



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Tecnologia e Recursos Naturais**  
**Pós-Graduação em Recursos Naturais**



**Péricles Tadeu da Costa Bezerra**

## **Caracterização de ilhas de calor e conforto térmico em áreas urbanas do semiárido brasileiro**

**Área de concentração:** Processos Ambientais

**Linha de pesquisa:** Climatologia Aplicada a Recursos Naturais

**Orientadores:** Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

**Campina Grande - PB**

**Novembro/2013**



**Universidade Federal de Campina Grande**  
**Centro de Tecnologia e Recursos Naturais**  
**Pós-Graduação em Recursos Naturais**



## **Caracterização de ilhas de calor e conforto térmico em áreas urbanas do semiárido brasileiro**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Recursos Naturais.

**Área de concentração:** Processos Ambientais

**Linha de pesquisa:** Climatologia Aplicada a Recursos Naturais

**Orientadores:** Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo

Prof. Dr. Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão

**Campina Grande - PB**

**Novembro/2013**

B574c Bezerra, Péricles Tadeu da Costa.

Caracterização de ilhas de calor e conforto térmico em áreas urbanas do Semiárido Brasileiro. / Péricles Tadeu da Costa Bezerra. - Campina Grande - PB: [s.n], 2013.

119 f.

Orientadores: Professor Dr. Pedro vieira de Azevedo; Professor Dr. Mário Miranda Vilas Boas Ramos Leitão.

Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais) - Universidade Federal de Campina Grande; Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

1. Ilhas de calor. 2. Clima e planejamento urbano. 3. Conforto térmico. 4. Climatologia urbana. 5. Arborização e microclima. 6. Semiárido Brasileiro - microclima urbano. 7. Mossoró - RN - microclima. 8. Serra Talhada - PE - microclima. 9. Juazeiro - BA - microclima. 10. Petrolina - PE - microclima. 11. Temperatura do ar. 12. Desconforto térmico. 13. Índice de desconforto térmico - IDT. I. Azevedo, Pedro Vieira de. II. Leitão, Mário Miranda Vilas Boas Ramos. III. Título.

CDU:551.58(043.3)

**Elaboração da Ficha Catalográfica:**

Johnny Rodrigues Barbosa  
Bibliotecário-Documentalista  
CRB-15/626

# **PÉRICLES TADEU DA COSTA BEZERRA**

## **CARACTERIZAÇÃO DE ILHAS DE CALOR E CONFORTO TÉRMICO EM ÁREAS URBANAS DO SEMIÁRIDO BRASILEIRO.**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do Grau de Doutor em Recursos Naturais.

### **BANCA EXAMINADORA:**

---

**Professor Dr. Pedro Vieira de Azevedo.**  
Orientador – PPGRN/CTRN/UFCG

---

**Professor Dr. Mário de Miranda Vilas**  
**Boas Ramos Leitão.**  
Orientador – UNIVASF

---

**Professor Dr. Vicente de Paulo**  
**Rodrigues da Silva.**  
Examinador – PPGRN/CTRN/UFCG

---

**Professora Dr<sup>a</sup>. Gertrudes Macário de**  
**Oliveira.**  
Examinadora – UNESB

---

**Professora Dr<sup>a</sup>. Gilda Tomasini**  
**Maitelli.**  
Examinadora – UFMT

---

**Professor Dr. José Espínola Sobrinho.**  
Examinador – UFERSA

---

**Professor Dr. Bernardo Barbosa da**  
**Silva.**  
Examinador – PPGRN/CTRN/UFCG

Trabalho aprovado em: novembro de 2013.

**CAMPINA GRANDE - PB**

*A minha esposa, Maria Luiza, pela paciência, incentivo e amor, elementos fundamentais para a realização deste trabalho.*

*A minhas melhores amigas, minhas filhas Maria Luiza e Maria Júlia.*

*A meus pais, Maurício e Isabel, pelo apoio incondicional na vida.*

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	01
1.1 Objetivo geral.....	04
1.2 Objetivos específicos.....	04
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	05
2.1. Clima e planejamento urbano.....	07
2.2. Ilhas de calor.....	10
2.3. Conforto térmico.....	14
2.3.1. Variáveis humanas de conforto térmico.....	17
2.3.2. Variáveis ambientais de conforto térmico.....	17
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	22
3.1. Área de estudo.....	23
3.1.1. Município de Mossoró-RN.....	24
3.1.2. Município de Serra Talhada-PE.....	25
3.1.3. Município de Petrolina-PE.....	26
3.1.4. Município de Juazeiro-BA.....	27
3.2. Material.....	29
3.2.1. Instrumentação utilizada.....	29
3.3. Métodos.....	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
4.1. Primeira fase.....	39
4.1.1. Temperatura do ar.....	39
4.1.1.1. Período úmido.....	39
4.1.1.2. Período seco.....	43
4.1.2. Ocorrência de ilhas de calor.....	48
4.1.2.1. Período úmido.....	48
4.1.2.2. Período seco.....	49
4.1.3. Intensidade de ilhas de calor.....	49
4.1.3.1. Período úmido.....	50
4.1.3.2. Período seco.....	50
4.1.4. Umidade relativa do ar.....	51
4.1.4.1. Período úmido.....	52

