bem, através de imagens, o comportamento da temperatura da superfície na região metropolitana de Belém, através de isotermas.

Exportou-se a grade das bandas LST, com os valores em graus Celsius da temperatura da superfície, do SPRING 5.1.5 para o programa SURFER 8.

Após extração das variáveis e elaboração de mapas temáticos, é, por fim, feita a interação de dados estatísticos com os dados fornecidos pelas imagens, analisando-se, desta forma, a diferença da temperatura da superfície de diversos tipos de usos de solo (área vegetada, área densamente urbanizada e edificada, áreas próximas a corpos hídricos).

5.2.4 Correlação entre a temperatura da superfície e índice de vegetação

Para que sejam identificadas as áreas mais adequadas à moradia, correlaciona-se variáveis que influenciam no microclima local, buscando oferecer informações que venham a auxiliar a infra-estrutura dos empreendimentos imobiliários, e conseqüentemente melhorar a qualidade de vida da população urbana de Belém, e atendendo dessa forma todos os objetivos específicos desta pesquisa.

Para estabelecer tal relação de uma maneira mais exata calculou-se o coeficiente de correlação, o qual indica a força e a direção do relacionamento linear entre duas variáveis. O coeficiente é utilizado para situações diferentes e o obtido dividindo a covariância de duas variáveis pelo produto de seus desvios padrão (WILKS, 2006).

$$\rho_{X,Y} = \frac{\text{cov}(X, Y)}{\sigma_X \sigma_Y} \quad (3)$$

A correlação nunca pode ser maior do que 1 ou menor do que menos 1. Uma correlação próxima a zero indica que as duas variáveis não estão relacionadas. Uma correlação positiva indica que as duas variáveis movem juntas na mesma direção, e a relação é forte quanto mais a correlação se aproxima do valor positivo 1. Uma correlação negativa indica que as duas variáveis movem-se em direções opostas, e que a relação também fica mais forte quanto mais próxima de menos 1 a correlação ficar. Duas variáveis que estão perfeitamente correlacionadas

positivamente ($\rho_{x,y} = 1$) movem-se essencialmente em perfeita proporção na mesma direção, enquanto dois conjuntos que estão perfeitamente correlacionados negativamente movem-se em perfeita proporção em direções opostas.

5.2.5 Validação da temperatura da superfície e da temperatura do ar

Para validar os dados extraídos das imagens de satélite (temperatura da superfície), com os dados observados da temperatura do ar, foram calculados os erros absoluto e quadrático médios, conforme Vitorino (2002) e Wilks (2006):

- **Erro absoluto médio** – É a média aritmética entre a diferença do estimado e do observado (entre o valor médio da grandeza e uma medida da grandeza).

$$\bar{E} = \frac{|X_{\text{estimado}} - X_{\text{observado}}|}{n} \quad (4)$$

- **Erro médio quadrático** - É a diferença do valor estimado pelo observado ao quadrado.

$$RMSE = (X_{\text{estimado}} - X_{\text{observado}})^2 \quad (5)$$

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 CLIMATOLOGIA DA PRECIPITAÇÃO E DA TEMPERATURA DO AR

A obtenção da climatologia de precipitação e temperatura do ar está relacionada à caracterização de períodos de eventos extremos de precipitação, possivelmente associados à atuação do fenômeno ENOS.

6.1.1 Precipitação

Com base na tabela 4, são apresentados os valores obtidos para o acumulado anual de precipitação desta pesquisa e comparado com o de diversos autores, com o seu respectivo período de dados. É válido ressaltar que o período para esta pesquisa é o maior em comparação com os demais. Portanto, representa a ocorrência de diferentes variabilidades da precipitação atmosférica em Belém.

Tabela 4 - Comparativo de acumulado anual com suas respectivas fontes e período de análise

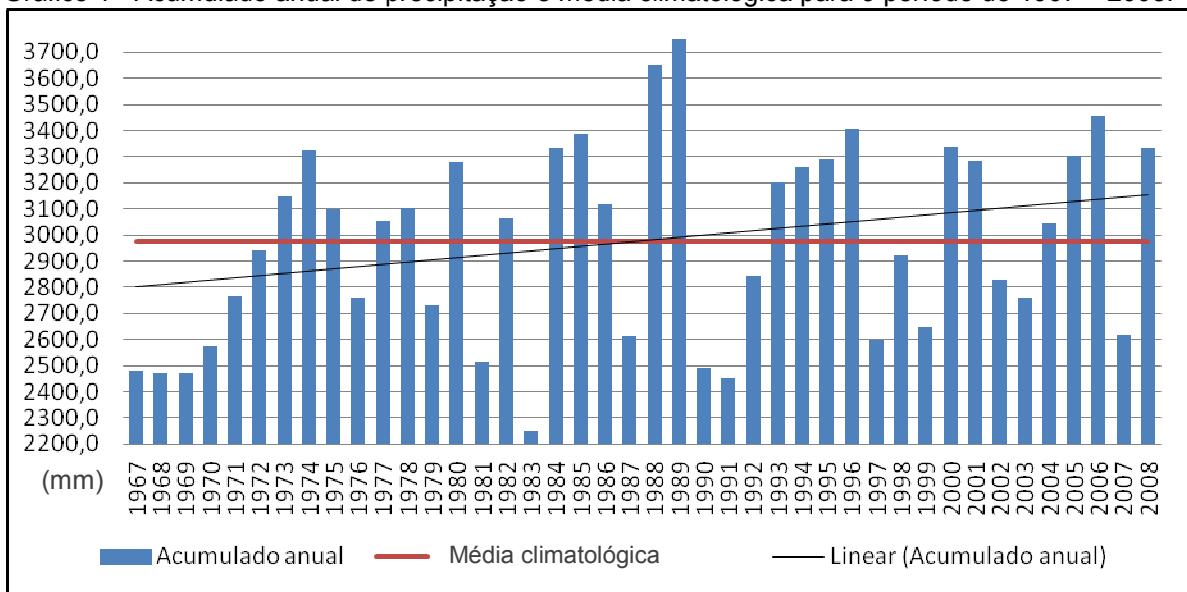
Fonte	Acumulado anual (mm/ano)	Período
Costa (1998)	2893	1975 – 1994
Moraes <i>et al.</i> (2005)	2300 a 2800	1976 – 1998
Figueróa e Nobre (1990)	2583	1960 - 1989
Gan <i>et al.</i> (2004)	2500	1979 – 1997
Este trabalho	2978,6	1967 - 2008
INMET	2850 a 30505	1931 – 1960 e 1961 - 1990

Atualmente, a Amazônia tem sido foco de atenção mundial, pela sua grande biodiversidade de espécies florestais e também pelos efeitos que o desmatamento em grande escala pode provocar no clima regional e global. Neste sentido, os modelos numéricos de Circulação Geral da Atmosfera (MCGA), sugerem redução nos totais de precipitação e evaporação de 20 a 30% na floresta, com estação seca mais prolongada (MARENGO, 2006). No caso da precipitação, observam-se diferenças regionais (sul e norte da Amazônia) na redução, durante todos os meses da parte sul, embora existam meses com redução e outros meses com aumento na parte norte.

No entanto, para áreas urbanizadas localizadas próximas do Oceano Atlântico, como Belém, a precipitação tem aumentado (Gráfico 1), pois ocorre o aumento de calor na superfície e na camada atmosférica próxima a ela, devido à grande substituição do ambiente natural por uma maior quantidade de concreto. E este calor associado à umidade transportada pela circulação local, pode contribuir para a ocorrência de precipitações mais intensas nestas localidades.

No gráfico 1, observa-se que a média da precipitação anual observada para série de dados estudados foi de 2978,6mm/ano, e que apresenta tendência de aumento da precipitação ao longo dos anos, como podemos observar na reta linear.

Gráfico 1 - Acumulado anual de precipitação e média climatológica para o período de 1967 – 2008.



Analisando por década o gráfico 1: 1970-1979; 1980-1989; 1990-1999; 2000-2008, observa-se que a de maior precipitação ocorreu na última, com uma média de 3107,2mm/ano. Vale ressaltar que esse período é composto apenas por 9 anos e não 10.

Na tabela 5 apresenta-se a variação mensal da precipitação em Belém, a qual apresenta dois períodos bem distintos, um mais chuvoso e outro menos chuvoso, considerando-se acima de 200mm/mês o período de chuvas e abaixo do mesmo o período de menos chuva. O primeiro corresponde aos meses de dezembro a maio e o segundo de junho a novembro, sendo que o mês que apresenta o maior valor pluviométrico é março, com um valor médio anual de 440,9 mm/mês e o com menor valor em outubro, com 119,6 mm/mês.

Tabela 5 – Climatologia mensal de precipitação

Mês	Precipitação (mm/mês)
Janeiro	368,4
Fevereiro	406,3
Março	440,9
Abril	395,6
Maio	290,4
Junho	171,6
Julho	156,6
Agosto	131,7
Setembro	133,5
Outubro	119,6
Novembro	123,4
Dezembro	244,1

A tabela apresentando uma média climatológica, e tal tende a aumentar principalmente nos meses mais chuvosos, em decorrência do aumento ao longo dos anos no acumulado anual, confirmando resultado já encontrado há quase 20 anos por Martorano et al. (1992), o qual estudou a variabilidade da precipitação pluviométrica de Belém.

6.1.2 Temperatura do ar

a) Temperatura máxima

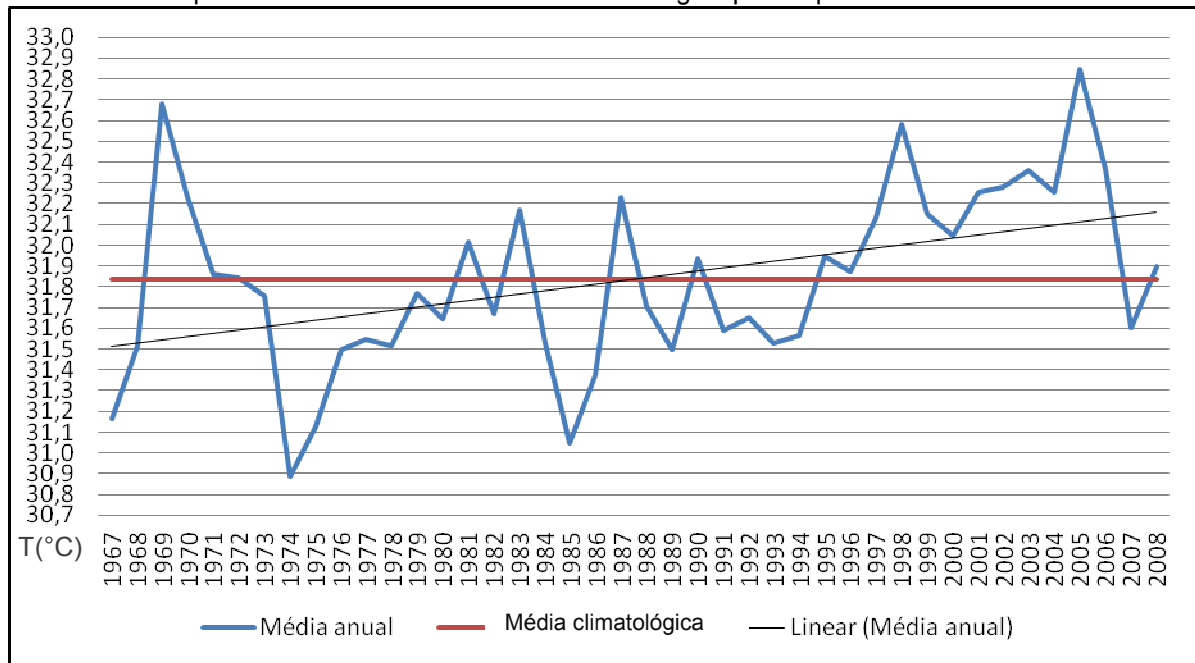
São apresentados na tabela 6 os valores obtidos para a temperatura do ar máxima diária deste trabalho, comparado com INMET, com o seu respectivo período de dados. As temperaturas médias são semelhantes, possivelmente por contemplar os períodos das máximas temperaturas que pode ser observada no gráfico 2, a partir da década de 70. Isto concorda com Santos (2009) e Marengo (2006), que mostra a tendência do aumento da temperatura.

Tabela 6 - Comparativo de Temperatura máxima do ar com suas respectivas fontes e período de análise.

Fonte	Temperatura do ar - Máxima diária (°C)	Período
Este trabalho	31,8°C	1967 - 2008
INMET	32,0°C	1961 - 1990

No gráfico 2, observa-se que o valor da temperatura do ar máxima diária é igual a 31,8°C, em torno das 14h local, e que assim como a precipitação, vem ocorrendo uma tendência de aumento da mesma ao longo dos anos.

Gráfico 2 - Temperatura máxima do ar e média climatológica para o período de 1967 – 2008.



Analisando por década: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2008, observa-se que a média da temperatura a cada 10 anos é de 31,6°C, 31,7°C, 31,9°C e 32,2°C respectivamente.

Marengo (2006) sugere que com o clima mais aquecido, há mudanças no padrão de circulação regional e, portanto, maior convergência de umidade.

A análise da série climatológica estudada permite dizer que em Belém o valor da temperatura máxima do ar varia ao longo de um ano, cerca de aproximadamente 1,9°C. O mês mais quente corresponde a novembro com um valor de 32,7°C e os meses menos quentes são fevereiro e março com 30,8°C (tabela 7).

