



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PIAUÍ
(UFPI)
Núcleo de Referência em Ciências Ambientais do Trópico Ecotonal do Nordeste
(TROPEN)
Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(PRODEMA)
Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente
(MDMA)**

**ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM TERESINA-PI DECORRENTES DA
URBANIZAÇÃO E SUPRESSÃO DE ÁREAS VERDES**

SÔNIA MARIA RIBEIRO FEITOSA

**TERESINA - PI
2010**

SÔNIA MARIA RIBEIRO FEITOSA

**ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM TERESINA - PI DECORRENTES DA
URBANIZAÇÃO E SUPRESSÃO DE ÁREAS VERDES**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^ª. Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes

Co-orientador: Prof. Dr. Carlos Sait P. de Andrade

SÔNIA MARIA RIBEIRO FEITOSA

**ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM TERESINA - PI DECORRENTES DA
URBANIZAÇÃO E SUPRESSÃO DE ÁREAS VERDES**

Dissertação apresentada ao Programa Regional de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal do Piauí (PRODEMA/UFPI/TROPEN), como cumprimento às exigências para a obtenção do título de Mestre em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Área de Concentração: Desenvolvimento do Trópico Ecotonal do Nordeste. Linha de Pesquisa: Políticas de Desenvolvimento e Meio Ambiente.

Aprovada em ___/___/ 2010

BANCA EXAMINADORA

Prof^ª. Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes
TROPEN/PRODEMA/UFPI
Orientadora

Pesquisador Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior
Embrapa Meio – Norte

Prof. Dr. José Machado Moita Neto
TROPEN/PRODEMA/UFPI

A Deus, motivo maior da minha existência.

A minha mãe (*in memoriam*) e meu pai, exemplo de honestidade e pai dedicado.

Aos meus amados filhos Lorena, Ruan e Targas (*in memoriam*).

Ao meu esposo Beбето e meus irmãos Walber, Célia, Celma, Wagner, Joaquim Filho, Solange, Wagjon e Walcler, e demais membros da família,

Dedico este trabalho.

Agradecimentos

A Deus, por ter me segurado nas horas em que ameaçava fraquejar.

A minha orientadora, Prof^a. Dra. Jaíra Maria Alcobaça Gomes por ter me conduzido durante o desenvolvimento da pesquisa com apoio, seriedade e competência - peças essenciais para a realização deste trabalho.

Ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. MDMA/PRODEMA/TROPEN/UFPI, pela estrutura didático-científica representado por seus professores.

À Fundação Centro de Pesquisas Econômicas e Sociais do Piauí (Fundação CEPRO), por minha liberação durante a realização do curso.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte), representada pelo Dr. Aderson Soares de Andrade Júnior, pelo fornecimento dos dados meteorológicos e sugestões ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Carlos Sait P. de Andrade pela co-orientação, presteza e paciência.

Ao Prof. Dr. José Machado Moita Neto pela orientação estatística e valiosas sugestões que enriqueceram a fundamentação do estudo.

Ao apoio administrativo da secretaria do TROPEN, nas pessoas da Sra. Maridete de Alcobaça Brito e do Sr. João Bastista Araújo.

Ao meu sempre amado filho Targas que apesar de sua ausência física, espiritualmente, sempre esteve torcendo por mim e me incentivando.

Aos meus filhos Ruan e Lorena, por terem entendido o significado desta caminhada para mim, sempre me apoiando e compreendendo a falta que lhes fiz e as vezes que não pude atendê-los.

Aos demais membros da família por terem compartilhado comigo momentos alegres e também os difíceis.

À amiga Profa. Margarita Maria López Gil, pela construção do abstract.

Aos colegas de mestrado, em especial Marianne Goretti Leal pelo companheirismo e Maria do Socorro Barbosa Santos pela cooperação, presteza e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Socioeconomia (LASE), Danilo, Vera e em especial Emiliana, pelos momentos de estudo e de descontração.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Fluxograma 1	Localização do perímetro urbano de Teresina no Piauí/Brasil/Mundo proximidades.	34
Imagem 1	Localização da Embrapa Meio-Norte e extensão de áreas verdes nas proximidades	37
Quadro 1	Testes usados na verificação de significância das diferenças entre as médias de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica por ano, mês período (1977 a 1991 e 1992 a 2009) e estações (chuvosa e seca) em Teresina – PI no período de 1977 a 2009.	41
Figura 1	Mapas da evolução urbana de Teresina - PI no período de 1850 a 2002.	49
Imagem 2	Imagem do sítio urbano de Teresina - PI, captada no dia 14/08/1989, pelo satélite Landsat 5, e composição colorida (a) e imagem classificada do sítio urbano de Teresina captada pelo satélite Landsat 5 no dia 14/08/1989 (b).	53
Imagem 3	Imagem do sítio urbano de Teresina – PI, captada no dia 9/11/2009, pelo satélite Landsat 5, e composição colorida (a) e imagem classificada do sítio urbano de Teresina – PI captada pelo satélite Landsat 5, no dia 9/11/2009 (b).	55
Imagem 4	Imagem do campo termal da cidade de Teresina-PI transformada em temperatura do ar no dia 14/08/1989 (a) e no dia 09/11/2009 (b), a partir do satélite Landsat 5 banda 6.	59
Imagem 5	Imagem de satélite Goes 7 referente ao dia 14/08/1989 às 18: 00 TMG (a) imagem do satélite GOES 10 referente ao dia 9/11/2009 às 15: 00 TMG.	62
Gráfico 1	Temperatura média do ar anual referente período de 1977 a 2009 em Teresina – Piauí.	65
Gráfico 2	Temperatura média do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – Piauí.	69
Gráfico 3	Temperatura máxima do ar anual referente ao período de 1977 a 2009, em Teresina – Piauí.	71
Gráfico 4	Temperatura máxima do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.	73
Gráfico 5	Temperatura mínima do ar anual referente ao período de 1977 a 2009, em Teresina – Piauí.	75
Gráfico 6	Temperatura mínima do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.	78
Gráfico 7	Evolução da temperatura do ar (mínima, média e máxima) na estação	80

	chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e estação seca/b-r-o-bró (set-out-nov-dez) em Teresina – PI nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009.	
Gráfico 8	Umidade relativa do ar anual referente ao período de 1977 a 2009 em Teresina – PI.	83
Gráfico 9	Comportamento mensal da umidade relativa do ar e da temperatura do ar (máxima, média e mínima) no período de 1977 a 2009 em Teresina - PI.	85
Gráfico 10	Umidade relativa do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.	87
Gráfico 11	Precipitação pluviométrica anual referente ao período de 1977 a 2009, em Teresina - PI.	89
Gráfico 12	Comportamento mensal da precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no período de 1977 a 2009 em Teresina - PI.	91
Gráfico 13	Precipitação pluviométrica mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.	92
Gráfico 14	Temperatura média do ar (regressão linear) e estatísticas $u(tn)$ e $u^*(tn)$ de Mann-Kendall.	93
Gráfico 15	Temperatura mínima do ar (regressão linear) e estatísticas $u(tn)$ e $u^*(tn)$ de Mann-Kendall.	95
Gráfico 16	Temperatura máxima do ar (a), umidade relativa do ar (b), e precipitação pluviométrica (c) (regressão linear) e estatísticas $u(tn)$ e $u^*(tn)$ de Mann-Kendall.	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Evolução da população de Teresina – PI no período de 1940 a 2009.	46
Tabela 2	Classificação e quantificação de elementos presentes no perímetro urbano de Teresina - PI, a partir do georeferenciamento e geoprocessamento de imagens do satélite Landsat 5 em 1989 e 2009.	56
Tabela 3	Teste “t” entre as médias dos períodos de 1977 a 1987, 1988 a 1998 e 1999 a 2009 em Teresina – PI.	67
Tabela 4	Teste “t” entre as médias de temperaturas média do ar da estação chuvosa e da estação seca (b-r-o-bró) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.	68
Tabela 5	Teste “t” entre as médias de temperatura média do ar dos períodos de 1977 a 1991 a 1992 a 2009 em Teresina – PI.	69
Tabela 6	Teste “t” entre as médias de temperatura máxima do ar da estação chuvosa e da estação seca (b-r-o-bró) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.	72
Tabela 7	Teste “t” entre as médias de temperatura máxima do ar dos períodos 1977 a 1991 e 1992 a 2009, em Teresina – PI.	72
Tabela 8	Teste “t” entre as médias de temperatura mínima do ar da estação chuvosa e da estação seca (b-r-o-bró) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.	76
Tabela 9	Teste “t” entre as médias de temperatura mínima do ar em Teresina – PI referentes aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009.	77
Tabela 10	Teste “t” entre as médias de umidade relativa do ar da estação chuvosa e da estação seca (b-r-o-bró) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.	84
Tabela 11	Teste “t” entre as médias de umidade relativa do ar dos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.	86
Tabela 12	Teste “t” entre as médias de precipitação pluviométrica da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e da estação seca (b-r-o-bró) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.	90
Tabela 13	Teste “t” entre as médias de precipitação pluviométrica dos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.	92
Tabela 14	Teste de tendência dos elementos meteorológicos referentes aos 12 meses do ano do período de 1977 a 2009.	93

Tabela 15	Teste de tendência dos elementos meteorológicos referentes à estação seca do ano do período de 1977 a 2009.	97
Tabela 16	Teste de tendência dos elementos meteorológicos referentes à estação chuvosa do ano do período de 1977 a 2009.	98

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	CLIMA E AMBIENTE URBANO	18
2.1	Clima e seus fatores de influência	18
2.2	Efeitos da urbanização sobre o clima	21
2.3	Influência das áreas verdes na formação do clima urbano	26
2.4	Temperatura da superfície a partir de imagem de satélite	31
3	METODOLOGIA	33
3.1	Localização e características básicas da área de estudo	33
3.2	Procedimentos e aquisição das informações	35
3.2.1	Urbanização e vegetação	35
3.2.2	Campo térmico da superfície do solo	36
3.2.3	Dados meteorológicos	37
3.2.3.1	Escolha da fonte de informações	38
3.2.3.2	Limitações das informações	39
3.3	Análise estatística dos dados meteorológicos.....	39
4	MUDANÇAS AMBIENTAIS NA CIDADE DE TERESINA ..DECORRENTES DA EVOLUÇÃO URBANA	45
4.1	População e urbanização de Teresina	45
4.2	Arborização em Teresina	50
4.3	Campo térmico da superfície de Teresina - PI	58
5	ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM TERESINA	64
5.1	Temperatura média do ar anual	64
5.1.1	Temperatura média do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009	68

5.2	Temperatura máxima do ar anual.....	70
5.2.1	Temperatura máxima do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009	72
5.3	Temperatura mínima do ar anual	74
5.3.1	Temperatura mínima do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009	76
5.3.2	Comparação das temperaturas do ar (máxima, mínima e média) entre o período chuvoso (jan-fev-mar-abr-maio) e o período seco (set-out-nov-dez).	79
5.4	Umidade relativa do ar anual	82
5.4.1	Umidade relativa do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009	85
5.5	Precipitação pluviométrica anual.....	88
5.5.1	Precipitação pluviométrica mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009.	91
5.6	Análise da tendência climática de Teresina – PI a partir do teste de Mann-Kendall	93
6	CONCLUSÃO	99
	REFERÊNCIAS	100
	APÊNDICES	107

LISTA DE SIGLAS

AGRITEMPO	Sistema de Monitoramento Agrometeorológico
B-R-O-BRÓ	Periodo compreendido pelos meses com nomes terminados pela sílaba “bro” (setembro-outubro-novembro-dezembro)
CEPAGRI	Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GOES	Geostationary Satellite Server
IAV	Índice de Áreas Verdes
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INFRAERO	Empresa Brasileira de Infra-estrutura Aeroportuária
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
LANDSAT	Land Remote Sensing Satellite (Satélite de Sensoriamento Remoto)
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration (Agência Nacional Oceânica e Atmosférica)
OMM	Organização Meteorológica Mundial
PMT	Prefeitura Municipal de Teresina
Pp	Precipitação pluviométrica
SEMAR	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, PI
SEMPPLAN	Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação
SPRING	Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas
SPSS	Statistical Package for the Social Sciences (Pacote Estatístico para as Ciências Sociais)
Tmax	Temperatura máxima
Tmed	Temperatura média
TMG	Tempo Médio de Greenwich
Tmin	Temperatura mínima
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
Ur	Umidade relativa do ar
WMO	World Meteorological Organization
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

RESUMO

A urbanização é um fenômeno decorrente do crescimento populacional que acarreta, por meio de diferentes formas de uso do solo, mudanças no ambiente representadas, especialmente, pela supressão da vegetação, gerando fatores que alteram o comportamento dos elementos meteorológicos e modificam o clima. Teresina, nas últimas três décadas, passou por transformações no seu espaço físico, com o elevado crescimento demográfico entre 1970 e 2009, resultando em expansão de áreas construídas em detrimento das áreas verdes. O objetivo geral deste trabalho é analisar as alterações na temperatura média do ar, temperatura mínima do ar, temperatura máxima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica ocorridas na dinâmica espacial e temporal do clima provocadas pela expansão urbana e supressão da vegetação entre 1977 e 2009. Os objetivos específicos são identificar o nível de urbanização e as áreas arborizadas, relacionando-as com a tendência dos elementos meteorológicos, nos períodos de 1977 a 1991 e de 1992 a 2009. Foi utilizada a técnica de sensoriamento remoto para quantificar a vegetação e área urbanizada e estimar a temperatura da superfície do solo, por meio da composição do campo termal da superfície. Para validação dos resultados, os dados meteorológicos foram submetidos à análise estatística (teste “t”, ANOVA, teste de Mann-Kendall). Os resultados indicaram temperaturas anuais abaixo da média em 1985, sendo 1983 e 1998, os anos mais quentes da série. Maiores aumentos foram observados de agosto a novembro, tendo outubro como o mês que apresenta maior média de temperatura do ar. De 1992 a 2009, quando a cidade já havia perdido parte da vegetação, a temperatura média do ar e a temperatura mínima do ar apresentaram-se mais elevadas que o período de 1977 a 1991, não sendo verificada mudança no comportamento da temperatura máxima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. O aumento da temperatura mínima do ar pode estar relacionado com evolução urbana e redução de áreas verdes, e contribui para o aumento da temperatura média do ar.

Palavras-chave: Vegetação. Elementos meteorológicos. Campo termal. Clima.

ABSTRACT

Urbanization is a phenomenon due to population growth that leads, through different forms of land use, changes in the environment, represented especially by the removal of vegetation, producing factors that alter the behavior of meteorological elements and change the climate. Teresina, the last three decades, has undergone transformations in their physical space, with high population growth between 1970 and 2009, resulting in expansion of built-up areas to the detriment of green areas. The general objective of this study is to examine the changes in the average air temperature, minimum temperature, maximum air temperature, relative humidity and rainfall occurred in the spatial and temporal dynamics of the climate caused by urban expansion and removal of vegetation between 1977 and 2009. The specific objectives are to identify the level of urbanization and wooded areas, linking them with the trend of the meteorological elements in the periods 1977 to 1991 and from 1992 to 2009. It was used the technique of remote sensing to quantify vegetation and urban area and estimate the temperature of the soil surface, through the composition of the surface thermal field. To validate the results, meteorological data were subjected to statistical analysis (t test, ANOVA, Mann-Kendall). The results showed low average of annual temperatures in 1985 with the years 1983 and 1998 as the warmest in the series. The biggest increases were observed from August to November, with October as the month that has a higher average air temperature. From 1992 to 2009, when the city had lost part of the vegetation, the average and minimum temperatures of air were more elevated than the period from 1977 to 1991, and was not verified a change in the behavior of maximum air temperature, neither in the relative humidity and nor the rainfall. The increase in minimum air temperature can be related to urban development and reduction of green areas, and contributes to the increase in average air temperature.

Keywords: Vegetation. Meteorological elements. Thermal field. Climate.

1 INTRODUÇÃO

As transformações decorrentes do processo de crescimento da população e da expansão urbana causam impactos no ambiente e são intensificadas pelas constantes mudanças do espaço, gerando um desequilíbrio na natureza e nas interações atmosfera-Terra. O novo espaço construído, e constantemente modificado pelas diferentes formas de ocupação do solo, altera os elementos meteorológicos, formando diferentes microclimas. Esses desequilíbrios são causados pela impermeabilização do solo, pelos materiais condutores de energia térmica utilizados no meio urbano, pela poluição do ar, pelo aumento das edificações e, principalmente, pela redução da vegetação.

Estudos voltados para o clima urbano remontam a várias décadas, tendo sido intensificados, principalmente nesta última, quando os desequilíbrios no ambiente, cada vez mais presentes nas cidades, podem, de acordo com as dimensões e intensidade, modificá-lo tanto no nível local, quanto no global. As mudanças climáticas nos dias atuais configuraram-se como uma questão discutida no mundo inteiro, entre os mais diversos setores da sociedade civil, política e econômica, não se restringindo às iniciativas de instituições de pesquisas.

A evolução urbana contribui para a formação de microclimas, que pode integrar o processo cíclico do aquecimento global refletido no planeta. Eventos decorrentes de condições meteorológicas, como tempestades, secas, alagamentos e deslizamentos vêm acontecendo com mais frequência e maior variabilidade espacial e temporal. As temperaturas também vêm, nos últimos anos, registrando maiores médias. Um dos fatores que contribuem para a ocorrência de eventos extremos pode ser atribuído à elevada taxa de urbanização, cujos impactos gerados devem-se à falta de planejamento das cidades, permitindo que a ação antropogênica aja sobre o espaço e cause danos significativos ou até irreparáveis.

A urbanização em Teresina – PI, intensificada nos anos 1990, se expandiu por todas as zonas distritais e provocando modificações em suas superfícies pela supressão crescente da vegetação, nas duas últimas décadas. A partir de então, o comportamento dos elementos climáticos foi alterado, passando a população a sentir os efeitos principalmente na temperatura do ar, cujo aumento repercute em maior calor na cidade.

Diante da carência de trabalhos sobre variações no clima de Teresina e sua relação com a vegetação, buscou-se uma resposta que justifique essas alterações, através da quantificação do total de áreas verdes na cidade e da análise de alguns elementos meteorológicos mais expressivos no processo de alteração climática e que mantêm relação com a vegetação.

Teve-se, assim, como objetivo geral desse estudo, verificar a tendência climática de Teresina - PI, no período de 1977 a 2009, relacionada à urbanização e à supressão da vegetação. Os objetivos específicos foram identificar o nível de urbanização representado pelas áreas construídas e índice de vegetação nos períodos de 1977 a 1991 representado por uma população de 599.272 habitantes, e de 1992 a 2009 quando já atingia 802.537 habitantes. Os dados dos elementos meteorológicos obedeceram ao mesmo recorte temporal e a fragmentação em dois períodos permitiu observar o comportamento do clima posterior à intensificação do processo de urbanização da cidade de Teresina – PI.

Teresina ainda possui razoável índice de áreas verdes, se comparada a muitas cidades brasileiras. Entretanto, como detém altas temperaturas, é necessária a compreensão da dinâmica da cidade e da atmosfera, de forma a serem aplicadas, pelo poder público, normas de gestão cidadina que possibilitem a ação integrada de prevenção e orientação sobre o uso do espaço urbano, levando-se em consideração os princípios da climatologia urbana.

2 CLIMA E AMBIENTE URBANO

Alterações que ocorrem no clima urbano podem gerar problemas nos sistemas ecológicos naturais e nos sistemas socioeconômicos, por atingirem diretamente a qualidade de vida nas cidades. Partindo dessa premissa, é importante o estudo da influência da urbanização no clima das cidades, de forma a viabilizar planejamentos futuros, evitando-se, assim, problemas a seus habitantes.

A seção seguinte trata de alguns trabalhos com essa temática, apresentando fatores que podem determinar o clima, revelando como a urbanização pode influenciá-lo, a partir da supressão da cobertura vegetal da cidade. Expõe-se, ainda, sobre a técnica de sensoriamento remoto para a obtenção do campo térmico da temperatura da superfície do solo.

2.1 Clima e seus fatores de influência

As condições atmosféricas caracterizadas pela sequência habitual de estados representados pelos elementos meteorológicos (temperatura do ar, ventos, pressão atmosférica, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, entre outros) em determinado local da superfície terrestre, conforme Monteiro (1976), Landsberg (1981) e Sorre (2006), é que formam o clima desse lugar. Essas condições para serem consideradas clima, devem, de acordo com WMO (2009), manifestarem-se em ocorrências sucessivas e conservarem as mesmas características, por um tempo mínimo de 30 anos.

Apesar de relacionados entre si por ocorrências e comportamento de alguns elementos meteorológicos, tempo e clima são fenômenos que representam situações diferentes. Segundo Sorre (2006) e WMO (2009), tempo é definido como aquilo que está acontecendo na atmosfera de forma instantânea, lenta ou rápida, num determinado local. É o conjunto de condições atmosféricas e fenômenos meteorológicos que afetam a biosfera e a superfície terrestre em um dado momento e local, enquanto clima é a junção dos tipos de tempo que ocorrem em uma determinada região, tornando-lhe característica.

Mascaró (1996) define macroclima ou clima em larga escala como aquele que descreve as características gerais de uma região, como insolação, nebulosidade, precipitações, temperatura, umidade e ventos. Mesoclima é uma derivação do macroclima, provocada pela topografia local, como vales, montanhas, grandes massas de água, vegetação. Microclima é aquele modificado pela ação humana sobre o seu entorno. As alterações entre climas de um local estão relacionadas com particularidades do local, tendo ainda a contribuição dos

resultados de práticas humanas capazes de gerar novos climas, cujas características variam entre bairros, entre ruas e até entre residências vizinhas.

O clima inicial de determinada área é formado por fatores e elementos meteorológicos. Os fatores meteorológicos representam todas as circunstâncias com influência sobre os elementos meteorológicos, podendo modificar-lhe o comportamento. Dentre os fatores podem ser citados relevo, radiação solar, latitude, longitude, altitude, revestimento do solo e sua topografia, maritimidade-continentalidade, vegetação e atividades humanas. Elementos meteorológicos são os atributos constitutivos do clima de qualquer porção da superfície do planeta representados, dentre outros, pela temperatura, pressão atmosférica, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica e evaporação (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Tubelis e Nascimento (1992), Varejão-Silva (2001) e Ayoade (2006), Barbirato, Souza e Torres (2007) destacam a importância dos elementos meteorológicos na definição do clima de um local ou de uma região, afirmando que o sistema climático é cíclico, com cada elemento meteorológico influenciando outro. A altitude, que corresponde à elevação de um ponto acima do nível médio do mar, também exerce influência sobre a temperatura, pois à medida que aumenta, o ar torna-se mais rarefeito e mais frio.

A heterogeneidade da superfície terrestre faz com que ocorram diferenças no balanço de radiação, gerando, também, diferenças de pressões atmosféricas, o que permite um contínuo movimento das massas de ar, que são grandes porções da atmosfera que se movimentam por milhares de quilômetros. Essas massas apresentam uma distribuição vertical com características de umidade e temperatura semelhantes à região de origem, mas que, ao se movimentarem, adquirem características do local de passagem (VAREJÃO-SILVA, 2001), ou ainda, quando em contato com a superfície ou com outras massas de ar, interagem entre si, alterando as condições meteorológicas que, segundo a predominância de características, definem o clima local (VIANELLO; ALVES, 1991, TUBELIS; NASCIMENTO, 1992).

O Brasil, pela extensão territorial, formas de relevo e localização geográfica, possui vários tipos de clima. Como a maior parte do território encontra-se na região tropical, prevalecem os climas quentes e de baixa amplitude térmica (diferença entre a temperatura máxima e mínima), cujas médias de temperatura do ar são superiores a 18,0 °C. As diferenças sazonais são marcadas pelo regime de chuvas onde o inverno é seco e o verão chuvoso (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992).

Todos os fatores e elementos meteorológicos estão intrinsecamente relacionados, determinando as condições climáticas de uma região. A radiação emitida pelo Sol sob a forma

de ondas curtas é parcialmente absorvida pela atmosfera terrestre, sendo outra parte da radiação reemitida para o espaço na forma de ondas longas, o que provoca um aumento da temperatura do ar. A radiação solar diminui com o aumento da latitude e com as diferenças nas formas de aquecimento, devido ao relevo e cobertura da superfície, sendo, nos trópicos, registrados os maiores valores de temperatura (BARBIRATO; SOUZA; TORRES, 2007).

Apesar de na região dos trópicos haver certa uniformidade térmica, a altitude é um fator de influência sobre a temperatura nessa região. Para Ayoade (2006), a temperatura do ar diminui com a altitude em torno de 0,6 °C, a cada 100 metros, e os ventos predominantes podem transportar ou transmitir calor de uma área para outra. Extensas superfícies de água, principalmente os oceanos, se aquecem e se resfriam de forma mais lenta, resultando em menor amplitude térmica e maior índice de umidade do ar.

A umidade relativa do ar é um elemento meteorológico importante na composição do clima por estar diretamente relacionada com a atmosfera, regendo as condições em um dado momento e lugar. Para Tubelis e Nascimento (1992), essa umidade corresponde à água na forma de vapor que existe numa determinada parcela da atmosfera. As fontes de vapor d'água são as superfícies do solo, de gelo, de água e de neve, com parte do balanço de radiação que chega à superfície terrestre sendo utilizada na sua evaporação, sob forma de vapor, que alcança a atmosfera e geralmente aumenta com a temperatura. Mas, mesmo em condições de balanço de radiação negativo, ocorre evaporação.

No período seco, quando a temperatura do ar atinge valores muito altos e umidade relativa do ar muito baixa, sugerem-se cuidados com a saúde, haja vista que a umidade relativa do ar muito baixa causar problemas respiratórios, ressecamento de pele, sangramento do nariz, irritação dos olhos, dentre outros, sem mencionar o aumento do risco de incêndios (CEPAGRI, 2010).

Os ventos transportam massas de ar oceânicas ou continentais, cujos contrastes entre elas contribuem para diminuir as variações térmicas, aumentar a umidade relativa do ar, formar brisas e alterar o sistema pluviométrico. Aliadas a esses parâmetros, que determinam as condições que regem o clima, estão a topografia do terreno e o revestimento do solo, que também exercem influência na formação de microclimas. Isso acontece, segundo Tubelis e Nascimento (1992) e Varejão-Silva (2001), porque os ventos desempenham importante papel sobre a temperatura, pois tornam o aquecimento da atmosfera menos diferenciado entre as regiões.

A precipitação pluviométrica é o elemento meteorológico de grande relevância na vida de todos os seres do planeta pelo fato de responder pelo abastecimento dos recursos hídricos e pela alimentação das populações. No Nordeste do Brasil, o principal sistema atmosférico responsável pelas chuvas é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), na região do Equador, que ao deslocar-se traz umidade do litoral e provoca chuvas de verão na região (VIANELO; ALVES, 1991, TUBELIS; NASCIMENTO, 1992, VAREJÃO-SILVA, 2001, AYOADE, 2006). Já as chuvas no interior da região Nordeste, que ocorrem em geral por períodos curtos, são causadas por sistemas transientes de incursão de frentes frias que atuam na Bahia e cujos vestígios podem atingir o sul do Piauí (KOUSKY, 1979).

Varejão-Silva (2001) define a ZCIT como uma faixa de encontro dos ventos advindos da região Leste (ventos de nordeste e ventos de sudeste) que oscilam um pouco para Sul ou para Norte do equador terrestre, trazendo nebulosidade, calor e umidade. Neste setor, a atmosfera é muito instável, o que favorece a formação de correntes ascendentes e de nuvens convectivas que provocam precipitações torrenciais e abundantes, acompanhadas de relâmpagos e trovões. Sua posição predominante oscila entre 5° N e 10° N de latitude, e sua espessura média é de 3 a 5 graus o que equivale a uma faixa de 334,0 a 556,6 km.

Para um melhor entendimento do comportamento do clima em Teresina - PI a partir do processo de urbanização, a secção seguinte discutirá o assunto apresentando alguns efeitos desse processo desde o crescimento da população.

2.2 Efeitos da urbanização sobre o clima

A urbanização é um fenômeno que impacta o meio ambiente, em especial as condições climáticas, quando as superfícies do solo são substituídas por diferentes formas de ocupação do solo, alterando as condições naturais do ambiente local. Existem vários estudos, como os de Monteiro (1976), Landsberg (1981), Mascaró (1996), Romero (2001), Sorre (2006), e Barbirato, Souza e Torres (2007), que abordam a questão do clima urbano e constatam que a urbanização e as atividades antropogênicas consequentes desse processo, respondem pela formação de microclimas na cidade.

O aumento da população acontece na proporção do crescimento de áreas edificadas para atender a demanda básica do contingente de pessoas introduzidas em espaços reservados para habitação, comércio, serviços e indústrias. Esse fato vem acontecendo principalmente a partir do século XX, quando os resultados das atividades industriais e antropogênicas atuaram

na atmosfera, provocando modificações no padrão natural do ambiente e nos elementos meteorológicos.

Dos vários estudos relacionados às alterações no clima decorrentes da urbanização, pode se citar Monteiro (1976), que no final dos anos 1970, ao estudar o clima das cidades, concluiu ser o excesso de atividades humanas responsável pela organização do espaço na Terra e pela modificação do ambiente natural, podendo formar um novo clima - o clima urbano. O autor propõe que sejam observados, nos estudos sobre clima, os efeitos antropogênicos.

Pesquisas envolvendo essa temática também foram desenvolvidas por Landsberg (1981), Mascaró (1996), Romero (2001) e Sorre (2006) que têm demonstrado que o clima está intrinsecamente relacionado com os setores econômicos e sociais de uma sociedade, refletindo na qualidade de vida de populações citadinas. Defendem que a urbanização, por meio de ações humanas, provoca alterações no comportamento de alguns elementos meteorológicos, como confirmaram os diversos estudos sobre o tema.

Dentre as diversas transformações ocorridas no espaço urbano pode-se citar a supressão da cobertura vegetal, um dos fatores que contribui para alterar o clima da cidade, por meio de mudanças nos seus elementos meteorológicos. Landsberg (1981), ao discutir as mudanças climáticas causadas pela urbanização, atribui à própria cidade uma das responsabilidades pelo aquecimento, já que se produz calor, metabolismo da massa dos seres humanos e dos animais, adicionado ao liberado pelas atividades urbanas domésticas e industriais e pela combustão de milhares de veículos motorizados. Mas, para o autor, a principal causa advém da substituição da vegetação por construções, que contribui para diminuir a umidade relativa do ar, devido à drenagem ou impermeabilização de áreas úmidas. Os obstáculos criados pela urbanização também modificam a velocidade e direção dos ventos.