4.1.4.2. Período seco.....	56
4.1.5. Velocidade do vento.....	59
4.1.5.1. Período úmido.....	60
4.1.5.2. Período seco.....	62
4.1.6. Avaliação térmica.....	65
4.1.6.1. Período úmido.....	65
4.1.6.2. Período seco.....	66
4.2. Segunda Fase.....	67
4.3. Terceira Fase .....	79
5. CONCLUSÕES .....	90
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	91

## AGRADECIMENTOS

A Deus.

À memória de meus avós, exemplos de vida.

À minha tia, Maria de Lourdes, pelos aconselhamentos e ao meu tio Pedrosa, por acreditar na ciência como elemento de transformação da sociedade.

A meu sogro, José Luís, pelo estímulo permanente e à minha sogra, Maria Luiza, pelo apoio logístico durante todo o curso.

Aos demais familiares, particularmente, Lula, Luciana, Mathias, Madalena, Nani, Emanuella, Rafael e Renata pelo apoio em minha ausência de casa na fase final da pesquisa e toda amizade reafirmada em Brasília.

Ao amigo Romildo Morant, pela parceria e companheirismo consolidados.

Ao professor Pedro Vieira, pela orientação precisa e competente além da motivação passada para superação dos momentos de dificuldades.

Ao professor Mário Miranda, pela orientação, disponibilização dos equipamentos e permanente boa vontade em ajudar a compreender os caminhos da climatologia urbana.

Aos integrantes do Laboratório de Meteorologia da Universidade Federal do Vale do São Francisco, Hudson e Manoel, pelo apoio e presteza na realização das atividades de campo.

Ao professor e amigo Paulo César, pela serenidade e aconselhamentos decisivos à conclusão deste trabalho.

Aos professores José Espínola, Vicente Rodrigues, Bernardo Barbosa, Gertrudes Macário e Gilda Maitelli, pelas análises, críticas e sugestões na construção desta tese.

Aos amigos de curso, em particular a Ary Vieira, Silvana Fernandes e Bruno Soares, por todo apoio ofertado enquanto estive longe de casa.

À Universidade Federal do Vale do São Francisco por apoiar a qualificação de seu corpo docente e na qual trabalhei por oito anos.

À Universidade Federal de Campina Grande pela acolhida e por me proporcionar a possibilidade de realizar este curso.

Aos docentes e técnicos administrativos integrantes da Pós-Graduação em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

## RESUMO

O presente trabalho objetivou identificar ilhas de calor (IC), determinar o nível de desconforto térmico e avaliar a influência da arborização no microclima em áreas urbanas do semiárido brasileiro. As atividades de campo foram divididas em três etapas: obtenção de dados de estações meteorológicas automáticas instaladas em Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA durante o período úmido (12 a 26/05/2007) e o período seco (15/11 a 05/12/2008); coleta de dados em Petrolina-PE durante todo o ano de 2012; avaliação da influência da arborização no microclima urbano em Juazeiro-BA durante o período seco (24/10/2012 a 09/11/2012). As ilhas de calor foram caracterizadas pelas diferenças de temperatura do ar entre os ambientes urbano e rural, enquanto o desconforto térmico foi determinado ao adaptar a formulação proposta por Thom para cálculo do índice de desconforto térmico (IDT), obtendo-se equações ajustadas para valores máximos (IDTx) e mínimos (IDTm) desse índice. Por fim, a influência da arborização no microclima foi avaliada comparando-se dados climáticos de área com e sem arborização em Juazeiro-BA. Os resultados obtidos evidenciaram ocorrência de ilhas de calor de forte intensidade, com destaque para  $IC = 5,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$  em 28/04/2012, na área urbana de Petrolina-PE, onde, durante o ano de 2012, o IDTx indicou desconforto térmico por sete meses (pontualmente de janeiro a maio e intensamente entre novembro e dezembro) e conforto parcial nos demais meses (junho a outubro). Contudo, na área rural desse mesmo município, o IDTx caracterizou desconforto térmico em apenas dois meses (novembro e dezembro) e conforto parcial nos demais (janeiro a outubro). Com relação ao IDTm, a área urbana de Petrolina-PE apresentou conforto térmico em quatro meses de 2012 (meados de junho a meados de outubro), sendo os demais caracterizados por conforto parcial, enquanto que na área rural, o IDTm registrou conforto térmico de fevereiro a maio (pontualmente), de junho a outubro (intensamente) e conforto parcial nos demais meses do ano. Ficou evidenciado que elementos constitutivos da área urbana contribuem efetivamente para a formação e expansão de ilhas de calor que geram desconforto térmico para seus habitantes. Os resultados também sugerem que a arborização pode ser instrumento eficaz para mitigar o desconforto térmico nas cidades da região.