Tabela 7 – Climatologia mensal da temperatura máximas do ar

Mês	Temperaturas máximas do ar (°C)
Janeiro	31,2
Fevereiro	30,8
Março	30,8
Abril	31,2
Maio	31,8
Junho	32,0
Julho	32,0
Agosto	32,4
Setembro	32,5
Outubro	32,6
Novembro	32,7
Dezembro	32,2

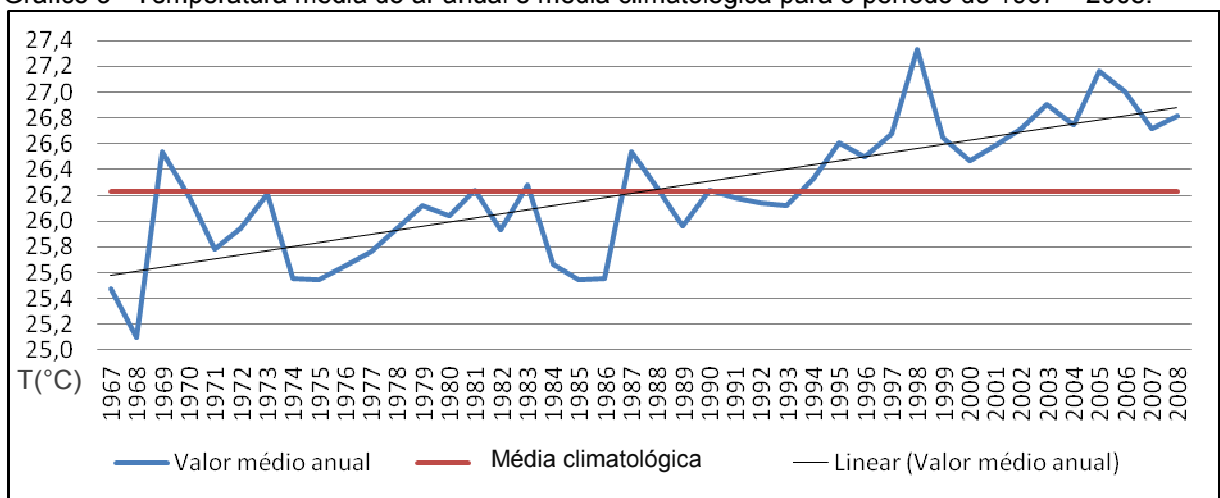
b) Temperatura média

No gráfico 3, observa-se que o valor da temperatura média ar na série de dados estudados 1967 – 2008 é igual a 26,2°C, e que assim como a as demais variáveis aqui apresentadas vem ocorrendo uma tendência de aumento da temperatura média do ar ao longo dos anos.

Em um estudo de Nobre et al. (1989) a respeito do desmatamento na Amazônia, registra-se um aumento da temperatura do ar de 1,3 °C com relação ao início da década de 90. Tal impacto na atmosfera regional pode ter forte influência no clima local, o qual associado aos impactos da intensa urbanização local ocasiona essa tendência de aumento na temperatura média do ar.

Analisando por década: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2008, observa-se que o valor da temperatura média do ar a cada 10 anos é de 25,9°C, 26,0°C, 26,5°C e 26,8°C respectivamente.

Gráfico 3 - Temperatura média do ar anual e média climatológica para o período de 1967 – 2008.



Na análise da série climatológica em questão, observa-se que em Belém o valor da temperatura média mensal varia muito pouco ao longo de um ano, cerca de aproximadamente 1,1°C. O mês com temperatura média maior é novembro com média de 26,8°C. Enquanto, que fevereiro é o mês com menor valor desta variável com 25,7°C. Os demais meses são também expressos na tabela 8:

Tabela 8 - Climatologia mensal da temperatura média

Mês	Temperaturas médias mensais (°C)
Janeiro	25,9
Fevereiro	25,7
Março	25,8
Abril	26,0
Maio	26,2
Junho	26,3
Julho	26,1
Agosto	26,4
Setembro	26,4
Outubro	26,7
Novembro	26,8
Dezembro	26,5

Em Belém, a maior temperatura do ar mensal ocorre em novembro com 26,5°C e a menor em março com 25,4°C (MARENGO; NOBRE, 2009). Concordado com os estudos deles a amplitude térmica sazonal de 1 – 2°C, e os valores médios situam-se entre 24°C e 26°C para Amazônia.

b) Temperatura mínima

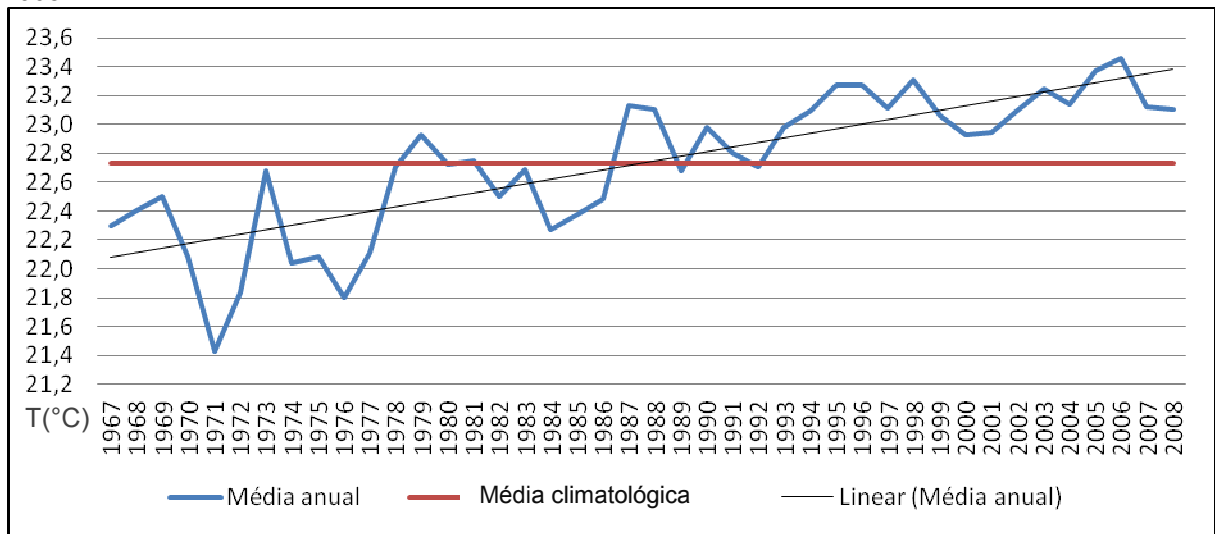
Com base na tabela 9, são apresentados os valores obtidos para a temperatura do ar mínima diária deste trabalho, comparado com INMET, com o seu respectivo período de dados.

Tabela 9 - Comparativo de Temperatura mínima do ar com suas respectivas fontes e período de análise.

Fonte	Temperatura do ar - Mínima diária (°C)	Período
Este trabalho	22,7°C	1967 - 2008
INMET	23,0°C	1960 - 1990

No gráfico 4, observa-se que o valor da temperatura mínima do ar é igual a 22,7°C, em torno das 4h, e que assim como a as demais variáveis aqui apresentadas vem ocorrendo uma tendência de aumento da temperatura mínima do ar ao longo dos anos.

Gráfico 4 - Temperatura mínima do ar anual e valor média climatológica para o período de 1967 – 2008.



Analisando por década: 1970-1979, 1980-1989, 1990-1999, 2000-2008, observa-se que o valor da temperatura média do ar a cada 10 anos é de 22,2°C, 22,7°C, 23,1°C e 23,2°C respectivamente.

O mês com temperatura mínima maior é abril com média para a série de 23,2°C, enquanto que julho, agosto, setembro e outubro são os meses com menor valor desta variável com 22,4°C (os demais meses são também expressos na tabela 10).

Tabela 10 – Climatologia mensal da temperatura mínima do ar

Mês	Temperaturas mínimas do ar (°C)
Janeiro	22,8
Fevereiro	22,8
Março	23,0
Abril	23,2
Mai	23,1
Junho	22,8
Julho	22,4
Agosto	22,4
Setembro	22,4
Outubro	22,4
Novembro	22,6
Dezembro	22,8

Baseado no IPCC, o aumento da temperatura do ar mínima ao longo dos anos denota um maior efeito do aquecimento global em uma determinada área (MARENGO, 2006; MARTORANO, 1992), o que significa dizer que tais efeitos têm se agravado em Belém.

No geral as temperaturas se comportaram de forma crescente ao longo dos anos para a cidade de Belém. Isto se deve, segundo a literatura científica, a retirada da vegetação local e à inclusão de construções urbanas (FISCH; MARENGO; NOBRE, 1996). Através da climatologia pode-se perceber o aumento de todas as variáveis ao longo de 42 anos na cidade de Belém, tal fato pode ser justificado pelas mudanças climáticas que vêm ocorrendo de forma global (MARENGO, 2006). Todavia os impactos causados pelo fenômeno ilha de calor são a principal consequência da urbanização. Pois como foi explícito anteriormente através de dados do capítulo 4, em Belém a evolução da urbanização em quase 40 anos (de 1970 até os dias atuais) é equivalente à duplicação da população urbana e triplicação das unidades imobiliárias na cidade, conseqüentemente, houve bastante desmatamento para construção de tais unidades. Isto, provavelmente, intensificou mais o aumento das temperaturas máximas e mínimas observadas anteriormente, a partir da década de 70.

6.2 ANÁLISE DA PRÉ-SELEÇÃO

Este tópico visa analisar as datas selecionadas pelo cálculo da anomalia mensal da temperatura do ar e da precipitação para posterior caracterização da temperatura da superfície e do índice de vegetação, a partir das imagens de satélite.

Este estudo se utiliza de seis datas pré-selecionadas a partir de um conjunto de dados de 42 anos, para análise posterior (item 6.3) do campo espacial da temperatura da superfície, obtida através de imagens de satélite. As datas selecionadas são representativas do comportamento atmosférico de anos extremos (ano de La niña e ano de El Niño) e ano normal.

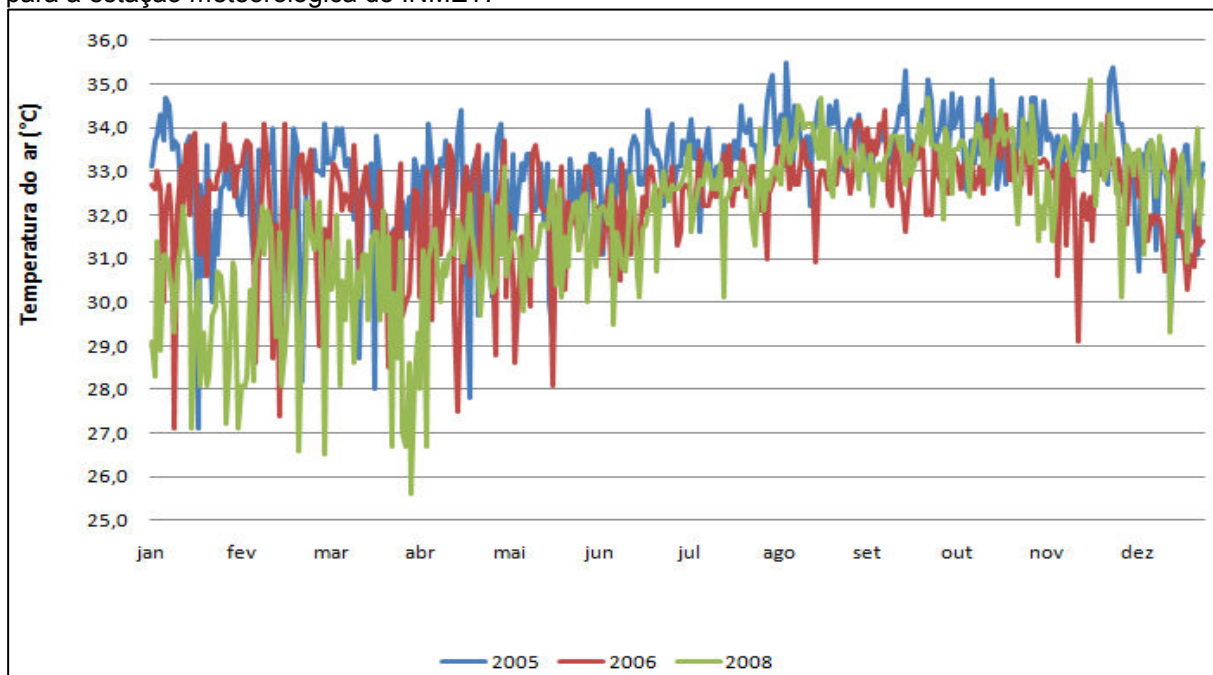
No quadro 1, observou-se que para anos de El Niño tanto no período chuvoso, como no menos chuvoso a precipitação está abaixo do acumulado mensal, bem como a temperatura do ar média está acima da média mensal. Já no ano normal, tanto a precipitação quanto a temperatura estão acima da média, todavia, a temperatura varia bem menos do que em anos de El Niño. Vale ressaltar que, a anomalia positiva de precipitação de 240,9mm/mês para março foi a mais expressiva, durante os 42 anos. Enquanto que em anos de La Niña, a precipitação esteve acima do acumulado mensal no período chuvoso, porém no menos chuvoso ocorreu abaixo da média histórica. A temperatura do ar tende a se manter de acordo com a média mensal no período chuvoso e no outro período tende a ser bem maior do que a média mensal.