A particularidade do microclima de uma cidade deve-se, principalmente, aos materiais que formam a superfície urbana, que, de acordo com Romero (2001), são diferentes das superfícies não construídas. Nas áreas densamente construídas, os materiais possuem maior capacidade térmica e são melhores condutores térmicos dessa forma de energia, tornando as cidades mais quentes que as áreas do entorno. Um relevo acidentado pode funcionar como barreira, modificando a orientação da ventilação e as condições de umidade e de temperatura do ar em escala regional.

A diversidade de revestimentos do solo, como água, cobertura vegetal dentre outros, utilizados no meio urbano, também pode modificar o clima de uma cidade. A cobertura

vegetal tem capacidade de atenuar a temperatura do ar, diminuir a amplitude térmica e aumentar a umidade relativa do ar. Durante o dia, um solo com baixa umidade absorve rapidamente o calor, liberando-o à noite, o que determina uma alta amplitude térmica. Dependendo do material de revestimento do solo e do seu poder de absorção e refletividade, diferentes microclimas podem ser formados (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992; VAREJÃO-SILVA, 2001; AYOADE, 2006).

Uma das causas da formação de ilhas de calor na cidade, para Oke (1987), são as mudanças dos fluxos de energia solar que chegam à superfície do solo através de processos físicos, alterando alguns elementos meteorológicos, em especial as temperaturas da superfície e do ar. Segundo o autor, maior aquecimento ocorre durante o dia, devido à capacidade térmica de absorção dos materiais de construção usados na cidade, que devolve parte da radiação recebida para a atmosfera. Outros fatores que contribuem para a formação de ilhas de calor são o aumento das áreas impermeabilizadas e redução da vegetação.

Lombardo (1985) atribui ao meio urbano, mudanças que ocorrem no clima, pois se observa que a camada de ar mais próxima do solo é mais aquecida na cidade que na zona rural, além do que na cidade a direção e velocidade dos ventos se alteram pelo efeito causado pelas construções, como a rugosidade das superfícies modificadas. Verificou-se na cidade de São Paulo, num dia de ventos calmos e tempo estável, diferença superior a 10,0 °C entre o centro urbano e a área rural, o que a autora atribuiu à formação de uma ilha de calor, cuja intensidade e características variam de acordo com a dimensão da malha urbanizada e das várias formas de uso e ocupação do solo.

A autora demonstrou ainda que a temperatura do ar na cidade é diretamente relacionada com o uso do solo e o tipo de material utilizado nas construções. Temperaturas mais altas foram verificadas em áreas de maior crescimento vertical, de alta densidade demográfica e pouca quantidade de vegetação, enquanto regiões com mais espaços livres, maior quantidade de vegetação e mais próximas a reservatórios de água possuem temperaturas mais amenas.

Admite-se que espaços construídos interferem no clima de uma região quando alguns elementos meteorológicos sofrem transformações condicionadas às novas formas espaciais impostas pela urbanização. Na verdade, prédios e edifícios tornam a superfície dotada de maior rugosidade, o que modifica o comportamento dos ventos como sugerem Monteiro (1976), Landsberg (1981), Mascaró (1996), Romero (2001), Sorre (2006), e Barbirato, Souza e Torres (2007) e outros já relacionados.

Os termos mudança climática e variabilidade climática, apesar de inter-relacionados, referem-se a conceitos diferentes. Tucci (2002), Santos (2006) e Tavares (2007) definem mudança climática como as alterações do comportamento normal do clima que ocorrem em grande espaço de tempo, devidas a causas naturais, diferentemente da definição de variabilidade climática, que são oscilações nos parâmetros meteorológicos que, em interação, formam um clima. Para os autores, a variabilidade climática são alterações no clima em um período inferior a uma década, podendo retornar após o fim do evento, às condições anteriores. Já na mudança climática o clima passa a apresentar as novas características adquiridas.

O IPCC (2001) define mudanças climáticas como sendo as mudanças temporais devidas à variabilidade natural e a atividades humanas. As variabilidades que ocorrem no clima, acrescidas ou não das ações humanas, podem se constituir em mudanças climáticas.

Devido à complexidade do sistema que rege as condições climáticas e a relação Terra-atmosfera, não é fácil identificar quando os efeitos na variação do clima são de ordem natural ou se provocados pelas atividades do homem. Entretanto, Xavier *et al.* (2008), ao fazerem conexão do clima urbano com o aquecimento global, argumentam ser difícil identificar a própria cidade como responsável pelo seu aquecimento ou se a elevação advém do aquecimento global. Para os autores, se a cidade é responsável pela emissão de gases e aerossóis poluentes, é provável que a população dos centros urbanos esteja contribuindo para o aquecimento global.

Considerando-se as definições de variabilidade climática e mudança climática atribuídas por Tucci (2002), Santos (2006), Tavares (2007) e IPCC (2001), é perceptível para a população o aquecimento de Teresina nos últimos 30 anos. Não se sabe se a temperatura do ar em Teresina contribui para o aquecimento global ou se o aquecimento da Terra nos últimos está tornando a cidade está mais quente, mas existe uma certeza que é a necessidade de prevenção diante do cenário de incertezas.

A retirada da vegetação, quando realizada para atender ao crescimento de uma cidade, também é fator responsável pela formação do clima urbano e ilhas de calor. O termo ilha de calor significa, para Coltri *et al.* (2007), uma diferença térmica em que a temperatura do ar urbano é superior à da vizinhança ou da periferia, podendo variar temporal e sazonalmente.

O crescente processo de urbanização verificado nas cidades, principalmente nas capitais, vem contribuindo para as alterações climáticas observadas, em especial em áreas pouco arborizadas e com maior densidade de construções. Veríssimo e Mendonça (2004)

verificaram, em Curitiba, alterações no comportamento dos elementos meteorológicos nas áreas de maior concentração de edificações, indústrias, fluxos de veículos e pessoas, onde a temperatura tende a ser mais elevada.

Segundo os autores, o acúmulo de atividades humanas em centros urbanos gera uma “ilha de calor” cujas temperaturas se apresentam mais amenas em direção à periferia. Dentre os fatores urbanos com influência sobre o clima, a supressão de áreas verdes é a que tem maior participação no processo de alterações do comportamento dos elementos meteorológicos.

Nem sempre resultados das pesquisas são unânimes para todos os lugares, como observaram Moura, Zanella e Sales (2008), em estudo sobre o clima urbano em Fortaleza – CE. No estudo, os autores observaram que o fluxo de veículos e de pessoas exerce pouco influencia no microclima da cidade, já que bairros caracterizados por essas atividades apresentaram temperatura do ar mais baixa e maior taxa de umidade relativa do ar, quando comparados a outros. Entretanto, encontraram que as ilhas de calor em Fortaleza ocorreram principalmente no período diurno, concentradas na porção central da cidade, onde há maior massa edificada, porém, sem verticalização, mas, com intensa expansão urbana.

Diferenças entre resultados de pesquisas nessa temática enfatizam sobre a importância da observação das condições que estão inter relacionados, não se restringindo tão somente a fatores isolados.

Barbirato, Souza e Torres (2007) em estudo sobre o clima de Maceió - AL, verificaram que a umidade relativa do ar, a precipitação pluviométrica, a insolação, a radiação solar, os ventos e, em especial, a temperatura do ar sofrem influência do meio urbano. Constataram que a temperatura do ar na cidade é maior que no meio rural, com diferença anual de 0,5 °C a 3,0 °C.

Sobre os ventos, os autores afirmam que o movimento do ar também se altera com o processo de urbanização, sendo mais fracos em centros urbanos que na periferia. Próximo ao solo, os ventos são também mais fracos e aumentam a velocidade com a altura. A redução da umidade relativa do ar em áreas urbanas pode, por sua vez, ser contornada por estratégias de uso de processos que insiram água e vegetação em ambientes urbanos.

O teste de Mann-Kendall vem sendo utilizado em diversos estudos científicos para identificar tendências se séries temporais de elementos meteorológicos, como os de Back (2001), Blain, Picoli e Lulu (2009), Furlan (2009), Rodrigues et al (2010), e Silva et al. (2010), entre outros.

Blain, Picoli e Lulu (2009) analisaram o comportamento da temperatura mínima em três cidades de grande porte e três de pequeno, em São Paulo, localizadas em coordenadas geográficas próximas e altitudes semelhantes, com a intenção de minimizarem o efeito de diferentes causas de larga escala. Observaram aumento de temperatura mínima do ar em três, das seis cidades, o que os levou à conclusão de que fatores de ordem local devem ser revistos antes de investigações em escala global. Em Piracicaba, selecionada como de grande porte, não foi verificado aumento de temperatura mínima do ar, talvez pelo fato de o vale do rio Piracicaba, de acordo com os autores, contribuir para acumular ar frio na região.

Rodrigues *et al* (2010) identificaram em Viçosa - MG, ao longo da série 1968 a 2008, tendência de aumento de temperatura mínima do ar, o que atribuíram ao aumento da população.

As pesquisas citadas conduzem ao entendimento de que o aumento de temperatura mínima do ar ao longo dos anos deve-se, principalmente, ao processo de urbanização, salvo, alguns casos em que alguns parâmetros sobrepõem-se, resultando em comportamentos diferentes do esperado.

2.3 Influência das áreas verdes na formação do clima urbano

O uso de áreas verdes em espaços urbanos remonta à antiguidade, com início, segundo Loboda e De Angelis (2005), com a arte de jardinocultura, surgida pela primeira vez no Egito e na China. Os jardins do Egito expandiram-se, ampliando-se o sistema de irrigação utilizado na agricultura, cuja função principal era amenizar o calor das residências. A China, com seus jardins naturalistas destaca-se pelos significados religiosos, inserindo neles elementos relacionados à natureza. Exerce forte influência sobre os japoneses, que adotam o estilo da corte chinesa.

Cavalheiro *et. al* (1999) conceituam áreas verdes como espaços livres onde o elemento fundamental de composição é a vegetação, tendo no mínimo 70,0% em solo permeável (sem laje) e função ecológico-ambiental, estética e de lazer. Outros autores, como Lima *et al* (1994), Troppmair e Galina (2003), Rosset (2005) e Mazzei *et al* (2007), discorrem sobre as mais diversas conceituações de áreas verdes, sem ainda uma definição consensual.

No Brasil, as primeiras manifestações que refletem a arborização como parâmetro relevante na melhoria de ambientes e na amenização de altas temperaturas aconteceram ainda no século XVII, em Pernambuco, por iniciativa do príncipe Maurício de Nassau, quando da invasão daquele estado pelos holandeses. Entretanto, mesmo antes da sua expulsão poucos

resultados existiam, restando somente grande quantidade de laranjeiras, tangerinas e limoeiros espalhados pelas regiões percorridas pelas comitivas da época da invasão (LOBODA; DE ANGELIS, 2005).

Apesar de iniciativas de se plantar árvores constituírem-se em práticas antigas, realizadas com a intenção de promoverem o sombreamento, no Brasil o início de pesquisas científicas sobre a influência da vegetação no clima das cidades se deu com Monteiro (1976). A partir de então, muitos pesquisadores vêm desenvolvendo estudos nessa linha, como Mascaró (1996), Romero (2001), Pereira *et al* (2006), Ritter, (2009) e WMO (2009), os quais comprovam a eficiência das áreas verdes para amenizar a temperatura do ar, que vem aumentando gradativamente com o crescimento da população e sua concentração nas zonas urbanas.

Dentre muitos autores com estudos sobre o clima urbano, Monteiro (1976), Conti (1982), Romero (2001), Ramos (2002), Landsberg (2006), Barbirato, Souza e Torres (2007) e Viana e Amorim (2008) defendem que o crescimento da população é um indicador importante para a climatologia urbana, haja vista a urbanização incidir em aumento do número de edificações e maior impermeabilização do solo, refletância das superfícies e elevação do seu albedo. Destacam, ainda, que a redução de áreas verdes influencia os regimes térmicos e hídricos da cidade. Aliados a esses fatores, surgem outros, decorrentes de ações e atividades antrópicas, que podem alterar o ritmo normal da atmosfera e dos elementos meteorológicos.

A vegetação pode proporcionar vantagens ao ambiente urbano, ornamentando-o, fornecendo sombra e reduzindo o consumo de energia nos períodos quentes. Possui relação com microclimas urbanos, controlando a radiação solar, a temperatura do ar, a umidade relativa do ar e a ação dos ventos e das chuvas. Para Mascaró (1996), as vantagens fornecidas ao clima urbano, pelas áreas verdes, dependem do tipo de vegetação e de seu porte, idade e período do ano.

Mesmo se enfatizando o controle de um determinado elemento meteorológico, todos os outros sofrem influência das áreas verdes. Mascaró (1996), em estudo realizado em Porto Alegre – RS destaca a importância da cobertura vegetal na temperatura do ar, sublinhando que, ao controlar a radiação solar, o vento e a umidade relativa do ar, a temperatura poderá ser amenizada, pois é em áreas expostas à radiação solar, de 3,0 °C a 4,0 °C maior que entre agrupamentos arbóreos. Como a umidade relativa do ar se relaciona intrinsecamente com a temperatura do ar e também é dependente da cobertura do solo, em áreas arborizadas, tal

umidade é maior entre 3,0 % e 10,0 % que em áreas sem, ou com pouca vegetação. Essas amplitudes se revelam maiores em períodos secos.

Nas cidades, a redução de áreas verdes e as superfícies modificadas do solo com elevada condutividade térmica absorvem maior quantidade de radiação solar, a ponto de, no cômputo final, gerar diferenças de temperatura superiores a 10,0 °C entre a cidade e campo. Na zona rural ou nas periferias das metrópoles, há mais água disponível para a evaporação por existir maior quantidade de vegetação e áreas permeáveis, ao contrário dos centros urbanos, onde as construções e ruas pavimentadas fazem escoar a água, que poderia ser infiltrada e servir como reserva natural para a evaporação (RITTER, 2009).

Ramos (2002), ao analisar as alterações no clima de Campina Grande – PB observou que o nível de arborização urbana em três décadas do período de 1971 a 2000 foi reduzido, sendo acrescidas novas formas de ocupação do solo. A superfície natural do solo, quando a vegetação foi substituída pela massa edificada, contribuiu, de acordo com a autora, para o aumento da temperatura do ar, principalmente na última década (1971 a 2000), o que foi atribuído ao incremento da população, que provocou mudanças no padrão urbanístico da cidade, caracterizado pela ocupação do solo e maior adensamento nas áreas centrais. Da mesma forma, de acordo com o autor, a umidade relativa do ar para o mesmo período esteve também menor, principalmente na última década.

A arborização é parâmetro importante na promoção de conforto e melhor qualidade de vida principalmente no meio urbano, cujas construções passam a agredir as paisagens, modificando o clima da cidade. Dantas e Souza (2004) encontraram deficiência de arborização em Campina Grande – PB, que obteve somente 0,08 árvore por habitante, sem contabilizar as árvores de quintais e jardins de residências. Segundo eles, ainda que o número de árvores duplicasse, estaria muito longe do recomendado pela Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (UNESCO), que é de duas árvores por habitante ou 12,0 m² de área verde por habitante. Ressalte-se, entretanto, que essa recomendação é controversa entre pesquisadores.

O planejamento da arborização numa cidade é necessário para o desenvolvimento urbano, de forma a evitar prejuízos ao meio ambiente, haja vista ser fator determinante na qualidade ambiental por possuir influência direta no clima, no conforto e bem-estar humano. Faz-se necessário, portanto, que ações humanas sejam planejadas, a fim de minimizar os efeitos nocivos ao meio ambiente. Para Dantas e Souza (2004), são várias as funções da

arborização, destacando-se, em cidades quentes, o fato de as áreas verdes possuírem a capacidade de atenuar as altas temperaturas e aumentar a umidade relativa do ar.

Souza Júnior (2006) também verificou em Campina Grande - PB, no período considerado em sua pesquisa como pós-urbanização, uma tendência de aumento na temperatura do ar (média, máxima, e mínima). A umidade relativa do ar apresentou-se menor no período pós-urbanizado e a precipitação pluviométrica teve comportamento indefinido. O autor concluiu que a urbanização provocou variabilidade significativa no clima da cidade, ao longo de 42 anos analisados.

Freitas e Dias (2004), em estudo sobre os efeitos da urbanização na formação de ilhas de calor, através de situações reais e simulações, onde áreas urbanizadas eram substituídas por um tipo de vegetação aberta, encontraram que os efeitos da urbanização somente eram sentidos em áreas relativamente grandes, mostrando a simulação que a área urbana apresentou-se 3,5 °C mais quente que as simuladamente vegetadas. Em áreas pequenas, esse efeito não foi observado, o que confirma que em cidades de pequeno porte, não há muita diferença de temperatura.

A vegetação possui a capacidade de originar ilhas de frescor, como evidenciado por Brandão (2003), que ao defender a necessidade de preservação de áreas verdes urbanas enfatiza o resultado de sua pesquisa na cidade do Rio de Janeiro, verificando que no Jardim Botânico e no Parque Passeio Público persistiam ilhas de frescor em quase todas as situações, ao contrário das áreas urbanizadas. Esse resultado reforça a conveniência de preservação de áreas verdes urbanas.

Velasco (2007) verificou em três pontos de medições na cidade de São Paulo, em áreas com pouca, média e muita vegetação, que a temperatura é maior nas menos vegetadas. Essa tendência, com exceção do horário de 7 h, em todos os outros (9 h, 14 h e 21 h) foi observada. O horário das 7 h não acompanhou a tendência de temperaturas mais elevadas pelo fato de a vegetação possuir a capacidade de reter onda longa emitida pelas superfícies, demorando mais tempo para se dissipar o calor e fazendo com que a temperatura do ar seja, nas primeiras horas da manhã, menor em áreas com menos vegetação.

A autora verificou situação semelhante em áreas com maior concentração de vegetação. Esse fato acontece porque durante a noite a vegetação, as áreas densamente construídas e as ruas pavimentadas armazenam maior quantidade de calor que as com menor quantidade de construções. No início da manhã, são verificadas elevações na temperatura do

ar, chegando a atingir valores próximos aos das 15 h, horário em que, nas três situações (pouca, média e muita arborização), foram observados valores maiores de temperatura do ar.

Uma vegetação rarefeita possui menor capacidade de absorção de calor, que se dissipa mais rapidamente, o que justifica o fato de, nas primeiras horas da manhã, a temperatura do ar ser nessas áreas, inferior à de áreas densamente vegetadas. Essa condição somente foi observada, segundo Velasco (2007), pela manhã, quando o calor foi dissipado mais rapidamente pela superfície da terra.

Existe certa uniformidade entre os pesquisadores citados neste estudo de que a vegetação é um parâmetro importante na geração e na identificação das anomalias dos elementos meteorológicos em ambientes construídos. Sobre isso, Viana e Amorim (2008), ao estudarem o clima da cidade paulista de Teodoro Sampaio, identificaram que a ocupação do solo, associada à vegetação, exerce papel relevante na formação de microclimas na sua zona urbana, gerando ilhas de calor e de frescor e ilhas úmidas e secas. Mudanças no clima das cidades, geralmente mais destacadas, são as ocorridas na temperatura do ar e na umidade relativa do ar dos centros urbanos e da zona rural. A partir dessa problemática, emerge a necessidade de estudos voltados para a análise da atmosfera urbana, como sugerem os autores.

A influência da urbanização na origem de ilhas de calor pode ser observada também em cidades de pequeno porte. Viana e Amorim (2008) concluíram que, apesar de Teodoro Sampaio possuir somente 16.000 habitantes, já apresenta características próprias decorrentes do uso e ocupação do solo, sendo identificadas ilhas de calor, ilhas de frescor, ilhas secas e ilhas úmidas, cujo comportamento dependia do horário, estação do ano, uso e ocupação do solo e das condições atmosféricas predominantes.

Os autores observaram que as ilhas de calor, apresentam, no verão, maiores valores no horário de maior devolução de radiação terrestre para a atmosfera, que se inicia às 9 h e se define às 15. Entre 7h e 21 h as ilhas de calor observadas foram nas áreas densamente construídas, independentemente de possuir pouca ou muita vegetação. No inverno, observaram que ilhas de calor de maior intensidade eram verificadas também às 15 h, apesar de os valores apresentados nos horários de 7h e 21 h terem sido semelhantes aos das 15 h.

Xavier et. al (2009), em estudo comparativo dos microclimas de três locais de Cuiabá - MT, com características diferentes, observaram que as menores temperaturas do ar foram verificadas na área com maior quantidade de vegetação, quando comparada às outras duas envolvidas na pesquisa, com pouca vegetação. Percebe-se, assim, que a arborização deve

tornar-se prática a ser desenvolvida pela população, para que sejam preservados o conforto térmico e a manutenção das condições climáticas naturais.

A temperatura da superfície do solo mantém relação com a temperatura do ar, cuja fundamentação é confirmada a partir da construção e estudo do campo térmico de determinadas áreas, a partir do geoprocessamento de imagens de satélites. Com o acelerado crescimento das cidades, a paisagem natural sofreu sérias perturbações, que vêm alterando o ambiente natural, sendo o retorno da vegetação nos centros urbanos de extrema relevância, pelos benefícios ecológicos que promove ao homem, dentre estes, destacando-se a manutenção do microclima.

2.4 Temperatura da superfície do solo a partir de imagem de satélite

Técnicas de sensoriamento remoto a partir de imagens de satélites vêm trazendo significativas contribuições às pesquisas destinadas à detecção de ilhas de calor ou ilhas de frescor urbanas e sua intensidade pela construção do campo termal da superfície do solo, o que permite uma correlação com a temperatura do ar. O procedimento consiste em transformar as bandas termais em temperatura aparente da superfície do solo, realizando-se medidas pelos dados do sensor infravermelho termal, que fornece, com auxílio de técnicas de sensoriamento remoto, a temperatura qualitativa da superfície do solo.

Em julho de 1977 foram observadas mais de 50 ilhas de calor urbanas no norte e centro-oeste dos Estados Unidos da América (EUA), mostrando diferenças de temperatura de 2,6 °C a 6,5 °C entre a zona urbana e a rural. Matson *et al* (1978) justificaram o fato como decorrente do crescente aumento da urbanização nas cidades observadas, a exemplo de St. Louis, Baltimore e Washington, D.C.

No Brasil, trabalhos como o de Lombardo (1985), voltados a estudos de ilhas de calor urbano foram realizados com a ajuda da técnica de sensoriamento remoto, utilizando imagens de satélites referentes à ocupação do solo e ao campo térmico da superfície do solo. Cunha, Rufino e Ideião (2009) pesquisaram a relação entre o aumento de temperatura da superfície do ar e o crescimento da cidade de Campina Grande - PB, tomando como base os produtos e técnicas do sensoriamento remoto e investigando as possíveis alterações no clima da região. Os resultados mostram que, ao longo do processo de ocupação da cidade, houve diminuição das áreas verdes, aumento espacial do domínio urbano, elevação da temperatura da superfície do solo e da do ar, mostrando-se maior, principalmente em 2007, quando comparadas com imagens de anos anteriores.

Coltri *et al* (2007) detectaram, por geoprocessamento de imagens do satélite, ilhas de calor em Piracicaba – SP, em estudo que concluiu ser, a quantidade de áreas verdes numa cidade, determinante para a intensidade da ilha de calor. Os autores classificam como áreas verdes todo e qualquer vegetal, inclusive grama e pasto, tanto dos bairros quanto da área rural.

A vegetação exerce influência sobre o clima local, minimizando os efeitos das altas temperaturas. Contudo, o tipo de vegetação atua de forma diferente, como observou Tarifa (1981), que verificou em São José dos Campos - SP, uma temperatura do ar na área urbanizada com menores valores que na área rural. Observou, ainda, que a diferença de temperatura do ar entre a área urbana e as com plantação de eucalipto foi de 1,7 °C, enquanto em relação a áreas cobertas por pasto ficou 2,9 °C.

É notório, pela gama de trabalhos nas cidades brasileiras, que a redução de áreas verdes oriunda da ocupação urbana está modificando o clima das cidades. Sugere-se, pois, que sejam implantadas ações que possam proporcionar melhor conforto à população.

Os diversos estudos citados permitiram um melhor embasamento sobre a temática desta pesquisa desenvolvida em Teresina-PI, onde se utilizou sensoriamento remoto para quantificar as áreas verdes existentes e verificar as alterações no clima da cidade.

3 METODOLOGIA

Para o estudo da relação da urbanização com o clima da cidade de Teresina, foi realizada uma análise do comportamento da temperatura do ar (média, mínima e máxima), umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, ao longo do período de 1977 a 2009, observando-se a interação desses elementos meteorológicos com a evolução demográfica do município e a supressão da vegetação. A análise foi realizada em dois períodos: de 1977 a 1991, quando Teresina possuía 599.272 habitantes (IBGE, 2000) e de 1992 a 2009, com uma população maior, quando se deu o final da pesquisa.

As seções seguintes indicam os procedimentos metodológicos utilizados na realização do estudo. Trata-se de informações básicas para o desenvolvimento da pesquisa, englobando a localização da cidade de Teresina, seguida das fontes informativas referentes à demografia, urbanização, vegetação, temperatura superficial do solo e dados meteorológicos.

3.1 Localização e características básicas da área de estudo

Teresina, capital do Piauí, está localizada na região Norte do estado, situado no Nordeste do Brasil. A sede do município tem coordenadas geográficas 05°05'' de latitude Sul e 42°48'' de longitude Oeste Possui altitude média de 74,4 m acima do nível médio do mar (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2008) e ocupa uma área territorial de 1.756 km² (IBGE, 2009a), com a inclusão de Nazária, com área de 171,0 km², ainda não confirmada oficialmente.

O clima de Teresina, pela classificação de Thornthwaite e Mather, configura-se como C₁s A'a'', caracterizado como subúmido seco, megatérmico, com excedente hídrico moderado no verão. No trimestre setembro-outubro-novembro, a concentração da evapotranspiração potencial é de 32,1% (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2008).

O Fluxograma 1 apresenta a localização da área de estudo correspondente ao perímetro urbano no município de Teresina – PI, no estado do Piauí, Brasil, próxima ao equador, visualizado no globo terrestre.



Fluxograma 1 – Localização do perímetro urbano de Teresina, no Estado do Piauí/Brasil/Mundo.
 Fonte: A autora (2010).

Teresina (PI) está situada à direita do rio Parnaíba, sendo também contornada pelo rio Poti. Limita-se ao Norte com os municípios de União - PI e José de Freitas – PI, ao Sul com Palmeirais – PI, Curalinhos - PI, Nazária - PI, Demerval Lobão - PI e Monsenhor Gil – PI, a Oeste com Timom – MA, e a Leste com os municípios Altos - PI, Lagoa do Piauí, Pau d’Arco do Piauí. A sede da Capital piauiense está dividida em cinco regionais administrativas: Centro, Norte, Sul, Leste e Sudeste. A paisagem natural é caracterizada por uma cobertura vegetal de médio porte, com babaçuais e carnaubais nativos que se estendem preferencialmente ao longo de vales e terrenos quaternários de maior fertilidade. O cerrado e o cerradão constituem a forma mais comum de vegetação (TERESINA, 2010b).

3.2 Procedimentos e aquisição das informações

Utilizou-se de informações de alguns indicadores do crescimento urbano resultantes do processo interativo entre população e ambiente, entre os quais se destacam o crescimento populacional, a expansão do sítio urbano e a quantidade de área verde representada pela vegetação existente no perímetro urbano da cidade de Teresina.

3.2.1 Urbanização e vegetação

Os dados referentes à população, de 1960 a 2009, foram fornecidos pelo IBGE. Escolheram-se fatores demográficos como contributivos na elevação dos elementos meteorológicos em Teresina, haja vista o crescimento populacional induzir a expansão urbana que, conseqüentemente, incide em práticas de consumo e de atividades diversas que alteram o clima local.

A evolução temporal do sítio urbano de Teresina, no período de 1850 a 2002 (TERESINA, 2010a), é mostrada em mapas representativos da expansão do perímetro urbano da cidade em diferentes intervalos de tempo, os quais foram desmembrados de um mapa produzido pelo *software* AutoCAD, fornecido pela Prefeitura Municipal de Teresina (PMT), através da Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação (SEMPPLAN).

A série temporal do mapa não obedece à mesma série de dados meteorológicos e dos populacionais pelo fato de ser este o último produzido pela instituição, mas permite observar o crescimento espacial da área urbanizada da cidade.

Para o mapeamento da cobertura vegetal do sítio urbano de Teresina, foram utilizadas imagens do satélite LANDSAT 5, por oferecer resolução espacial de 30 metros, a mais adequada para o período estudado, de acordo com as limitações das pesquisas e disponibilidade de imagens. Esse satélite possui sensores que cobrem as faixas do verde (banda 2), vermelho (banda 3) e infravermelho (banda 4), foram escolhidas essas bandas por serem as que melhor se definem para trabalhos relativos à cobertura vegetal (NOVO, 1992).

As duas imagens selecionadas e disponibilizadas pelo INPE (2010a), no catálogo eletrônico de sua página (www.inpe.br), estão inseridas na Órbita-ponto 219/064, em duas datas distintas, sendo uma no dia 14/8/1989 compreendida no primeiro período de estudo da pesquisa (1977 a 1991) e outra do dia de 09/11/2009, dentro do segundo período (1992 a 2009). As imagens passaram por tratamento de geoprocessamento e sensoriamento remoto, pelo *software* SPRING 4.3.3, para procedimentos de correção e ajustes, sendo em seguida

realizado um tratamento de realce e contraste, resultando numa imagem RGB¹, que permitiu o reconhecimento e classificação dos objetos homogêneos presentes na área de estudo. As técnicas utilizadas nesse aplicativo possibilitaram visualizar a extensão de área arborizada e área construída no sítio urbano.

Essa análise foi realizada a partir da comparação entre as duas imagens, identificando a dinâmica temporal e espacial de áreas verdes existentes no período 1977 a 1991 e no período 1992 a 2009 e determinar, quantitativamente, a área que representa o sítio urbano e área verde em cada período.

Como o que se pretendeu foi verificar variações no clima da cidade, não se adentrando muito às terminologias, os termos “áreas verdes”, “cobertura vegetal” e “arborização”, usados artigo, representam a vegetação visualizada nas imagens de satélite Landsat 5, utilizadas no trabalho. Utilizou-se, para o cálculo do Índice de Áreas Verdes (IAV), a fórmula adotada por Harder (2002), dada pela soma de todas as áreas verdes dividida pela população referente à área de estudo, cuja expressão é:

$$IAV = \text{Total de áreas verdes} / \text{População}$$

O fato de, neste estudo, áreas verdes serem representadas por toda vegetação identificada pelo satélite Landsat 5, não se restringindo, somente, a uma modalidade específica, pode resultar em diferente resultado do índice dessas áreas se comparado a outros calculados a partir de diferentes critérios de classificação.