**Palavras-chave:** Áreas urbana e rural, temperatura e umidade do ar, ilha de calor.

## ABSTRACT

This study aimed to identify heat islands (HI), determine the thermal discomfort level and evaluate the influence of tree planting on the microclimate in urban areas of the Brazilian semiarid. Field activities were divided into three phases, obtaining data from automatic weather stations installed in municipalities of Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE and Juazeiro-BA during the wet period (05/12/2007 to 05/26/2007) and dry period (11/15/2008 to 12/05/2008). In the second phase, data were collected in Petrolina-PE throughout the year 2012. The third phase evaluated the influence of tree planting in the urban microclimate in Juazeiro-BA during the dry period (10/24/2012 to 11/09/2012). Heat islands were characterized by differences in air temperature between urban and rural environments in the cities surveyed, while thermal discomfort was determined by adapting the calculation proposed by Thom of the thermal discomfort index (TDI), obtaining adjusted equations for maximum (TDI<sub>x</sub>) and minimum (TDI<sub>m</sub>) values of TDI. Finally, the influence of tree planting on the microclimate was assessed by comparing climatic data area shaded and unshaded in Juazeiro-BA. The results indicated the existence of high intensity heat islands, especially HI = 5.3 °C on 04/28/2012 in urban area of Petrolina-PE, where, during the year 2012, the TDI<sub>x</sub> indicated thermal discomfort for seven months (occasionally from January to May and intensely from November to December) and partial comfort in the remaining months (June to October). However, in the rural area of the same city, the TDI<sub>x</sub> indicated thermal discomfort in only two months (November and December) and partial comfort from January to October. Regarding TDI<sub>m</sub>, the urban area of Petrolina-PE presented thermal comfort in four months of 2012 (mid-June to mid-October), whereas the remaining months were characterized by partial comfort. In the rural area, TDI<sub>m</sub> indicated that thermal comfort was occasionally detected from February to May and intensely detected from June to October, while the other months were characterized by partial comfort. It was evident that the constituent elements of the urban area effectively contribute to the formation and expansion of heat islands bringing thermal discomfort to its inhabitants. The results also suggest that urban trees can be an effective way to mitigate the thermal discomfort characterized in the surveyed cities.

**Keywords:** urban and rural areas, air temperature and humidity, heat island.

**LISTA DE QUADROS**

Quadro 01 – Fases da campanha de campo para coleta de dados.....	22
Quadro 02 – Locais das campanhas experimentais da primeira fase.....	31
Quadro 03 – Locais das campanhas experimentais da segunda fase.....	34
Quadro 04 – Locais das campanhas experimentais da terceira fase.....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Classe do desconforto térmico em função do índice de desconforto térmico (IDT).....	37
Tabela 02 – Temperatura do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período úmido.....	40
Tabela 03 – Temperatura do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período seco.....	44
Tabela 04 – Diferença entre a temperatura média do ar registrada na área urbana e a registrada na área rural durante o período úmido ( $\Delta Tar_1$ ).....	48
Tabela 05 – Diferença entre a temperatura média do ar registrada na área urbana e a registrada na área rural durante o período seco ( $\Delta Tar_2$ ).....	49
Tabela 06 – Intensidade média de ilha de calor no período úmido.....	50
Tabela 07 – Intensidade média de ilha de calor no período seco.....	51
Tabela 08 – Umidade relativa do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período úmido.....	52
Tabela 09 – Umidade relativa do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média do ar no período seco.....	56
Tabela 10 – Velocidade do vento: máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média no período úmido.....	60
Tabela 11 – Velocidade do vento: máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média no período seco.....	63
Tabela 12 – Avaliação térmica durante o período úmido.....	65
Tabela 13 – Avaliação térmica durante o período seco.....	66
Tabela 14 – Temperatura do ar: mínima, máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.....	67

Tabela 15 – Umidade relativa do ar: mínima, máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.....	68
Tabela 16 – Velocidade do vento: máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.....	68