Quadro 1 - Caracterização da precipitação e da temperatura do ar mensal e suas anomalias para as datas pré-selecionadas na cidade de Belém-Pa.

	PERÍODO	DATA	Precipitação Mensal (mm/mês)	Temperatura do ar mensal (°C)
EL NIÑO 2004/2005	Chuvoso	19/03/2005	363,9 (acumulado) - 77 (anomalia)	26,8 (média) + 1,0 (anomalia)
	Menos chuvoso	31/08/2005	103 (acumulado) - 28,7 (anomalia)	27,8 (média) + 1,3 (anomalia)
NORMAL 2005/2006	Chuvoso	02/03/2006	685,6 (acumulado) + 244,7 (anomalia)	26,4 (média) + 0,6 (anomalia)
	Menos chuvoso	01/11/2006	240,9 (acumulado) + 117,5 (anomalia)	27,3 (média) +0,5 (anomalia)
	Menos chuvoso	12/09/2008	109,6 (acumulado) - 23,8 (anomalia)	27,5 (média) + 1,1 (anomalia)

Analisou-se no gráfico 5 a variabilidade temporal da temperatura do ar máxima diária para os anos correspondentes as imagens analisadas, onde se observou o comportamento de tal variável. Os maiores valores de temperatura máxima do ar diária ocorreram no ano de El Niño (2004/2005) no período menos chuvoso. No entanto, os menores valores foram observados durante a La Niña (2007/2008) no período chuvoso.

Gráfico 5 - Variabilidade temporal da temperatura máxima diária para os anos de 2005, 2006 e 2008 para a estação meteorológica do INMET.



Em geral, as análises obtidas indicaram redução de chuvas em anos de El Niño e excesso em anos de La Niña, isto concorda com Marengo e Nobre (2006) e Sousa (2008), os quais sugerem que, os impactos na região norte do Brasil do fenômeno El Niño são: diminuição da precipitação em torno de 10% e secas. Enquanto que, os impactos causados na mesma região pela La Niña são aumento de precipitação em torno de 20%.

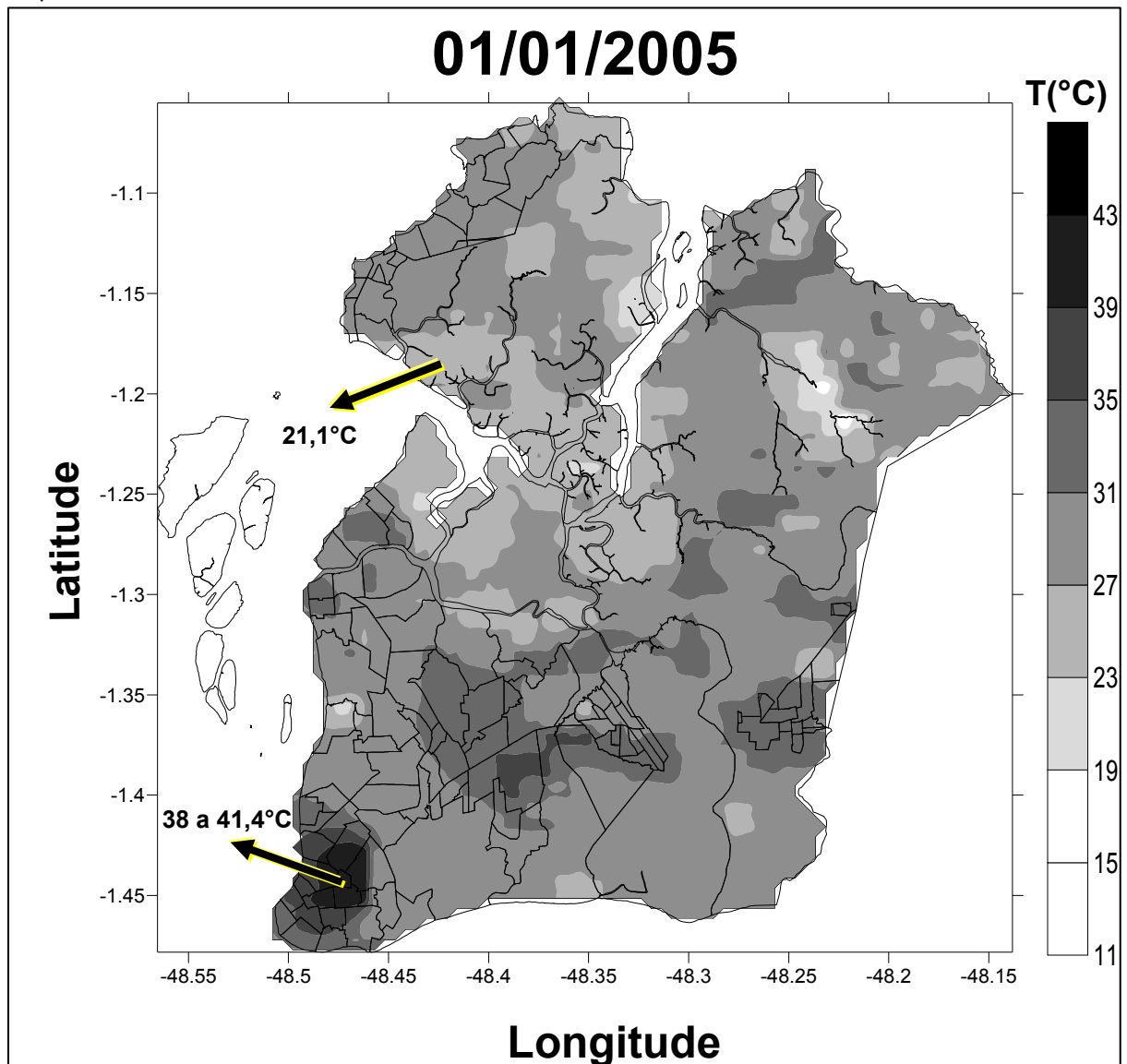
Este estudo se utiliza de seis datas pré-selecionadas a partir de um conjunto de dados de 42 anos, para análise posterior (item 6.3) do campo espacial da temperatura da superfície, obtida através de imagens de satélite. Estas datas são representativas do comportamento atmosférico de anos extremos e normal que, segundo o IPCC (2007), existe possibilidade de ocorrência consecutiva de anos extremos, isto levará os efeitos térmicos em centros urbanos a se intensificarem, gerando situações de extremo desconforto a população.

6.3 ESPACIALIZAÇÃO DA TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE

Neste tópico, pretende-se apresentar a variação temporal e espacial da temperatura da superfície de Belém para as seis datas pré-selecionadas. Vale ressaltar, que os mapas temáticos a seguir ainda são poucos conhecidos na literatura científica para esta cidade, principalmente por terem sido obtidos por sensoriamento remoto.

A figura 7 mostra a temperatura da superfície a partir da imagem do dia 01/01/2005, representando as características físicas do período chuvoso em um ano de El Niño. Desta forma, observa-se valores máximos entre 38°C e 41,4°C, nos bairros do Marco, Pedreira, Fátima, São Braz, Canudos e mínimo de 21,1°C em área rural da Ilha de Mosqueiro (48°19'26,27" W e 1°08'49,52" S). Sendo assim, a variação urbano-rural da temperatura de superfície em Belém para este dia foi 20,3°C. Ainda é possível observar a atuação de um núcleo de 34°C na Cidade Nova, todavia, este bairro situa-se em Ananindeua.

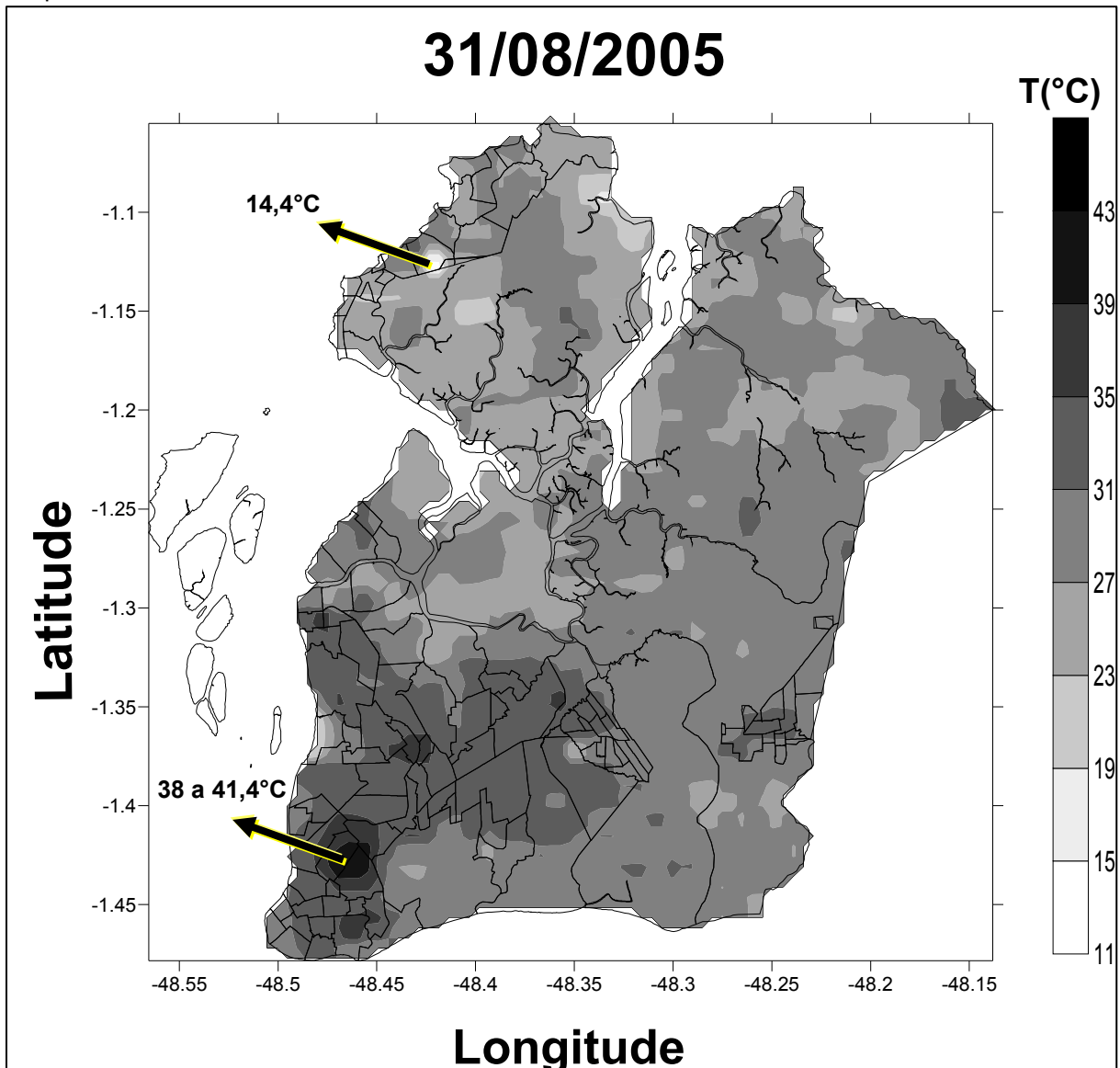
Figura 7 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 01/01/2005.



Para o período menos chuvoso do ano de El Niño, nota-se que o valor máximo é o mesmo do período mais chuvoso (figura 8), e perduram de forma menos intensa também nos mesmos bairros (Marco e Pedreira). Todavia, o valor mínimo de temperatura em Belém neste dia foi 14,4°C em um ponto da área rural da Ilha de Mosqueiro e da Praia Ariramba, também em Mosqueiro (48°24'59,07" W e 1°07'59,60" S). Sendo assim a variação urbano-rural da temperatura de superfície em Belém para este dia foi 27°C.

Enquanto que no centro de Ananindeua, a temperatura encontra-se distribuída de maneira mais homogênea entre 31°C e 35°C.