3.2.2 Campo térmico da superfície do solo

Na identificação das diferenças de temperatura entre áreas urbanas e seu entorno, utilizaram-se informações de temperatura da superfície terrestre adquiridas a partir das imagens orbitais da região termal, banda 6 do satélite Landsat 5, as mesmas utilizadas para a classificação da ocupação do solo, também correspondentes aos mesmos períodos. A temperatura da superfície foi detectada de acordo com a sensibilidade aos contrastes térmicos apresentados pelas propriedades termais das superfícies (rochas, solos, vegetação, água, concreto, zinco, dentre outros) e apresentada em faixas térmicas. As imagens do campo

¹ RGB corresponde às iniciais das bandas cobertas pelos sensores do satélite Landsat-5. R (red), G (green) e B (black).

térmico do perímetro urbano de Teresina – PI foram transformadas em imagens termais pelo *software* IDRISI, com a refletância das superfícies convertida em temperatura.

Nesse processo, as bandas termais foram transformadas em temperatura aparente da superfície do solo, cujas medidas se obtêm através de sensor infravermelho termal, que fornece a temperatura da superfície da cidade, como fizeram Cunha, Rufino e Ideião (2009), em estudo realizado em Campina Grande – PB.

3.2.3 Dados meteorológicos

Para a análise dos elementos meteorológicos, utilizaram-se séries históricas (1977 a 2009) com dados de, temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, fornecidos pela Estação Meteorológica Convencional do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), sob a responsabilidade e operação da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa Meio-Norte), localizada na zona Norte da cidade de Teresina – PI.

Na Imagem 1 pode-se observar que a área onde a estação meteorológica cedente dos dados utilizados nessa pesquisa está localizada preserva expressivo índice de vegetação e afastada do centro urbano onde há concentração de edificações, o que pode de certa forma alterar os resultados do estudo.



Imagem 1 – Localização da Embrapa Meio-Norte e extensão de áreas verdes nas proximidades.
Fonte: GOOGLE EARTH (2010).

A análise dos elementos meteorológicos utilizando a série temporal 1977 a 2009 corresponde a 33 anos de observações meteorológicas diárias, diretamente realizadas na estação meteorológica, assim, de acordo com o mínimo de trinta anos recomendado pela OMM. A série de dados de cada elemento meteorológico foi dividida nos períodos de 1977 a 1991 que corresponde a uma época em que a população de Teresina era de 599.272 habitantes, e de 1992 a 2009 quando já atingia 802.537 habitantes (IBGE, 2009b) com uma área urbanizada mais concentrada e com maiores dimensões. Essa fragmentação na série temporal permitiu observar mudanças num período anterior e posterior, quando da intensificação do processo de urbanização da cidade de Teresina - PI.

A delimitação da série 1977 a 1991 deve-se ao fato de o banco de dados da estação meteorológica de referência no estudo iniciar-se em 1977, e final em 1991 porque nesse ano houve um censo demográfico. O segundo período (1992 a 2009) iniciou-se no ano seguinte ao do censo estendendo-se até 2009, quando se encerraram as pesquisas desse estudo.

A lacuna apresentada pela falta do dado de temperatura média (Tmed) de dezembro de 2006 foi preenchida pela média aritmética da temperatura máxima (Tmax) e da temperatura mínima (Tmin) desse mesmo mês. Às temperaturas médias de agosto, setembro e outubro de 2007 e à temperatura mínima do mês de setembro de 2007 atribuíram-se valores utilizados por Bastos e Andrade Júnior (2008) em Boletim Agrometeorológico de 2007 para o município de Teresina - PI.

Os dados faltosos de temperatura mínima (Tmin) de julho, agosto e setembro de 2008 e os de precipitação pluviométrica referentes aos anos de 2005, 2006 e 2007 foram preenchidos com valores disponíveis pelo Sistema de Monitoramento Agrometeorológico (AGRITEMPO, 2009). Os valores de temperatura média (Tmed) referentes a julho, agosto, setembro e outubro de 2008 foram calculados a partir da média aritmética da temperatura máxima (Tmax) e da temperatura mínima (Tmin). São assim, apresentadas e analisadas as médias mensais e anuais de temperatura média do ar (Tmed), médias de temperatura máxima do ar (Tmax), médias de temperatura mínima do ar (Tmin), médias de umidade relativa do ar (Ur) e total médio de precipitação pluviométrica (Pp).

3.2.3.1 Escolha da fonte de informações

A escolha da estação meteorológica da Embrapa Meio-Norte como cedente dos dados utilizados na pesquisa, deu-se não só por localizar-se numa área extensa e com grande quantidade de vegetação em seus arredores, minimizando os efeitos de interferência de fatores

externos no resultado das observações, mas também pela homogeneidade nos dados, o que conferiu maior confiabilidade à série temporal.

Além da arborização, dentre as estações existentes na cidade, esta é a que mantém maior distância do centro metropolitano, característica que contribui para que os resultados das observações dos elementos meteorológicos sejam diferentes dos obtidos na estação da Infraero, localizada numa área urbanizada, com grande fluxo de veículos e próxima ao aeroporto, cujos ruídos e vibrações podem alterar os resultados. Já a estação da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMAR) está situada numa região próxima aos dois *shopings* da cidade, numa área pavimentada e com interferência do fluxo de veículos que circulam nas proximidades, além de já ter sido remanejada de outro local, prejudicando a homogeneidade dos resultados e não possuir uma série, o que interferiu na homogeneidade dos dados. Tais fatores foram decisivos na escolha da estação meteorológica da Embrapa Meio-Norte.

3.2.3.2 Limitações das informações

Não foi estudada uma série maior de dados meteorológicos pela inexistência dessas informações observacionais completas para um período maior, na estação cedente. Vale salientar que o fato de a estação meteorológica da Embrapa Meio-Norte localizar-se numa área menos urbanizada, com pouca área impermeável, menor fluxo de veículos nas proximidades e menor verticalização da construção civil, contribui para que os dados observados sofram menos influência desses fatores. Aliás, dados de outras estações situadas próximas ao centro metropolitano, em áreas mais antropizadas e com características diferentes, podem apresentar outros resultados.

3.3 Análise estatística dos dados meteorológicos

A análise estatística dos dados de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica foi realizada através do software SPSS 15.0 (2007). A série de 33 anos (1977 a 2009) dessas informações meteorológicas dividida nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009, adequando-se ao recorte temporal do censo realizado pelo IBGE com já descrito, permitiu que fossem analisadas mudanças numa etapa anterior e posterior à intensificação do processo de urbanização da cidade de Teresina - PI.

A partir de 396 valores mensais de cada elemento meteorológico correspondente aos 33 anos da série completa do estudo, determinaram-se as médias climatológicas anuais e mensais do período completo (1977 a 2009). Também foram analisados subconjuntos com as médias anuais e mensais dos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 e as médias dos períodos estacionais, aos quais foram atribuídas as denominações, estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e estação seca ou estação do b-r-o-bró (set-out-nov-dez).

As séries temporais de dados meteorológicos foram submetidas a teste de normalidade, sendo verificada distribuição normal quando o valor da significância era superior a 0,05. A qualidade dos ajustes foi verificada através do teste de Kolmogorov-Smirnov usando o programa estatístico SPSS 15.0 (2007).

Os dados foram submetidos ao teste de normalidade, tendo, apenas, as precipitações dos meses de julho, agosto e setembro que não apresentaram distribuição normal. Em todos os demais meses e com as demais variáveis foi apresentado comportamento normal quando comparados entre meses.

Culturalmente, em Teresina, é conhecida como “B-R-O-BRÓ”, a estação compreendida pelos meses cuja última sílaba do nome é terminada em BRO (setembro, outubro, novembro e dezembro) e serem os mais quentes do ano.

Organizando os 396 valores de cada elemento meteorológico do período de 1977 a 2009 distribuídos em quartis (25%, 50% e 75%), identificou-se 50% dos valores compreendidos entre o 1º e 3º quartil. Considerou-se assim, que 25% dos valores extremos inferiores identificados antes do 1º quartil são baixos, e os 25 % dos extremos superiores após o 3º quartil são valores altos. Estes valores referenciais, assim obtidos, permitiram indicar a existência de anos mais quentes ou mais frios.

Verificaram-se possíveis alterações entre anos, entre meses e entre estações de cada elemento meteorológico no período total (1977 a 2009), usando-se a análise de variância (ANOVA) a um nível de confiança de 95% ou $\alpha = 0,05$ adotado neste estudo, que verifica se as diferenças entre as médias de cada elemento meteorológico são significativas ou não. A análise parte da hipótese de que todas as médias são iguais ou que existe pelo menos uma média diferente.

Se o valor da significância encontrado a partir da aplicação do teste for maior que o nível de significância adotado ($\alpha > 0,05$), as diferenças entre as médias não são significativas. Se o contrário, ($\alpha < 0,05$), são significativas. Verificadas as diferenças, o teste de Tukey

compara cada média (ano, mês, estação) com todas as outras restantes, identificando com um asterisco (*), as estatisticamente diferentes.

O teste “t” para duas amostras independentes foi utilizado para comparar médias entre si tomadas de forma independente. Se a estatística do teste “t” encontrar um valor $\alpha > 0,05$, as médias são iguais. Se $\alpha < 0,05$, as amostras são diferentes.

O Quadro 1 apresenta as estatísticas e testes realizados para a identificar se médias de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica são estatisticamente iguais ou diferentes, de acordo com a ordenação utilizada no estudo.

Elementos meteorológicos	Fatores analisados	Nº de eventos	Análise estatística
Temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar, precipitação pluviométrica	Ano	33 anos	ANOVA comTukey
	Mês	12 meses	ANOVA comTukey
	Períodos	2	Teste t
	Estações	2	Teste t

Quadro 1 – Testes usados na verificação de significância das diferenças entre as médias de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica por ano, mês, período (1977 a 1991 e 1992 a 2009) e estação (chuvosa e seca) de 1977 a 2009.

O banco de dados é composto por médias mensais de temperatura média do ar, temperatura mínima do ar, temperatura máxima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica correspondentes a 33 anos totalizando 396 informações mensais. Os 33 anos foram divididos em dois períodos, 1977 a 1991, com 15 anos e 1992 a 2009 com 18 anos. Quando não se verificou diferenças significativas entre as médias anuais, realizou a análise dividindo-se a série em estação chuvosa, representada pelos meses jan-fev-mar-abr-maio e seca por set-out-nov-dez.

Os gráficos confeccionados pelo *software* ORIGIN 5.0 (1997) e dispostos nos resultados, permitiram melhor interpretação dos resultados encontrados, cuja análise foi realizada, segundo a correlação das mudanças no clima de Teresina – PI com a evolução urbana e a redução da vegetação.

Após as análises estatísticas desenvolvidas pelo *software* SPSS 15.0 (2007), utilizou-se o *software* MAKESENS 1.0 (2002) para determinar a tendência temporal anual dos

elementos meteorológicos (temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica). Realizou-se o teste de Mann-Kendall, comparando-se cada valor da série com os valores subsequentes, e de forma sucessiva.

O teste de Mann-Kendall, de acordo com GOOSSENS e BERGER (1986), é apropriado para se determinar mudanças climáticas em séries meteorológicas, permitindo, ainda, identificar quando se deu o marco inicial aproximado da mudança, o que o torna mais importante na análise.

O referido teste é dado pela seguinte expressão:

$$S = \sum_{i=2}^n \sum_{j=1}^{i-1} \text{Sinal}(X_i - X_j),$$

considerando-se uma série temporal de X_i , onde X_1, X_2, \dots, X_n como sendo os valores seqüenciais e n o número de termos.

$$\text{O } \text{Sinal}(X_i - X_j) \text{ será: } \begin{cases} -1, \text{ para } X_i - X_j < 0 \\ 0, \text{ para } X_i - X_j = 0 \\ +1, \text{ para } X_i - X_j > 0 \end{cases}$$

A estatística S tende à normalidade com média $E(S)$ e variância $\text{Var}(S)$ dadas por:

$$E(S) = 0$$

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5) - \sum_{i=1}^q tp (tp-1)(2tp+5)}{18}$$

Onde, n é o tamanho da série temporal, tp é o número de passos até o valor p e q é o número de valores iguais na série de dados.

O teste estatístico é dado por:

$$Z = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt[3]{\text{Var}(S)}} & \text{se } S > 0 \\ 0 & \text{se } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt[3]{\text{Var}(S)}} & \text{se } S < 0 \end{cases}$$

Se Z for positivo significa que há uma tendência crescente e um Z negativo indica tendência decrescente.

Se a probabilidade (p) do teste de Mann-Kendall for menor que o nível de significância (α), existe tendência significativa. Quando p for maior que α , implica tendência não significativa. Quando a amostra não apresenta tendência, Z é um valor próximo a zero e p um valor próximo a α .

O valor calculado de Z pode ser comparado com valores de Z tabelado para distribuição normal. Para o nível de significância de 5%, Z deve estar entre -1,96 e 1,96. Caso Z calculado seja maior que o valor tabelado, deve-se rejeitar a hipótese de nulidade. Para o nível de significância de 10%, Z deve estar entre -1,64 e 1,64.

A análise de regressão pode indicar alterações climáticas pelo teste de significância do coeficiente angular, dado pela expressão equação:

$$Y = Qx + B$$

Determinando-se o intervalo de confiança do coeficiente “ Q ”, sem incluir o valor zero, a tendência é significativa.

O método de Mann-Kendall corresponde a uma série temporal X_i de N termos ($1 \leq i \leq N$). O teste corresponde à soma t_n do número de termos m_i da série, relativo ao valor X_i , cujos termos anteriores são inferiores ao mesmo ($X_j < X_i$), sendo:

$$t_n = \sum_{i=1}^N m_i$$

onde,

t_n =somatório

N = número de termos da série

m_i = número de termos da série relativo ao valor Y_i , cujos termos precedentes ($j < i$) são inferiores ao mesmo ($Y_j < Y_i$).

O teste de significância da estatística tn , sob a hipótese nula H_0 usando um teste bilateral pode ser rejeitada para grandes valores da estatística $u(t)$ dada por:

$$u(t) = \frac{(tn - E(tn))}{\sqrt{Var(tn)}}$$

O valor da probabilidade α_1 é encontrado por meio de uma tabela da normal reduzida de forma que $\alpha_1 = prob |u| > |u(tn)|$. Os níveis de significância $\alpha_0 = 0,05$ e $\alpha_0 = 0,01$ são considerados significantes. Se $\alpha_1 > \alpha_0$, a hipótese nula é aceita. Se existe uma tendência significativa na série temporal a hipótese nula é rejeitada. O sinal da estatística $u(tn)$ indica se a tendência é positiva ($u(tn) > 0$) ou negativa ($u(tn) < 0$).

O início da mudança de uma série pode ser estimado aplicando-se o mesmo princípio à série inversa, partindo-se do valor de $i=1$ até $i=N$, encontrando, assim, uma estatística $u^*(tn)$. O ponto de uma mudança brusca na média é, aproximadamente, no cruzamento das duas retas ($u(t)$ e $u^*(tn)$), dada por:

$$u^*(tn) = -u(tn).$$

4 MUDANÇAS AMBIENTAIS NA CIDADE DE TERESINA DECORRENTES DA EVOLUÇÃO URBANA

Descreve-se na seção o processo de crescimento da população de Teresina - PI, mostrando, através da construção do campo termal, como a perda da arborização urbana, impulsionada pela urbanização, pode alterar o comportamento dos elementos meteorológicos e em especial a temperatura do ar e da superfície das áreas mais urbanizadas.

4.1 População e urbanização de Teresina

Fatores naturais estão relacionados com a constituição geológica, com os elementos do clima, vegetação, solo e relevo e, naturalmente, com os recursos hídricos. Os efeitos do antropismo resultam das atividades sobre esses recursos naturais, sendo mais significativa, a urbanização, de onde provém a maioria das que modificam o ambiente, podendo, inclusive, alterar o clima local.

A evolução populacional do Piauí, até 1940, aconteceu de forma lenta, passando, a partir dessa data, a crescer em ritmo mais acelerado, principalmente na Capital, que após 1950 tornou-se centro comercial, industrial, educacional e prestador de serviços tecnológicos e médico-hospitalares (CEPRO, 2003). Desde a década de 1970, a taxa de crescimento demográfico de Teresina adquiriu ritmo superior ao do estado, estando hoje quase a totalidade de sua população residindo na zona urbana.

Teresina foi planejada para atuar como sede do governo, com o objetivo de promover o desenvolvimento econômico do Estado. Como a localização da antiga capital, Oeiras, tornava difícil o acesso e a integração entre municípios e outros estados, uma saída seria transferir a sede do governo para outro local, que suprisse as deficiências então encontradas. Iniciaram-se, então, os projetos de mudança da Capital para uma região mais acessível, principalmente pelo rio Parnaíba (CEPRO, 2003), escolhendo-se uma com melhor acesso através da navegabilidade pelo rio Parnaíba (FAÇANHA, 1998).

A urbanização em Teresina talvez contribua para alteração das condições ambientais, pois novas formas de adaptação são exigidas e praticadas pela pressão do contingente populacional. Aliás, a ordenação do seu espaço urbano aconteceu, até 1940, de forma lenta, sendo que, a partir de 1950, com a expansão de atividades econômicas, passou por maiores transformações. Se em 1950, Teresina já era o principal centro urbano do Piauí (FAÇANHA, 1998; LIMA, 2003), a partir do final dos anos 1960 ocorreram maiores transformações no

espaço urbano, quando a perda da vegetação original e a alteração do solo adquiriram maiores proporções, devido ao aumento de áreas construídas e de pavimentação do solo.

Teresina é bastante visitada por moradores de cidades do interior e dos estados vizinhos, em busca de prestação de serviços, em especial nos setores de educação e saúde, considerados como referências na região Nordeste do país. De 1960 a 1980, como se pode observar na Tabela 1, a taxa de crescimento da população urbana de Teresina apresentou-se em contínuo crescimento, só diminuindo a partir de 1991, quando o processo de urbanização já estava configurado e a cidade detinha 89,8% da população na zona urbana.

Tabela 1 – Evolução da população do Piauí e Teresina no período de 1960 a 2010.

Ano	Piauí	Teresina			
	População total (hab)	População total (hab)	População urbana (hab)	População rural (hab)	Taxa de urbanização (%)
1960	1.290.821	142.691	98.329	44.362	68,9
1970	1.680.573	220.487	181.062	39.425	82,1
1980	2.140.066	377.774	339.042	38.732	89,8
1991	2.582.137	599.272	556.911	42.361	92,9
2000	2.843.272	715.360	677.470	37.890	94,7
2007	3.032.421	779.939	735.164	44.775	94,3
2010	3.119.015	814.439	767.777	46.662	94,3

Fonte: IBGE (2000, 2007, 2010).

Em 2007, com 779.939 habitantes (IBGE, 2007), a população urbana de Teresina já atingia 94,3 % da população total do município. Uma concentração populacional assim atua tanto como modificador do espaço físico, quanto das variantes sociais, econômicas e ambientais.

Apesar de o ritmo de crescimento populacional de Teresina ter diminuído a partir dos anos 1990, em 2010, a população total já representa 21,6 % da população do Piauí, que é de 3.119.015 habitantes (IBGE, 2010). Como polo de convergência de municípios e estados vizinhos, gera fatores antrópicos que, ao longo do tempo, foram alterando alguns elementos meteorológicos, principalmente os relacionados com o aquecimento do solo e do ar. Na verdade, a concentração populacional em centros urbanos e, conseqüentemente o fluxo de pessoas que diariamente circulam na cidade em busca de produtos e serviços, aumentam as

atividades que geram microclimas urbanos (LOMBARDO, 1985; MONTEIRO, 1976; ROMERO, 2001).

A região metropolitana de Teresina é composta pelos municípios de Altos, Beneditinos, Coivaras, Curratinhos, Demerval Lobão, José de Freitas, Lagoa Alegre, Lagoa do Piauí, Miguel Leão, Monsenhor Gil, Teresina e União, no Estado do Piauí, e pelo Município de Timon, no Estado do Maranhão (BRASIL, 2010).

A população desses municípios exerce, sobre Teresina, movimento pendular ou diário, que corresponde às pessoas que deixam suas residências antes do horário comercial para chegar ao trabalho e depois do expediente, retornam para casa. Em 2000, Teresina e Timon possuíam 715.360 e 129.692 habitantes respectivamente (IBGE, 2000), sendo de 814.439 habitantes a população de Teresina em 2010 (IBGE, 2010), e a de Timon, de 155.396 (IBGE, 2010). E esses são fatores potenciais no processo de supressão de áreas verdes e de aquecimento da superfície.

Como não vem acontecendo, nos municípios vizinhos, fatores capazes de inibir a migração de sua população pendular para a Capital piauiense, provavelmente a taxa de crescimento dessa modalidade populacional continua aumentando.

É importante observar que, nos últimos dez anos, a população de Teresina cresceu 12,2 % e Timon 16,1 % (IBGE, 2010), taxas elevadas em relações a outros centros urbanos, o que aponta para uma tendência de continuidade de redução de áreas verdes nas duas cidades. A arborização urbana, além de suas funções ecológicas para a vida e de atuar como moderadora dos efeitos de altas temperaturas do ar e do solo contribui para identificar ruas e avenidas, quando o seu plantio é planejado de acordo com as características das árvores e da compatibilidade com o espaço físico da cidade.

De acordo com Sales (2003), o município de Teresina (PI) desenvolveu-se, tornando-se polo de atração da população do estado e de estados vizinhos, quando surgem empregos, ao passo que se aprimora em novos setores, principalmente os de educação, saúde e comércio, tipicamente urbanos. Aos poucos, a cidade vai perdendo o seu verde característico e dando lugar à construção de praças, prédios residenciais e comerciais.

O processo de urbanização de Teresina deu-se na direção do rio Parnaíba, rumo ao rio Poti, com 100 quarteirões dispostos em logradouros simétricos e paralelos, em forma de tabuleiro de damas. Moura e Lopes (2006) destacam esse processo que ocorreu, até os anos 1940, em volta da Praça Marechal Deodoro da Fonseca e da Avenida Frei Serafim, que divide a cidade em zonas Norte e Sul.

Foi na década de 1950 que Teresina passou por um processo de urbanização representativo, impulsionado pela construção da BR-316 e pela instalação e expansão de atividades comerciais na zona Sul, que transformou a Avenida Barão de Gurguéia no seu maior centro comercial e de serviços. Ainda nessa década, surgiram, de acordo com Lima (1996), na zona Norte de Teresina, os bairros Vila Operária, Vila Militar, Feira de Amostras e Matadouro, expandindo-se a zona Sul através dos bairros Ilhotas e Cabral, em direção ao rio Poti e em direção ao rio Parnaíba, na zona sul, os bairros Vermelha, São Pedro e Tabuleta.

Teresina, desde os anos 1950, com a expansão do setor de serviços, que crescia em ritmo acelerado, foi promovida a principal centro urbano do estado. Essa condição de mais importante centro de oferta de serviços, subsidiada pela política habitacional do governo, acelera o processo de urbanização da cidade. Com efeito, Façanha (1998) e Lima (2003) argumentam que em 1966 Teresina foi contemplada com a política habitacional do governo militar, a principal política pública dos anos 1960, provocada pelo crescimento da industrialização nacional.

Assim como outras capitais da região Nordeste do país, Teresina passou por esse processo de urbanização provocado pelo movimento migratório entre o campo e a cidade, não somente do interior do Piauí, mas também dos Estados Ceará e Maranhão (LIMA, 2003). São construídos, em 1966, os conjuntos habitacionais Primavera I, São Raimundo e Tabuleta, somando 198 unidades habitacionais. No ano seguinte constrói-se o conjunto Monte Castelo, com 302 unidades e, em 1968, na zona Sul, ergue-se o conjunto Parque Piauí, com 2.294 unidades. O conjunto Itararé, com 3.040 unidades, construídas em 1978, estimulou a construção do Itararé II, com 4.254 unidades, e mais outros conjuntos na zona Leste (FAÇANHA, 1998).

Quanto à verticalização, destaca-se em Teresina, como um dos primeiros edifícios, de acordo com Façanha (1998), o Hotel Rio Poti, construído na primeira metade da década de 1980, localizado na Avenida Marechal Castelo Branco, no bairro Ilhotas. Sales (2003) frisa que a partir de 1990 a construção de edifícios na cidade foi motivada pela ampliação de serviços públicos, sendo o principal, o de saneamento e esgotos, uma infraestrutura essencial para a modalidade edifícios.

Teresina, como se pode observar na Figura 1, passou de 1850 até 2002, por grande transformação espacial. Em 1970, já se encontrava em acelerado processo de urbanização, continuando, em 1980, a expansão do sítio urbano. Façanha (1998) e Lima (2003) destacam

que, nesse período, foram construídos vários conjuntos habitacionais, a maioria deles na zona Sul, o que promoveu a expansão da cidade para aquela região.

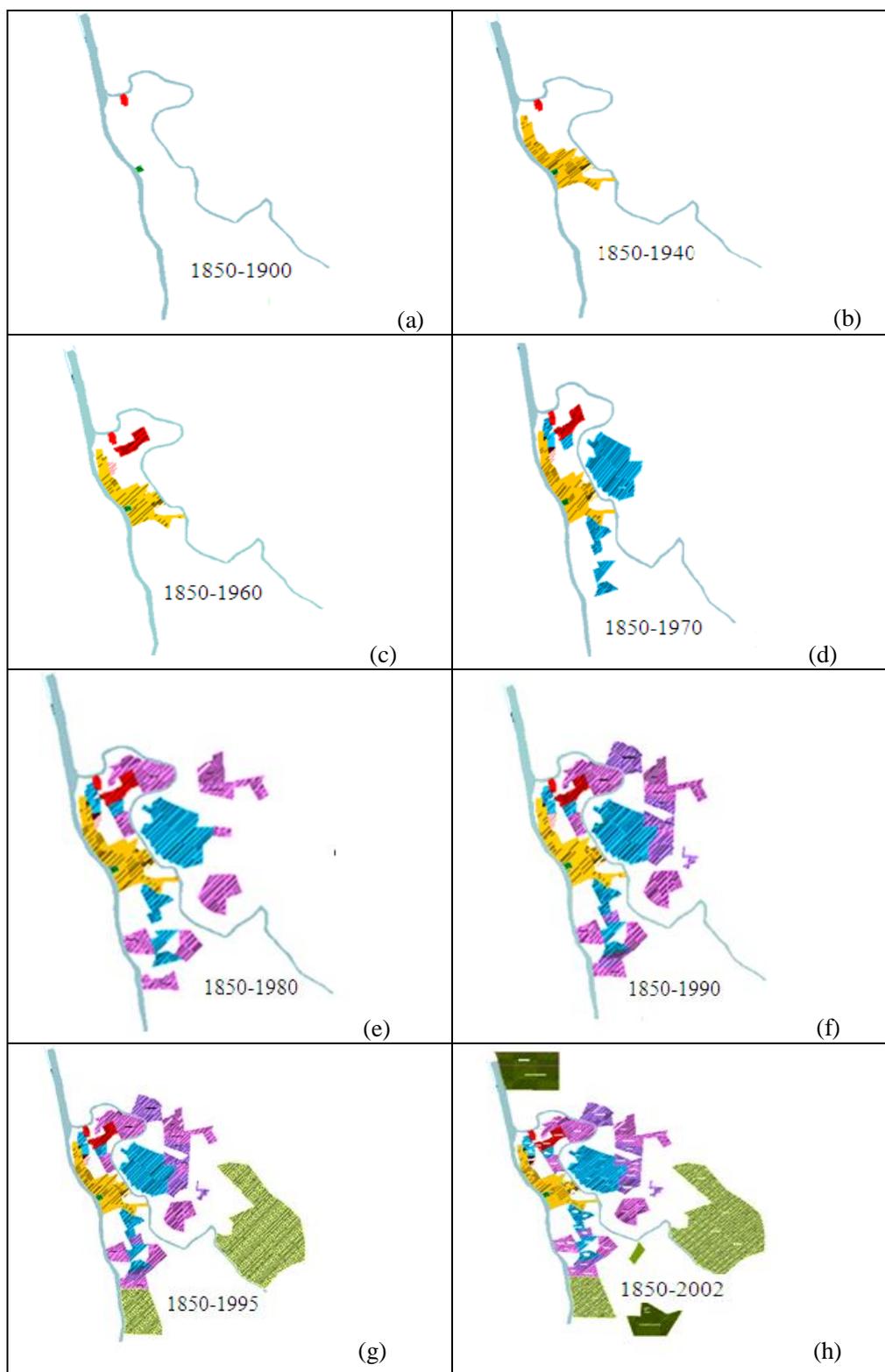


Figura 1 – Mapas da evolução urbana de Teresina, PI no período de 1850 a 2002.
Fonte: TERESINA (2010a) adaptado pela autora.

Nos anos 1970 e 1980, verificou-se maior crescimento na zona leste da cidade, com a construção da ponte sobre o rio Poti (MOURA e LOPES, 2006), sendo mais expressivo na década de 1980, quando ocorreu maior expansão, estendendo-se para a zona sudeste (LIMA, 1996). Em 2000, Teresina já contava com 715.360 habitantes, estando, 677.470 localizados na zona urbana (IBGE, 2000). Agregada à evolução populacional, deu-se a expansão do perímetro urbano motivada também pelo crescimento de atividades do meio urbano, e pela expansão de áreas públicas construídas para atender à demanda da população.

4.2 Arborização em Teresina

A vegetação exerce poder benéfico sobre o clima de uma região, quando reflete e transmite a radiação solar, contribuindo para amenizar a temperatura do ar, através da evapotranspiração das árvores. A arborização é, pois, um parâmetro ambiental importante no meio urbano, por possuir características e componentes similares aos existentes na natureza e promover o bem-estar da população. De acordo com a Agenda 21 (2004), a arborização em espaços públicos de lazer e educação propicia melhora da qualidade de vida dos habitantes de uma cidade.

A arborização urbana, além de suas funções ecológicas para a vida e de atuar como moderadora dos efeitos de altas temperaturas do ar contribui para identificar ruas e avenidas, quando o seu plantio é planejado de acordo com as características físicas do local e da compatibilidade com o espaço físico da cidade. Defendendo a arborização como fator de importância na caracterização do clima de um local, Andrade (2000) ressalta a existência de parques ambientais como garantia de reservas verdes no perímetro urbano de Teresina.

A vegetação de Teresina é formada pelos biomas cerrado e cerradão, constituídos de uma cobertura arbustiva de médio porte e densa, presente nas chapadas, nos divisores de topos aplainados. Também fazem parte da paisagem do município os babaçuais (*orrbignya speciosa*) e os carnaubais (*copernicia prunifera*) nativos, que se estendem por vales e terrenos quaternários de maior fertilidade (TERESINA, 1993), havendo ainda espécies vegetais plantadas nas ruas, avenidas, praças e quintais das residências.