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Localização geográfica dos municípios estudados em relação ao Brasil e à região semiárida brasileira.....	23
Figura 02 – Localização geográfica de Mossoró-RN e fotos de sua área urbana.....	25
Figura 03 – Localização geográfica de Serra Talhada-PE e fotos de sua área urbana.....	26
Figura 04 – Localização geográfica de Petrolina-PE e fotos de sua área urbana.....	27
Figura 05 – Localização geográfica de Juazeiro-BA e fotos de sua área urbana.....	28
Figura 06 – Polo Petrolina-PE e Juazeiro-BA destacado em mapa (à esquerda) e em imagem de satélite adaptada do Google Earth (à direita).....	29
Figura 07 – Estação meteorológica 01, localizada na área urbana de Mossoró-RN.....	31
Figura 08 – Estação meteorológica 02, localizada na área rural de Mossoró-RN.....	32
Figura 09 – Estação meteorológica 03, localizada na área urbana de Serra Talhada-PE.....	32
Figura 10 – Estação meteorológica 04, localizada na área rural de Serra Talhada-PE.....	32
Figura 11 – Estação meteorológica 05, localizada na área urbana de Petrolina-PE.....	33
Figura 12 – Estação meteorológica 06, localizada na área rural de Petrolina-PE.....	33
Figura 13 – Estação meteorológica 07, localizada na área urbana de Juazeiro-BA.....	33
Figura 14 – Estação meteorológica 08, localizada na área rural de Juazeiro-BA.....	34
Figura 15 – Estação meteorológica 09 (INMET), na área urbana de Petrolina-PE.....	34

Figura 16 – Estação meteorológica 11, na área urbana de Juazeiro-BA, com influência de sombreamento pela arborização.....	35
Figura 17 – Estação meteorológica 12, na área urbana de Juazeiro-BA, sem arborização.....	36
Figura 18 – Valores médios diários da temperatura do ar em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	41
Figura 19 – Valores diários da temperatura do ar mínima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	42
Figura 20 – Valores diários da temperatura do ar máxima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	43
Figura 21 – Valores médios diários da temperatura do ar em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	45
Figura 22 – Valores diários da temperatura do ar mínima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	46
Figura 23 – Valores diários da temperatura do ar máxima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	47
Figura 24 – Valores médios diários da umidade relativa do ar em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	53
Figura 25 – Valores diários da umidade relativa do ar mínima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	54
Figura 26 – Valores diários da umidade relativa do ar máxima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	55

Figura 27 – Valores médios diários da umidade relativa do ar em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	57
Figura 28 – Valores diários da umidade relativa do ar mínima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	58
Figura 29 – Valores diários da umidade relativa do ar máxima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	59
Figura 30 – Valores médios diários da velocidade do vento em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	61
Figura 31 – Valores diários da velocidade do vento máxima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	62
Figura 32 – Valores médios diários da velocidade do vento em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	63
Figura 33 – Valores diários da velocidade do vento máxima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.....	64
Figura 34 – Precipitação pluviométrica nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.....	69
Figura 35 – Temperatura do ar nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) mínima; (B) média e (C) máxima.....	70
Figura 36 – Ocorrência e intensidade diária de ilhas de calor em Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) Tar mínima; (B) Tar média e (C) Tar máxima.....	72
Figura 37 – Umidade relativa do ar nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) URmínima; (B) URmédia e (C) URmáxima.....	74

Figura 38 – Velocidade do vento nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) média e (B) máxima.....	75
Figura 39 – Valores médios horários da temperatura e umidade relativa do ar no ano de 2012: (A) e (B) na área urbana; (C) e (D) na área rural de Petrolina-PE.....	76
Figura 40 – Índice de desconforto térmico máximo (IDTx) e mínimo (IDTm) na área urbana de Petrolina-PE no ano de 2012.....	77
Figura 41 – Índice de desconforto térmico máximo (IDTx) e mínimo (IDTm) na área rural de Petrolina-PE no ano de 2012.....	78
Figura 42 – Média horária da radiação global incidente em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	80
Figura 43 – Média horária da radiação refletida em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	81
Figura 44 – (A) Média horária do Balanço de Ondas Curtas; (B) Média horária do Balanço de Ondas Longas em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	82
Figura 45 – Média horária do saldo de radiação em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	83
Figura 46 – Média horária da temperatura da superfície em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	84
Figura 47 – Temperatura máxima da superfície em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	85
Figura 48 – Média horária da temperatura do ar a 1,5 m em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	86

Figura 49 – Temperatura máxima do ar a 0,5 m em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	87
Figura 50 – Média horária da umidade relativa do ar em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	88
Figura 51 – Média horária da temperatura de globo negro em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.....	89

## 1. INTRODUÇÃO

Nesse início de século muitas cidades passaram a ser vistas como ícones da crise ambiental e problemas relacionados ao espaço urbano são os mais diversificados possíveis, destacando-se principalmente as alterações climáticas em relação ao ambiente natural. O clima é um elemento que interage com todos os sistemas ambientais e seu estudo promove análises multidisciplinares com urbanistas – engenheiros, arquitetos, meteorologistas, historiadores e geógrafos, dentre outros – na busca de soluções para os problemas ambientais das cidades com consequente melhoria da qualidade de vida da população.