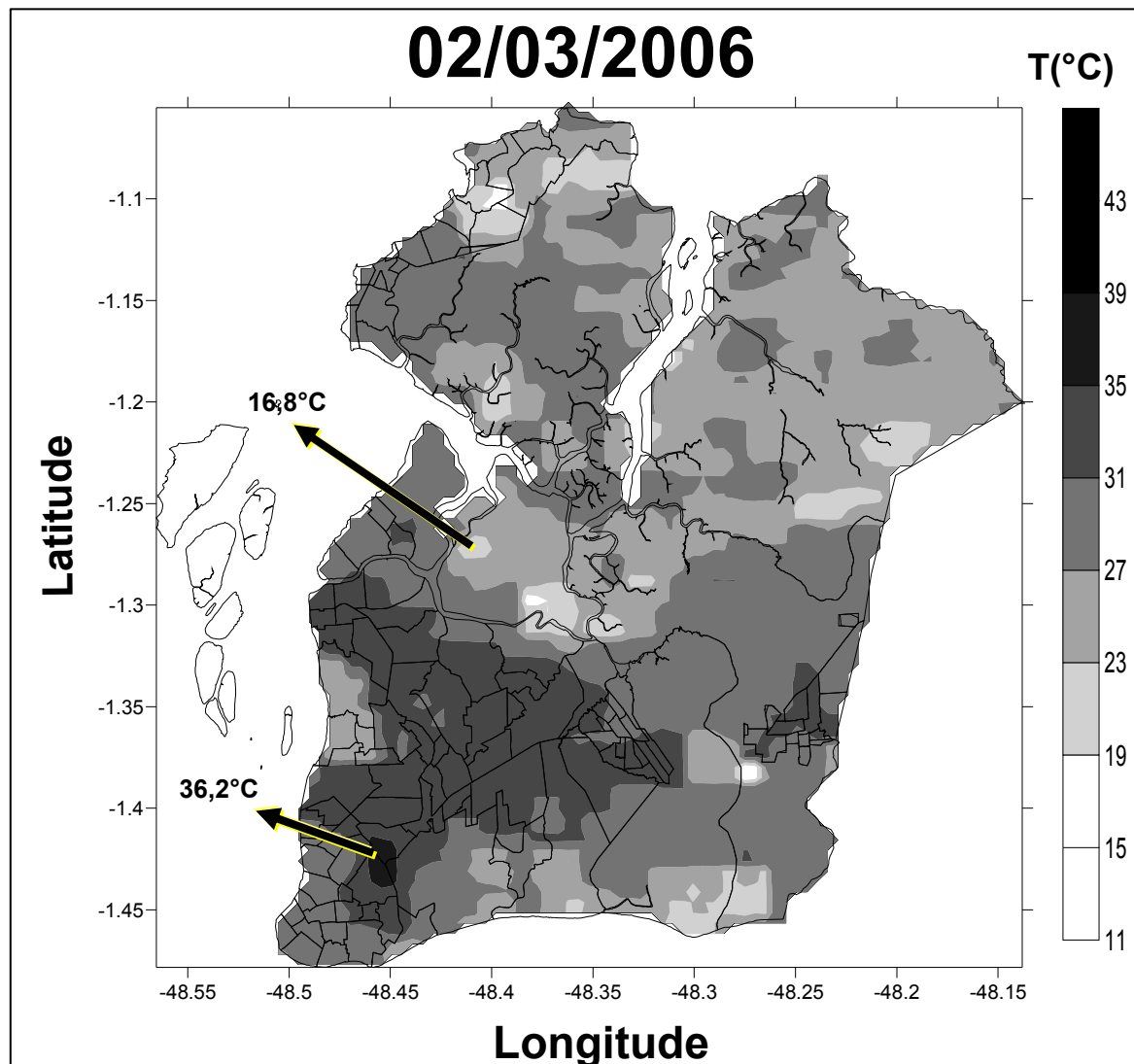
Figura 8 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-PA para o dia 31/08/2005.



A figura 9 apresenta uma imagem de um período mais chuvoso para a região, durante ano normal, onde as temperaturas de superfície indicavam valor máximo de 36,2°C, por parte dos bairros da Pedreira, Marco e Souza. Enquanto que, o valor de menor temperatura superficial neste dia foi 19,4°C em uma área que da Ilha de Sassunema em Outeiro (48°24'09,74" W e 1°16'06,45" S). Sendo assim a variação urbano-rural da temperatura de superfície para este dia foi 16,8°C.

O núcleo de temperatura alta encontrou-se um pouco mais afastado do centro da cidade de Belém, unindo-se ao núcleo de Ananindeua, observado anteriormente separados nos mapas do ano de El Niño (mapa 1 e 2)

Figura 9 – Mapa da espacialização temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 02/03/2006

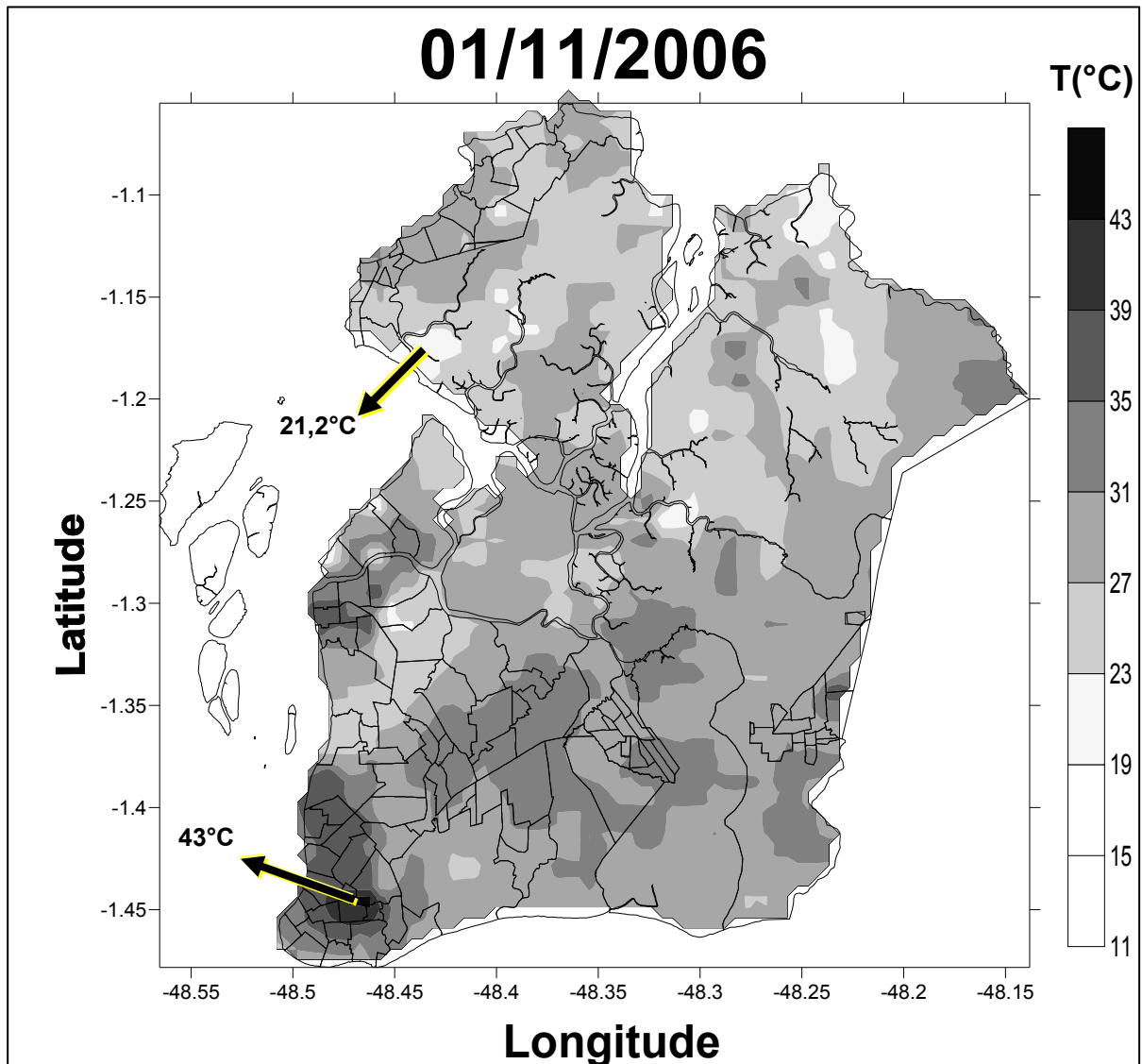


No mapa (figura 10) que indica o período menos chuvoso para a região, ano normal, as temperaturas de superfície indicavam valor máximo de 43°C. O menor valor neste dia em Belém foi 21,8°C em uma área Rural da Ilha de Mosqueiro (48°26'23,43" W e 1°11'09,35" S). Assim, a variação urbano-rural da temperatura de superfície em Belém para este dia foi 21,2°C.

O núcleo de altas temperaturas da superfície de Belém é bem pequeno, mas perdura por parte dos bairros de São Braz (bairro comercial), Canudos, Fátima e Marco (bairros residenciais).

No centro de Ananindeua as temperaturas perduraram por volta de 28°C a 33°C.

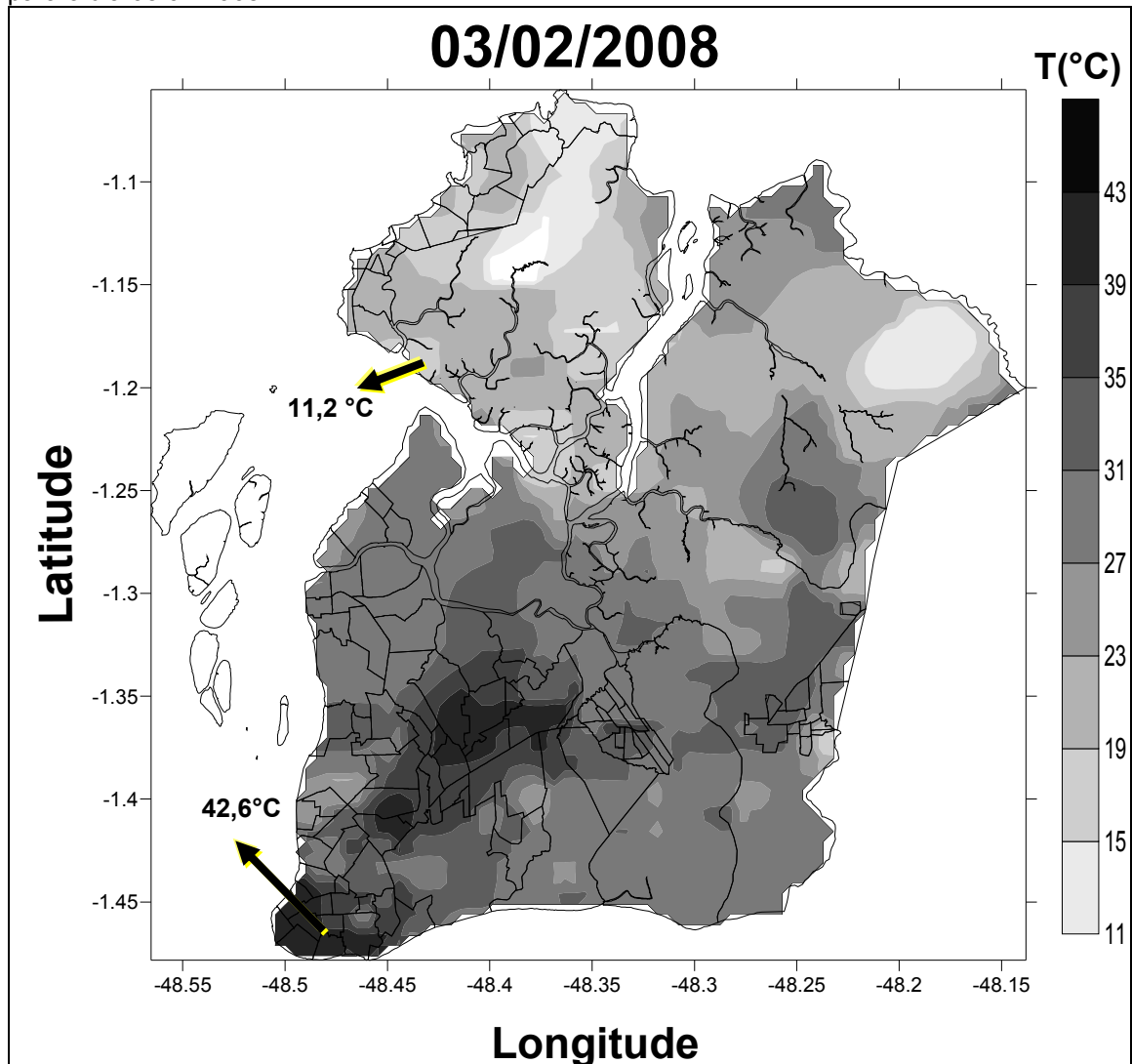
Figura 10 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 01/11/2006



Na figura 11, nota-se que durante o período chuvoso do ano de La Niña as temperaturas da superfície se apresentam com máximo de 42,6°C pelos bairros: Reduto, Campina, Umarizal e Nazaré. Enquanto que o valor mínimo de 11,2°C ocorreu área Rural da Ilha de Mosqueiro (48°23'46,35" W e 1°08'56,78" S). Então, a variação urbano-rural da temperatura de superfície em Belém para este dia foi 30,8°C.

Neste caso os núcleos de máxima temperatura de Belém e Ananindeua variaram entre 28°C e 33°C. Porém o núcleo de Belém encontra-se mais afastado do de Ananindeua, pois este segue a morfologia da Baía do Guajará e do Rio Guamá. Esta característica difere dos demais mapas já analisados.