Segundo Sales (2003), em Teresina predomina a floresta subcaducifólia, mesclada de babaçu. Esse tipo de vegetação é encontrado nos parques ambientais do Mocambinho, Parque da Cidade e Zoobotânico, e ainda no bairro Santa Maria da Codipi, no entorno do sítio urbano. Como a ocupação do solo urbano nas zonas Sul e Sudeste de Teresina tem sido menos intensa, quando comparada às outras zonas distritais, predomina, nessas áreas, maior

quantidade de áreas verdes. Ressalta que as áreas verdes em Teresina-PI são encontradas nas varandas das residências, como espaço de trabalho nos bares e restaurantes, como proteção para carros nas ruas, e como abrigo em ponto de ônibus, entre muitas outras formas de utilização. As margens dos rios Poti e Parnaíba são utilizadas na prática do lazer e esportes, bem como os parques ambientais.

Sales (2003), em estudo sobre a importância da arborização na zona urbana de Teresina, fez um levantamento do total de árvores existente na cidade, afirmando que em 2002, possuía 13,0 m² de áreas verdes por habitante, menos que o índice de áreas verdes de outras cidades, como João Pessoa - PB, com 39,0 m²/hab. Segundo a autora, as áreas verdes em Teresina-PI são encontradas nas varandas das residências, como espaço de trabalho nos bares e restaurantes, como proteção para carros nas ruas, e como abrigo em ponto de ônibus, entre muitas outras formas de utilização. As margens dos rios Poti e Parnaíba são utilizadas na prática do lazer e esportes, bem como os parques ambientais.

A arborização urbana, sob o ponto de vista estético e cênico, contribui para o embelezamento de ruas e avenidas de uma cidade e promove satisfação ao homem quando em contato com a vegetação e com o ambiente mais próximo do natural. Além dessas vantagens, Dantas e Souza (2004) enfatizam a arborização urbana como fundamental para preservar a identidade biológica da região, fornecer abrigo e alimento à fauna local e proteger o ecossistema.

Teresina (2010b) identificou 18 reservas denominadas “parques ambientais” existentes no perímetro urbano de Teresina, a maioria localizada nas zonas Norte e Leste da cidade. Machado *et al* (2010) encontraram um total de 105,4 km² de áreas verdes, onde pode ser encontrada grande diversidade de árvores nativas, que também são encontradas nas praças e ruas da cidade. Desse total, 31,6 km² encontra-se na zona Leste e 30,5 km² na zona Centro-norte.

O centro da cidade conta com oito praças que, segundo Silva e Lopes (2008), têm boa cobertura vegetal, que promove áreas sombreadas. Observaram ainda que as áreas verdes de Teresina têm grande participação na arborização das praças e canteiros centrais das avenidas, não estando concentradas apenas em parques ambientais, embora Sales (2003) advirta que o verde de Teresina vem sendo gradativamente reduzido pelo parcelamento de áreas destinadas a residências e pelo descuido com a arborização das áreas públicas. A respeito dessas oito praças, Silva e Lopes (2008), concluem que, além da importância qualitativa, representam quantidade significativa de áreas arborizadas e sombreadas que contribui para amenizar a

temperatura do ar local, fazendo com que pessoas permaneçam por mais tempo nesses espaços.

Apesar da preocupação com a prática do desmatamento, para dar lugar às construções promovidas pela expansão populacional, percebe-se que todos os estudos que tratam da arborização na cidade de Teresina, ainda a destacam como detentora de quantidade razoável de áreas verdes. Entretanto, nesses estudos, a preocupação com a crescente perda de áreas verdes de Teresina, em favor do ambiente construído já é demonstrada.

Pretendendo determinar-se a quantidade de área urbanizada e de área vegetada no perímetro urbano de Teresina – PI, em 1989 e em 2009, foram utilizadas imagens georeferenciadas do satélite LANDSAT 5, posteriormente classificadas no *software* SPRING 4.3.3, através de técnica de classificação supervisionada, sugerida por Moreira (2005), que consiste em selecionar amostras de elementos encontrados na imagem, para que sejam usadas como referência na classificação da imagem por inteiro. A classificação usa como critério a similaridade espectral, na qual elementos da imagem que se apresentem semelhantes às amostras predeterminadas como referência são agrupados numa mesma classe. A imagem 2, por exemplo, corresponde a uma cena do perímetro urbano da cidade, captada no dia 14/08/1989 (a), e a uma imagem classificada destacando os elementos selecionados encontrados na área (b).

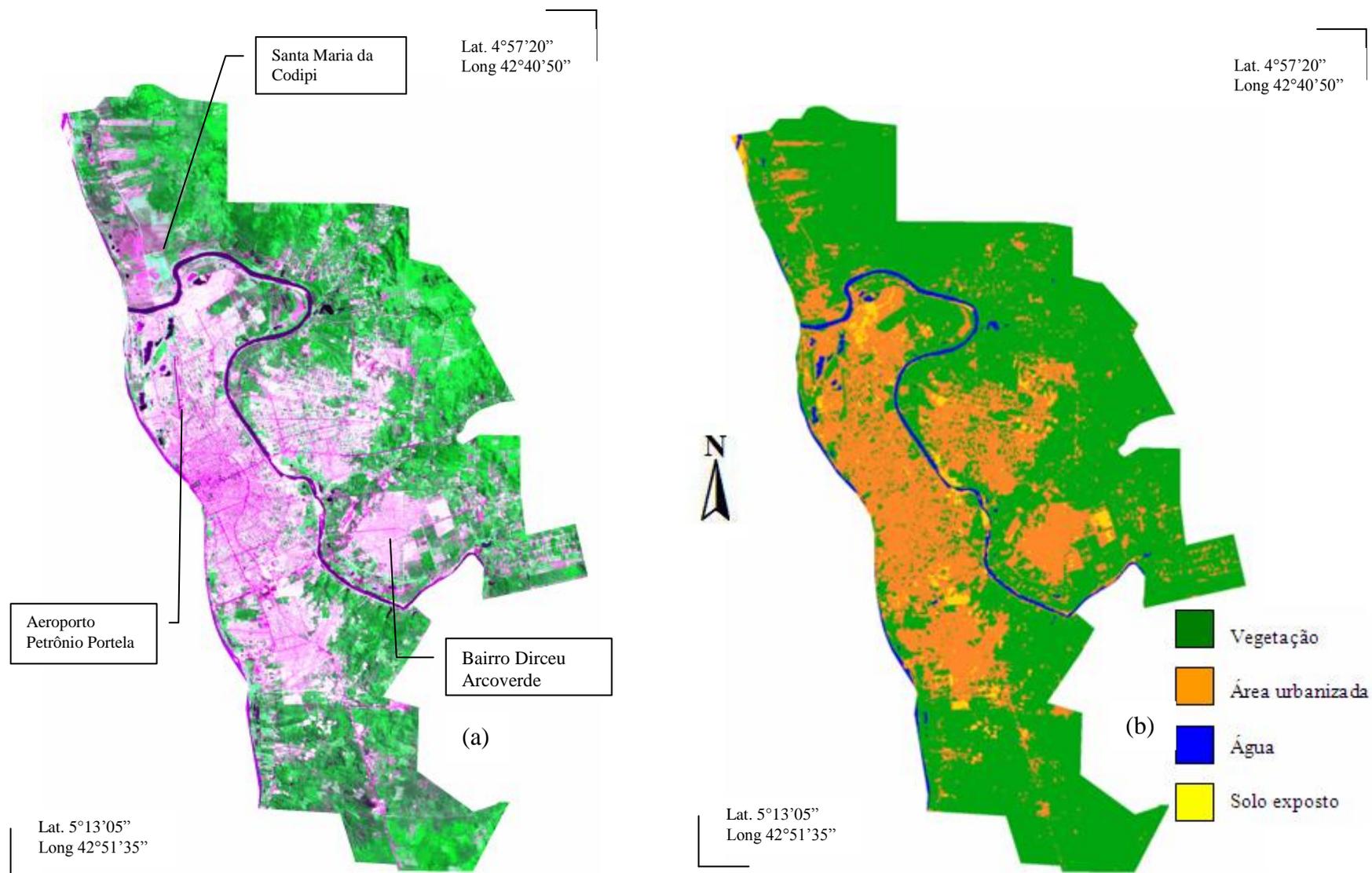


Imagem 2 - Imagem do sítio urbano de Teresina captada no dia 14/8/1989 pelo satélite Landsat 5 e composição colorida (a) e imagem classificada do sítio urbano de Teresina captada pelo satélite Landsat 5 no dia 14/8/1989 (b).

Fonte: A partir de imagens fornecidas pelo INPE, 2010a, e classificadas por Monteiro (2010).

A cena do dia 14/8/1989 corresponde a um período menos urbanizado, quando a população de Teresina era de 599.272 habitantes e ainda conservava maior quantidade de áreas verdes, como pode ser observado, pela visualização da quantidade de área arborizada e área construída, no período analisado. O total de área urbanizada era de 71,0 km², estando maior parte concentrada no centro urbano enquanto o total de área vegetada era de 162,7 km². De acordo com os resultados, em 1991, Teresina revelava uma quantidade de arborização privilegiada.

A Imagem 3 corresponde a uma cena captada no dia 9/11/2009, em Teresina, quando a urbanização na cidade já se encontrava em nível elevado, com 113,9 km² de área urbanizada, e área de vegetação de 114,4 km². O índice de perda da vegetação no período de vinte anos demonstra que a persistência de supressão levará a cidade à perda de sua cobertura vegetal, em pouco tempo.

O curso da urbanização estendeu-se, principalmente, para as zonas Leste e Sul, uma vez que a região central da cidade já se apresentava densamente construída. À medida que Teresina se expandia, aumentava o desmatamento cedendo lugar às áreas construídas. Aumentaram, ainda, as áreas de solos expostos, provavelmente destinadas a loteamentos, que também possuem maior albedo, em relação a qualquer tipo de vegetação.

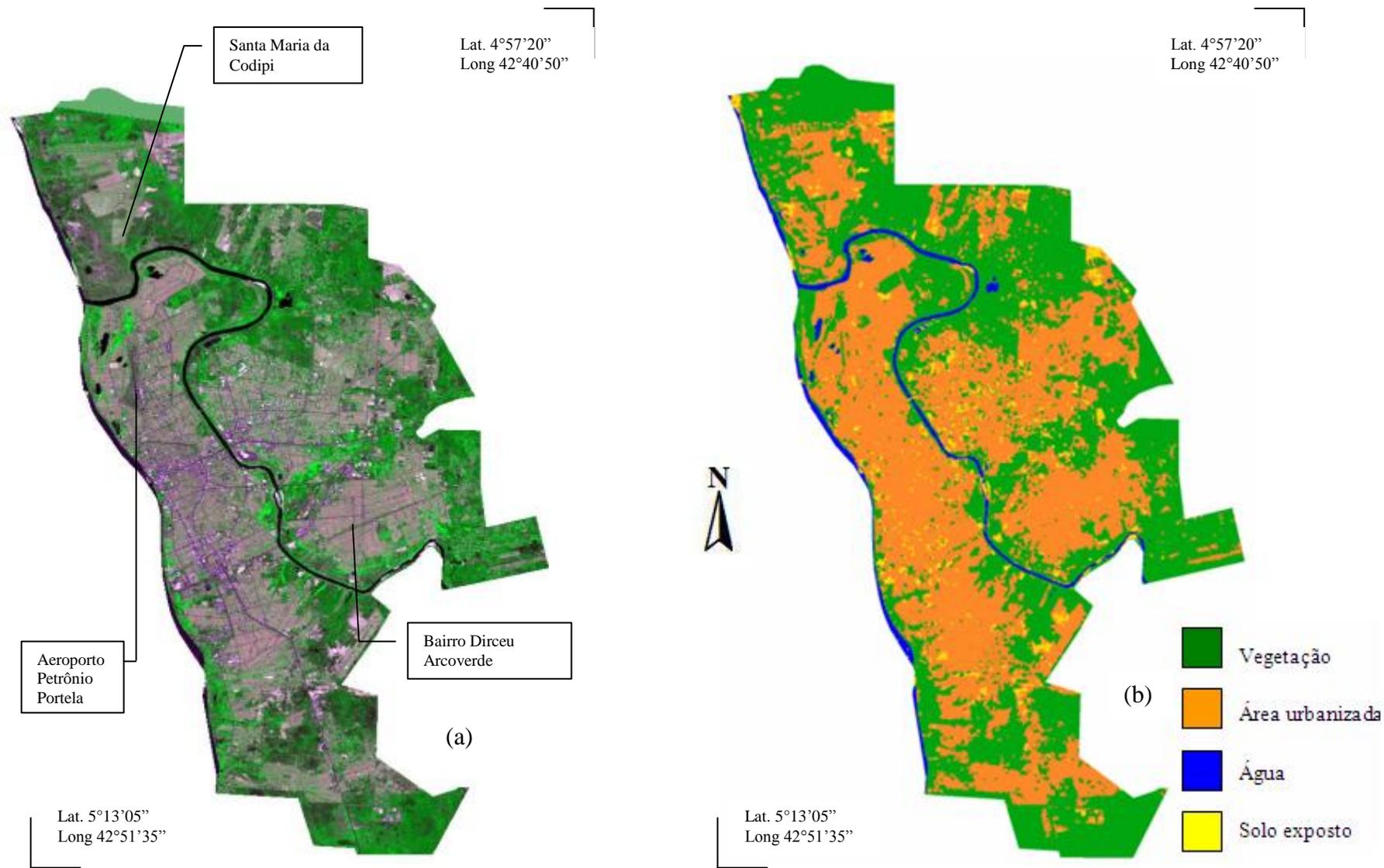


Imagem 3 - Imagem do sítio urbano de Teresina captada no dia 9/11/2009 pelo satélite Landsat 5 e composição colorida (a) e imagem classificada do sítio urbano de Teresina captada pelo satélite Landsat 5 no dia 9/11/2009 (b).

Fonte: A partir de imagens do satélite Landsat 5 disponibilizadas no sítio do INPE (2010a), e classificadas por Monteiro (2010).

A classificação da imagem permitiu visualizar que em 1989, Teresina dispunha de maior quantidade de áreas verdes que no ano de 2009, quando grande parcela da vegetação passa a ser substituída por construções ou áreas descampadas para fins de loteamentos, tidas como solos expostos ou desnudos. Houve expansão de áreas urbanizadas em Teresina, em relação a 1989. As áreas de alto albedo foram classificadas como solo exposto, mas ressalte-se que também pode ser uma área composta por outros materiais refletivos.

Áreas verdes, conforme Coltri et al (2007), são todo e qualquer vegetal, como grama ou pasto, e não somente árvores de grande porte, critério também adotado neste estudo. O albedo de uma superfície, segundo o INPE (2010c) e Tubelis e Nascimento (1992), é definido como a razão entre a quantidade de radiação refletida pela superfície da Terra e a radiação proveniente do Sol.

Para melhor compreensão do processo evolutivo da urbanização da cidade, a Tabela 2 apresenta, quantitativamente, as áreas dos elementos urbanos de interesse no estudo, detectados pelo satélite Landsat 5 e classificados a partir de georeferenciamento das imagens.

Tabela 2 - Classificação e quantificação de elementos presentes no perímetro urbano de Teresina - PI, a partir do georeferenciamento e geoprocessamento de imagens do satélite Landsat 5 em 1989 e 2009.

Classificação de elementos que compõem o perímetro urbano de Teresina - PI	Área (km ²)	
	1989	2009
Vegetação	162,7	114,4
Urbanização	71,0	113,9
Solo exposto/areia	5,3	9,3
Água	4,6	6,0
Área total	243,6	243,6

Fonte: Dados básicos classificados por Monteiro (2010).

Houve, entre os dois períodos analisados, redução na densidade de área verde e aumento de áreas de solo exposto na cidade de Teresina. A área ocupada aumentou, em 2009, 60,4 %, em relação a 1989, atingindo 113,91 km², o que significa supressão da vegetação. Vale salientar que o aplicativo usado na classificação dos objetos visualizados nas imagens, pelo satélite, considera algumas áreas com alto poder de refletividade, como se fosse solo exposto, devido ao albedo da superfície. Entre 1989 e 2009, o perímetro urbano de Teresina perdeu 29,7% de sua vegetação, demonstrando serem necessárias medidas técnicas e administrativas direcionadas às políticas que minimizem as alterações ambientais.

Atribui-se o fato de a área de superfícies de água ter aumentado 1,4 km², dentre algumas razões, ao assoreamento dos rios provocado pela ação humana o que fez aumentar o espelho de água, à impermeabilização do solo permitindo o escoamento da água e acúmulo em reservatórios, e ainda ao aumento do número de piscinas entre 1989 e 2009.

O banco de dados de precipitação (EMBRAPA MEIO-NORTE, 2010) registra que os 12 meses compreendidos de agosto de 1988 a julho de 1989, que antecederam o dia analisado na imagem de 1989, acumularam 1.643,8 mm de precipitação pluviométrica, enquanto os 12 meses, de novembro de 2008 a outubro de 2009 que antecederam o dia da imagem analisada em 2009 acumularam 2.015,5 mm. O maior total acumulado de chuvas pode ter influenciado, tanto para reduzir a temperatura da superfície em 2009 quanto para aumentar as superfícies de água dos rios e reservatórios.

Outro parâmetro que contribuiu para que a área de água se apresentasse maior em 2009 foi o início da estação chuvosa na região Sul do Piauí, em outubro, fazendo com que em novembro, quando foi capturada a imagem de satélite, o nível do rio Parnaíba estivesse mais elevado em relação a 1989, cuja imagem era de agosto, e sem ocorrência de chuvas.

Todos esses fatores podem ter contribuído para alterar a temperatura da superfície, podendo, ainda, ser acrescentada a margem de erro do satélite e dos *softwares* operados nos procedimentos com as imagens utilizadas no estudo.

De acordo com os dados obtidos pelas imagens de satélites e com a metodologia adotada neste estudo para o cálculo do Índice de Área Verde, tem-se que em Teresina, em 1989, para a população referente ao ano de 1991, o IAV= 271,5 m²/hab., sendo este valor reduzido para 140,4 m²/hab., em 2010.

Este valor é muito superior aos 13 m²/hab., citado por Sales (2003), mas, próximo do encontrado por Machado *et. al* (2010), para o ano de 2000, que foi de 141,2 m²/hab e em 2006 de 112,4 m²/hab. Essa discrepância possivelmente se deve às diversas terminologias usadas para “áreas verdes” e ainda às metodologias adotadas no cálculo do índice de áreas verdes.

Independentemente das terminologias ou técnicas adotadas para o cálculo do IAV, foi constatado que à medida que a população aumentou, o IAV da cidade diminuiu, indicando necessidade de estudos mais aprofundados que analisem a influência da supressão da vegetação na temperatura do ar do local e um melhor embasamento sobre a temática, com uma discussão mais abrangente acerca do IAV de Teresina – PI a partir de literaturas afins e resultados de campo, validados. A supressão da vegetação pode afetar, por exemplo, os balanços hídricos da cidade, ocasionando estresse térmico durante o dia, em áreas sem

arborização, sendo que o processo de expansão urbana, com edificações e ruas construídas, implica também maior impermeabilização do solo, o que impede que a água seja infiltrada e utilizada para a evaporação.

4.3 Campo térmico da superfície de Teresina - PI

O processo de urbanização de uma cidade, acompanhado de perda de sua vegetação, é parâmetro relevante para a definição da temperatura do ar do local. A definição e análise dos elementos urbanos visualizados nas imagens em duas, com intervalo de 20 anos mostram efetiva relação da urbanização com a temperatura da superfície do solo na cidade de Teresina – PI e o resultado sobre o clima local.

A geotermia vem sendo utilizada em estudos sobre mudanças no microclima por apresentar algumas vantagens sobre outras técnicas, como as de medições diretas do campo da temperatura, melhor sensibilidade às tendências de temperaturas ocorridas nos últimos 500 anos, boa espacialização continental e melhor continuidade dos dados (BELTRAMI; HARRIS, 2001). Oliveira et al (2006) usaram essa técnica na análise dos dados meteorológicos para estudar mudanças climáticas em Manaus - AM, mas ressaltam que não devem ser diretamente conciliados entre si, haja vista a temperatura da superfície do solo não estar totalmente relacionada com a temperatura do ar superficial, pois a 2 metros acima dele há agitação térmica causada pela turbulência do ar.

Na Imagem 4 é apresentado o campo térmico da cidade de Teresina – PI nas duas datas, a partir do geoprocessamento de imagens captadas pelo satélite Landsat 5, nos dias 14/8/1989 e 9/11/2009. Quanto maior a capacidade de refletância das superfícies, maior também é a temperatura da superfície, que depende da forma de ocupação do solo e do material utilizado nas diversas modalidades de ocupação.

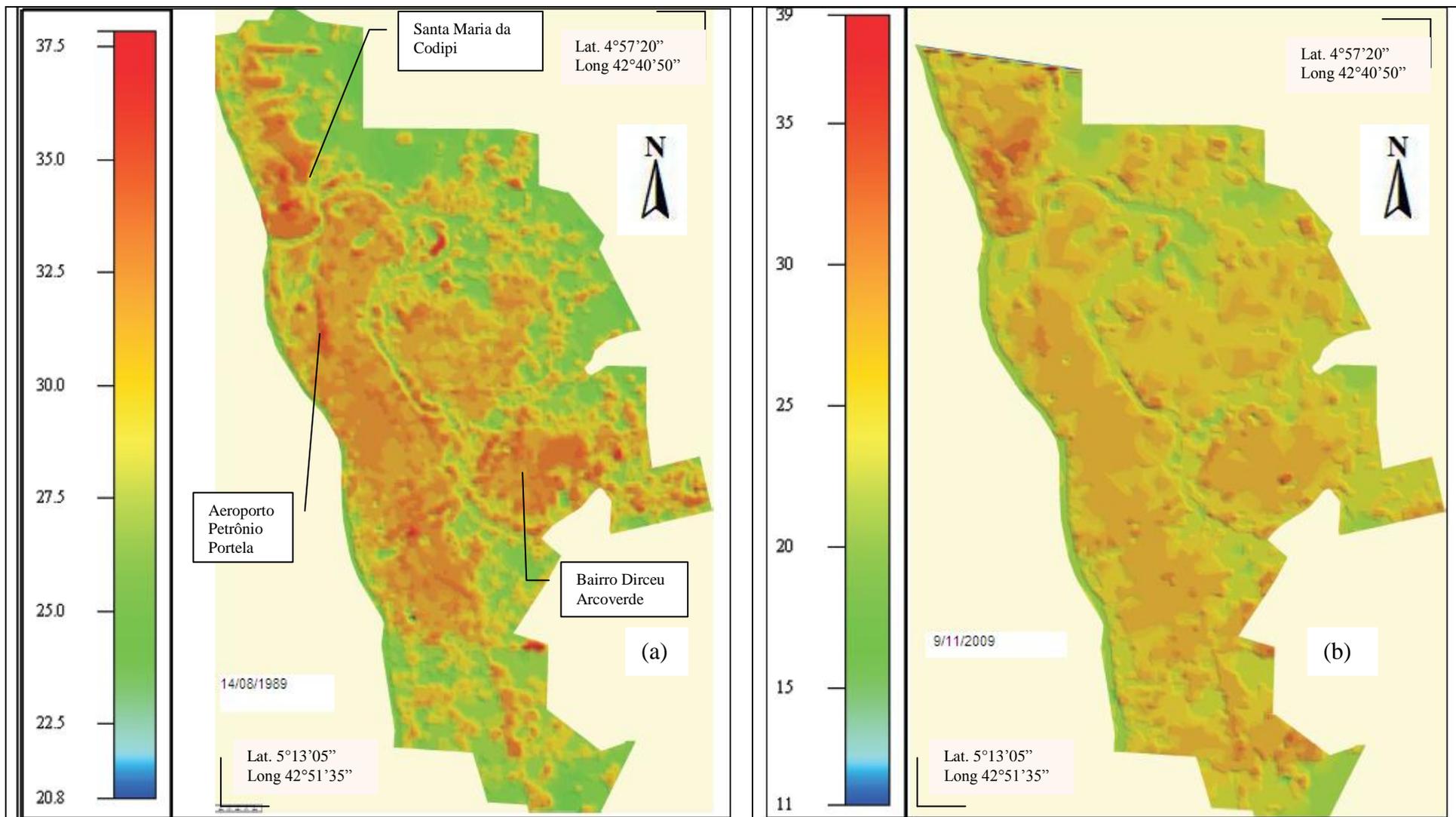


Imagem 4 – Imagem do campo termal da cidade de Teresina-PI transformada em temperatura aparente da superfície do solo no dia 14/8/1989 (a) e no dia 9/11/2009 (b), a partir do satélite Landsat 5, banda 6.

Fonte: A partir de imagens do satélite Landsat 5 disponibilizadas no sítio do INPE (2010a), e geoprocessadas por Monteiro (2010).

Nas Imagens 4a e 4b, as faixas em tonalidade verde correspondem às áreas vegetadas e conseqüentemente dotadas de temperaturas mais baixas. As em tons laranja e vermelho equivalem às temperaturas das áreas com maior retenção de calor, que coincidem com as urbanizadas ou descampadas. As diferenças de temperatura da superfície entre a região periférica da cidade e o centro urbano podem ser observadas nas imagens do campo térmico referentes aos anos de 1989 e 2009.

O gradiente de temperatura do ar, que corresponde à taxa de variação da temperatura do ar acima do solo (TUBELIS; NASCIMENTO, 1992), sendo a temperatura na periferia, mais amena que no centro da cidade, onde há maior concentração de construções, tráfego de automóveis e pessoas, e mais atividades consideradas do meio urbano. Assim, o material utilizado nas diversas formas de ocupação do solo contribuiu para a elevação da temperatura da superfície do, cujas áreas se expandem de acordo com a expansão da cidade.

Às áreas não construídas e livres de água e vegetação, atribuiu-se, neste estudo, a denominação solos expostos. Com a continuidade do crescimento, parte das áreas que em 1989 eram arborizadas, foi substituída por áreas construídas, havendo algumas, como Santa Maria da Codipi, na zona Norte, que eram loteamentos descampados, com maior capacidade de refletância que a vegetação.

Na zona Sudeste da cidade, em 1989, o bairro Dirceu Arcoverde apresenta elevada refletância e, conseqüentemente, temperatura da superfície mais baixa que outras áreas. Em 2009, o bairro encontra-se em nível de urbanização bastante concentrado em relação a anos anteriores.

O aeroporto de Teresina, também na zona Norte, devido ao material utilizado na sua estrutura física, tanto em 1989 quanto em 2009, apresenta baixo albedo ou refletância, com temperatura da superfície superior às outras áreas, principalmente às vegetadas. As temperaturas estavam em 1989 e 2009, altas, em especial na região central da cidade, onde se concentram aglomerados de construções com materiais de baixa emissividade e reduzido índice de arborização.

Na Imagem 4a é apresentado o campo térmico do dia 14/8/1989, aproximadamente às 12 h local, horário da passagem do satélite em Teresina. A temperatura máxima do ar, observada nesse dia, foi de 34,0 °C, enquanto a da superfície, de acordo com a Imagem 4a, aproximadamente às 12 h local, horário da passagem do satélite em Teresina, esteve entre 25,0 °C a 37,0 °C. Na imagem do dia 9/11/2009, a temperatura da superfície mostra-se

variando entre 22,0 °C e 39,0 °C, enquanto a temperatura máxima do ar, registrada na estação meteorológica, foi de 37,6 °C.

O campo termal das imagens indicou que a temperatura da superfície é menor na periferia, o que pode estar relacionado com a maior quantidade de áreas verdes. Ao se comparar as duas imagens, verificou-se que em 2009 as áreas mais aquecidas se expandiram, o que é atribuído à expansão urbana e à supressão da vegetação.

Na Imagem 5 apresentam-se as fotografias dos satélites meteorológicos GOES 7 e GOES 10, referentes aos dias 14/8/1989 e 9/11/2009, evidenciando que nos horários de sua captação havia pouca nebulosidade e baixa umidade relativa do ar. Nos dois dias, de acordo com Embrapa Meio-Norte (2010), a insolação foi, respectivamente, de 10,3 horas e 11,2 horas de brilho solar e umidade relativa do ar de 54,0 % e 51,0 %.

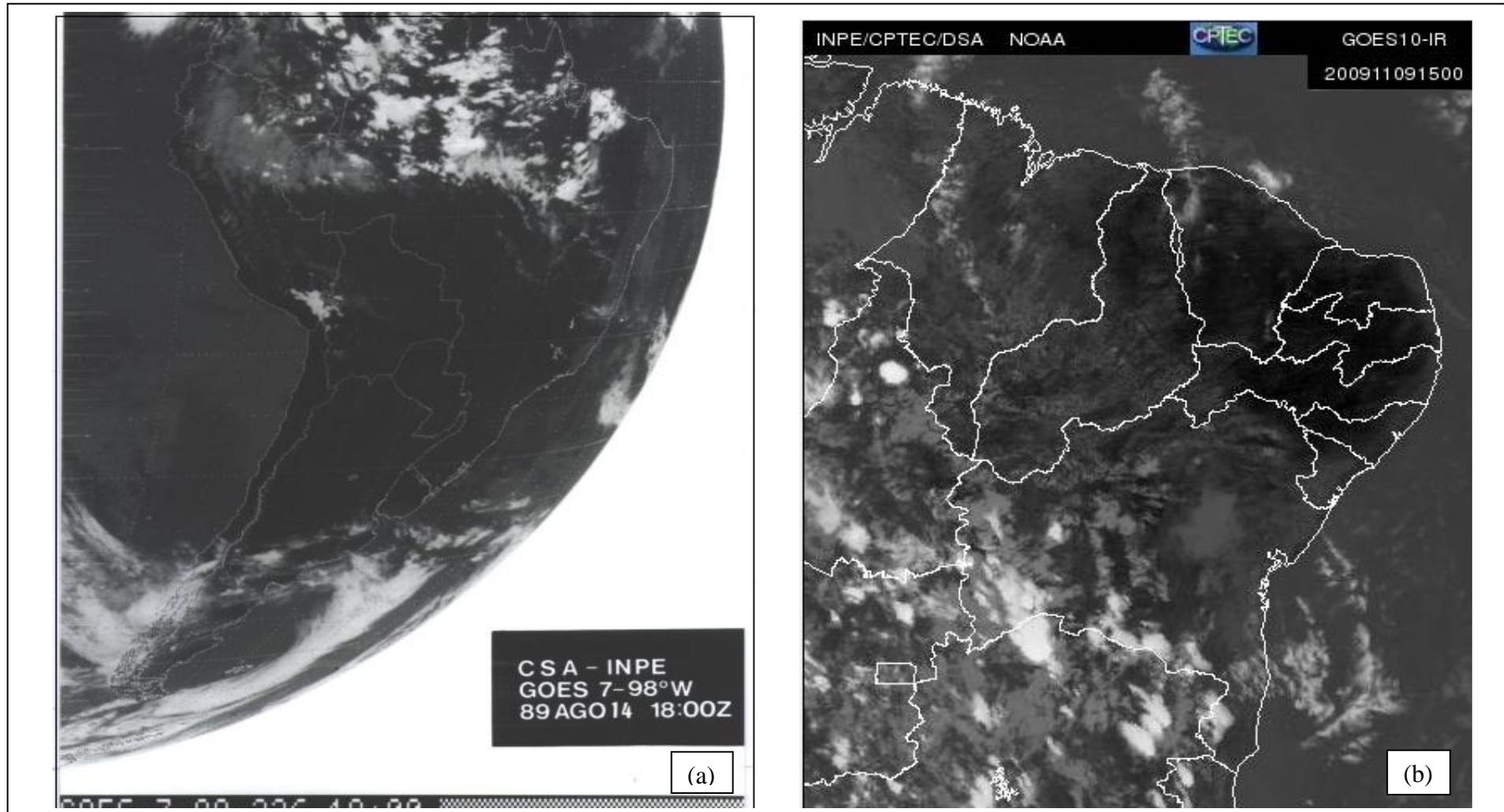


Imagem 5 – Imagem de satélite Goes 7 referente ao dia 14/8/1989 às 18: 00 TMG² ou 15:00 h local (a) e imagem do satélite GOES 10 referente ao dia 9/11/2009 às 15: 00 TMG ou 12:00 h local (b).