A percepção de que a urbanização é um agente modificador do clima e que atividades humanas desencadeiam alterações na atmosfera repercutiram em estudos sobre o clima que se forma nas cidades, denominado de clima urbano, que se constitui em um dos fatores mais relevantes para a qualidade ambiental do espaço construído (COLTRI et al., 2007).

Atualmente, existe um grande interesse da sociedade e do meio científico em torno das questões climáticas, tendo em vista que as alterações na dinâmica do clima são responsáveis por impactos já observados, especialmente em relação ao aumento da temperatura e expansão das ilhas de calor, que implicam na geração do desconforto térmico.

O processo de desenvolvimento acelerado e sem planejamento das cidades contribui para explicar as modificações em suas estruturas urbanas originais, principalmente pela verticalização das edificações associada à impermeabilização e pavimentação de vias públicas, seja com pedras, concreto ou revestimento asfáltico. Com isso, as áreas centrais das cidades experimentam uma elevação na temperatura do ar em relação ao seu entorno, fenômeno conhecido como ilha de calor, e caracterizado quando o ar da cidade se torna mais quente que o ar das regiões circunvizinhas não urbanizadas (OKE et al., 1991; MONTEIRO & MENDONÇA, 2003).

Devido à localização do semiárido brasileiro em latitudes próximas da linha do Equador, há, naturalmente, grande incidência de radiação solar e, em geral, as cidades dessa região apresentam temperaturas mais elevadas do que outras situadas em latitudes maiores, como as da região Sudeste e Sul do país. Nesse processo, um dos mecanismos do sistema cidade-atmosfera mais afetados pela

mudança do uso e cobertura do solo é o balanço de energia, evidenciado pela geração de ilhas de calor (PEREZ et al., 2001; AZEVEDO & TARIFA, 2001; ARAÚJO & SANT'ANNA NETO, 2002; KALNAY & CAI, 2003; MONTEIRO & MENDONÇA, 2003; SILVA et al., 2009).

As condições climáticas naturais da região semiárida brasileira são potencializadas pelos elementos constituintes das estruturas urbanas, piorando a qualidade de vida nas áreas centrais da cidade devido ao aumento do desconforto térmico, já que a disposição das edificações e os materiais utilizados no revestimento das superfícies, principalmente o asfalto, têm a propriedade de alterar o regime de circulação dos ventos e de armazenar calor. Com isso, estudar e analisar as condições climáticas das cidades é essencial para a compreensão de alterações das variáveis meteorológicas provocadas pela urbanização, já que, o conhecimento de sua dinâmica se constitui numa ferramenta de tomada de decisão do Poder Público sobre a ocupação e a expansão das cidades.

Os municípios de Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA estão inseridos na porção semiárida brasileira, possuem juntos aproximadamente 830 mil habitantes e despontam como uma referência de crescimento e desenvolvimento socioeconômico nessa região, circunscritos em meio à Caatinga. Essas cidades têm se constituído palco de intenso processo de desenvolvimento econômico e social das últimas décadas, o que lhes confere grande importância de estudo sobre as alterações na dinâmica do clima urbano. Contudo, pesquisas sobre clima urbano no Nordeste brasileiro têm se limitado às capitais, como em Salvador-BA (NERY et al., 2006), Fortaleza-CE (MOURA et al., 2010), Recife-PE (MOREIRA & NÓBREGA, 2011) e João Pessoa-PB (SANTOS et al., 2011; 2012).

Modelos climáticos globais, por questão de escala, nem sempre representam de forma precisa as características locais ou regionais e várias iniciativas de pesquisa têm enfatizado análises em menores escalas para produção de cenários mais representativos da realidade urbana (DIAS & DIAS, 2007). Estudos do balanço de energia sobre áreas urbanas têm mostrado que, ao contrário do que ocorre em áreas naturais, o fluxo de calor sensível, apresenta-se muito mais elevado do que o fluxo de calor latente, ocasionando elevação na temperatura urbana em comparação com o ambiente rural (OKE et al., 1992).

Considerando a importância da temática em questão, torna-se evidente a necessidade de serem desenvolvidos estudos sobre o comportamento climático das cidades para sensibilizar os diversos profissionais e gestores públicos a considerarem esta temática quando da elaboração de planos e projetos de desenvolvimento urbano para que possam proporcionar conforto térmico à população.

Entretanto, no Brasil, e mais particularmente na porção semiárida do Nordeste, a preocupação com as condições térmicas de ambientes urbanos tem sido negligenciada ao longo de décadas, ou seja, ao se projetar e construir os espaços destinados aos mais variados usos pelo homem, a regra geral é não considerar que o conforto térmico a ser proporcionado aos usuários representa uma melhoria da qualidade de vida.