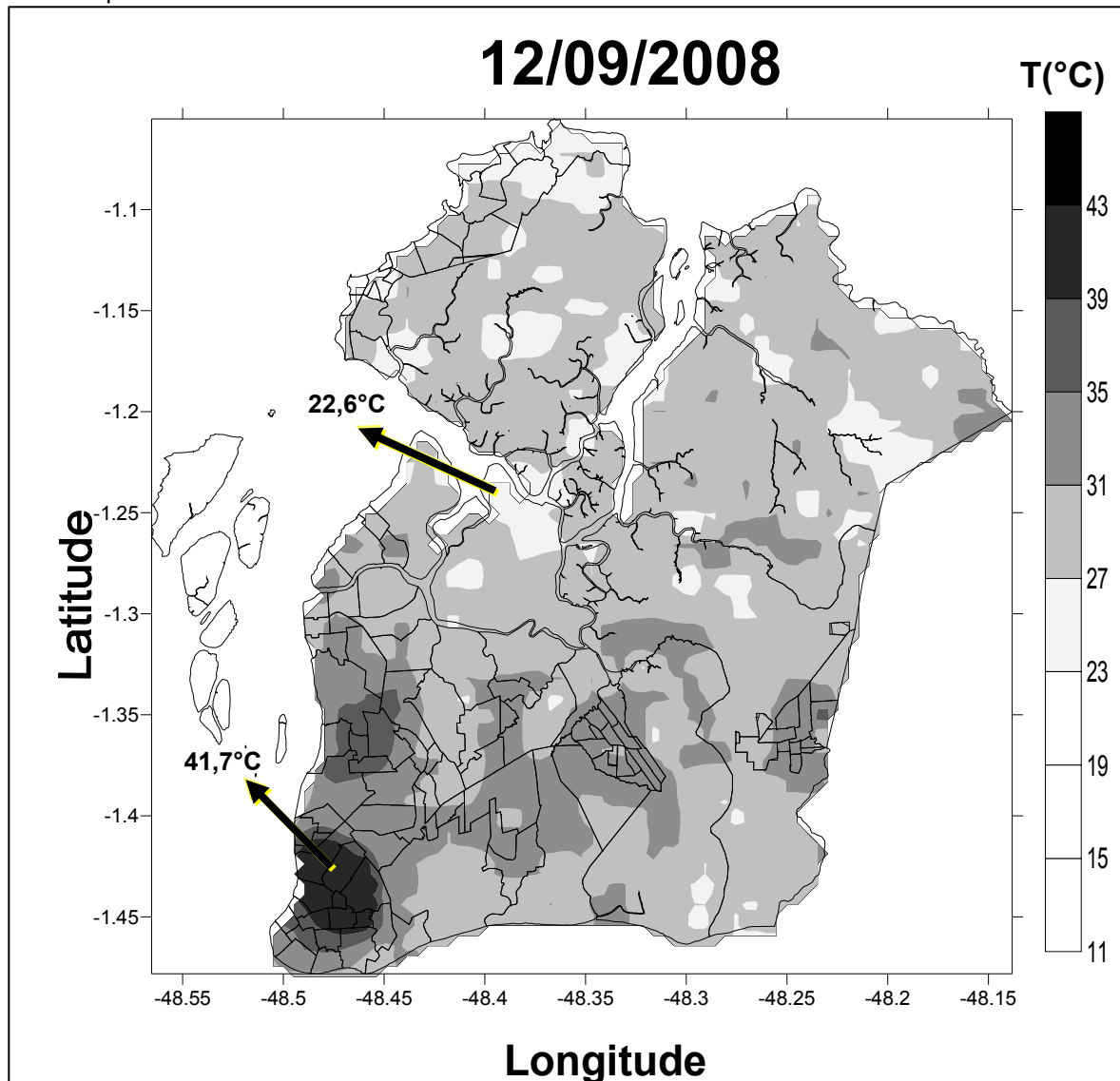
Figura 11 – Mapa da espacialização temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 03/02/2008.



Por fim, na figura 12 temos o período menos chuvoso da região, durante a La Niña de 2008, com valor máximo de 41,7°C. O núcleo de máximo da temperatura de superfície (ilha de calor) se encontrava bem destacado por parte dos bairros da Pedreira, Sacramento, Telégrafo e Barreiro. Além destes, as temperaturas altas (acima de 40°C) estendem-se por outros bairros residenciais como: Marco, parte do bairro de Fátima, São Braz e Canudos.

A menor temperatura em Belém foi 22,6°C em um ponto da área da Ilha de Sassunema (48°23'54,52" W e 1°13'48,9" S). Assim, a variação urbano-rural da temperatura de superfície em Belém para este dia foi 19,1°C.

Figura 12 – Mapa da espacialização da temperatura de superfície da Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 12/09/2008.



Os resultados anteriores que as temperaturas da superfície são realmente bem mais variáveis do que as do ar ao longo do dia. Em um único momento da passagem do satélite obteve-se um valor da variável da temperatura da superfície para cada ponto a 500m, em uma cidade de 1.065km².

As imagens observadas sugerem que as ilhas de calor encontram-se sempre em áreas bastante urbanizadas, não só de Belém, como da região metropolitana. Apesar da diferença temporal entre um mapa e outro ser pequena, observa-se que as temperaturas altas em Belém estendem-se não só pelos bairros do centro da cidade, mas também em localidades mais afastadas, observação que concorda com Castro (2009), o qual afirma que as temperaturas mais altas tendem a atingir o eixo Belém-Icoaraci, ao longo da Av. Augusto Montenegro.

Todavia não é só a urbanização que influenciara no fenômeno ilhas de calor, não se descarta uma possível confluência com os efeitos da circulação atmosférica influenciando nas características espaciais diferenciadas para a caracterização da formação de tal fenômeno em Belém e na Região Metropolitana.

Quanto à influência dos fenômenos oceano-atmosférico na formação das ilhas de calor, nota-se que, em anos de La Niña, período chuvoso, o núcleo da ilha de calor de Belém situa-se em bairros mais próximos a baía do Guajará e ao Rio Guamá. Além do que, observa-se a presença de um núcleo próximo a Belém, no município de Ananindeua, com uma intensidade e expansão bastante acentuada. Comportamento parecido observou-se para o Município de Ananindeua em anos normais, período chuvoso. Todavia, neste ano e período, nota-se que a ilha de calor formada em Belém, uniu-se a da cidade vizinha, tendo o núcleo na área mais urbanizada dos bairros de Belém.

Em anos de El Niño, período chuvoso e menos chuvosos, observa-se que as ilhas de calor encontram-se mais bem definidas na cidade de Belém e um pouco mais afastadas do Rio Guamá e da Baía do Guajará. Desta maneira, a ilha de calor de Ananindeua esteve com temperaturas menores do que nos outros mapas do período chuvoso, ano normal e La Niña. Tal situação é bem provável de ter ocorrido por causa da redução da nebulosidade para os períodos citados.

6.4 CORRELAÇÃO ENTRE A TEMPERATURA DA SUPERFÍCIE E O NDVI

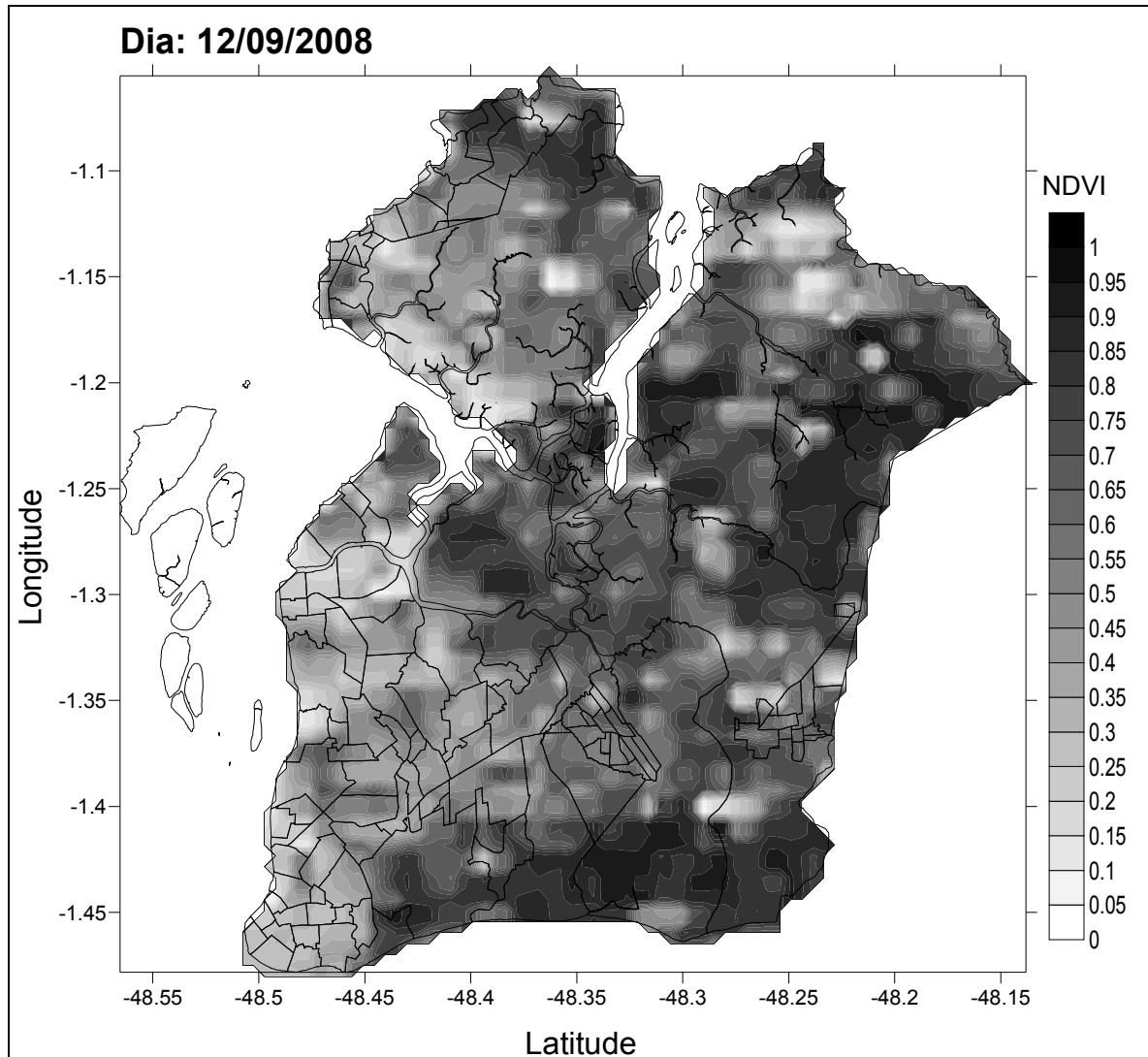
Neste tópico verificou-se a variação espacial da temperatura na superfície e do NDVI em diferentes paisagens (com/sem vegetação urbana, com/sem presença de corpo hídrico) dentro do espaço urbano, bem como a sua correlação.

Consoante, NOVO (2008) define que o NDVI é um indicador sensível da quantidade e da condição da vegetação verde. Seus valores variam de 0 a 1 e para superfícies com alguma vegetação, para a água e nuvens o NDVI geralmente é igual zero. No mapa (figura 13) de NDVI, os locais onde o valor se aproxima de 0 coincidem com os locais onde nos mapas de caracterização da ilha de calor (*item 6.3*) encontrava-se temperaturas maiores, e, conseqüentemente as ilhas de calor

Nesta pesquisa, bem como em outros estudos referentes ao município de Belém (COSTA, 1998; SANTOS, 2009; CASTRO, 2009), as maiores temperaturas do ar foram observadas nos bairros com pouca vegetação urbana e com

predominância de edificações verticais e horizontais, ao passo que as menores temperaturas do ar sempre ocorreram em bairros mais arborizados.

Figura 13 – Mapa da espacialização do NDVI na Região Metropolitana de Belém-Pa para o dia 12/09/2008.



A seguir, escolheu-se quatro alvos (quadro 4), dos quais se extraiu os valores da temperatura superficial e o NDVI, a fim de avaliar o comportamento da temperatura superficial em áreas bem urbanizadas, em áreas bem vegetadas, em áreas com presença de corpo hídrico e em áreas bastante vegetadas (área rural), próximas a área urbana.

As diferenças de temperatura da superfície urbano-rural encontradas para os alvos variam bastante, bem como foi a variação espacial nos mapas, em especial no mapa 5 (item 6.3), cuja maior variação foi de 30,8°C. Pode-se assumir que esta diferença se deve ao fato da cidade ser urbanizada e com uma diversidade imensa

no uso do solo, tendo espaços urbanizados, bem como espaços preservados onde as temperaturas são menores. Resultado semelhante (30°C) foi obtido por Yuan e Bauer (2007) a partir de imagens de satélite LANDSAT, para a região de Minnessota, nos EUA. Imhoff et al. (2010) encontraram uma diferença de até 8°C para algumas cidades dos EUA. No Brasil, Teza e Baptista (2005) analisando espacialmente a temperatura da superfície da cidade de São Paulo com imagens do satélite ASTER, encontraram uma diferença de 16°C de um ponto densamente urbanizado comparado a um ponto rural.

Dentre as informações contidas no quadro 2 os bairros de São Braz e Marco apresentam os menores valores de NDVI, ou seja, menores quantidades de vegetação, e maiores valores de temperatura da superfície, pois são bairros mais urbanizados e populosos. Enquanto que os bairros Curió-Utinga (lagos Bolonha e Água Preta) e Ilha de Sassunema (Zona Rural) apresentam os maiores NDVI, conseqüentemente as menores temperaturas da superfície.

Quadro 2 - Alvos com seus respectivos valores de temperatura superficial e índice de vegetação.