Fonte: INPE (2010b).

² TMG (Tempo Médio de Greenwich) corresponde ao fuso horário de referência a partir do qual se calculam todas as outras zonas horárias do mundo. O TMG possui três horas a mais que a hora de Brasília.

Os dois dias apresentaram condições meteorológicas favoráveis à ocorrência de temperaturas elevadas. Nas imagens do campo térmico (Imagem 4) mostrando as duas cenas, aparentemente em 2009 a temperatura da superfície mostrou-se menor que em 1989, o que provavelmente se deve ao fato de no mês de novembro já ter sido registradas algumas chuvas, apesar do baixo total acumulado até 9/11/2009 que foi de 16,6 mm. Inclusive, no dia, choveu 2,9 mm, o que pode ter contribuído para que a temperatura da superfície do solo estivesse menor. Outra justificativa pode ser atribuída à capacidade de operação técnica do satélite e seus sensores, que foi modificada no intervalo de tempo de vinte anos, entre a primeira e segunda imagem, e ainda à margem de erro dos satélites e da técnica de operação.

Diante do exposto, acredita-se que a caracterização de Teresina como cidade quente, justifica-se também, pelas condições locais (latitude, altitude, ventos fracos, dentre outras). A inexistência do regime de brisas terrestres e marítimas como acontece em outras capitais litorâneas do nordeste, não permite o abrandamento do calor pela mistura do ar entre as áreas construídas e as verdes. Isso implica que a necessidade de áreas verdes nas áreas urbanas é um imperativo da cidade neste século XXI.

5 ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM TERESINA

O clima global vem sendo modificando ao longo dos anos, o que leva a se pensar nas ações do homem, quando altera o ambiente, e através de novas tecnologias busca atender às pressões dos padrões de consumo, cada vez mais exigentes. Em Teresina, o resultado dessas práticas pode ser observado no comportamento do clima, mais precisamente no da temperatura do ar, da umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, por se manifestarem mais diretamente no cotidiano da população.

Nesta seção, faz-se uma caracterização do clima de Teresina, identificando-se variações ocorridas através das temperaturas média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. Descreve-se e analisa-se o comportamento desses elementos meteorológicos e dos fenômenos que influenciaram alterações no curso normal da série completa analisada, nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 e nas estações chuvosa e seca.

A estação chuvosa adotada corresponde ao período de tempo compreendido pelos meses cujas temperaturas apresentam-se mais baixas (jan-fev-mar-abr-maio) e quando ocorrem as chuvas em Teresina, sendo a estação seca ou “B-R-O-BRÓ” (set-out-nov-dez) aquela com as temperaturas mais altas do ano e pouca ou nenhuma ocorrência de chuvas.

5.1 Temperatura média do ar anual

Teresina é dotada de altas temperaturas até por localizar-se próxima ao Equador terrestre, à latitude de 05°05' Sul (BASTOS; ANDRADE JÚNIOR, 2008), o que contribui para que receba grande quantidade de radiação solar. A altitude é outro parâmetro com influência sobre a temperatura do ar, como afirmam Monteiro (1976), Tubelis e Nascimento (1992), Landsberg (2006) e Ayoade (2006), dentre outros. Assim, a baixa altitude de Teresina (74,4 m) contribui para que a cidade detenha altas temperaturas, embora somente esse parâmetro não seja capaz de definir o clima de um local. Concomitante a essa característica, a cidade já possui nível de urbanização alto, o que pode estar contribuindo para o aumento da temperatura do ar.

Os valores extremos de temperatura média do ar ocorrem em junho (26,9 °C) e outubro (29,8 °C).

Organizando as temperaturas médias do período de 1977 a 2009 em quartis (25%, 50% e 75%), identificou-se que 50% das temperaturas médias estão compreendidas entre 27,0

°C e 28,9 °C. Assim, em Teresina – PI, as temperaturas abaixo de 27,0 °C foram consideradas baixas e acima de 28,9 °C, altas.

As médias anuais do período completo somente estiveram abaixo de 27,0 °C no ano de 1985 e acima de 28,9 °C no de 1998. Desse modo, a temperatura média anual do ar obtida nos 12 meses do ano mostra aumento significativo somente entre as médias desses dois anos.

O comportamento da temperatura média do ar na cidade de Teresina - PI ao longo dos 33 anos analisados é representado no Gráfico 1, onde se mostra sua evolução referente aos 12 meses de cada ano da série de 1977 a 2009.

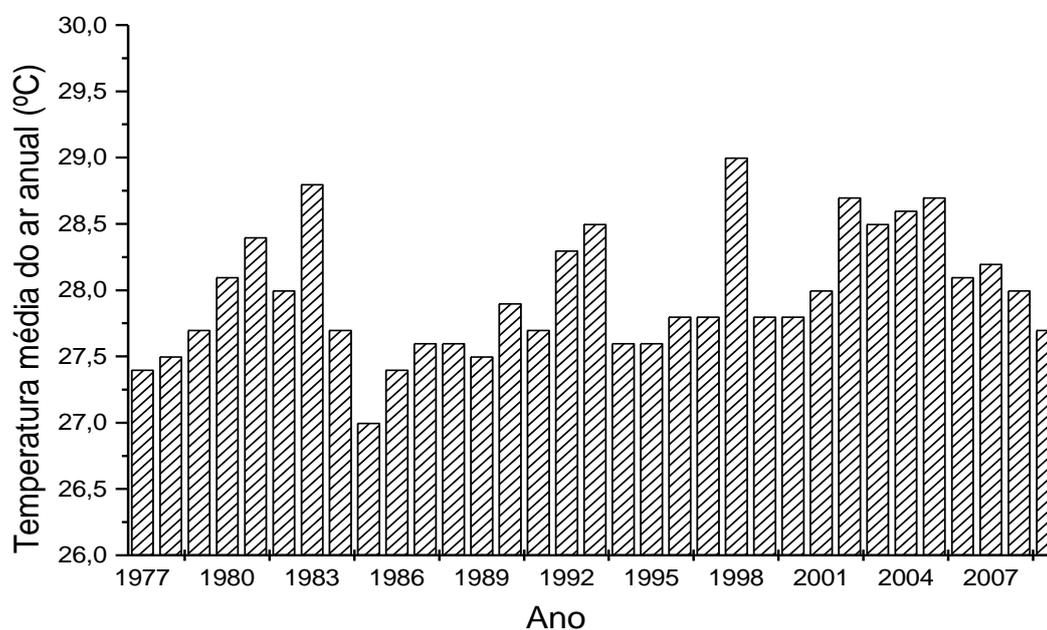


Gráfico 1 – Temperatura média do ar anual referente ao período de 1977 a 2009 em Teresina – PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

No ano de 1985, quando foi registrada a menor média de temperatura do período (27,0 °C), atuou uma *La niña* fraca, que se estendeu desde setembro de 1984 até outubro de 1985, persistindo por toda a estação chuvosa, o que pode ter contribuído para a ocorrência de baixas temperaturas.

Em 1998, quando foi registrada a maior média anual de temperatura do ar (29,0 °C), um *El niño* forte atuou durante toda estação chuvosa, contribuindo para as altas temperaturas registradas. Contudo, outros eventos meteorológicos desse tipo ocorreram nesse período, sem deixar diferenças significativas quando comparados pela média de temperaturas anuais.

Verificou-se que 1983, 1998, 2002, 2004 e 2005 foram os anos mais quentes do período em relação à média, enquanto 1985 e 1986 caracterizaram-se como anos frios, sendo todos os anos quentes marcados por *El niños*.

O *El niño* constitui um sistema atmosférico em larga escala caracterizado por um aquecimento das águas do Oceano Pacífico Tropical, quando os ventos sopram de leste para oeste, que pode afetar o clima regional e global e os regimes de chuva em regiões tropicais e de latitudes médias. No Brasil, é responsável pelo aumento de precipitação pluviométrica na região Sul e redução na região Norte e Nordeste. A *La Niña* representa um fenômeno oceânico-atmosférico com características opostas ao *El Niño*, e que se caracteriza por um esfriamento anormal nas águas do Oceano Pacífico Tropical, com impactos geralmente, também opostos aos de um *El Niño* (INPE, 2009).

Buscando verificar se o aumento de temperatura média do ar na cidade de Teresina é real, haja vista o alto desvio-padrão entre as médias anuais mascarar o resultado, não mostrando aumento significativo, realizou-se análise estatística para os cinco meses da estação chuvosa do ano (jan-fev-mar-abr-maio) por revelarem maior homogeneidade de valores de temperatura entre si. Nesse período, as temperaturas do ar são as mais baixas do ano, tendo como média 27,3 °C.

As maiores médias anuais de temperatura do ar na estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) aconteceram quando também atuavam *El niños* de magnitude forte, como em 1983, 1998 e 2005, caracterizados como os mais quentes do período analisado.

Usando-se a mesma metodologia, foram destacados os meses conhecidos culturalmente, em Teresina, como pertencentes ao período do “B-R-O-BRÓ”, por possuírem a última sílaba do nome terminada em BRO (setembro, outubro, novembro e dezembro) e serem os mais quentes do ano. Encontrou-se 1985 como o ano mais frio do período estudado, enquanto os mais quentes, entre aqueles considerados os mais quentes do ano, foram 1981, 1983, 1992, 1998, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 e 2007.

A média anual de temperatura média do ar referente somente aos meses da estação seca é 29,4 °C, mas em 1985, foi de 28,0 °C. O *La niña* que permaneceu de setembro de 1984 a outubro de 1985, contribuiu para que a temperatura média do ar fosse menor que a esperada para o período.

Reforçando os resultados de pesquisas que evidenciam mudanças no clima global, a NOAA (2010b) afirma que os indicadores mostram continuidade desse processo. A temperatura média do ar, apesar de não ser o único, é o indicador de maior repercussão das

mudanças climáticas globais, atingindo, 1,4 °C de aumento desde o início do século XX, o que evidencia um aquecimento a longo prazo, ainda que esse aumento não aconteça durante todos os anos. As variações de temperaturas entre anos devem-se às causas naturais como *El Niños* e *La Niñas* e às erupções de vulcões.

Estudos anteriores demonstravam que a década de 1990 teria sido a mais quente de todos os tempos, entretanto, de acordo com a NOAA (2010b) todos os anos da década de 2000 tiveram médias superiores à média dos anos 1990.

Em Teresina, analisando-se o período de 1977 a 2009, dividido em três períodos, verificou-se resultado semelhante aos encontrados para o clima global, como pode ser observado na Tabela 3. A cada 11 anos de um período a outro, a temperatura do ar esteve maior que o anterior.

Tabela 3 - Teste “t” a entre as médias dos períodos de 1977 a 1987, 1988 a 1998 e 1999 a 2009 em Teresina – PI.

Períodos	Média (°C)	Períodos de 11 anos	<i>p</i>
1977 a 1987	27,8	1977 a 1987 1988 a 1998	0,504
1988 a 1998	27,9	1977 a 1987 1999 a 2009	0,016*
1999 a 2009	28,2	1988 a 1998 1999 a 2009	0,228

(*) Diferenças entre médias estatisticamente significativas no nível de 0,05.

Quando se comparou as três médias dos períodos, verificou-se aumento significativo ($p = 0,016$) no período estudado, como é mostrado quando se comparou o período de 1977 a 1987 com 1999 a 2009, sendo estes últimos 11 anos, os mais quentes do período analisado.

A média de 1999 a 2009 foi de 28,2 °C e a de 1977 a 1987, 27,8°C, um aumento significativo de 0,4 °C, em 22 anos, o que pode estar se configurando em mudança climática visto ser verificado aumento desse elemento em períodos posteriores a outros, inicialmente analisados, apontando-o como um indicador de mudança climática.

Na análise das médias de temperatura média do ar, detectaram-se diferenças significativas somente entre os anos de 1985 e 1998. Mas quando foram comparadas as

médias da estação chuvosa com a estação seca, encontrou-se diferença significativa entre as médias ($p < 0,05$), como mostra o resultado do teste “t” a um nível de 5 % (Tabela 4).

Tabela 4 – Teste “t” entre as médias de temperatura média do ar da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e da estação seca ou b-r-o-bró (set-out-nov-dez) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.

Estação	Temperatura Média do ar (°C)	Diferença entre médias (° C)	<i>p</i>
Chuvosa	27,3	2,1	0,001
Seca (b-r-o-bró)	29,4		

Assim, as médias de temperatura média do ar do período chuvoso (jan-fev-mar-abr-maio) são significativamente diferentes das do período seco (set-out-nov-dez), durante o período estudado, como já era esperado.

A diferença entre as médias de temperatura da estação das chuvas e da estação seca é de 2,1 °C, estatisticamente significativa. É na estação seca do ano que ocorrem os maiores totais de insolação e a nebulosidade e umidade relativa do ar são baixas o que contribui para que a estação seca registre as mais altas temperaturas, quando ocorrem maior quantidade de problemas de saúde à população.

Assim, uma das características do clima de Teresina é a elevação da temperatura média do ar no período seco.

5.1.1 Temperatura média do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009

Para a análise da série temporal da temperatura média do ar, relacionando alterações desse elemento meteorológico com o crescimento da população e com a supressão da vegetação, foram selecionados dois períodos: 1977 a 1991 e 1992 a 2009.

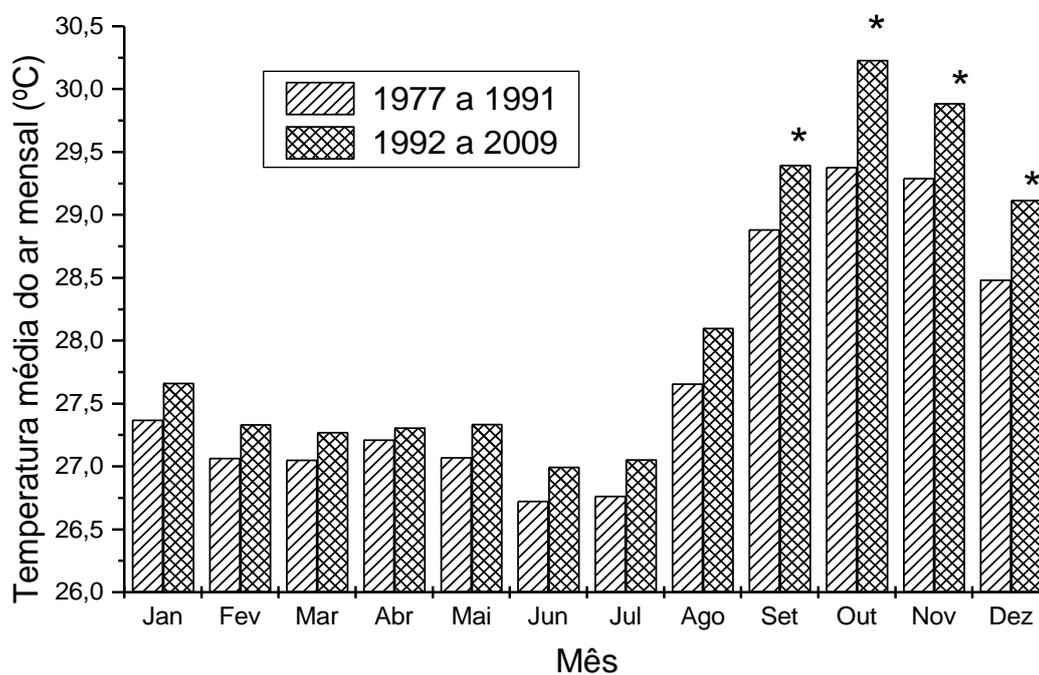
A partir do teste “t” verificou-se que a temperatura média do ar mensal no período de 1992 a 2009 foi maior que a do período de 1977 a 1991, como apresentam os resultados na Tabela 5.

Tabela 5 – Teste “t” entre as médias de temperatura média do ar dos períodos de 1977 a 1991 a 1992 a 2009 em Teresina – PI.

Período	Temperatura média do ar (°C)	Diferença entre médias (°C)	<i>p</i>
1977 a 1991	27,7	0,4	0,001
1992 a 2009	28,1		

A média de temperatura média do ar de 1977 a 1991 foi de 27,7 °C, menor 0,4 °C que a de 1992 a 2009, um aumento considerado significativo ($p < 0,05$, quando comparadas as duas médias

No Gráfico 2 se demonstra o comportamento da temperatura média do ar mensal nos dois períodos analisados. Verificou-se aumento no segundo período (1992 a 2009), sendo os significativos em setembro, outubro, novembro e dezembro. Nestes meses, compreendidos na estação seca (sem chuvas), as temperaturas são muito elevadas.



(*) Diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias.

Gráfico 2 – Temperatura média do ar mensal referente aos períodos 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

A média de temperatura média do ar durante os 12 meses referentes ao período de 1977 a 1991 foi de 27,7 °C e de 1992 a 2009, de 28,1 °C, um aumento de 0,4 °C no segundo. Comparando-se as duas médias, como já foi citado, o teste “t” identificou aumento significativo na temperatura média do ar no período de 1992 a 2009.

No primeiro período (1977 a 1991), onze anos apresentaram médias de temperatura do ar acima, e quatro abaixo da média climatológica referente ao período de 1977 a 2009, com situação inversa no segundo (1991 a 2009). Sete anos apresentaram temperaturas abaixo da média, enquanto 11 estiveram acima, ou seja, somente 26,7 % dos anos que compõem o primeiro período registraram temperaturas acima da média, enquanto no segundo período, foi de 61,1% a ocorrência de anos mais quentes.

Comparando-se os dois períodos (1977 a 1991 e 1992 a 2009), pode-se afirmar que nos últimos 18 anos as temperaturas de Teresina estão mais altas nos meses compreendidos no período mais quente, conhecido como “B-R-O-BRÓ” (set-out-nov-dez). Essas alterações provavelmente aconteceram devido ao aumento da população, desencadeando a redução de vegetação e aumento de áreas impermeabilizadas e de áreas construídas, fatores que contribuem para elevar a temperatura do ar na cidade, não se descartando, também, as causas naturais.

5.2 Temperatura máxima do ar anual

Organizando-se em quartis (25%, 50% e 75%) as temperaturas máximas do ar da série de 1977 a 2009, identificou-se que 50% delas estão compreendidas entre 31,9 °C e 35,6 °C. Assim, em Teresina – PI, as temperaturas máximas do ar abaixo de 31,9 °C foram consideradas baixas, e altas acima de 35,6 °C.

Em nenhum ano da série de 1977 a 2009 foi registrada média anual de temperatura máxima do ar inferior a 31,9 °C ou superior a 35,6 °C, sendo a menor média anual de temperatura no período de 32,0 °C, verificada em 1985 e a maior de 35,1 °C, observada em 1983. Não houve, pois, no período, média de temperatura máxima do ar considerada alta nem baixa, quando se analisa o período completo, ano a ano.

O comportamento da temperatura máxima do ar anual na cidade de Teresina - PI, ao longo dos 33 anos analisados, é representado no Gráfico 3, que permite visualizar sua evolução referente aos 12 meses de cada ano de série de 1977 a 2009.

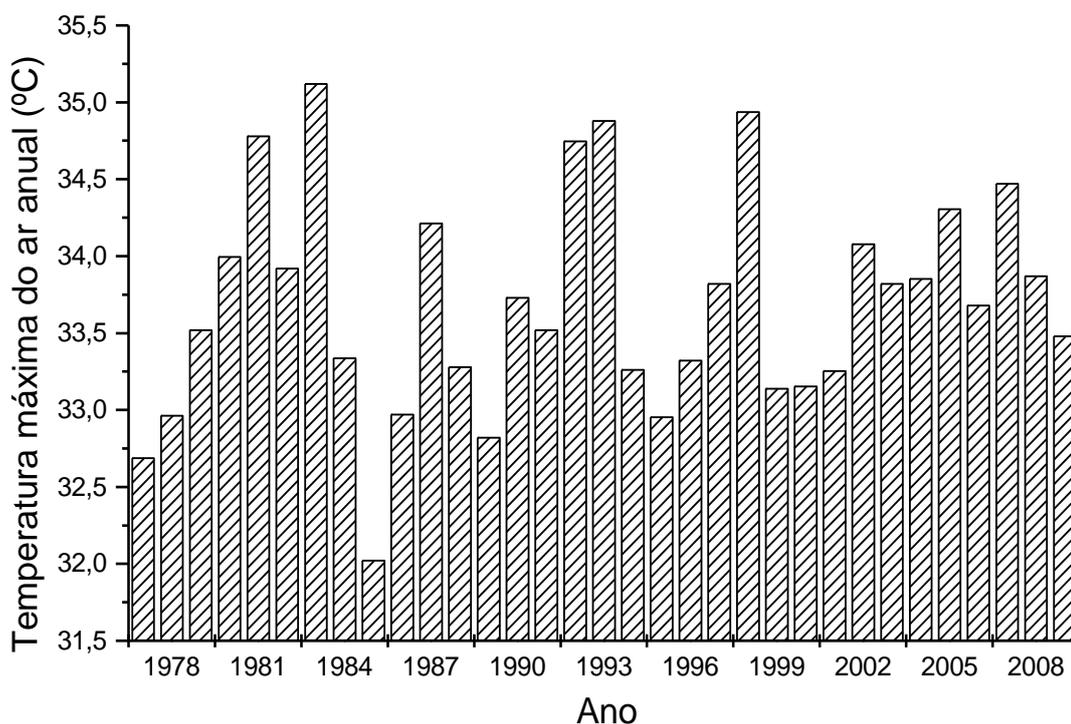


Gráfico 3 - Temperatura máxima do ar anual referente ao período de 1977 a 2009, em Teresina – Piauí.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

A média de temperatura máxima do ar no período analisado foi de 33,7 °C, sendo os valores extremos de 28,4 °C, verificados em maio de 1977, e 38,3 °C, em 1992 e 1998.

Em 1983, quando a temperatura máxima do ar foi de 35,1 °C, aconteceu um *El Niño* forte. O ano de 1985, com média de temperatura máxima do ar de 32,0 °C foi caracterizado como ano de *La Niña* fraca. Contudo, outros eventos meteorológicos desse tipo ocorreram no período, sem deixar diferenças significativas quando comparados pela média de temperaturas anuais.

Assim como no caso da temperatura média, a insensibilidade das médias anuais de temperatura máxima para detectar fenômenos globais deve-se ao grande desvio padrão entre as medidas mensais. Para contornar esse problema, seguiu-se o mesmo procedimento utilizado na análise da temperatura média do ar apenas com os cinco meses do ano da estação chuvosa (jan-fv-mar-abr-maio) e os quatro da seca e quente (set-out-nov-dez).

Na Tabela 6 apresentam-se os resultados do teste realizado com a temperatura máxima do ar das estações chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e seca (set-out-nov-dez), na qual se podem observar diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as médias das duas estações.

Tabela 6 – Teste “t” entre as médias de temperatura máxima do ar da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e da estação seca ou b-r-o-bró (set-out-nov-dez) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.

Estação	Temperatura máxima do ar (°C)	Diferença entre médias (° C)	<i>p</i>
Chuvosa	31,9	4,0	0,001
Seca (b-r-o-bró)	35,9		

Quando se considerou o período de jan-fev-mar-abr-maio, a média de temperatura máxima do ar foi de 31,9 °C, enquanto para o de set-out-nov-dez, a média foi de 35,9 °C, considerada alta. A diferença entre as médias de temperatura dos dois períodos (chuvoso e b-r-o-bró) foi de 4,0 °C. Essa diferença entre as médias das duas estações é estatisticamente significativa.

5.2.1 Temperatura máxima do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009

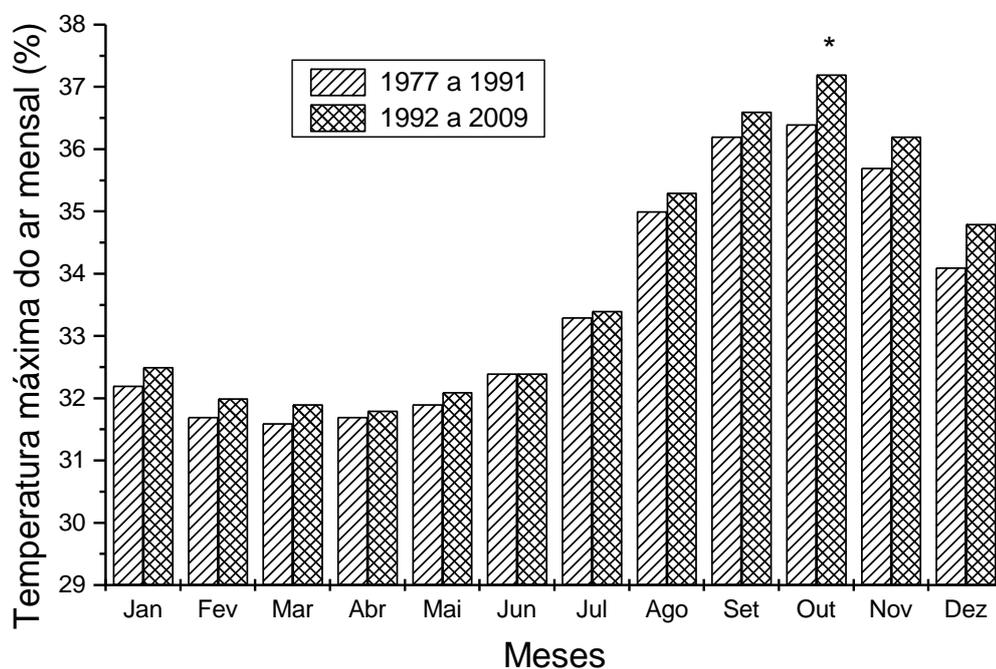
Ao longo dos anos, a expansão urbana e os efeitos desse crescimento podem favorecer o aumento da temperatura do ar nas cidades. Para verificar se a temperatura máxima do ar aumentou, nos de 33 anos analisados, realizou-se a análise e testes de significância, como pode ser observado na Tabela 7.

Tabela 7 – Teste “t” entre as médias de temperatura máxima do ar referentes ao período de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.

Período	Temperatura máxima do ar (°C)	Diferença entre médias (° C)	<i>p</i>
1977 a 1991	33,8	0,0	0,149
1992 a 2009	33,8		

A média de temperatura máxima do primeiro período (1977 a 1991) foi de 33,8 °C e do segundo (1992 a 2009), de 33,8 °C, não havendo, assim, aumento significativo entre as temperaturas dos dois períodos, para um nível de 5 %, de acordo com o valor de significância de 0,149, maior que 0,05.

A evolução da temperatura máxima do ar mensal analisada nos dois períodos pode ser visualizada no Gráfico 4, quando se observou que no segundo período da série estudada (1992 a 2009), houve aumento significativo somente no mês de outubro, não apresentando, entretanto, alteração significativa no ano, considerando-se os 12 meses do ano.



(*) Diferença significativa a 0,05.

Gráfico 4 – Temperatura máxima do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Da mesma forma que a temperatura média do ar, a temperatura máxima do ar apresentou-se maior no segundo semestre do ano, principalmente nos meses compreendidos no “b-r-o-bró”, nos quais se concentram os maiores valores de insolação durante o ano. Mas, somente o mês de outubro apresentou diferença significativa entre as médias dos dois períodos.

Assim como aconteceu com a temperatura média do ar, o grande desvio padrão entre as médias de temperatura máxima do ar das duas estações pode ter camuflado o resultado do ano completo. Assim, adotando o mesmo procedimento usado para a temperatura média do ar, realizou-se a análise considerando-se somente os meses da estação chuvosa e os da estação seca.

As médias de temperaturas máximas do ar de setembro-outubro-novembro-dezembro apresentam diferenças significativas em relação a todos os meses do primeiro semestre, sendo outubro o mais quente, com média de 36,8 °C. Este período (set-out-nov-dez) é, pois, o que mais contribuiu para o aumento da média anual de temperatura do ar.

Apesar de a temperatura máxima do ar na estação seca ser mais elevada que na estação chuvosa, com diferença de 4,0 °C, quando comparados os períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009, não foi detectada diferença significativa entre as médias anuais dos dois períodos. Ou seja, não houve aumento de temperatura máxima nos últimos 18 anos (1992 a 2009).

5.3 Temperatura mínima do ar anual

Seguindo o mesmo critério adotado para a temperatura média do ar e para a temperatura máxima do ar, as temperaturas mínimas foram organizadas em quartis (25%, 50% e 75%), o que permitiu identificar que 50% delas estão inseridas no intervalo de 21,6 °C a 22,9 °C. A partir dessa seleção, para o período completo (1977 a 2009) foram consideradas baixas, em Teresina, as temperaturas mínimas inferiores a 21,6 °C e altas as superiores a 22,9 °C.

Dos 33 anos do estudo somente foi registrada média anual de temperatura mínima do ar considerada baixa (menor que 21,6 °C), em 1987. Os anos que registraram médias altas (maior que 22,9 °C) foram 1998, 2002, 2004 e 2005, como pode ser observado no Gráfico 5, que também tiveram as maiores médias de temperatura média do ar.