Nesse contexto, o conhecimento do clima urbano é um parâmetro fundamental para o progresso das cidades, pois fornece subsídios para desenvolvimento de estudos adequados para melhor planejamento e ordenamento do seu espaço físico. Portanto, torna-se urgente incluir essa visão ambiental nos cenários técnicos, econômicos e políticos que dão forma ao meio urbano, considerando os processos naturais e antrópicos que ocorrem nas cidades na permanente busca pelo desenvolvimento sustentável (PINHEIRO, 2008).

Com a efetivação dessa pesquisa será possível observar se os ambientes estudados apresentam condições de conforto ou desconforto térmico para seus habitantes e disponibilizar uma ferramenta útil para auxiliar planos diretores municipais de desenvolvimento urbano a levarem em conta as variáveis climáticas regionais do semiárido brasileiro, possibilitando proposições no planejamento dos ambientes urbanos que tragam melhoria da qualidade de vida para a população.

Partindo do pressuposto que as alterações das condições atmosféricas locais podem não ser decorrentes de fatores globais, mas sim de transformações ocorridas localmente, este trabalho pretende apresentar uma contribuição aos estudos climáticos e de planejamento urbano, como subsídio para o processo de ocupação do espaço físico das cidades, tendo por hipótese que o clima influencia o meio e o meio influencia o clima. Dessa forma, este trabalho tem por objetivos:

**1.1. Objetivo Geral:**

Avaliar as condições térmicas em áreas urbanas do semiárido brasileiro, a partir dos municípios de Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA.

**1.2. Objetivos Específicos:**

**a.** Identificar ilhas de calor e avaliar o desconforto térmico nas áreas urbanas dos municípios de Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA;

**b.** Avaliar o efeito da arborização no microclima da área urbana do município Juazeiro-BA.

**c.** Propor alternativa para caracterizar o desconforto térmico da área urbana do município de Petrolina-PE; e,

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

As alterações climáticas e o aquecimento global são temas importantes tanto no universo científico como na sociedade em geral, recebendo significativa atenção da mídia e de muitas organizações de caráter global. Algumas pesquisas científicas consideram o aquecimento do planeta como um fenômeno natural, enquanto que outras pesquisas e instituições, como a Organização das Nações Unidas - ONU, por meio dos relatórios publicados pelo IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) o trata também como consequência de uma série de atividades antropogênicas.

O Relatório do “*Grupo de Trabalho*” no Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas da Organização das Nações Unidas – ONU (IPCC AR4, 2007) foi incisivo ao afirmar, com 90% de confiança, que as atividades antrópicas são a principal causa do aquecimento global observado nos últimos cinquenta anos. Segundo Nobre (2007), o relatório destaca ainda que o planeta vem aquecendo 0,74 °C em 100 anos e que já são perceptíveis uma série de mudanças climáticas como aumento das temperaturas do ar e dos oceanos, degelo e aumento global do nível médio do mar em 17 cm durante o século XX. Associado ao aquecimento já registrado observa-se a intensificação de fenômenos meteorológicos extremos, como ondas de calor, secas, chuvas intensas e ciclones tropicais. Em resumo, de acordo com o IPCC praticamente estão descartadas causas naturais para o aquecimento das últimas décadas, o qual se deve, em sua quase totalidade, à mudança da composição da atmosfera por ações humanas decorrentes da intensa industrialização e crescimento vivenciados pela sociedade contemporânea.

Entretanto, alguns cientistas apresentam dados que contrariam as informações do IPCC sobre as causas antrópicas para o aquecimento global. De acordo com Molion (2010), mais de 97% das emissões de gás carbônico são naturais, provenientes dos oceanos, vegetação e solos, cabendo ao Homem menos de 3%, valor que seria responsável por uma minúscula fração do efeito estufa atual, cerca de 0,12%. No entanto, um fato relevante merece destaque: apesar de eventuais controvérsias sobre as verdadeiras causas e consequências destes fenômenos climáticos em escala global, ambas as correntes científicas convergem para o fato de que alterações climáticas em escala regional e local, ou seja, no ambiente citadino, sofrem consequências diretas das ações humanas.

O clima de uma cidade é dividido em duas escalas: a camada de cobertura urbana (*UCL – Urban Canopy Layer*) e a camada limite urbana (*UBL – Urban Boundary Layer*). A UCL é a camada de cobertura urbana, que se estende desde o solo até próximo ao nível médio do topo das edificações. O *urban boundary layer* se estende desde o nível médio dos telhados até a região de influência da cidade na atmosfera, e é variável de acordo com as condições do tempo. Esse modelo proposto permite observar que a camada de cobertura urbana é influenciada pelas atividades humanas intra-urbanas e que irá repercutir no processo convectivo da atmosfera local, com consequências na área de influência da camada limite urbana (OKE, 1991). Para estudos com um pequeno número de estações dentro da área urbana, deve ser decidido qual será o principal alvo, para que se possa instalar os equipamentos e monitorar um local com características típicas bem definidas que representem bem o alvo escolhido (OKE, 2004).