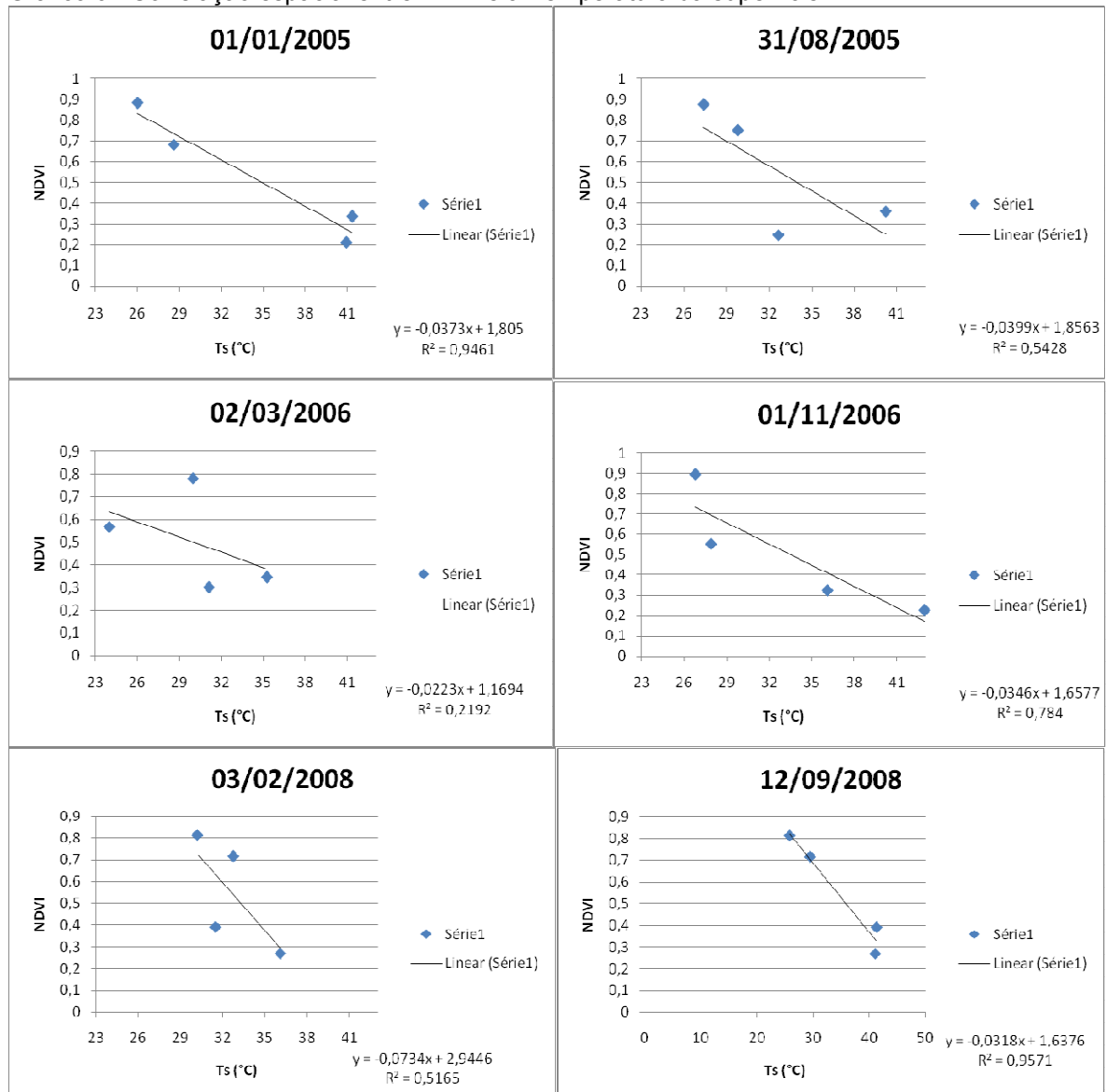
ALVOS DATAS	Bairro São Braz		Bairro Marco		Bairro Curió-Utinga (Ponto localizado em uma área rural)		Zona Rural (Ilha de Sassunema)	
	LAT/LONG: 1°26'57,80" S 48°28'12,19" O		LAT/LONG: 1°25'51,75" S 48°27'28,14" O		LAT/LONG: 1°24'59,53" S 48°24'38,45" O		LAT/LONG: 1°16'42,56" S 48°24'33,60" O	
	T(°C) Superficial	NDVI	T(°C) Superficial	NDVI	T(°C) Superficial	NDVI	T(°C) Superficial	NDVI
01/01/2005	40,93	0,2127	41,35	0,3375	28,61	0,6823	26,03	0,8831
31/08/2005	32,63	0,2482	40,19	0,3612	29,77	0,7518	27,37	0,8752
02/03/2006	31,11	0,3011	35,25	0,3450	29,97	0,7812	23,99	0,5673
01/11/2006	42,95	0,2293	36,09	0,3261	27,87	0,5540	26,77	0,8970
03/02/2008	36,11	0,2685	31,51	0,3906	32,77	0,7155	30,21	0,8125
12/09/2008	41,01	0,2685	41,25	0,3906	29,41	0,7155	25,73	0,8125

Os gráficos abaixo (gráfico 6) mostram que a relação entre NDVI e a temperatura da superfície são inversamente proporcionais para todas as datas analisadas.

A correlação estatística foi maior do que 50% para quase todas as imagens, exceto para a do período chuvoso do ano normal (02/03/2006). Neste sentido, destacou-se principalmente a correlação entre a temperatura superficial e o NDVI nas imagens dos períodos menos chuvosos, normal e da La Niña, e do chuvoso, do El Niño, as quais foram maiores do que 75%. Isto pode estar relacionado com os

efeitos das diferentes superfícies, durante as estações chuvosas e menos chuvosas dos anos analisados. Portanto, as superfícies urbanas e as mais vegetadas apresentam relações de causa e efeito muito próximas durante o período de menor ocorrência da precipitação e conseqüentemente maiores temperaturas do ar, que refletem quantidades de energias diferentes em diferentes superfícies.

Gráfico 6 - Correlação espacial entre NDVI e a Temperatura da superfície



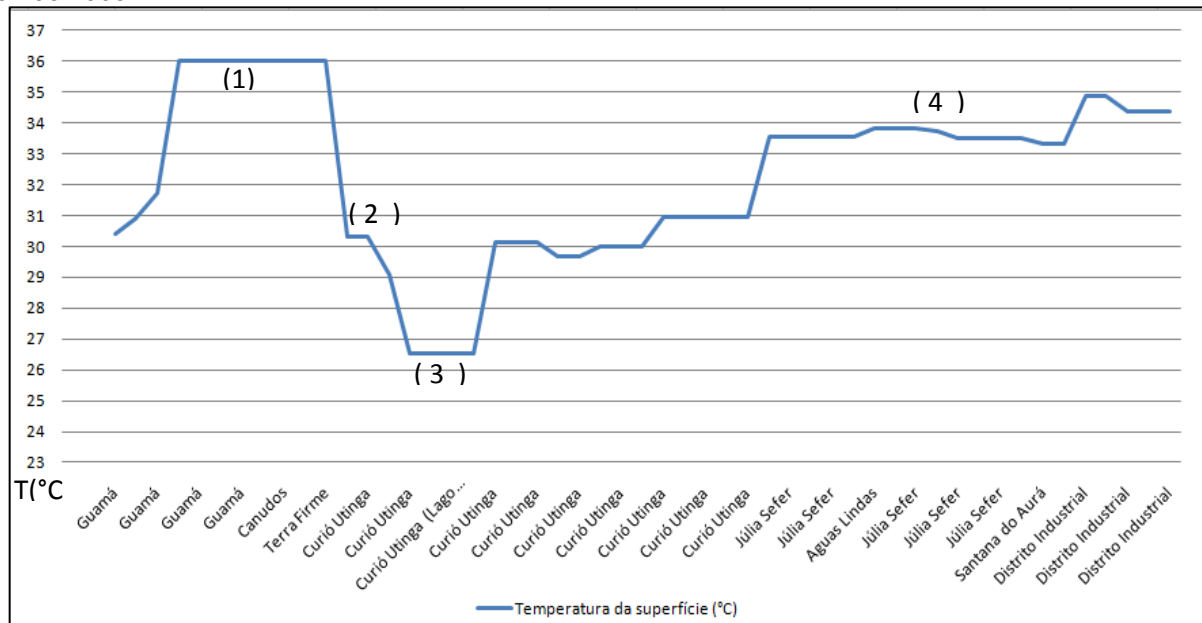
Na figura 14, mostra-se a localização e o corte transversal feito nas imagens com as diferentes características do solo para a imagem do dia 12/09/2008, que serão representadas com as suas respectivas temperaturas da superfície no gráfico 7. Isto será mostrado para caracterizar os efeitos causados pelas diferentes superfícies, desde áreas urbanizadas a vegetadas.

Figura 14 - Localização e representação das características da superfície de diferentes áreas.



No gráfico 7 as maiores temperaturas da superfície estão localizadas em bairros mais urbanizados como Guamá e Canudos, sofrendo um decréscimo da mesma em direção ao bairro Terra Firme (considerado um bairro mais periférico). Os menores valores encontram-se no bairro Curió-Utinga, onde se encontra uma grande quantidade de vegetação, haja vista a presença do Parque Ambiental, e de massas de água, devido à presença dos Lagos Bolonha e Água Preta. Em seqüência observa-se o retorno ao aumento da temperatura da superfície nos bairros urbanizados do município vizinho (Ananindeua-Pa: Júlia Sefer, Águas Lindas, Santaná do Aurá, Distrito Industrial).

Gráfico 7 - Variação espacial da temperatura da superfície em diferentes paisagens para o dia do 31/08/2005.



6.5 VALIDAÇÃO DAS IMAGENS DE SATÉLITE

Neste item será apresentada a verificação da temperatura da superfície obtida a partir de imagens de satélite, comparada com a temperatura do ar para os pontos, onde estão localizadas as estações meteorológicas (DECEA-SBBE, INMET e EMBRAPA). Além disso, mostra-se a correlação estatística e os desvios obtidos entre ambas variáveis.

A temperatura do ar apresenta um ciclo diário, passando por um máximo e por um mínimo. Em situações normais, as temperaturas máximas ocorrem, em geral, entre 14 e 15 horas e as mínimas acontecem pouco antes do nascer do sol (HARTMAN, 1994). A variação diária da temperatura do ar está diretamente relacionada com a chegada de energia solar e o conseqüente aquecimento da superfície do solo (temperatura da superfície), enquanto que, a temperatura da superfície da terra estimada com imagens de satélite é um parâmetro chave no entendimento dos processos físicos da superfície da terra (NOVO, 2008). Pode ser usado para monitoramento do estresse hídrico, balanço de energia à superfície, detecção de mudanças na superfície da terra (por exemplo, queimadas) e monitoramento das condições sustentáveis de proliferação de doenças, dentre outros.

No quadro 3 são expressas as temperaturas do ar e da superfície de pontos onde estão localizadas as estações meteorológicas de superfície. As temperaturas do ar foram extraídas das estações meteorológicas e as temperaturas da superfície foram extraídas das imagens de satélite selecionadas para este estudo.

O desvio médio entre o observado nas estações meteorológicas e o estimado nos dados das imagens de satélite, é de aproximadamente: 1,7°C para a estação do DECEA-SBBE, 1,5°C para a estação do INMET e 3°C para estação localizada na EMBRAPA. A variação do desvio da temperatura entre o observado e o estimado foi de 0,2°C a 4,8°C. Tais resultados concordam com Castro (2009), que encontrou para Belém, através da análise de imagens LANDSAT (1997 e 2008), uma diferença de até 2,2°C.

Quadro 3: Comparação entre temperatura do ar e da superfície dos pontos onde estão localizadas as estações meteorológicas.

DATA	DECEA-SBBE		INMET		EMBRAPA	
	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da superfície (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da superfície (°C)	Temperatura do ar (°C)	Temperatura da superfície (°C)
01/01/2005	30,0	29,8	28,8	29,9	-	27,5
31/08/2005	32,5	32,0	31,9	30,1	32,9	31,7
02/03/2006	28,0	32,8	30,6	29,4	-	24,2
01/11/2006	31,0	30,8	30,1	31,7	30	32,7
03/02/2008	27,0	29,8	27,8	27,4	29	33,7
12/09/2008	32,0	35,1	32,2	31,1	33,8	30,1

Os valores da correlação estatística, erro médio e erro médio quadrático, calculados para as variáveis de temperatura da superfície e temperatura do ar do aeroporto, INMET e EMBRAPA estão expressos no quadro 7 abaixo:

Observa-se no quadro 4 que o coeficiente de correlação e os erros calculados entre o observado e o estimado se mostram mais adequados para a estação do INMET.

Quadro 4 - Análise estatística do desvio da temperatura do ar e da temperatura da superfície.

MEDIDAS ESTADÍSTICAS		AEROPORTO	INMET	EMBRAPA
\bar{E}	Erro absoluto médio	1,9	1,2	2,1
\bar{E}_s	Erro absoluto médio sistemático	1,6	-0,3	-0,8
RMSE	Erro quadrático médio	1,4	1,1	1,4
r	Coeficiente de correlação	0,4	0,5	0,1

A temperatura da superfície estimada através de imagem de satélite corresponde em torno de 98% à temperatura do ar medida nas estações meteorológicas.