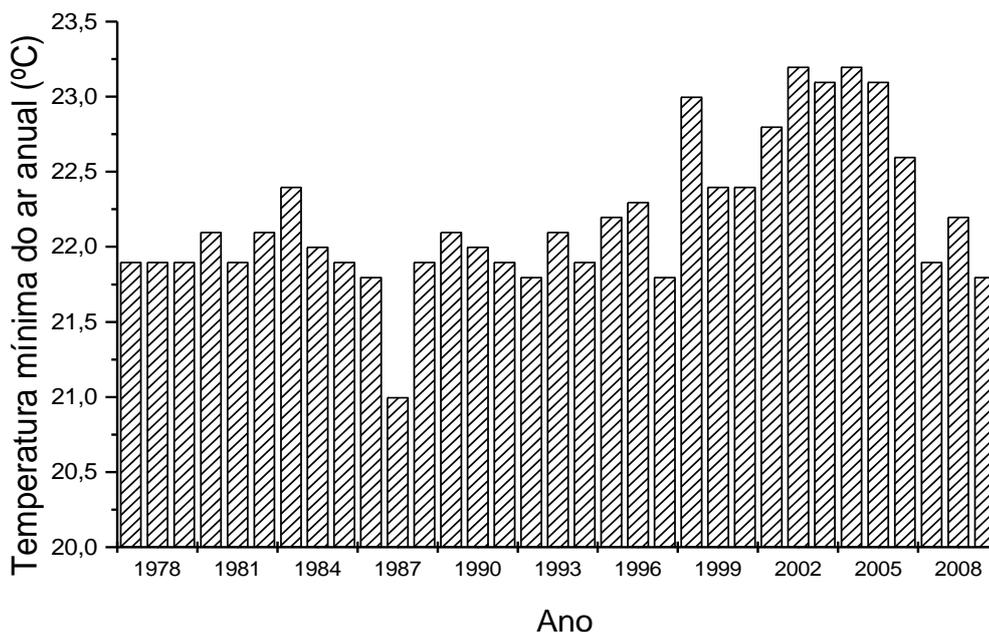


Gráfico 5 - Temperatura mínima do ar anual referente ao período de 1977 a 2009 em Teresina – Piauí.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

No ano de 1987, quando foi registrada a menor média anual de temperatura mínima do ar (21,0 °C), não houve a contribuição da *La niña*. Nessa época, atuava um *El niño* de magnitude moderada, que também não interferiu no resultado das chuvas, que neste ano atingiu 1.481,8 mm, valor compatível com a média climatológica do período estudado (1.396,0 mm anuais).

A média de temperatura mínima do ar no período total analisado foi de 22,1 °C, sendo a maior média (23,2 °C) verificada em 2004 e a menor (21,0°C) em 1987. Os valores extremos de temperatura mínima do ar foram 18,9 °C (jul/81 e jul/97) e 24,6 °C (nov/98).

Devido o alto desvio-padrão entre as médias anuais não mostrarem aumento significativo, analisaram-se as temperaturas mínimas do ar por estações, por apresentarem maior homogeneidade de valores de temperatura mínima do ar entre si.

Os resultados das análises e do teste “t” com as médias de temperatura mínima do ar do período chuvoso e do período “b-r-o-bró” são apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Teste “t” entre as médias de temperatura mínima do ar da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e da estação seca ou b-r-o-bró (set-out-nov-dez) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.

Estação	Temperatura mínima do ar (°C)	Diferença entre médias (° C)	<i>p</i>
Chuvosa	22,5	0,2	0,158
Seca (B-r-o.-bró)	22,7		

A diferença de temperatura mínima do ar entre a estação chuvosa e a estação seca (b-r-o-bró) foi de 0,2 °C, não significativa ($p = 0,158$), quando se comparam as duas médias. Diferentemente da temperatura média do ar e da temperatura máxima do ar, com médias das estações seca e chuvosa, estatisticamente distintas, as de temperatura mínima do ar dessas duas estações no período estudado são estatisticamente iguais.

As menores temperaturas mínimas ocorrem nos meses de junho, julho e agosto, pertencentes à estação indefinida, não se configurando como estação chuvosa ou seca. Isso se deve ao fato de neste período estar acontecendo o inverno no hemisfério Sul, apesar de a região Nordeste do Brasil e, evidentemente a cidade de Teresina, não ser contemplada com essa estação.

5.3.1 Temperatura mínima do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009

Seguindo a mesma metodologia usada para as temperaturas média e máxima, a temperatura mínima do ar foi analisada em dois períodos (1977 a 1991 e 1992 a 2009), realizando-se o teste “t” para verificar se houve variação significativa entre as médias, no nível de 0,05.

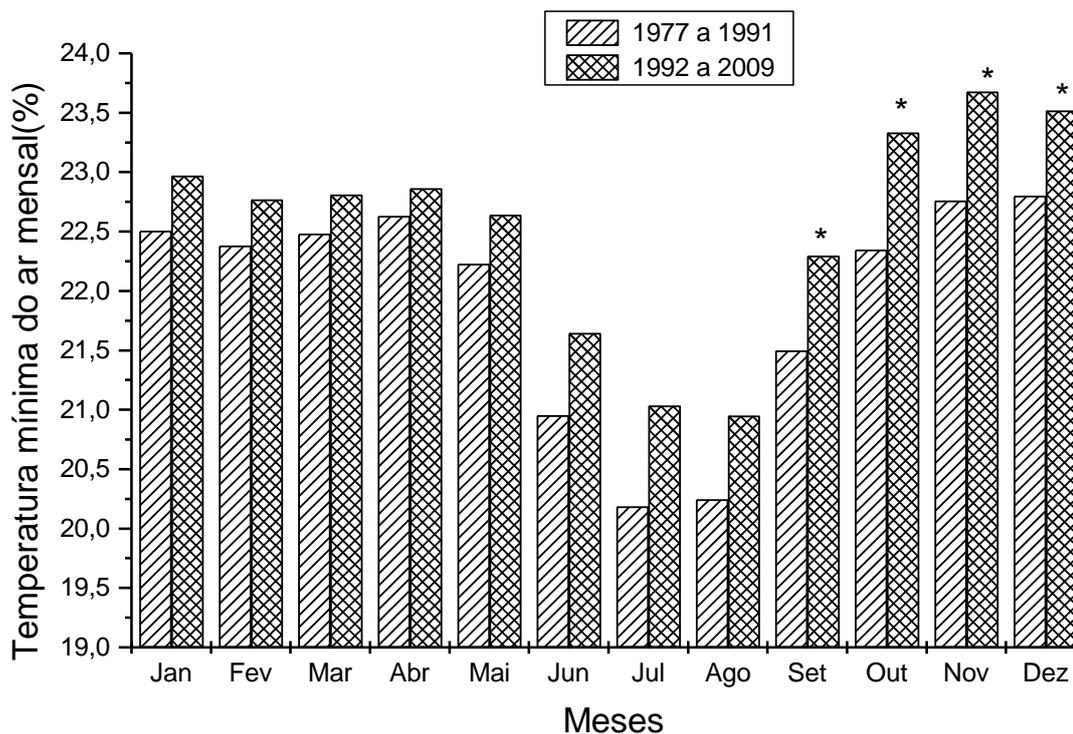
Os resultados das análises de temperatura mínima do ar do período de 1977 a 1991 e de 1992 a 2009 são apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Teste “t” entre as médias de temperatura mínima do ar em Teresina – PI referentes aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009.

Período	Temperatura mínima do ar (°C)	Diferença entre médias (° C)	<i>p</i>
1977 a 1991	21,9	0,4	0,001
1992 a 2009	22,3		

O aumento de temperatura mínima anual no período de 1992 a 2009 foi considerado significativo ($p < 0,05$), quando se analisou os 12 meses do ano. Esse aumento foi verificado, principalmente em setembro, outubro, novembro e dezembro, apresentando-se maior no mês de outubro, com diferença de 1,0 °C, quando comparados os dois períodos. Essa elevação nas médias de temperatura do ar no segundo período (1992 a 2009) pode relacionar-se às novas formas de ocupação do solo, às práticas urbanas e, principalmente, à diminuição da vegetação, fazendo com que se reduza a evaporação, o que contribui para o aumento da temperatura.

A evolução da temperatura mínima do ar nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009, é apresentada no Gráfico 6, onde se pode observar que no segundo período, as temperaturas são mais elevadas. Nos últimos 18 anos, as temperaturas mínimas estiveram mais elevadas em todos os meses do ano, principalmente nos meses mais quentes.



(*) Diferenças significativas a 0,05.

Gráfico 6 – Temperatura mínima do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

A média de temperatura mínima do ar do segundo período, que foi de 22,3 °C, foi superior à média do primeiro, de 21,9 °C, com um incremento de 0,4 °C, aumento esse considerado significativo no nível de 0,05.

O fluxo de calor absorvido durante o dia e dissipado à noite pode interferir no resultado das temperaturas mínimas de um local, que também dependem da superfície receptora. Superfícies construídas absorvem mais rapidamente calor durante o dia, da mesma forma que o calor das superfícies se dissipa mais rapidamente à noite, o que justifica a elevação das temperaturas mínimas à noite. Superfícies vegetadas e de água absorvem o calor mais lentamente e também o emitem de forma lenta, o que justifica as menores temperaturas mínimas, quando comparadas às superfícies construídas.

5.3.2 Comparação das temperaturas do ar (máxima, mínima e média) entre o período chuvoso (jan-fev-mar-abr-maio) e o período seco (set-out-nov-dez)

Ao se compararem as temperaturas das duas estações, encontrou-se que as médias de temperatura mínima do ar não são estatisticamente diferentes entre si, mas distintas das médias de temperatura máxima do ar e de temperatura média do ar.

A evolução das temperaturas do ar (mínima, média e máxima), quando analisadas separadamente por estações, nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009, é mostrada no Gráfico 7. As médias de temperatura (mínima, máxima e média), comparadas ao longo dos 33 anos estudados e entre estações permitem observar o grau de contribuição de cada temperatura na constituição da temperatura média do ar. Assim, a temperatura mínima do ar apresentou aumento em todos os meses do ano, mas foi na estação “b-r-o-bró” em que se verificou maior elevação (0,8 °C), no período estudado. O acréscimo da temperatura máxima do ar foi de 0,6 °C e o da temperatura média do ar de 0,7 °C.

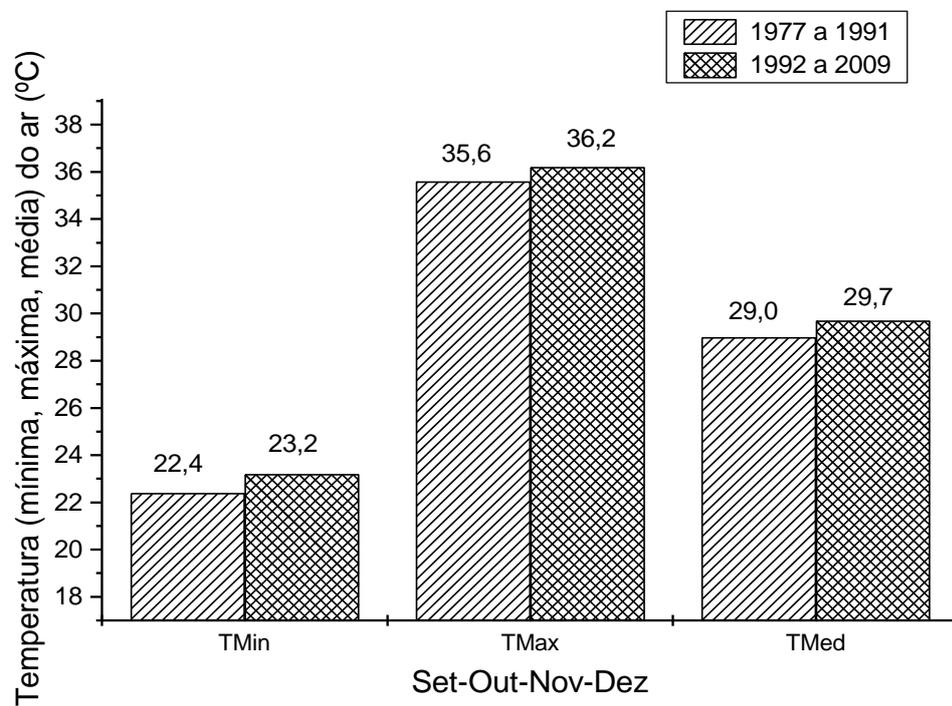
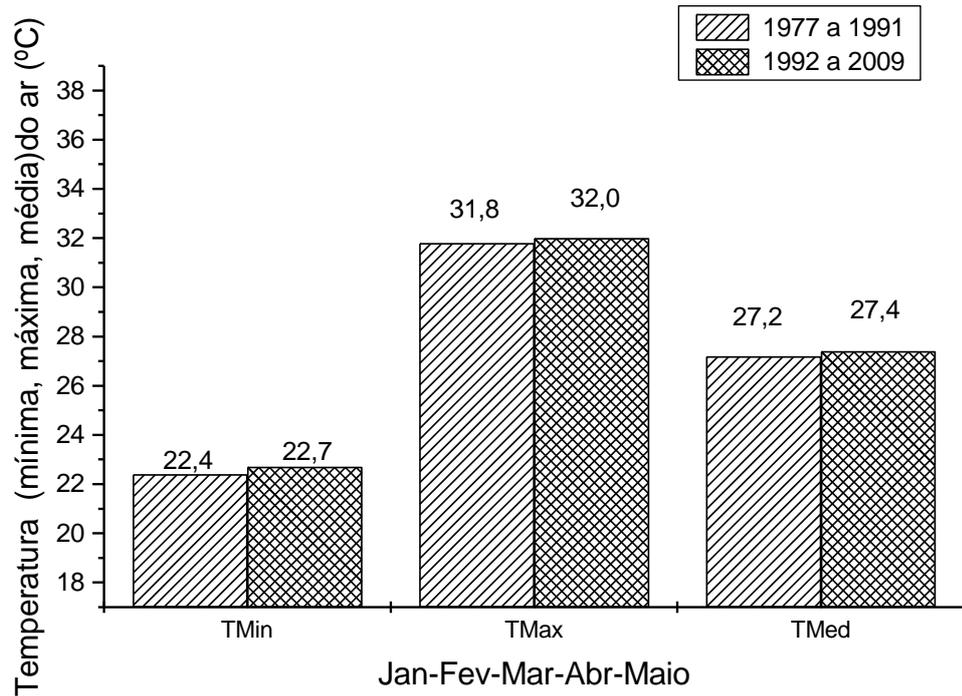


Gráfico 7 – Evolução da temperatura do ar (mínima, média e máxima) na estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e na estação seca/b-r-o-bró (set-out-nov-dez) nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Dentre as duas estações, a seca foi a que é contribuiu para o aumento da temperatura do ar média do ar do período completo estudado (1977 a 2009), devido este concentrar as mais altas temperaturas do ano.

Nesta estação a diferença na temperatura mínima do ar entre aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 foi de 0,8 °C, enquanto o aumento de temperatura máxima do ar foi de 0,6 °C. Assim, dentre as duas modalidades de temperaturas, a temperatura mínima do ar é a que tem maior participação no cômputo final da temperatura média do ar.

O teste “t” não apontou diferenças significativas ($p = 0,158$) entre as médias de temperatura mínima do ar, quando comparadas as duas estações. Ou seja, dentro do próprio ano, não existem diferenças entre as médias de temperatura mínima das estações seca e chuvosa.

Teresina vem passando por aumento de temperatura, sendo inegável a influência do processo de urbanização. Os desvios interanuais refletidos nos elementos climáticos, podem, também, relacionar-se com as variações na circulação atmosférica.

O estudo confirmou a teoria popular local que o “b-r-o-bró” é um período do ano muito quente em Teresina, com temperatura média do ar nesses quatro meses de 29,4 °C, enquanto na estação chuvosa é de 27,3 °C.

De 1977 a 1991 a temperatura média do ar no período seco foi de 29,0 °C e de 1992 a 2009, 29,7 °C, um aumento de 0,7 °C, sendo a temperatura mínima do ar que mais aumentou, com uma diferença de 0,8 °C.

O aumento de temperatura registrado em Teresina demonstrou-se maior a partir dos anos de 1990, quando já se configurava acelerado processo de urbanização, refletido, principalmente, na retirada da vegetação. Diferentes formas de ocupação do solo, como desmatamento, impermeabilização, crescimento horizontal e vertical da construção civil, incremento da poluição atmosférica causada pelo tráfego de veículos automotores e outras atividades urbanas, também podem ter contribuído para elevar a temperatura urbana.

O período seco ou “b-r-o-bró” está se tornando mais quente em Teresina, o que já se pode considerar como mudança climática configurada pela tendência de aumento nos 33 anos analisados (1977 a 2009). Acredita-se, assim, que essa mudança foi provocada principalmente pela ação antrópica e pelo meio urbano, somadas às causas globais, não se descartando, também, as causas naturais.

5.4 Umidade relativa do ar anual

Teresina, a exemplo de outras cidades, tem no seu processo de expansão da população e da malha urbana, grande parte da sua superfície impermeabilizada, diminuindo a evaporação de áreas antes vegetadas e aumentando sua temperatura, o que vai implicar uma maior evaporação dos corpos líquidos.

Nos meses mais secos, quando a umidade do ar é mais baixa e a nebulosidade reduzida, a superfície terrestre perde mais calor, tornando o ar mais aquecido. A média da umidade relativa do ar em Teresina é de 69,9% (1977-2009). Quando a estação chuvosa se encerra, marcada por elevadas temperaturas do ar, a umidade relativa do ar atinge valores baixos. A capacidade de evaporação aumenta com a temperatura do ar, mas, como a superfície já não tem disponibilidade hídrica, a atmosfera próxima à superfície retém pouca umidade, chegando a atingir valores abaixo de 30,0%, em dias mais secos, principalmente nos meses de setembro e outubro.

A umidade relativa do ar é um dos elementos meteorológicos de maior relação com a temperatura do ar, sendo os meses mais secos aqueles que registram maiores temperatura do ar. Os maiores valores de umidade relativa do ar acontecem em março e abril, quando se registram as temperaturas mais baixas do ano.

Os valores de umidade relativa do ar da série de 1977 a 2009, organizados em quartis, (25%, 50% e 75%), delimitaram-se em 50%, compreendidos entre 60,1 % e 80,4 %, ficando definido que, em Teresina – PI, se abaixo de 60,1 % é considerada baixa, enquanto acima de 80,4% é alta.

No Gráfico 8, é apresentado o comportamento anual da umidade relativa do ar no período de 1977 a 2009. Durante toda a série, nenhum ano apresentou média anual de umidade relativa do ar baixa (menor que 60,1 %), nem se verificou nenhuma média anual de umidade relativa do ar alta (acima de 80,4 %).

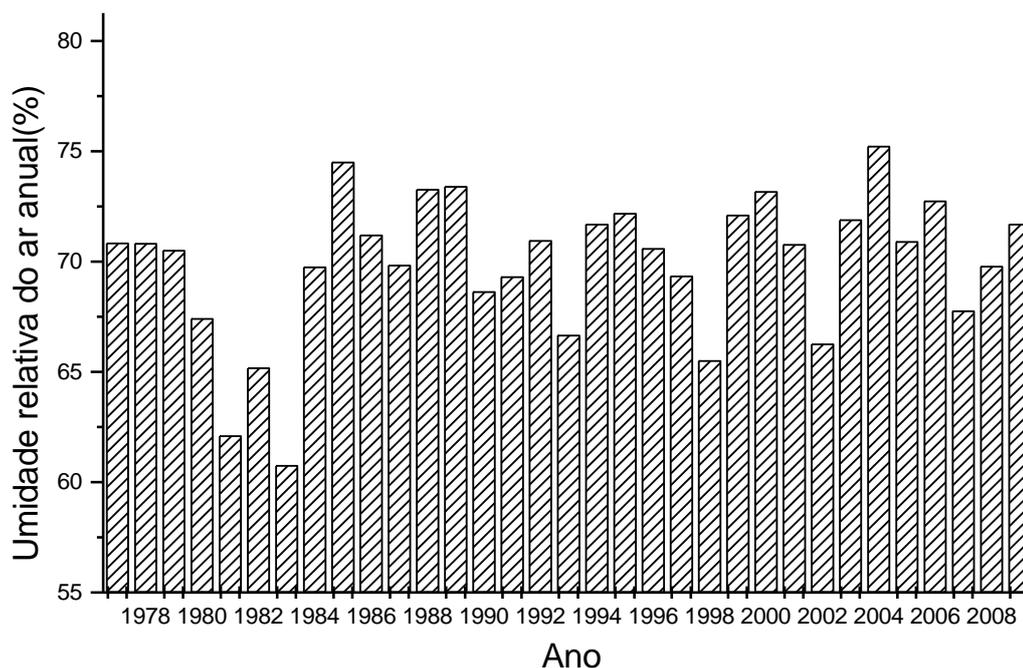


Gráfico 8 – Umidade relativa do ar anual referente ao período de 1977 a 2009 em Teresina – PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Consoante com a análise dos dados de umidade relativa do ar de 1977 a 2009, o ano que apresentou média de umidade relativa do ar mais baixa foi 1983, com 60,8 %, valor considerado alto. Em se tratando da umidade relativa do ar mensal, os meses ago-set-out-nov apresentaram valores inferiores a 60,1 %, considerados baixos, quando registradas as maiores médias de temperatura do ar. Médias altas foram observadas nos meses de fevereiro, março e abril.

De acordo com o banco de dados da Embrapa Meio-Norte (2010), a maior umidade relativa do ar mensal (91,5 %) no período aconteceu em janeiro de 2001, quando foram registrados 253,6 mm de precipitação pluviométrica e média de temperatura média do ar de 26,9 °C. No dia 14 de setembro de 1981, a umidade relativa do ar atingiu 29,0 % e, no dia 17 de outubro de 1991, foi de 27,0 %. Nos meses de setembro e outubro dos respectivos anos, as temperaturas foram as mais altas do ano, sem registros de chuvas.

No entanto, a menor média mensal registrada nos 33 anos de foi 40,4 %, em setembro de 1981, quando a média de temperatura máxima foi de 29,8 °C, e sem nenhuma ocorrência de chuvas. Os resultados estatísticos dos dados de umidade relativa do ar por estações

(chuvosa e b-r-o-bró) para um nível de significância de 5 % são apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Teste “t” entre as médias de umidade relativa do ar da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e da estação seca ou b-r-o-bró (set-out-nov-dez) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.

Estação	Umidade relativa do ar (%)	Diferença entre médias (° C)	<i>p</i>
Chuvas	81,0	21,9	0,001
B-r-o - bró	59,1		

A análise da umidade relativa do ar ao longo dos anos estudados permitiu identificar que as diferenças entre as médias intra-anuais de umidade relativa do ar são homogêneas. Entretanto, quando a análise é realizada observando-se a sazonalidade das estações climáticas, a diferença entre as médias é estatisticamente significativa ($p < 0,05$) no nível de 95 % de confiança.

Entre meses, as médias de umidade relativa do ar apresentam diferenças significativas se comparadas as dos meses mais quentes com as dos menos quentes. Na estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio), a umidade relativa do ar apresenta médias estatisticamente diferentes das encontrada na estação seca (set-out-nov-dez). Foram verificadas umidades altas nos meses jan-fev-mar-abr-maio, com média de 81,0 %, enquanto no período de set-out-nov-dez a média foi de 59,1 %, uma diferença de 21,9% entre as estações.

O Gráfico 9 apresenta o comportamento mensal da umidade relativa do ar e da temperatura média do ar em Teresina – PI no período de 1977 a 2009.

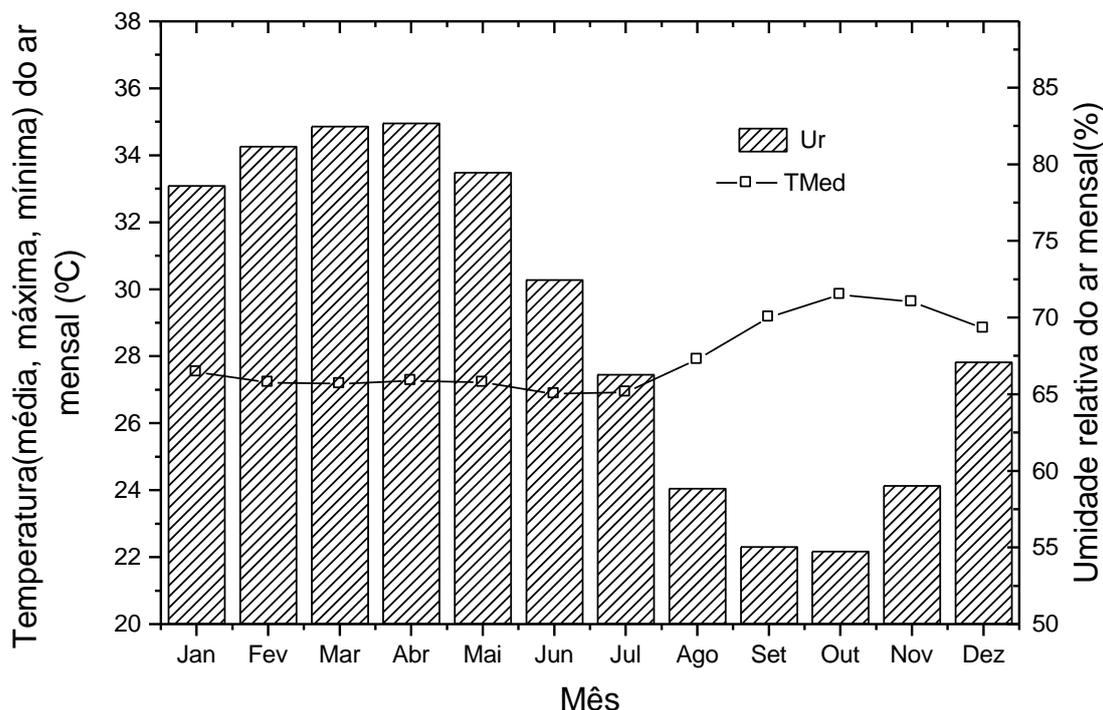


Gráfico 9 - Comportamento mensal da umidade relativa do ar e da temperatura do ar (máxima, média e mínima) no período de 1977 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Os maiores valores de umidade relativa do ar ocorrem em jan-fev-mar-abr-maio. A partir de junho, a umidade do ar passa a diminuir, atingindo os mais baixos valores em outubro, com média de 54,8 %, quando, também são registrados os mais altos valores de temperatura do ar. A mais alta média de umidade relativa do ar ocorre em abril com 82,7 %.

A baixa umidade relativa do ar em outubro deve-se ao fato de nesse mês não chover em Teresina e o déficit de umidade já vir sendo acumulado desde junho. Os maiores valores de umidade relativa do ar acontecem quando as chuvas são mais frequentes e concentram maiores valores pluviométricos, o que se dá, geralmente, em março e abril.

5.4.1 Umidade relativa do ar mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009

Obedecendo ao mesmo critério dos outros elementos meteorológicos, a análise da série temporal da umidade relativa do ar, relacionando alterações desse elemento

meteorológico com o crescimento da população e com a supressão da vegetação, a série de dados de umidade relativa do ar foi dividida em dois períodos: 1977 a 1991 e 1992 a 2009.

A Tabela 11 mostra os resultados obtidos a partir do teste “t”, no qual se verificou que não existe diferença significativa entre as médias de umidade relativa do ar no período de 1977 a 1991 e 1992 a 2009.

Tabela 11 – Teste “t” entre as médias de umidade relativa do ar referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.

Período	Umidade relativa do ar (%)	Diferença entre médias (%)	<i>p</i>
1977 a 1991	69,2		
1992 a 2009	70,5	1,3	0,250

Verificou-se aumento de somente 1,3% na umidade relativa do ar quando se comparou os dois períodos, o que, de acordo com o teste “t,” esse aumento não é significativo, sendo as duas médias consideradas estatisticamente iguais ($p > 0,05$).

A evolução da umidade relativa do ar nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009, é apresentada no Gráfico 10.

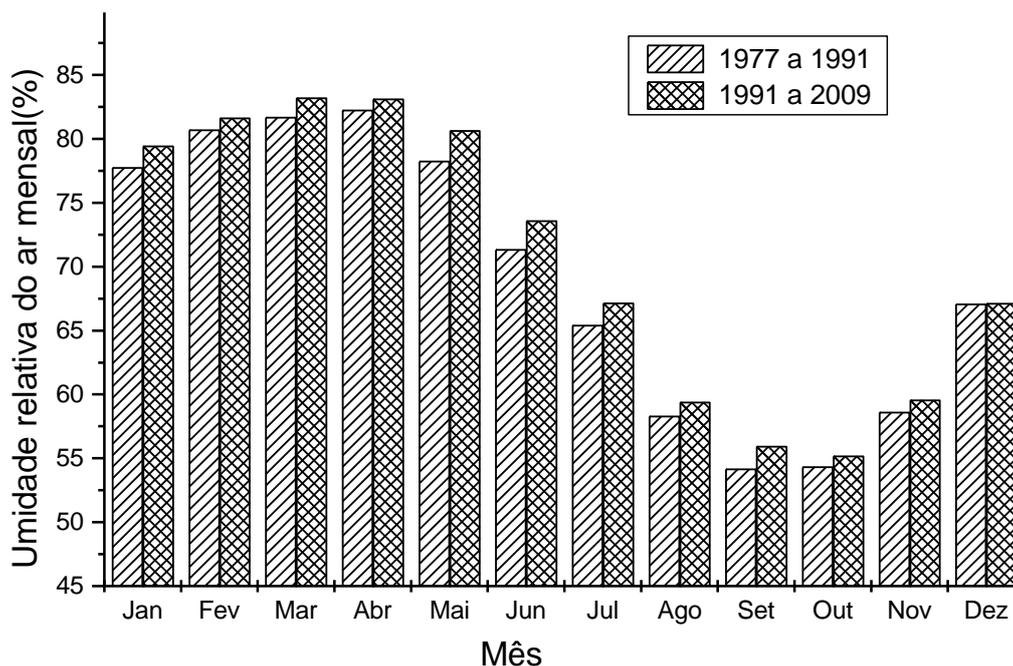


Gráfico 10 – Umidade relativa do ar mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina - PI.
 Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Os meses mais úmidos são exatamente aqueles em que a temperatura do ar é mais baixa. As chuvas ocorridas de janeiro a maio são responsáveis pelos valores mais altos de umidade relativa do ar.

Muitos trabalhos indicam redução de umidade relativa do ar em cidades que passaram por processo de aumento de população e urbanização, entre eles o de Souza Júnior (2006) e o de Ramos (2002), que identificaram diminuição significativa de umidade relativa do Campina Grande – PB, ao serem comparadas as séries temporais, apontando a urbanização como responsável pelo fenômeno.

Como a umidade relativa do ar é inversamente proporcional à temperatura do ar, esperava-se que estivesse diminuindo em Teresina, haja vista as temperaturas mínimas e médias terem aumentado ao longo da série estudada, o que não aconteceu quando se analisou a série completa, dividida em períodos.