De acordo com Orsini (2007) o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas atuais e mais ainda às que se projetam para o futuro, sendo a Amazônia e o Nordeste brasileiro as áreas mais vulneráveis. Segundo o autor, a temperatura média no Brasil aumentou 0,75 °C até o final do Século XX, considerando a média anual de 24,9 °C observada no período de 1961 a 1990, sendo 1998 o ano mais quente. Orsini (2007) também ressalta a necessidade de se ajustar os métodos aplicáveis aos cenários de mudanças do clima resultantes de modelos globais para projeções de escopo regional ou local.

Para Xavier et al. (2008) a sensação de aquecimento observada pela população de áreas urbanas decorre de ilhas de calor, fenômeno intra-urbano, decerto ocorrendo desde os primórdios da civilização, em função de como as cidades são criadas e modificadas, envolvendo agressões ao meio natural. Portanto, é de extrema relevância que sejam efetuadas análises simultâneas acerca das ocorrências climáticas dentro e fora das cidades, para melhor caracterizar fenômenos específicos em cada área. Nesse sentido, Costa et al. (2009) comentam que as áreas urbanas vem sofrendo as consequências negativas destes desequilíbrios ambientais, evidenciado no excessivo aquecimento de seus espaços, o que tem provocado desconforto térmico em suas populações.

Estudos recentes sugerem que as mudanças climáticas também estão em curso no semiárido brasileiro. Pesquisas realizadas pelo INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, em parceria com o Laboratório de Meteorologia de

Pernambuco, apontam que a temperatura média das cidades fora do litoral está aumentando de forma rápida. Segundo Nobre (2007), os dados mostram que a tendência de aumento da temperatura máxima está presente nas séries históricas de todos os postos estudados.

Aparentemente, a inserção das questões climáticas na qualificação do ambiente urbano parece ocorrer apenas quando os usuários do espaço citadino passam a sofrer efeitos adversos e seus habitantes sentem desconforto climático no ambiente em que vivem. Para se estudar o clima urbano e os fenômenos associados a ele, pode-se avaliar as seguintes vertentes: (i) termodinâmica (ilhas de calor e desconforto térmico); (ii) físico-química (poluição atmosférica); (iii) meteorológica (pluviometria concentrada).

Neste contexto, uma das vertentes mais significativas para os pesquisadores contemporâneos é o estudo termodinâmico, não somente pelas implicações no bem-estar humano como também pelo fato de que as trocas de calor com a atmosfera repercutem decisivamente nas demais vertentes. A seguir, apresenta-se o estado da arte sobre clima e planejamento urbano, ilhas de calor e conforto térmico, como forma de uma melhor compreensão dos fenômenos climáticos destacados no contexto termodinâmico.

## **2.1. Clima e planejamento urbano**

Os estudos pioneiros sobre a influência das áreas urbanas no clima foram realizados em Londres, século XVII. Naquela época, estudos desenvolvidos por Luke Howard constataram que a queima do carvão provocava alterações na temperatura da cidade devido ao aumento da concentração de poluentes na atmosfera. Pesquisas realizadas por Emilien Renou, em Paris, e por Wilhelm Schmidt, em Viena, pontuaram a temática nos séculos XIX e início do século XX. Porém, somente após a Segunda Guerra Mundial, com o crescimento de áreas metropolitanas e o aumento da industrialização, intensificaram-se os estudos sobre clima urbano, face à evidente contaminação da atmosfera de grandes cidades. Em 1937, foi publicada a primeira obra sobre clima urbano, com o título "O clima da cidade" (MONTEIRO & MENDONÇA, 2003).

As consequências da influência do ambiente urbano sobre o clima são de difícil avaliação. Por hipótese, a situação ideal seria realizar medidas das

características climáticas locais antes da urbanização, para que eventuais alterações pudessem ser constatadas e explicadas. Porém, isso é praticamente impossível de ser realizado. O mais comum é estabelecer uma comparação entre duas áreas, uma urbanizada e outra rural, não muito distantes entre si. Pode-se ainda realizar comparações entre áreas com características diferenciadas de uso do solo, localizadas em regiões centrais ou na periferia das cidades (MAITELLI, 1994).

Evans & Schiller (1996) realizaram três estudos de caso na região de Buenos Aires - Argentina, que ilustram as possibilidades e limitações da aplicação de medidas de controle do clima urbano com o objetivo de melhorar a qualidade de vida nas cidades. Esses autores afirmaram que o conhecimento obtido a partir de tais estudos devia ser transferido para arquitetos e urbanistas, de tal forma que isso pudesse influenciar a abordagem do planejamento físico e ser adotado na prática. Posteriormente, apesar do aparecimento de algumas publicações que contemplassem este assunto, as condições climáticas do ambiente exterior foram relativizadas e as regras da arquitetura moderna passaram a privilegiar soluções que adotassem tecnologias avançadas, dando lugar cada vez mais a uma dependência do Homem em relação aos recursos naturais.