6.6 ÁREA ADEQUADA PARA MORADIA

Este item visa apresentar a partir das imagens analisadas, quais áreas da cidade de Belém oferecem condições mais adequadas à moradia com relação à temperatura da superfície, e conseqüentemente com a temperatura do ar.

Quanto às áreas mais adequadas para se construir moradias em Belém é importante considerar não só uma grande quantidade de vegetação urbana próxima como também a presença de algum manancial hídrico próximo, não estou citando que se deva morar a beira do rio, pois isso seria ilegal. No entanto, a construção de uma cidade é algo muito complexo e certamente a preocupação ambiental climática é apenas um aspecto a ser considerado no seu processo. Sem dúvida, qualquer tipo de intervenção urbana deverá levar em consideração aspectos sociais, políticos, econômicos e culturais.

Nos mapas temáticos do item 6.3., ficou claro que as temperaturas mais amenas são encontradas em áreas bem mais afastadas do centro de Belém. No entanto através de uma análise dos bairros localizados no centro de Belém e os mais próximos ao centro, pela análise do índice de vegetação por bairro, juntamente com a análise dos bairros feitas através dos mapas do *item 6.3*, tentou-se elaborar um critério de quais bairros próximo ao centro podem ser viáveis para se morar, considerando dois elementos que influenciam no microclima de Belém como: vegetação urbana e grande quantidade de massa de água. Isto pode ser observado na tabela 11 e mapa 9 para os bairros: Miramar, Cidade Velha, Jurunas, Condor, Batista Campos, Maracangalha, Nazaré, Cremação, Mangueirão, Terra Firme, Marambaia e Val-de-cans.

Os bairros Universitário e Curió-Utinga apesar de terem um baixo NDVI são desconsiderados para se construir moradias, pois o primeiro é uma área federal, no qual está localizado a Universidade Federal do estado, e o segundo é uma área estadual, no qual situa-se o Parque Ambiental, uma área de protegida por lei.

Tabela 11 - Seleção de áreas no centro da cidade Belém que favorecem o conforto térmico

Bairro	NDVI
Campina	0,1163
Miramar	0,1451
Telégrafo	0,1800
Reduto	0,2001
Cidade Velha	0,2014
Jurunas	0,2170
Barreiro	0,2171
Condor	0,2220
Sacramenta	0,2452
Fátima	0,2483
Canudos	0,2612
Batista Campos	0,2644
São Braz	0,2667
Maracangalha	0,2702
Pedreira	0,2753
Nazaré	0,2806
Umarizal	0,2827
Cremação	0,2859
Guamá	0,2883
Marco	0,3012
Mangueirão	0,3693
Terra Firme	0,3812
Marambaia	0,4118
Val-de-cans	0,4445
Souza	0,4856
Universitário	0,6170
Curio-Utinga	0,6633

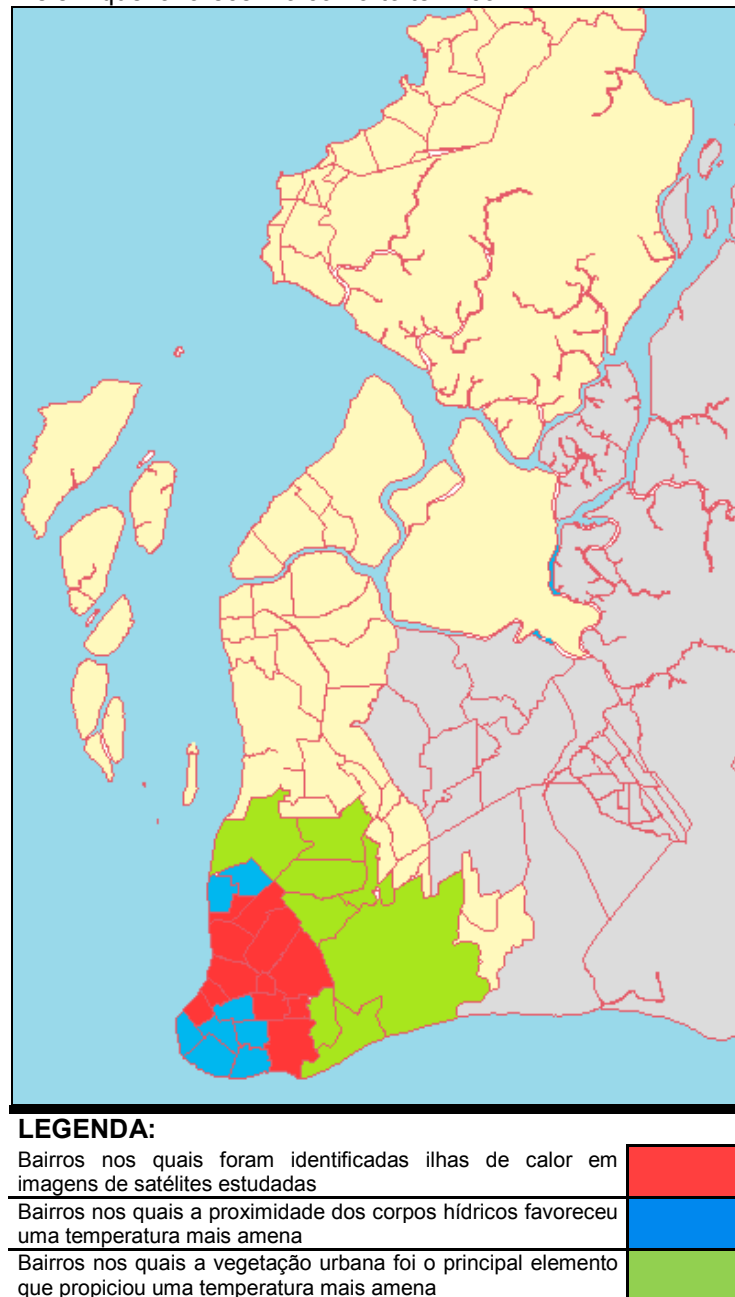
LEGENDA:

Bairros nos quais foram identificadas ilhas de calor em imagens de satélites estudadas

Bairros nos quais a proximidade dos corpos hídricos favoreceu uma temperatura mais amena

Bairros nos quais a vegetação urbana foi o principal elemento que propiciou uma temperatura mais amena

Figura 15 – Mapa da seleção de áreas no centro da cidade Belém que favorecem o conforto térmico.



Considerando as previsões climáticas do IPCC (2007), a possibilidade de recorrência de anos consecutivos de El Niño ou La Niña poderá contribuir, juntamente com o aumento das edificações e crescimento urbano, para o aumento da temperatura da superfície de áreas com baixo NDVI. Isto agrava a situação dos bairros destacados em vermelho na tabela anterior, podendo até reduzir a capacidade de frescor nos bairros mencionados como mais adequados próximos ao centro da cidade.

7 CONCLUSÕES

O presente trabalho utilizou dados de sensores remotos MODIS e dados meteorológicos de superfície para caracterizar e analisar os efeitos térmicos espaciais na cidade de Belém-PA. Os principais resultados para este estudo são:

- A média da precipitação anual observada para série de dados estudados (1967 – 2008) foi de 2978,6mm/ano e apresenta tendência de aumento da precipitação ao longo dos anos, bem como a temperatura do ar máxima, média e mínima. Isto tem íntima relação com o crescimento urbano, principalmente, a partir entre 1970 e 2010, período em que o município de Belém-Pa teve duplicada a sua população e triplicada as unidades imobiliárias na cidade;

- As imagens de satélite da região metropolitana de Belém mostram dois núcleos de maiores temperaturas da superfície um na cidade de Belém e outro na cidade vizinha, Ananindeua. Estes variam espacialmente e temporalmente de intensidade;

- Os maiores valores de temperatura do ar corresponderam ao ano de El Niño (2004/2005), período menos chuvoso, e os menores ao ano de La Niña (2007/2008), período chuvoso;

- Na La Niña o núcleo da ilha de calor fica localizado em bairros mais próximos a baía do Guajará, enquanto que no El Niño estes bairros apresentam condições climáticas mais favoráveis do que os bairros mais afastados dos corpos hídricos. Nestes encontram os maiores valores de temperatura da superfície na área central da cidade;

- A temperatura superficial varia bastante, a maior variação atinge de um ponto urbano para um rural 30,8°C, enquanto que a menor foi 16,8°C;

- As maiores temperaturas da superfície foram observadas nos bairros com pouca vegetação urbana, ou seja, com baixo NDVI, como: Campina, Reduto, Barreiro, Pedreira, Canudos, Fátima São Braz, Umarizal. Ao passo que as menores temperaturas da superfície ocorreram em bairros mais arborizados e/ou próximo aos mananciais hídricos, como: Cidade Velha, Batista Campos, Nazaré, Curió-Utinga, Marambaia, entre outros;

- As correlações estatísticas entre NDVI e temperatura da superfície apresentaram valores acima de 50%. Estes parâmetros apresentam relação inversa em áreas mais urbanizadas e menos urbanizadas;

- A temperatura do ar e da superfície em Belém-Pa são bem semelhantes, pois o desvio médio entre o observado e o estimado é de aproximadamente: 1,7°C para a estação DECEA-SBBE, 1,5°C para a estação do INMET e 3°C para estação localizada na EMBRAPA. Sendo que, a variação do desvio da temperatura entre o observado e o estimado foi de 0,2°C a 4,8°C;

- No cálculo dos erros médios quadráticos e sistemáticos a estação do INMET apresentou o melhor ajuste com o estimado a partir da imagem de satélite;

- As áreas adequadas para moradia em Belém consideradas a partir da temperatura da superfície mais amenas foram localizadas na zona rural (Ilha de Mosqueiro e Ilha de Sassunema). Com relação as mais próximas do centro de Belém são: Miramar, Cidade Velha, Jurunas, Condor, Batista Campos, Maracangalha, Nazaré, Cremação, Mangueirão, Terra Firme, Marambaia e Val-de-cans. A possibilidade de ocorrência consecutiva do ENOS em conjunto com a evolução urbana poderá ocasionar maiores temperaturas nas regiões que já apresentam altas temperaturas e expandi o fenômeno ilhas de calor para bairros onde ele ainda não abranja ou não é intenso.

- Nota-se que estudos relacionados com a distribuição da precipitação espacial nas áreas de extremos de temperatura da superfície sejam incluídos em futuras pesquisas. Bem como maiores conhecimentos a respeito das circulações atmosféricas locais que podem esclarecer e contribuir para o bem estar da população e aperfeiçoar o planejamento urbano.

Por fim, este estudo apresentou resultados que auxiliam no melhor entendimento do comportamento e dos efeitos térmicos espaciais e temporais na cidade de Belém, podendo ser utilizado como base na criação de projetos de lei, que visem mitigar os impactos causados pela urbanização em prol de uma melhor qualidade de vida a população da cidade.

8 SUGESTÕES E RECOMENDAÇÕES

Deste trabalho sugere-se e recomenda-se o aperfeiçoamento do mesmo com pesquisas posteriores que visem:

- Aplica a modelagem numérica a fim de entender os núcleos de temperatura da Região Metropolitana de Belém, dando destaque para a cidade de Belém e Ananindeua, verificando a relação entre as mesmas.

- Estudar detalhadamente o quantitativo de precipitação das datas selecionadas, através de mapas temáticos a fim de observar a relação com os efeitos térmicos;

- Repetir essa mesma metodologia utilizando um satélite de resolução maior;

- Aplicar a modelagem numérica para entender o comportamento da circulação de brisas marítima e lacustre, a fim de analisar como a Baía do Guajará e o Rio Guamá alteram as variações de temperatura da superfície em Belém;

- Avaliar a evolução temporal do crescimento urbano através de imagens e informações de superfície a partir de décadas, com o objetivo de verificar a mudança no uso do solo da cidade;

- Divulgação dos resultados desta pesquisa em mídia, para que gestores públicos tomem conhecimento da importância da importância do planejamento da cidade.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E. M. A. **A configuração urbana e suas relações com os microclimas: estudos de frações urbanas na cidade de Maceió**. 2006. 98f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Alagoas, Programa de Pós-Graduação em arquitetura e urbanismo, Mestrado em dinâmica do espaço habitado. Maceió, 2006.
- ANDRADE, L. do L.; SOUZA, L. H de.; SAKURAGI, J. Análise comparativa do fenômeno ilha urbana de calor no verão e inverno por meio de dados termais da satélite Landsat 5 em São José dos Campos/SP. In: ENCONTRO LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 10 e ENCONTRO LATINO AMERICANO DE PÓS-GRADUAÇÃO, 6, 2006, São José dos Campos/SP. **Anais...** São José dos Campos -SP, 2006. p. 1819-1822.
- ARYA, S. P. **Introduction to micrometeorology**. 2 ed. Orlando: Ed. Academic Press, 2001.
- AVISSAR, R.; SILVA DIAS, P. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; NOBRE, C. A. The Large-scale biosphere-atmosphere experiment in Amazonia (LBA): insights and future research needs. **Journal of Geophysical Research**, v. 07, p. 54.1-54.6. 2002.
- AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 9ª ed. São Paulo: Bertrand Brasil, 2003.
- BIAS, E. S.; BAPTISTA, G. M. de M.; LOMBARDO, M. A. Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte/MG. **Anais...** Belo Horizonte, 2003. p. 1741-1748.
- BRASIL. **Lei complementar nº14, de 8 de junho de 1973**. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/LCP/Lcp14.htm>, acesso 18 ago. 2010.
- CARDOSO, A. C. D. et al. A estrutura socioespacial da Região Metropolitana de Belém: 1990 a 2000. **Novos Cadernos NAEA**, v. 10, n. 1, p. 143 – 183, dez. 2006.
- CARDOSO, Ana C. D. et al. **Como anda Belém e Goiânia: observatório das Metrôpoles**. Rio de Janeiro, 2009
- CASTRO, A. R. C. **Aplicação de sensoriamento remoto na análise espaço temporal das ilhas de calor e ilhas de frescor urbanas no município de Belém-Pará, nos anos de 1997 e 2008**. 2009. 69f. Dissertação (mestrado em geografia) – Universidade Federal do Pará, Belém – PA, 2009.
- COHEN, J. C. P et al. Jatos de baixos níveis acima da floresta amazônica em Caxiunã. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.21, n.3b, p. 271-282. 2006
- COHEN, J. C. P. et al. Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da America do Sul. In: CAVACALTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2009, p. 75-93.