Fatos considerados como favoráveis à diminuição de umidade relativa do ar foram evidenciados em Teresina, como expansão do sítio urbano, a maior concentração de

edificações e a redução da vegetação, parâmetros que possivelmente influenciaram a elevação da temperatura do ar. Apesar da presença desses indicadores urbanos serem contributivos da redução da umidade relativa do ar, esse fato não foi verificado em Teresina no período em questão, o que leva a concluir que somente ao aumento da temperatura do ar não é suficiente para reduzir a umidade do ar.

Ressalte-se que os dados meteorológicos utilizados no estudo são oriundos de uma Estação Meteorológica Convencional, localizada numa área com grande quantidade de vegetação, afastada da zona urbana e com baixo índice de urbanização. Outro fator que pode ter contribuído para manter a mesma umidade relativa do ar na cidade, ao longo do período estudado, é a existência dos rios Poti e Parnaíba, estando grande parte da zona urbana entre eles.

Sugere-se, assim, estudos mais aprofundados que justifiquem o fato de não ter apresentado mudança significativa na umidade relativa do ar, apesar de, no mesmo período, ter havido aumento na temperatura média do ar principalmente na temperatura mínima do ar.

5.5 Precipitação pluviométrica anual

De acordo com as características dos sistemas atmosféricos descritos por Tubelis e Nascimento (1992) e Varejão-Silva (2001), dentre outros autores e institutos de Meteorologia, conclui-se que a ZCIT é o principal sistema em alta escala, responsável pelas chuvas em Teresina. Quando sua posição está um pouco mais a sul do Equador, geralmente de março a abril, acontecem os maiores totais pluviométricos. Se a ZCIT apresenta frequentes oscilações mais a sul e com períodos mais demorados, ocorrem vários dias de chuva em Teresina. Em maio, quando do regresso da ZCIT mais a norte, as chuvas tendem a cessar.

Considerando-se a série de 1977 a 2009, chove em Teresina - PI, em média, 1.396,0 mm, anualmente. Os meses mais chuvosos vão de janeiro a abril, sendo março o que atinge maiores valores de precipitação pluviométrica, com média de 301,4 milímetros.

A precipitação pluviométrica em Teresina obedece a fatores atmosféricos gerais e de larga escala, sazonalidade frequentemente alterada por eventos de escassez ou excessos de chuvas. Exemplos de irregularidades nas chuvas em Teresina apresentam-se em forma de eventos de chuvas fortes em um período de 24 horas, totalizando altos totais pluviométricos, enquanto, também, são frequentes veranicos em meses da estação chuvosa, como mostra a

série de dados da Embrapa Meio-Norte (2010). Veranico corresponde ao período de estiagem (ausência de chuvas) durante a estação chuvosa, com dias de calor intenso e alta insolação. Para ser considerado veranico, é necessária uma duração mínima de quatro dias (AGRITEMPO, 2010).

O Gráfico 11 apresenta o curso anual da precipitação em Teresina ao longo da série de 1977 a 2009, apresentando anos com totais pluviométricos abaixo e outros acima da média climatológica. Apesar das irregularidades sazonais das chuvas em Teresina – PI, estatisticamente, essas médias anuais são homogêneas entre si, não havendo diferenças significativas entre as médias anuais da série estudada, quando comparadas no conjunto.

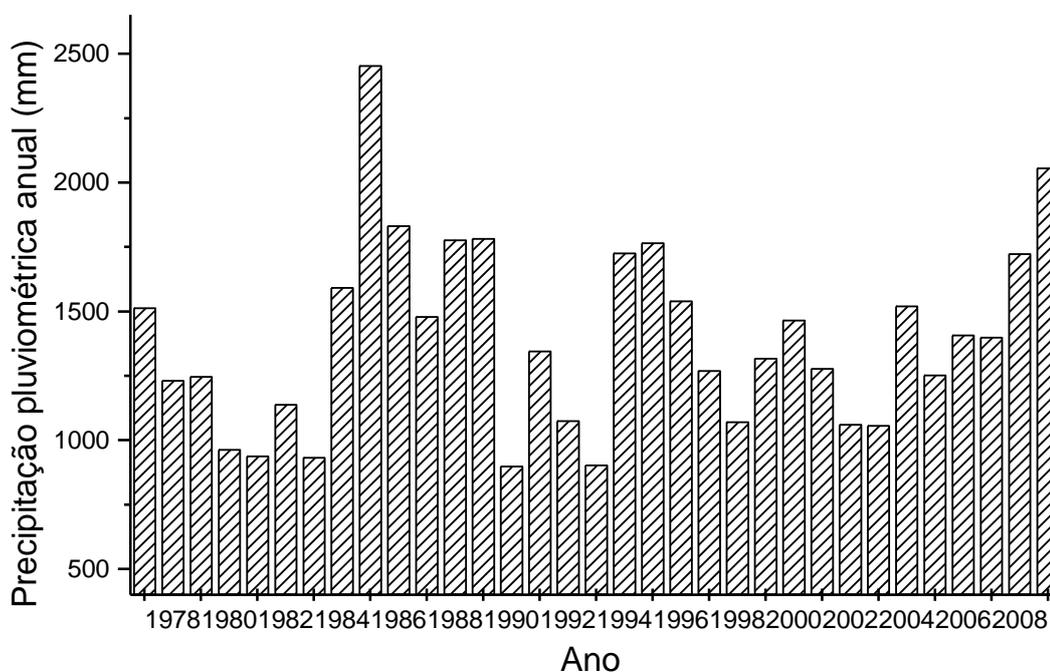


Gráfico 11 – Precipitação pluviométrica anual referente ao período de 1977 a 2009 em Teresina - Piauí.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Pela divisão dos dados de precipitação pluviométrica em quartis (25%, 50% e 75%), 50 % dos valores de precipitação ficaram concentrados no intervalo de 90,2 mm e 2.279,4 mm. Consideram-se, assim, como baixas, precipitações com valores inferiores a 90,2 mm e como altas, quando acima de 2.279,4 mm.

O ano de 1985 registrou média de precipitação pluviométrica de 2.454,8 mm, sendo assim considerado um ano chuvoso. Nenhum ano da série completa estudada teve precipitação pluviométrica baixa (menor que 90,2 mm). O menor valor anual de precipitação foi de 900,2 mm, em 1990, ano em que, e mais precisamente nos meses da estação das chuvas em Teresina, houve a atuação de uma *La niña*, que pode ter contribuído para os altos valores de precipitação pluviométrica.

As médias de precipitação pluviométrica durante todo o período de 1977 a 2009 foram caracterizadas homogêneas não apresentando diferenças intra-anuais significativas. Os resultados estatísticos dos dados de precipitação pluviométrica por estações (chuvosa e b-r-o-bró) para um nível de significância de 5 % são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12 – Teste “t” entre as médias de precipitação pluviométrica da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio) e da estação seca ou b-r-o-bró (set-out-nov-dez) de Teresina – PI referentes ao período de 1977 a 2009.

Estação	Precipitação pluviométrica (mm)	Diferença entre as médias (mm)	<i>p</i>
Chuvosa	1.154,9	959,9	0,001
Seca (b-r-o.- bró)	195,0		

A análise de variância, seguida do teste de Tukey, apontou um grupo homogêneo formado pelos meses de jun-jul-ago-set-out-nov, que concentra os menores valores de precipitação pluviométrica. Os maiores ocorrem em fevereiro, março e abril.

Quando comparadas as médias de precipitação dos meses compreendidos na estação seca com as dos da estação chuvosa, são observadas diferenças significativas ($p < 0,05$) entre elas. As médias de precipitação de set-out-nov-dez são homogêneas entre si, mas diferentes das médias de precipitação dos meses de jan-fev-mar-abr-maio.

As chuvas em Teresina mostraram-se irregulares entre as estações, entretanto, quanto aos totais pluviométricos, os desvios foram pequenos. O comportamento da precipitação pluviométrica mensal, mostrando sua relação com a temperatura do ar, é apresentado no Gráfico 12.

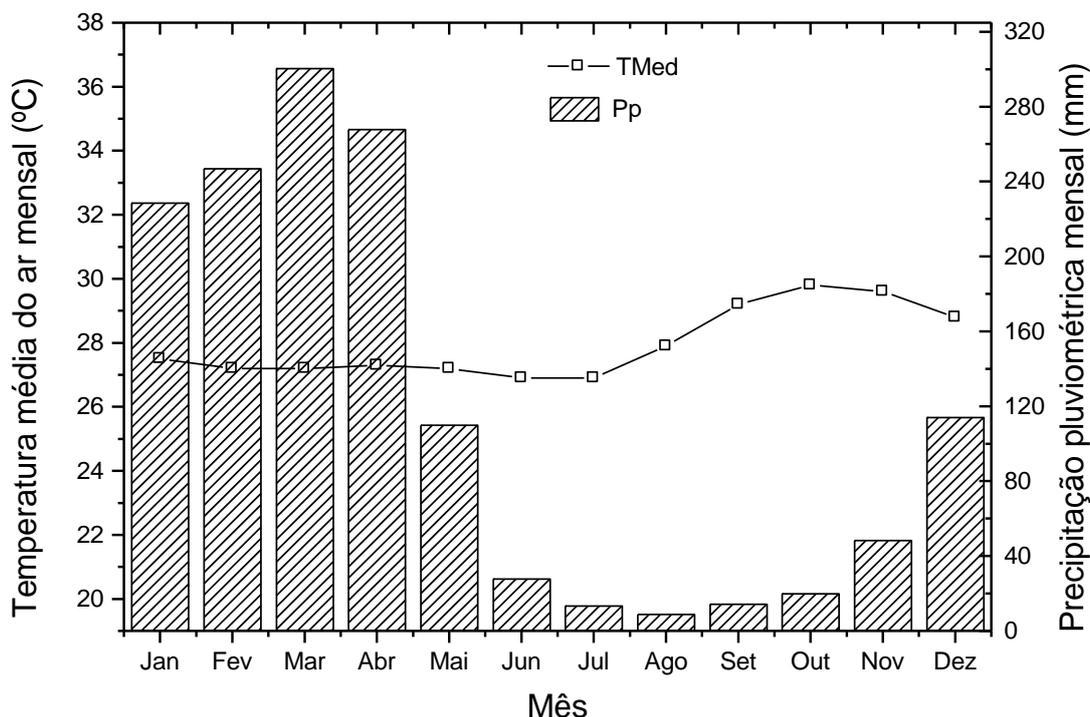


Gráfico 12 – Comportamento mensal da precipitação pluviométrica e temperatura média do ar no período de 1977 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Os maiores totais pluviométricos aconteceram quando a temperatura do ar apresentou-se mais baixa. Quando se analisa o comportamento anual, essa relação não é observada em todos os anos, mas existe ao se analisar o comportamento mensal.

5.5.1 Precipitação pluviométrica mensal nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009

Apesar de as chuvas em Teresina historicamente apresentarem irregularidades temporais, foi observada homogeneidade no total pluviométrico entre os dois períodos, com oscilações de aumento e redução de chuvas ao longo dos meses, não se configurando situação definida.

Os resultados da análise do teste “t” apresentados na Tabela 13 indicam que dentro da estação chuvosa não houve diferenças significativas ($p > 0,876$), entre as médias de precipitação pluviométrica em Teresina, quando comparadas as médias dos dois períodos (1977 a 1991 e 1992 a 2009).

Tabela 13 – Teste “t” entre as médias de precipitação pluviométrica anual referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina – PI.

Período	Precipitação pluviométrica (mm)	Diferença entre médias (mm)	<i>P</i>
1977 a 1991	1.410,0	25,6	0,876
1992 a 2009	1.384,4		

Alguns meses apresentaram aumento e outros, redução das chuvas ao longo do ano, compensando o resultado final. Assim, no período analisado, não houve diferenças entre as médias de precipitação, sugerindo que a urbanização e a redução da vegetação não influenciaram o comportamento das chuvas na cidade de Teresina – PI.

O curso mensal da precipitação pluviométrica nos períodos de 1977 a 1992 e 1992 a 2009 é apresentado no Gráfico 13.

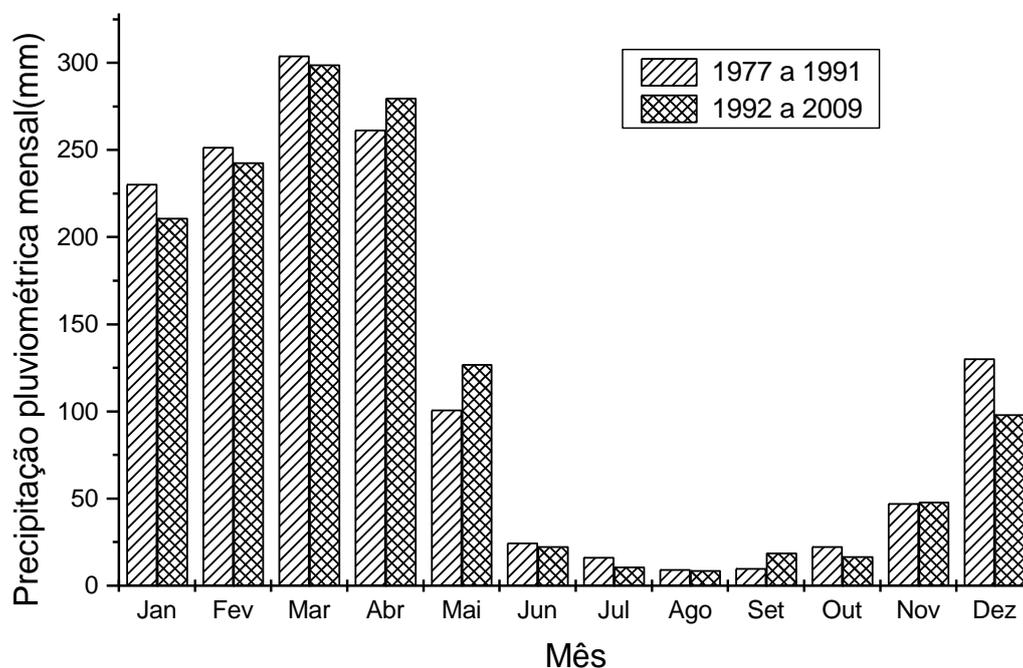


Gráfico 13 – Precipitação pluviométrica mensal referente aos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009 em Teresina - PI.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Os meses com maiores totais de chuvas são, também, os mais úmidos. De julho a outubro, quando são registrados os menores valores de precipitação pluviométrica, acontecem os menores valores de umidade relativa do ar. Os valores extremos de precipitação pluviométrica ocorrem em março e agosto e nos meses secos (jun-jul-ago-set).

5.6 Análise da tendência climática de Teresina – PI a partir do teste de Mann-Kendall

Assim como em muitas cidades de médio e grande porte, o crescimento populacional e a expansão urbana em Teresina - PI provocaram mudanças ambientais tanto no espaço físico, quanto no clima da cidade, quando os elementos meteorológicos foram alterados pelas formas de ocupação do solo e materiais usados no ambiente construído.

Os resultados do estudo das séries temporais da temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, realizados pelo teste de Mann-Kendall, são apresentados na Tabela 14.

Tabela 14 - Testes de tendência dos elementos meteorológicos referentes aos 12 meses do período de 1977 a 2009.

Séries temporais anuais	Média anual	Test Z	Q
Temperatura média do ar anual (°C)	28,0	2,43*	0,018
Temperatura máxima do ar anual (°C)	33,7	1,31	0,017
Temperatura mínima do ar anual (°C)	22,2	1,80+	0,015
Umidade relativa do ar (%)	69,9	1,22	0,061
Precipitação pluviométrica (mm)	1.396,0	0,54	5,009

(*) Aumento significativo a 5%.

(**) Aumento significativo a 1%.

(+) Média em elevação.

Os resultados do teste Z indicam que as séries da temperatura média do ar e da temperatura mínima do ar não são homogêneas, haja vista os valores de Z serem maiores que os tabelados.

Foram detectadas mudanças significativas somente na temperatura média do ar e temperatura mínima do ar, ambas com tendência de aumento. A temperatura máxima do ar, a umidade relativa do ar e a precipitação pluviométrica mantiveram o mesmo comportamento ao longo do período analisado. Existem dificuldades na detecção de tendência climática, o que

Back (2001) atribui principalmente à variabilidade natural dos dados meteorológicos, mas, apesar de não se verificarem alterações significativas na quantidade de chuvas, é importante ressaltar que sua distribuição é irregular, com totais pluviométricos esperados no mês, concentrados em poucos dias. Em outros casos, períodos de estiagem ao longo da estação chuvosa.

No Gráfico 14 é observada a regressão e variação anual do comportamento da temperatura média do ar, apresentando significativa tendência de aumento ao longo da série estudada.

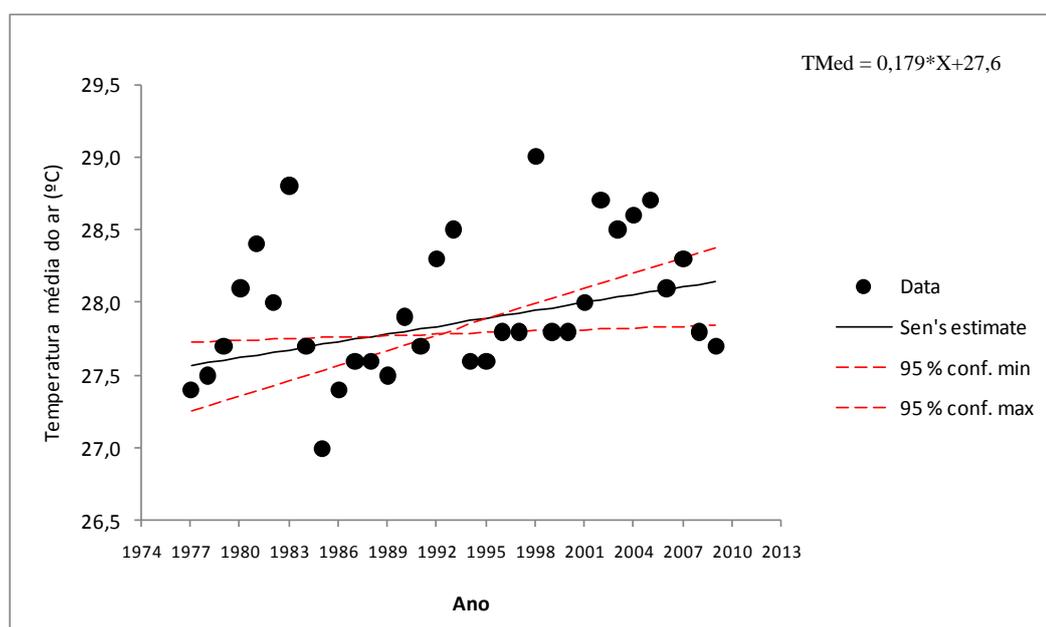


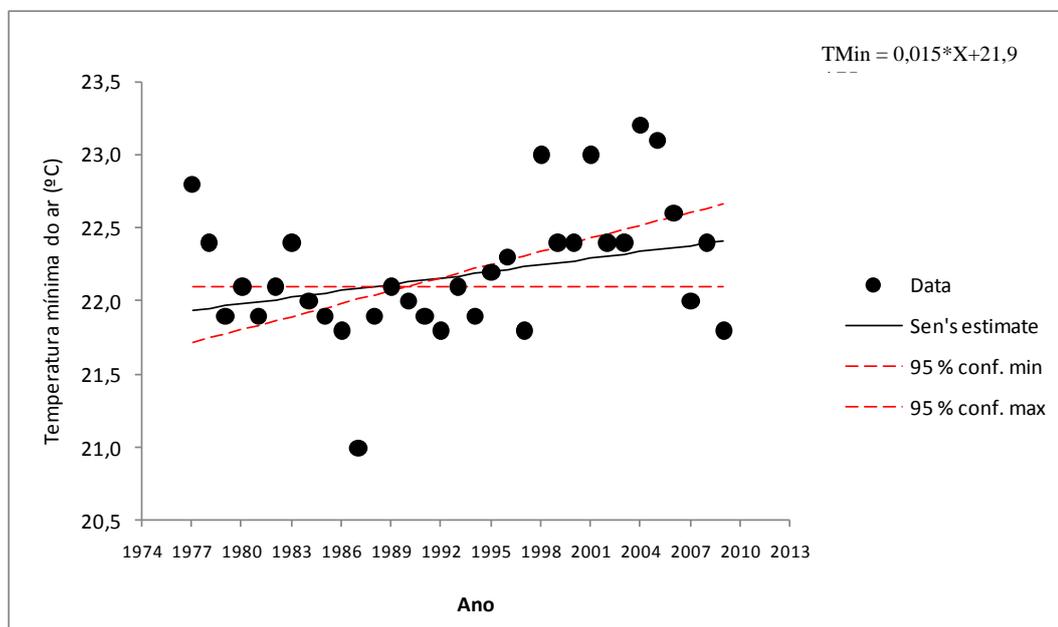
Gráfico 14 – Temperatura média do ar (regressão linear) e estatísticas $u(tn)$ e $u^*(tn)$ do teste de Mann-Kendall.

Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

Verificou-se tendência positiva de aumento de temperatura média do ar, com marco inicial aproximadamente no ano de 1992 (ponto de cruzamento das retas), o que pode ser atribuído aos efeitos do processo do crescimento da população e da urbanização, intensificado desde os anos 1980, contribuindo assim, com as formas de ocupação do solo, para maior aquecimento da cidade.

O aumento da temperatura média do ar foi de $0,018^{\circ}\text{C}$ por ano e da temperatura mínima do ar, de $0,015^{\circ}\text{C}$, enquanto Back (2001) encontrou em Urussanga, SC, somente $0,0098^{\circ}\text{C}$ de aumento por ano na temperatura média do ar. Ressalte-se que a população dessa cidade em 2010, de acordo com o IBGE (2010) era de 20.222 habitantes enquanto a de Teresina no mesmo ano era de 814.439 habitantes.

No Gráfico 15 é apresentada a variação anual e tendência da temperatura mínima do ar ao longo dos 33 anos analisados.



Entre 1977 e 2009 houve tendência de aumento da temperatura mínima do ar estatisticamente significativa no período. Essa tendência teve início aproximadamente no ano de 1990.

Utilizando também o teste de Mann-Kendall, Furlan (2009) identificou aumento de temperatura mínima do ar em Porto Velho - RO, a partir dos anos 1970, e de forma significativa, a partir de 2000, condição também verificada em Porto d'Oeste – RO, onde a população é em torno de dez vezes menor que a de Porto Velho.

Esse fenômeno é consequência do processo de desmatamento em Porto d'Oeste - RO, que em 2007 já atingia 85,1% da área total do município (FURLAN, 2009), o que embasa os achados deste estudo realizado em Teresina, onde a temperatura mínima aumenta de forma significativa com a supressão de áreas verdes.

A variação anual e tendência da temperatura máxima do ar, da umidade relativa do ar e da precipitação pluviométrica ao longo dos 33 anos analisados são apresentadas no Gráfico 16.

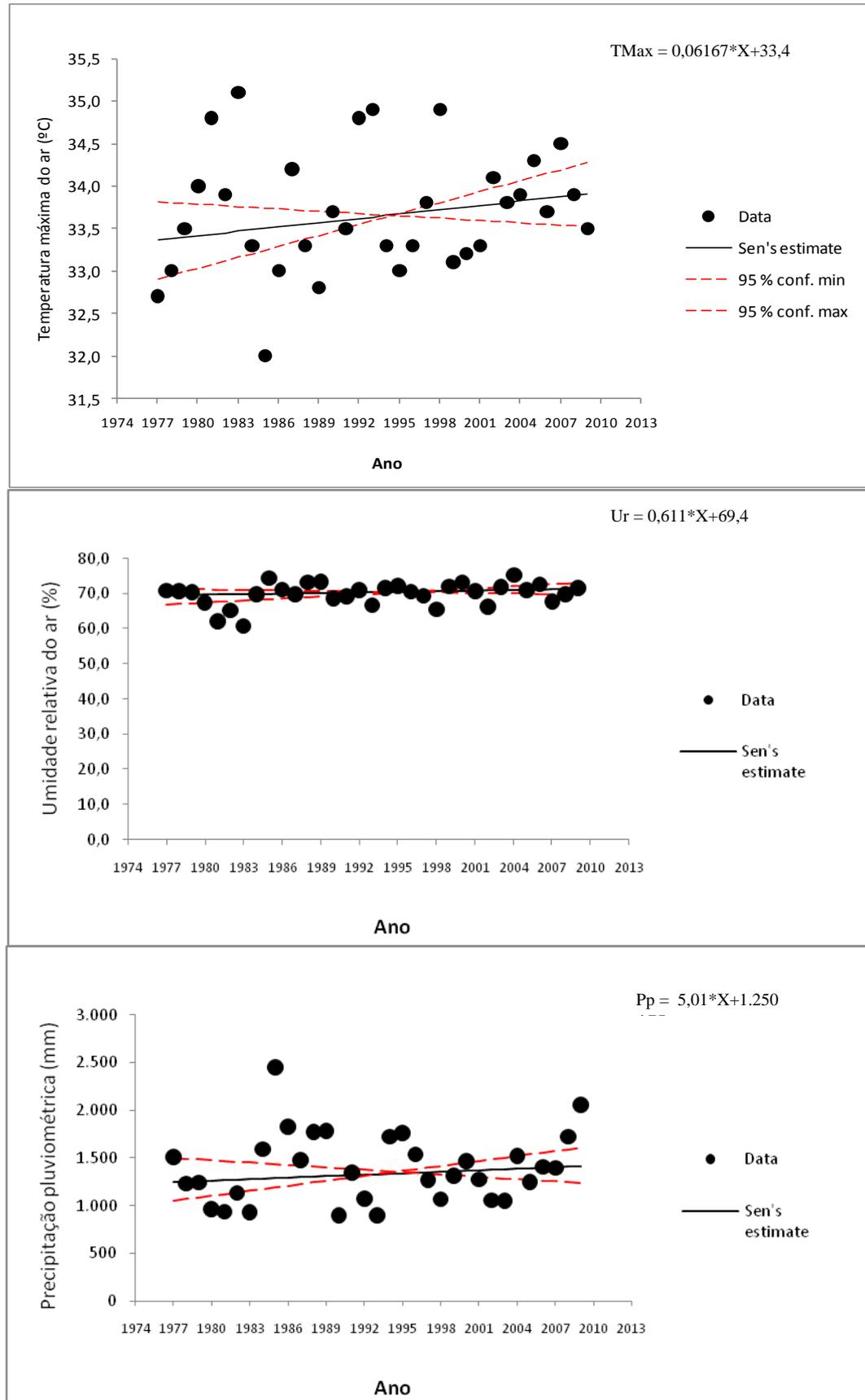


Gráfico 16 – Temperatura máxima do ar (a), umidade relativa do ar (b) e precipitação pluviométrica (c) (regressão linear) e estatísticas $u(tn)$ e $u^*(tn)$ do teste de Mann-Kendall. Fonte: Dados básicos Embrapa Meio-Norte (2010).

A temperatura máxima do ar, a umidade relativa do ar e a precipitação pluviométrica não apresentaram tendência significativa nesses 33 anos.

As séries temporais quando analisadas por ano, apresentam resultados diferentes daqueles analisados por estação ou por meses. Os resultados das estatísticas a que foram submetidas as séries temporais referentes à estação seca (set-out-nov-dez), são apresentadas na Tabela 15.

De acordo com estudos do IPCC (2010e) o padrão das chuvas será alterado afetando de forma significativa a disponibilidade de água para o consumo humano, agricultura, comprometendo ainda a geração de energia elétrica. Apesar desse prognóstico, a precipitação pluviométrica em Teresina ao apresentou tendência significativa de aumento ou redução no período analisado.

Tabela 15 - Testes de tendência dos elementos meteorológicos referentes à estação seca do ano do período de 1977 a 2009.

Séries temporais (set-out-nov-dez)	Média anual	Test Z	Q
Temperatura média do ar (°C)	29,1	2,81**	0,030
Temperatura máxima do ar (°C)	35,9	1,83 +	0,026
Temperatura mínima do ar (°C)	22,8	2,90**	0,034
Umidade relativa do ar (%)	59,1	0,60	0,042
Precipitação pluviométrica (mm)	196,7	0,73	1,061

(*) Aumento significativo a 5%.

(**) Aumento significativo a 1%.

(+) Média em elevação.

Na estação seca (set-out-nov-dez) de Teresina, verificou-se aumento significativo de temperatura média do ar e temperatura mínima do ar, estando também em elevação a temperatura máxima do ar, que apresentou aumento somente no mês de outubro. Nesta estação, o aumento da temperatura média do ar teve maior participação da temperatura mínima do ar com 0,034 °C por ano, como mostram os resultados dos testes estatísticos.

Quando se analisou a estação chuvosa referente ao mesmo período (1977 a 2009), não foi detectada nenhuma tendência significativa nas séries temporais dos elementos meteorológicos estudados, como é apresentado na Tabela 16.

Tabela 16 - Resultados dos testes de tendência dos elementos meteorológicos referentes à estação chuvosa do ano do período de 1977 a 2009.

Séries temporais (jan-fev-mar-abr-maio)	Média anual	Test Z	Q
Temperatura média do ar (°C)	27,3	1,24	0,010
Temperatura máxima do ar (°C)	31,9	1,15	0,012
Temperatura mínima do ar (°C)	22,6	1,36	0,009
Umidade relativa do ar (%)	81,0	1,46	0,072
Precipitação pluviométrica (mm)	1.155,6	0,88	6,396

(*) Aumento significativo a 5%.

(**) Aumento significativo a 1%.

(+) Média em elevação.

Nenhum elemento meteorológico no período de 1977 a 2009 apresentou tendência significativa, quando se analisou a estação chuvosa. Assim como os resultados da análise dos dados anuais, referentes aos 12 meses do ano.

Mesmo na estação seca (set-out-nov-dez) a umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica não apresentaram diferenças na série temporal da estação chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio).

Folhes e Fisch (2006) utilizando o teste de Mann Kendall, não detectaram tendência significativa nas séries anuais de temperatura média do ar e na precipitação pluviométrica de Taubaté - SP, devido à variabilidade sazonal. Entretanto, a análise da série temporal de 1983 a 2005 identificou tendência significativa de redução das chuvas no mês de abril e aumento significativo em novembro. Nesse caso também, a população da cidade é menor que a população de Teresina, fato que pode ter contribuído para que Taubaté não tenha apresentado alteração na temperatura média do ar.

Não foram identificadas em Teresina, tendências significativas na temperatura máxima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica, permanecendo, assim sem alterações em suas séries temporais.

6 CONCLUSÃO

Ao longo dos 33 anos analisados, houve aumento de temperatura mínima do ar e de temperatura média do ar, sendo significativamente maior no período do “b-r-o-bró” (set-out-nov-dez), e tendo outubro como o mês mais quente do ano, o que pode estar relacionado com a supressão de áreas arborizadas.

Apesar de ter sido verificado um aumento de temperatura média do ar no período estudado, não se observou redução de umidade relativa do ar, evidenciando que o aumento de temperatura na cidade não está tendo influência sobre a umidade relativa do ar. Essa situação talvez se justifique pelo fato de as observações dos elementos meteorológicos utilizados na pesquisa terem sido realizadas numa área vegetada e afastada do centro urbano. Outro ponto a se considerar é o fato de existirem na cidade dois rios perenes, que pode contribuir para tornar o ar mais úmido. Houve um aumento na quantidade de superfícies de água em Teresina, como foi visualizado na imagem de satélite, o que pode estar contribuindo para manter a umidade relativa do ar.

Não foi detectada mudança significativa entre as médias anuais de precipitação pluviométrica no período estudado, o que evidencia que o processo de expansão urbana não teve influência no regime de precipitação pluviométrica de Teresina.

REFERÊNCIAS

AGENDA 21 Brasileira: resultado da consulta nacional / Comissão de Políticas de Desenvolvimento Sustentável e da Agenda 21 Nacional. 2. ed. Brasília: **Ministério do Meio Ambiente**: Brasília, 2004.

AGRITEMPO. SISTEMA DE MONITORAMENTO AGR0CLIMATOLÓGICO. **Dados meteorológicos**. Disponível em: < <http://www.agritempo.gov.br/agroclima/sumario?uf=PI>>. Acesso em: 20 dez. 2009

AGRITEMPO. SISTEMA DE MONITORAMENTO AGROMETEOROLOGICO. **Glossário**. Disponível em: < <http://www.agritempo.gov.br>>. Acesso em: 10. set. 2010.

ANDRADE, C. S. P. **Representações do calor em Teresina, PI**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Pernambuco (UFPE). Recife, 2000.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. 11. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

BACK, A. J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**. Brasília, v. 36, n. 5, p. 717-726, 2001.

BARBIRATO, G. M; SOUZA, L. C. L. ; TORRES, S. C. **Clima e cidade**: a abordagem climática como subsídio para estudos urbanos. Maceió: EDUFAL, 2007.

BASTOS, A. E.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. de. **Boletim agrometeorológico de 2007 para o Município de Teresina, PI**. Embrapa Meio-Norte. Documentos, 132. Teresina, 2008.

BELTRAMI, H; HARRIS, R.N. Inferences of Climate Change from Geothermal Data. **Global and Planetary Change**. v.29: p.149, 2001.

BLAIN,G. C.; PICOLI, M. C. A.; LULU, J. Análises estatísticas das tendências de elevação nas séries anuais de temperatura mínima do ar no estado de São Paulo. **Bragantia**, Campinas, v.68, n.3, p.807, 2009.

BRANDÃO, A. M. P.M. O clima urbano na cidade do Rio de Janeiro. In: MENDONÇA, F. (Org.); MONTEIRO, C. A. F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

BRASIL. DECRETO Nº 4.367, DE 9 DE SETEMBRO DE 2002. Autoriza criar a Região Integrada de Desenvolvimento da Grande Teresina. **Presidência da República Casa Civil. 2002**. Disponível em: <www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto>. Acesso em: 11 dez. 2010.

CAVALHEIRO, F; NUCCI, J.C; GUZZO, P; ROCHA, Y.T. Proposição de Terminologia para o Verde Urbano. **Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana. SBAU**. v. 7, n.3, 1999. Rio de Janeiro, RJ, 1999.

CEPAGRI. CENTRO DE PESQUISAS METEOROLÓGICAS E CLIMÁTICAS APLICADAS À AGRICULTURA. **Umidade do ar. Saúde no inverno**. Disponível em: <<http://www.cpa.unicamp.br/artigos-especiais/umidade-do-ar-saude-no-inverno.html>>. UNICAMP. Acesso em: 16 jun. 2010.

CEPRO. FUNDAÇÃO CENTRO DE PESQUISAS ECONÔMICAS E SOCIAIS DO PIAUÍ. **Piauí: visão global**. ed. 2, Teresina, 2003.

COLTRI, P. P.; FAGNANI, M. A.; LABAKI, L. C.; FERREIRA, N. J.; DEMÉTRIO, V. A. Variabilidade dos principais elementos climáticos e urbanização na região de Piracicaba (SP). **BioEng**, Campinas, v.1, n. 2, p.197-208, 2007.

CONTI, J. B. Crescimento urbano e mudanças climáticas. **Interfaces**, São José do Rio Preto, v. 77, p. 1-17, 1982.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; IDEIÃO, S. M. A. Determinação da temperatura de superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do satélite Landsat 5-TM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14., 2009, Natal, Brasil, **Anais...** 2009, INPE, p. 5717-5724.

DANTAS, I. C.; SOUZA, M. C. Arborização urbana na cidade de Campina Grande-PB: inventário e suas espécies. **Revista de Biologia e Ciência da Terra (Bioterra)**, Campina Grande, v. 4, n. 2, 2004.

EMBRAPA MEIO-NORTE. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (Embrapa Meio-Norte). **Série de dados meteorológicos de Teresina – PI referentes ao período 1977 a 2009**. Estação Meteorológica Convencional da EMBRAPA - Meio Norte. Teresina: EMBRAPA Meio-Norte, 2010.

FAÇANHA, A. C. **Evolução urbana de Teresina: agentes, processos e formas espaciais da cidade**. 1998. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal de Pernambuco, 1998.

FOLHES, M. T; FISCH, G. Caracterização climática e estudo de tendências nas séries temporais de temperatura do ar e precipitação em Taubaté(SP). **Revista Ambi-Água**, Taubaté. v.1, n.1, p.61-71, 2006.

FURLAN, D. N. **Variabilidade temporal e espacial das chuvas e do balanço hídrico no estado d Rondônia: caracterização análise de tendência**. Piracicaba, 2009. Dissertação (Mestrado) 129 p. Dissertação (Mestrado). ESALQ/USP.Piracicaba, 2009.

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

GOOGLE EARTH. Localização da Embrapa Meio-Norte. Disponível em: <<http://map.google.com.br>>. Acesso em: 20 fev. 2010.

GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v. 4, n. B4, p. 385-400, 1986.

HARDER, I. C. F. **Inventário Quali-quantitativo da arborização e infra-estrutura das praças da cidade de Vinhedo-SP**. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, SP, 2002.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censos demográficos de 1960 a 2000**. 2000. Disponível em: < <http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 20 dez. 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Contagem da população 2007**. 2007. Disponível em: < <http://www.ibge.org.br> >. Acesso em: 20 dez. 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área total do município em 2008**. Disponível em: < <http://www.ibge.org.br>>. Acesso em: 15 ago. 2009a.391,

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Estimativa da população 2009**. 2009b. Disponível em: < <http://www.ibge.org.br> >. Acesso em: 11 dez. 2010.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Primeiros Resultados do Censo 2010**. 2010. Disponível em: < <http://www.ibge.org.br> >. Acesso em: 11 dez. 2010.

INPE. INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Imagens de satélite do dia 14/08/1989 e do dia 09/11/2009**. Catálogo de imagens. Disponível em: <www.inpe.br>. Acesso em: 03 fev. 2010 a.

INPE. INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Imagem de satélite Goes 7 do dia 14/08/1989 às 18: 00 TMG (a) e imagem do satélite GOES 10 do dia 09/11/2009 às 15: 00 TMG (b)**. Re: Imagens.[mensagem pessoal]. Mensagem recebida por <smrfeitosa@hotmail.com> em 24 mar. 2010b.

INPE. INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Glossário de termos científicos**. Disponível em: < <http://www.inpe.br>>. Acesso: 10. mar. 2010c.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Contribution of Working Group II to the Third assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge: Cambridge University Press, 2001.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2007: The Physical Science Basis**. Summary for Policymakers. Disponível em: < <http://www.ipcc.ch>>. Acesso em: 20 nov. 2010.

KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v.107, n.9, p. 1140-1153, 1979.

LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 285p., 1981.

LIMA, A. J. de. **As Multifaces da pobreza**: formas de vida e representações simbólicas dos pobres urbanos. Teresina: Halley, 2003.

LIMA, A. J. de. **COHEBE**: uma história de luta por habitação popular. Teresina: EDUFPI, 1996.

- LIMA, A. M. L.P; CAVALHEIRO, F.; NUCCI, J.C.; SOUSA, M.A.L.B.; FIALHO, N. DEL PICCHIA, P.C.D. Problemas de utilização na conceituação de termos como espaços livres, áreas verdes e correlatos. In: CONGRESSO DE ARBORIZAÇÃO URBANA, 2., **Anais...** São Luis,1994, p. 539.
- LOBODA, C. R; De ANGELIS, B. L. D. Áreas verdes públicas urbanas: conceitos, usos e funções. **Ambiência**, Revista do Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, v. 1, n. 1, 2005.
- LOMBARDO, M. A. **Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. Hucitec: São Paulo, 1985.
- MACHADO, R. R. B.; PEREIRA, E. C.G.; ANDRADE, L. H.C. Evolução temporal (2000-2006) da cobertura vegetal na zona urbana do município de Teresina – Piauí – Brasil. **REVSBAU**. Piracicaba, SP. v.5, n.3, p.97-112, 2010.
- MAKESENS 1.0. Mann-Kendall. Test and Sen's Slope Estimates for the Trend of Annual Data. Version 1.0 Freeware. Copyright Finnish Meteorological Institute, 2002.
- MASCARÓ, L. **Urban environment**. Porto Alegre: Sagra, DC Luzzatto, 1996.
- MATSON, M. E.; MCCLAIN, P. D.; MCGINNIS JÚNIOR, F.; PRITCHARD, J. A. **Satellite Detection of Urban Heat Islands**. NOAA/National Environmental Satellite Service, Washington, DC 20233,1978.
- MAZZEI, K.; COLSESANTI, M.T.M.; SANTOS, D.G. Áreas verdes urbanas, espaços livres para o lazer. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, MG, v.19, n.1, p 33-43, 2007.
- MONTEIRO, C. A de F. **Teoria e clima urbano**. IGEG-USP. Universidade de São Paulo. Instituto de Geociências, série Teses e Monografias, n. 25, São Paulo: 1976.
- MONTEIRO, F. F. [**Geoprocessamento de imagens de satélite Landsat 5 e classificação de elementos encontrados no sítio urbano de Teresina**]. Teresina. 2010. Técnico em Sensoriamento Remoto responsável pelo geoprocessamento das imagens. Teresina, 2010.
- MOREIRA, M. A. **Fundamentos de Sensoriamento e metodologia de aplicação**. 3 ed. Atual. Ampl., ed. UFV, Viçosa, 2005.
- MOURA, M. G. B; LOPES, W.G.R. **Uso e ocupação do solo: uma análise ambiental de bairros da zona norte de Teresina**. In: MONTEIRO, M. S. L. et. al (org.) Teresina: uma visão ambiental. TROPEN. PRODEMA.EDUFPI, p. 199. Teresina, 2006.
- MOURA, M. O; ZANELLA, M. E; SALES, M. C. L. Ilhas térmicas na cidade de Fortaleza-CE. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v.28, n.2, p. 33-34, 2008.

NOAA .National Oceanic and Atmospheric Administration. National Weather Service. Climate Prediction Center. **Cold and warm episodes by season**. Disponível em: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ensoyears.shtml>. 2010a.

NOAA. National Oceanic and Atmospheric Administration. **Global Climate Change Indicators**. Disponível em: <<http://www.ncdc.noaa.gov/indicators/index.html> >. Acesso em: 10 dez. NOAA, 2010b.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento Remoto: princípios e Aplicações**. 2 ed. Edgard Blücher. São Paulo, 1992.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates**. 2 ed. London: Routledge, 1987.

OLIVEIRA, F. N. M. de; ARAÚJO, R. L. C. de; CARVALHO, J. S.; SILVA, C. L. da. Inferência de mudanças climáticas na região de Manaus - AM usando dados geotermiais e meteorológicos. **Revista Brasileira de Geofísica**. v.24,n.2, p.169, 2006.

ORIGIN 5.0. Microcal. Version 5.0. Microcal software, 1997.

PEREIRA, G; CAMARGO, F. F; OLIVEIRA, L. G. de; GUERRA, J. B. Identificação do fenômeno de ilhas de calor para a região metropolitana de São Paulo através de dados provenientes do satélite Landsat 7 ETM+. In: SIMPÓSIO REGIONAL DE GEOPROCESSAMENTO E SENSORIAMENTO REMOTO, 3., Aracaju, 2006. **Anais...** Aracaju, SE, 2006.

RAMOS, M. M. Q. **Expansão urbana e alterações dos elementos climáticos em Campina Grande - PB. 2002**, 103 p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal da Paraíba (UFPB), Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). PRODEMA. Campina Grande, 2002.

RITTER, M. E. The Physical Environment: an Introduction to Physical Geography. **Climate**. Disponível em: <http://www.uwsp.edu/geo/faculty/ritter/geog101/textbook/climate_systems/urban_climate.html >. Acesso em: 17 dez. 2009.

RODRIGUES, J. M; RODRIGUES, R. A; JUSTINO, F. B; COSTA, L. C; AMORIM, M. C. Efeitos locais e de larga escala na dinâmica climática do município de Viçosa – MG. **Sociedade e Natureza**, Uberlândia, v.22, n.3, p. 593-610, 2010.

ROMERO, M. A. B. **A arquitetura bioclimática do espaço público**. ed. UNB. Coleção Arquitetura e Urbanismo. Brasília, 2001.

ROSSET, F. **Procedimentos metodológicos para estimativa do índice de áreas verdes públicas**. Estudo de caso: Erechim, RS. São Carlos: UFSCar, 2005. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de São Carlos, 2005.

SALES, M. S. T. M. **Educação Ambiental: a preservação do verde na zona urbana de Teresina**. 2003. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente). Universidade Federal do Piauí, UFPI. Teresina, PI. 2003.

SANTOS, C. A. dos. **Estimativas e tendências de detecção de mudanças climáticas com base na precipitação diária no Rio Grande do Norte e na Paraíba.** 2006. Dissertação. (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.

SILVA, A. G.; LOPES, W. G. R. Mudanças de uso e de formas de apropriação de espaços livres centrais na cidade de Teresina: um estudo da Praça João Luís Ferreira. In: ENCONTRO NACIONAL DA ANPPAS, 4. **Anais...** Brasília, 2008.

SILVA, R. A.; SILVA, V. P. R. da; CAVALCANTI, E. P.; SANTOS, D. N. Estudo da variabilidade da radiação solar no Nordeste do Brasil. **R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental**, v.14, n.5, p.501–509, 2010.

SORRE, M. Objeto e método da climatologia. Tradução de José Bueno Conti, FFLCH, USP. Original em francês: *Traité de climologie biologique et medicle.* **Revista do Departamento de Geografia**, v.18p. 89-84, 2006.

SOUSA JÚNIOR, I. F. de. **A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande-PB.** Dissertação (Mestrado). p. 94. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande, 2006.

SPSS 15.0. STATISTICAL PACKAGE FOR THE SOCIAL SCIENCES. **SPSS 15.0** for Windows. Release 15.0.1.1, 2007.

TARIFA, J. R. A análise topo e microclimática e o trabalho de campo: o caso de São José dos Campos. **Climatologia**, São Paulo, v. 13, p.1-25, 1981.

TAVARES, A. C. Mudanças climáticas. In: VITTE, A. C; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Reflexões sobre a geografia física no Brasil.** 2.ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

TERESINA. **Teresina:** aspectos e características. Perfil 1993. Teresina, 1993.

TERESINA. Secretaria Municipal de Planejamento e Coordenação. PMT. **Teresina Agenda 2015.** Plano de Desenvolvimento Sustentável para a cidade de Teresina. Teresina, 2002.

TERESINA. **Mapa de expansão urbana de Teresina-PI** (1850 a 2002). SEMPLAN/PMT. (Cd-Rom). Teresina, 2010a.

TERESINA. **Perfil de Teresina:** econômico, social, físico e demográfico. Teresina: Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico e Turismo. SEMDEC, Teresina, 2010b.

TROPPEMAIR, H; GALINA, M. H. Áreas Verdes. **Território e Cidadania.** n. 2, Rio Claro, 2003.

TUBELIS, A.; NASCIMENTO, F. J. L. **Meteorologia descritiva.** Nobel, São Paulo, 1992.

TUCCI, C. E. M. **Impactos da variabilidade climática e dos usos do solo nos recursos hídricos.** Brasília: ANA, 150 p. Relatório técnico, Brasília, 2002.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e climatologia.** INMET. Brasília, DF: Pax, 2001.

VELASCO, G. D. **Potencial da arborização viária na redução do consumo de energia elétrica:** definição de três áreas na cidade de São Paulo - SP, aplicação de questionários, levantamento de fatores ambientais e estimativa de graus-hora de calor. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura Luís Queiroz. Piracicaba, 2007.

VERÍSSIMO, M. E. Z; MENDONÇA, F. de. Algumas considerações sobre o clima urbano de Curitiba e suas repercussões na saúde da população. In: ENCONTRO NACIONAL DA ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA EM AMBIENTE E SOCIEDADE, 2., 2004. **Anais...**São Paulo, 2004.

VIANA, S. S. M; AMORIM, M. C. C.T. Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio - SP: uma introdução. **Sociedade e Natureza**. Uberlândia, v.20, n.2, p.19-42, 2008.

VIANELLO, R. L; ALVES, A. R. **Meteorologia Básica e Aplicações**. Imprensa Universitária. Viçosa: UFV, 1991.

WMO. WORLD METEOROLOGY ORGANIZATION. **Climate System**. Understanding Climate. Disponível em:< www.wmo.int/pages/themes/climate/understanding_climate >. Acesso em: 15 dez. 2009.

XAVIER, A. L.; NOGUEIRA, M, C, J de., MAITELLI, G, T.; OLIVEIRA A, G.; OLIVEIRA, A, S, de.; SANTOS, F, M, M.; NOGUEIRA, J, S. Variação de temperatura e umidade entre áreas urbanas de Cuiabá. **Engenharia Ambiental**. Espírito Santo do Pinhal. v.6, n.1, p.82-93, 2009.

XAVIER, T. M. B. S.; PEREIRA FILHO, A. J.; XAVIER, A. F. S.; DIAS, P. L. S. da. Mudanças climáticas nas cidades e interferências com o aquecimento global. p. 61-68. In: METEOROLOGIA E A CIDADE. **Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia (SBMET)**. v.32, n.2-3, 2008.

APÊNDICES

Apêndice A – Médias anuais de temperatura do ar (média, máxima, mínima), umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica.

Ano	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade relativa (%)	Precipitação pluviométrica (mm)
1977	27,4	32,7	22,8	70,9	1515,4
1978	27,5	33,0	22,4	70,8	1233,2
1979	27,7	33,5	21,9	70,5	1248,2
1980	28,1	34,0	22,1	67,4	965,2
1981	28,4	34,8	21,9	62,1	939,8
1982	28,0	33,9	22,1	65,2	1139,4
1983	28,8	35,1	22,4	60,8	934,6
1984	27,7	33,3	22,0	69,8	1594,6
1985	27,0*	32,0	21,9	74,5	2454,8
1986	27,4	33,0	21,8	71,2	1833,0
1987	27,6	34,2	21,0	69,9	1481,8
1988	27,6	33,3	21,9	73,3	1778,9
1989	27,5	32,8	22,1	73,4	1783,9
1990	27,9	33,7	22,0	68,7	900,2
1991	27,7	33,5	21,9	69,3	1347,4
1992	28,3	34,8	21,8	71,0	1076,5
1993	28,5	34,9	22,1	66,7	904,7
1994	27,6	33,3	21,9	71,7	1728,3
1995	27,6	33,0	22,2	72,2	1767,8
1996	27,8	33,3	22,3	70,6	1542,3
1997	27,8	33,8	21,8	69,4	1271,2
1998	29,0*	34,9	23,0	65,5	1073,0
1999	27,8	33,1	22,4	72,1	1318,9
2000	27,8	33,2	22,4	73,2	1467,3
2001	28,0	33,3	23,0	70,8	1280,0
2002	28,7	34,1	22,4	66,3	1062,5
2003	28,5	33,8	22,4	71,9	1057,7
2004	28,6	33,9	23,2	75,3	1522,0
2005	28,7	34,3	23,1	71,0	1254,8
2006	28,1	33,7	22,6	72,7	1408,6
2007	28,3	34,5	22,0	67,8	1400,3
2008	27,8	33,9	22,4	69,8	1725,4
2009	27,7	33,5	21,8	71,7	2057,3
Média ou total	28,0	33,7	22,2	69,9	1396,0
<i>p</i>	0,010*	0,660	0,166	0,375	0,921

(*) Diferença significativa entre as médias a 5%.

Apêndice B - Médias mensais de temperatura do ar (média, máxima, mínima), umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica da cidade de Teresina – PI, no período de 1977 a 2009.

Meses	Temperatura média (°C)	Temperatura máxima (°C)	Temperatura mínima (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Precipitação pluviométrica(mm)
Janeiro	27,5	32,3	22,6	78,7	219,9
Fevereiro	27,2	31,9	22,5	81,2	246,9
Março	27,2	31,7	22,6	82,5	301,4
Abril	27,3	31,8	22,7	82,7	271,6
Mai	27,2	32,0	22,4	79,6	115,1
Junho	26,9	32,4	21,4	72,6	23,6
Julho	26,9	33,4	20,5	66,4	13,4
Agosto	27,9	35,2	20,6	58,9	9,1
Setembro	29,2	36,4	21,8	55,2	14,9
Outubro	29,8	36,8	22,7	54,8	19,5
Novembro	29,6	36,0	23,1	59,2	47,8
Dezembro	28,8	34,5	23,1	67,1	112,8
Média ou Total	28,0	33,7	22,2	69,9	1396,0

Apêndice C – Estatística dos percentis e determinação das médias de temperatura do ar (média, máxima, mínima), umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica a partir da técnica dos quartis referente ao período de 1977 a 2009 em Teresina – PI.

Quartis (%)	Temperatura média do ar (°C)	Temperatura máxima do ar (°C)	Temperatura mínima do ar(°C)	Umidade relativa do ar (%)	Precipitação pluviométrica (mm)
25	27,0	31,9	21,6	60,1	7,5
50	27,6	33,2	22,4	71,1	58,1
75	28,9	35,6	22,9	80,4	189,9

Apêndice D – Estatísticas do teste t entre as médias mensais de temperatura do ar (média, máxima, mínima), umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica da cidade de Teresina – PI, nos períodos de 1977 a 1991 e 1992 a 2009.

Mês	Período	Nº de anos	Tmed (°C)	ρ	Tmax (°C)	ρ	Tmin (°C)	ρ	Ur (%)	ρ	Pp (mm)	ρ
Jan	1977 a 1991	15	27,4	0,232	32,2	0,425	22,5	0,294	77,8	0,285	230,6	0,640
	1992 a 2009	18	27,7		32,5		22,7		79,5		211,0	
Fev	1977 a 1991	15	27,1	0,123	31,7	0,442	22,4	0,158	80,7	0,455	251,7	0,839
	1992 a 2009	18	27,3		32,0		22,6		81,7		242,9	
Mar	1977 a 1991	15	27,1	0,129	31,6	0,184	22,5	0,517	81,7	0,125	304,1	0,893
	1992 a 2009	18	27,3		31,9		22,6		83,2		299,0	
Abr	1977 a 1991	15	27,2	0,525	31,7	0,928	22,6	0,299	82,3	0,445	261,6	0,741
	1992 a 2009	18	27,3		31,8		22,7		83,1		279,9	
Maio	1977 a 1991	15	27,1	0,187	31,9	0,585	22,2	0,126	78,3	0,096	100,9	0,423
	1992 a 2009	18	27,3		32,1		22,5		80,7		127,0	
Jun	1977 a 1991	15	26,7	0,229	32,4	0,914	21,2	0,387	71,4	0,218	24,7	0,847
	1992 a 2009	18	27,0		32,4		21,5		73,6		22,7	
Jul	1977 a 1991	15	26,8	0,242	33,3	0,767	20,2	0,211	65,4	0,390	16,5	0,477
	1992 a 2009	18	27,1		33,4		20,6		67,2		10,8	
Ago	1977 a 1991	15	27,7	0,066	35,0	0,449	20,3	0,079	58,3	0,502	9,5	0,919
	1992 a 2009	18	28,1		35,3		20,8		59,4		8,8	
Set	1977 a 1991	15	28,9	0,009*	36,2	0,244	21,3	0,002*	54,2	0,348	10,0	0,213
	1992 a 2009	18	29,4		36,6		22,2		56,0		19,0	
Out	1977 a 1991	15	29,4	0,000*	36,4	0,007*	22,3	0,001*	54,4	0,645	22,7	0,477
	1992 a 2009	18	30,2		37,2		23,1		55,2		16,9	
Nov	1977 a 1991	15	29,3	0,015*	35,7	0,232	22,7	0,002*	58,6	0,665	47,4	0,961
	1992 a 2009	18	29,9		36,2		23,4		59,6		48,1	
Dez	1977 a 1991	15	28,5	0,032*	34,1	0,189	22,8	0,003*	67,1	0,982	130,3	0,322
	1992 a 2009	18	29,1		34,8		23,3		67,2		98,2	
Ano	1977 a 1991	180	27,7	0,001*	33,5	0,147	21,9	0,001*	66,0	0,250	1410,0	0,877
	1992 a 2009	216	28,1		33,8		22,3		67,7		1384,4	

(*) Diferença significativa entre as médias a 5%.

Apêndice E - Episódios de El niño e La niña entre 1976 e 2010.

El niño	Período/Ano	La niña	Período/Ano
	ASO 1976 – JFM 1977		SON 1984 – ASO 1985
ASO 1977 – DJF 1977/78	AMJ 1988 – AMJ 1989		
AMJ 1982 – MJJ 1983	ASO 1995 – FMA 1996		
JAS 1986 – JFM 1988	JJA 1998 – MJJ 2000		
AMJ 1991 – JJA 1992	SON 2000 – JFM 2001		
AMJ 1994 – FMA 1995	ASO 2007 – AMJ 2008		
AMJ 1997 – AMJ 1998			
AMJ 2002 – FMA 2003			
MJJ 2004 – JFM 2005			
JAS 2006 – DJF 2006/07			
MJJ 2009 – AMJ 2010			

Fonte: NOAA, 2010

Apêndice F - Estatísticas do teste t entre as médias de temperatura média do ar (média, máxima e mínima) das estações chuvosa e b-r-o-bró em Teresina – PI de 1977 a 2009.

Elemento meteorológico	Estação	Nº meses	Média	p
Temperatura média (°C)	Chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio)	165	27,3	0,001*
	Seca/b-r-o-bró (set-out-nov-dez)	132	29,4	
Temperatura máxima (°C)	Chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio)	165	31,9	0,001*
	Seca/b-r-o-bró (set-out-nov-dez)	132	35,9	
Temperatura mínima (°C)	Chuvosa (jan-fev-mar-abr-maio)	165	22,5	0,158
	Seca/b-r-o-bró (set-out-nov-dez)	132	22,7	

(*) Diferença significativa entre as médias a 5%.

Apêndice G - Estatísticas e teste de Mann-Kendal das médias anuais de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica dos 12 meses de cada ano do período 1977 a 2009.

Séries temporais	Temperatura média do ar (°C)	Temperatura máxima do ar (°C)	Temperatura mínima do ar (°C)	Umidade relativa do ar (%)	Precipitação pluviométrica (mm)
n	33	33	33	33	33
Test Z	2,43*	1,31	1,8+	1,22	0,54
Q	0,018	0,017	0,015	0,061	5,009
Qmin99	0,000	-0,020	0,000	-0,087	-13,103
Qmax99	0,042	0,055	0,035	0,221	22,548
Qmin95	0,003	-0,009	0,00	-0,046	-8,13
Qmax95	0,035	0,043	0,03	0,19	1,7,426
B	27,6	33,4	21,9	69,4	1.250,0
Bmin99	27,8	34,0	22,1	72,0	1.607,2
Bmax99	27,2	32,7	21,6	66,4	948,7
Bmin95	27,7	33,8	22,1	71,2	1.497,8
Bmax95	27,2	32,9	21,7	67,0	1.052,3

(*) Aumento significativo a 5%.

Apêndice H - Teste de Mann-Kendall das médias mensais de temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica da série 1977 a 2009.

Mês	Temp média		Temp máxima		Temp mínima		U Relativa		Precipitação	
	Teste Z	Q	Teste Z	Q	Teste Z	Q	Teste Z	Q	Teste Z	Q
Jan	1,60+	0,016	1,20	0,021	1,46	0,017	0,43	0,017	-0,17	-0,583
Fev	1,17	0,011	0,88	0,013	1,14	0,012	0,68	0,056	0,06	0,062
Mar	1,04	0,005	0,31	0,003	1,35	0,016	2,67**	0,115	0,23	0,571
Abr	0,23	0,000	0,16	0,000	0,65	0,006	1,04	0,072	1,02	3,057
Mai	1,32	0,014	0,47	0,011	1,14	0,011	1,01	0,091	1,04	1,691
Jun	1,13	0,013	0,09	0,000	2,72**	0,047	1,49	0,150	1,02	0,328
Jul	0,92	0,012	-0,02	0,000	1,83+	0,037	1,60	0,163	0,12	0,000
Ago	0,99	0,017	0,14	0,000	2,02*	0,035	0,62	0,047	-0,08	0,000
Set	2,27*	0,027	1,54	0,023	1,85+	0,029	1,16	0,082	1,09	0,093
Out	2,99*	0,042	2,30*	0,043	3,26**	0,044	0,64	0,034	-0,37	-0,056
Nov	2,46*	0,033	1,35	0,033	3,21**	0,037	0,19	0,014	0,20	0,153
Dez	1,55	0,018	0,50	0,010	3,25**	0,031	0,68	0,081	0,37	0,547

(*) Aumento significativo a 5%.

(**) Aumento significativo a 1%.

(+) Média em elevação.

Apêndice I - Estatísticas e teste de Mann-Kendal das médias mensais da temperatura média do ar, temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar, umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica do período 1977 a 2009.

Séries temporais	Estação seca		Estação chuvosa	
	Test Z	Q	Test Z	Q
Temp. Media	2,81**	0,030	1,24	0,010
Temp. Max	1,83 +	0,026	1,15	0,012
Temp. Min	2,90**	0,034	1,36	0,009
Umid. Rel.	0,60	0,042	1,46	0,072
Precipitação	0,73	0,265	0,88	6,396

(*) Aumento significativo a 5%.

(**) Aumento significativo a 1%.

(+) Média em elevação.