COHEN, J.C.P.; DIAS, M.A.F.S. ; NOBRE, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia. **Climanálise, Boletim de Monitoramento e Análise Climática**, v. 4, p. 34-40. 1989.

COSTA, A. C. L. **Estudo de variações termo-higrométricas de cidade equatorial devido ao processo de urbanização: o caso de Belém-PA.** 1998. 236 f. Tese (doutorado) - Universidade de São Paulo, Curso de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 1998.

_____. Variações sazonais a ilha de calor urbana na cidade de Belém-PA. In: CONGRESSO LATINA AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 9., , 2001, Buenos Aires, Argentina. **Anais...** Buenos Aires, Argentina: SBMET, 2001. p 2357-2365.

DIAS, C. S. ; DIAS, S. I. S. Belém do Pará: história, urbanismo e identidade. In: DIAS, C.S. (Org.), **Planejamento urbano e regional: ensaios acadêmicos do CAUFAG.** Cascavel, Paraná: Centro de Arquitetura e Urbanismo da Faculdade Assis Gurgacz, 2007. p.18-27.

DIAS, M. A. S. D. ; SILVA, M. G. A. J. Para entender tempo e clima. In: CAVACALTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil.** São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2009. p.15 -21.

FIGUEROA, S. N. ; NOBRE, C. A. Precipitation distribution over Central and western Tropical South America. **Climanálise**, v.5, n.6, p. 36 – 45. 1990.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Clima da Amazônia. **Boletim do Climanalise Especial**, Paulista, São Paulo, 1996. p. 24 - 41

FREITAS, E.; DIAS, P. L. S. Alguns efeitos de áreas urbanas na geração de uma ilha de calor. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n.3, dez. 2005.

GALVÍNCIO, J. D. *et al.* Análise da temperatura do ar e da superfície no sítio Boa Felicidade em São José do Sabugui-PB no semi-árido do Brasil. **Revista de geografia.** Recife: UFPE – DCG/NAPA, v. 26, n. 2, mai/ago 2009.

GAN, M. A.; V. E. KOUSKY; C. F. ROPELEWSKI. The South America Monsoon Circulation and Its Relationship to Rainfall over West-Central Brazil. **J. Climate**, v. 17, p. 47 – 66. 2004.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor.** São Paulo: Editora Oficina de Textos, 2010.

HARTMANN, D. L. **Global physical climatology.** London: Academic Press, 1994.

HASTENRATH, S; HELLER, L. Dynamics of climatic hazards in Northeast Brazil. **Quartely Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 103, n.435 p.77-92. 1977.

HERDIES, D. L. et al. The Impact of High-resolution SALLJEX Data on a Global NCEP Analysis. **Journal of Climate**, v. 20, p. 5765-5783. 2007

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Estimativas de população**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao>>. Acesso em: 06 jan 2010.

ICHINOSE, T et al. Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. **Atmospheric Environment**. v. 33, p. 3897 – 3909. 1999.

IMHOFF, M. L. et al. Remote sensing of the urban heat island effect across biomes in the continental USA. **Remote sensing environment**. v. 114, p. 504 – 513. 2010.

IPCC: Climate Change 2007. The Physical Science Basis. **Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Solomon, S., D. Qin, M. Manning (eds.)], 2007.

JAUREGUI, E. Heat island development in México City. **Atmospheric environment**. v. 31, n. 22, pp. 3821 – 3831, 1997.

LAI, L. W.; CHENG, W. L. Air quality influenced by urban heat island coupled with synoptic weather patterns. **Science of the total environment**. v. 407, p. 2724 – 2733. 2009.

LEÃO, N. et al. **Belém sustentável**. Belém: IMAZON, 2008.

LIN, C. Y. et al. Urban heat island effect and impact on boundary layer development and land – sea circulation over northern Taiwan. **Atmospheric Environment**. v. 42, p. 5635 – 5649. 2008.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: Ed. Hucitec, 1985.

LUCENA, D. B. **Impacto dos Oceanos Pacífico e Atlântico no Clima do Nordeste do Brasil**. 2006. 320f. Tese (doutorado em meteorologia) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande - PB, 2006

MARENGO, J. A. Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. **International Journal of Climatology**, v. 12. p. 853-863. 1992.

MARENGO, J. A. **Mudanças climáticas globais e seus efeitos sobre a biodiversidade: caracterização do clima atual e definição das alterações climáticas para o território brasileiro ao longo do século XXI**. Ministério do Meio Ambiente – MMA. Brasília, 2006.

MARENGO, J. A; NOBRE, C. A. Clima da região Amazônica. In: CAVACALTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2009. p.197 - 212.

MARENGO, J. A; AMBRIZZI, T.; SOARES, W. R. Jato de baixos níveis ao dos Andes. In: CAVACALTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2009. p.169 - 180.

MARTORANO, L.G. et al..Variabilidade da precipitação pluviométrica em Belém – Pará associada ao Fenômeno “EL NINO”. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA , 7., **Anais....** São Paulo: SBM, 1992. p. 86-9.

MASCARÓ, L.; MASCARÓ, J. J. **Ambiência urbana**. 3ª Ed. Porto Alegre: Masquatro Editora, 2009.

MELO, A. B. C.; CAVALCANTI, I. F. A.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVACALTI, I. F. A. et al. (Org.). **Tempo e clima no Brasil**. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2009. p.25 - 42.

MENEGASSI, J.; MARQUES, L. **Conflitos urbanos ambiental em capitais amazônicas**: Boa Vista, Belém, Macapá e Manaus. Porto Alegre: COHRE, 2006.

MIRZAEI, P. A.; HAGHIGHAT, F. Approaches to study urban heat island – Abilities and limitations. **Building and environment**. v. 45, p. 2192 – 2201. 2010

MOLION, C. B. Amazonia rainfall and its variability. In: BONNEL, M.; HUFSCHEMIO, M.M.; GLADWELL, J.(Ed). **Hydrology and water management in the humid tropics**. international Hidrology series, Cambridge university Press, 1993.

MORAES, B. C. et al. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. **Acta Amazônia**, v. 35. p. 207 – 214. 2007.

MOREIRA, E. B. M; GALVÍNCIO, J. D. Análise multitemporal da ilha de calor urbana na cidade do Recife, através de imagens do Landsat TM-5. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, Natal-RN. **Anais...** Natal-RN, 2009, p. 1441 – 1448,.

NOGUEIRA, D. S. **Aspectos observacionais e numéricos da interação floresta-atmosfera na Amazônia Oriental**: Fenômenos Turbulentos Noturnos. 2008 Dissertação de Mestrado, 140 p., Universidade Federal do Pará, 2008.

NOVO, E. M. M. **Sensoriamento remoto**: princípios e aplicações. 3ª ed. Ed. Blucher. São Paulo, 2008.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Second Edition. London & New York: Routledge, 1987. 435 p.

OLIVEIRA, J. M. G. C. A verticalização nos limites da produção do espaço: parâmetros comparativos entre Barcelona e Belém. COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, 9. Porto Alegre-RS. **Anais....** Porto Alegre-RS, 2007. p. 1-15.

OLIVEIRA, R. S.; OLIVEIRA, J.M.G.C. A expansão da área metropolitana de Belém-PA: Uma análise da verticalização no município de Ananindeua. In: ENCONTRO

LATINO AMERICANO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 8. São Jose dos Campos. **Anais...** São José dos Campos-SP, 2004. . p. 1147 – 1150.

ONISHI, A. et al. Evaluating the potencial for urban heat-island mitigation by greening parking lots. **Urban forestry & Urban Greening**. v.9, p. 323 – 332. 2010.

PARÁ. **Lei complementar nº27, de 19 de outubro de 1995**. Disponível em: <http://www.pa.gov.br/downloads/Constituicao-paraense_2002.pdf>, acesso 18 ago 2010.

PARÁ. Prefeitura Municipal de Belém. Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão (SEGEP). **Cadastro técnico multifinalitário (CTM)**. Belém, 1993.

_____. **Cadastro técnico multifinalitário (CTM)**. Belém, 2000.

_____. **Cadastro técnico multifinalitário (CTM)**. Belém, 2008.

PEREIRA, I. S. O. **As políticas públicas de revitalização urbana e a localização das classes sociais: o caso de Belém-PA**. 2009. Tese (doutorado) - Universidade de Brasília, Programa de Pós-Graduação em Urbanismo, Brasília, 2009.

PEZZI, L. P.; CAVALCANTI, I. F. A. **Precipitação sobre a América do sul para uma situação de El Niño conjugada com dipolo positivo e negativo de TSM no Atlântico em simulações com o MCG CPTEC/COLA**. [S.l]: Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC/INPE), 2004.

RASMUSSEN, E.M; ARKIN, P.A. Interannual climate variability associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Coupled Ocean-Atmophere Models**, J.C.J.Nihoul, Ed. Elsevier, 1985. p. 289-302.

ROSSI, F. A.; KRUGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. **Revista O Espaço Geográfico em Análise**, Curitiba, n. 10, p. 93-105. 2005.

RUDORFF, Y. et al. **O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira, 2007.

SANTAMOURIS, M. (Ed.) **Energy and climate in the urban environment**. Londres: James & James, p. 402, 2001.

SANTOS, A .R. **A Análise das tendências da chuva e das temperaturas extremas na Região de Belém (PA)**. Piracicaba, (Mestrado - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiróz" / USP). São Paulo, 1993.

SANTOS, F. A. A. Análise do comportamento das condições térmicas do município de Belém (PA), por meio da combinação de dados observacionais e imagem de satélite. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal. **Anais...** Natal: SBSR, 2009. p. 851 – 858.

SOUSA, A. M. L. **Estudo observacional de jatos de baixos níveis no litoral norte e nordeste do Pará durante o período chuvoso e seco.** 2005. 154f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas – RS, 2005.

SOUZA, E.B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian Oscillation. **Internacional Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759-1776. 2006.

SOUZA, E.B. **Um estudo observacional sobre o Padrão de Dipolo de anomalias de TSM no Oceano Atlântico Tropical.** 1997. 102f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. São José dos Campos, 1997.

TAVARES, A. C.; LASTÓRIA, A. C. Comparações entre temperaturas extremas obtidas no centro e na periferia de Piracicaba-SP. **Geografia**, Rio Claro, n. 19 v.1, p. 61-75. 1994.

TEZA, C.T.V.; BAPTISTA, G.M.DE M. Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III): metrópoles brasileiras. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12. Goiânia-GO. **Anais...** Goiânia-GO, INPE, p.3911 – 3918. 2005.

TRETINI, P. M.; ROCHA, J. C. R. **A Ilha de calor em Bauru-SP:** Aferição térmica e percepção humana sobre o problema. II Fórum ambiental da Alta Paulista. Tupuã-SP, 2006.

VERÍSSIMO, M. E. Z.; MENDONÇA, F. A. Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões na saúde da população. In: ENCONTRO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE ANPPAS, 6., Indaiatuba-SP, 2004. p.01-15, Ilus, tab.

VITORINO, M.I. **Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes utilizando a análise de ondeletas.** 2002. Tese (Doutorado em Meteorologia), INPE, 2002.

VITORINO, M.I.; SILVA, P.L.D.; FERREIRA, N.J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, n. 93, p. 17–35. 2006.

VOOGT, J. A. Causes and consequences of global environmental change. **Encyclopedia of global environmental change.** Chichester: John Wiley & Sons, Ltd, 2002. v. 3. p 660-666.

WAN, Z.M.; LI, Z.L. A physics-based algorithm for retrieving land-surface emissivity and temperature from EOS/MODIS data. **IEEE Transactions on Geoscience and remote sensing.** n. 35 v. 4, p. 980-996. 1997

WEICKMANN, K.M.: Intraseasonal circulation and outgoing long wave radiation modes during northern winter. **Mon.wea.Rev.**, n. 111, p.1838-1858. 1983.

WILKS, D.S. Statistical methods in the atmospheric sciences. 2nd Ed. **International Geophysics Series**, Academic Press, v. 59. 2006.

WONG, N. H.; YU, C. Study of green areas urban heat island in a tropical city. **Habitat International**, v. 29, p. 547-558. 2005.

YUAN, F.; BAUER, M. E. Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. **Remote sensing of environment**, v. 106, p. 375-386. 2007.