Notadamente nas últimas décadas, avanços significativos foram feitos na compreensão das bases científicas do clima urbano. Jáuregui (2005) analisou o impacto da urbanização sobre o clima em algumas grandes cidades do México a partir da observação de mudanças de temperatura ocorridas no final do século XX, período de grande urbanização naquele país. A análise estatística de dados obtidos em doze estações meteorológicas indicou uma tendência de crescimento na temperatura urbana, acarretando implicações para a saúde humana e o bem-estar em geral. Coltri (2006) afirmou que o estudo do clima urbano é baseado num ramo de pesquisa da climatologia, que é responsável pela análise do clima da cidade, enfocando, a princípio, um diagnóstico espacial local (clima local) que se estende posteriormente a níveis regionais (clima regional) e globais (clima zonal), ressaltando-se em cada escala, a influência urbana sobre o clima.

Jo et al. (2009), em estudo de caso realizado em na capital da Coréia do Sul - Seul, concluíram que grandes cidades têm um impacto significativo sobre a mudança climática global e regional, devido às características dos materiais de construção e uso de energia, associados ao crescimento populacional e a expansão física da região. Esses autores apresentaram uma estrutura de sistemas urbanos

sustentáveis para avaliar as causas e efeitos das mudanças climáticas envolvidas com o ambiente construído em diferentes escalas e concluíram que, cada vez mais, a responsabilidade de enfrentar a mudança do clima está caindo sobre governos locais e regionais, os quais têm que desenvolver políticas e programas que incorporem influências climáticas diversas que considerem permanentemente condicionantes ambientais, sociais e econômicos.

Visando em especial à sustentabilidade das cidades, Grimmond et al. (2010), a partir do conhecimento científico em relação às medidas e modelagem de informações climáticas, desenvolveram métodos para analisar dados atmosféricos medidos acima da superfície urbana, com o intuito de melhorar, a curto prazo, aspectos relacionados à previsão de clima, qualidade do ar e a dispersão química através da modelagem das características do ambiente biogeofísico urbano. Os citados autores ressaltaram a importância de melhorar a educação sobre meteorologia urbana e incentivar a comunicação entre as disciplinas científicas na busca de benefícios sociais, econômicos e de saúde para as populações urbanas.

Pesquisas sobre mudança climática realizadas na cidade queniana de Mombaça também revelaram que vários setores não consideram os aspectos climáticos em seu planejamento, ignorando as sinergias existentes entre adaptação às alterações climáticas e desenvolvimento bem sucedido da cidade. O papel central da autoridade municipal na gestão da cidade pode ser aproveitado para facilitar o planejamento integrado olhando para o conjunto de ações necessárias para o desenvolvimento sustentável dos sistemas de toda a cidade (KITHIHA & DOWLING, 2010). Contudo, é importante salientar que a compreensão do papel das áreas urbanas na modificação climática em diferentes escalas encontra-se fragmentada e desarticulada. Pesquisas sobre clima urbano, no sentido mais amplo, têm sido impulsionadas por diferentes agendas, com poucas tentativas para garantir a compatibilidade em termos de dados, métodos e objetivos. Ainda existe uma grande quantidade de trabalho a ser feito, objetivando associar o clima urbano com pesquisas sobre mudanças climáticas extremas. É preciso que o poder público possa manter e melhorar análises ambientais das áreas urbanas e fomentar permanentemente as pesquisas científicas com a finalidade de melhor compreender as interações climáticas locais, regionais e globais na busca de desenvolver ferramentas para o planejamento prático, disseminar o conhecimento sobre clima

urbano e evidenciar sua relevância no planejamento das cidades (MILLS et al., 2010).

## **2.2. Ilhas de calor**

A expressão mais concreta da mudança do balanço de energia nos ambientes urbanos configura-se na expressão “ilhas de calor” (AMORIM et al., 2009). Oke (1991) definiu ilha de calor urbana (ICU) como uma cúpula de ar quente que cobre a cidade, resultante do aumento da temperatura causado por características físicas (alta densidade de construções, concentração de materiais construtivos de grande potencial de absorção e reflexão da radiação solar) e as atividades urbanas.

Em pesquisas realizadas nas cidades de Rennes (França) e Presidente Prudente (Brasil), Amorim et al. (2009) constataram que a evolução da urbanização exerceu um papel decisivo no aquecimento observado nessas cidades de climas e histórias tão diferentes, ressaltando a complexidade das interações climáticas. A intensidade e a extensão espacial da ICU dependem da localização da cidade, da morfologia urbana (forma e densidade das construções), do tipo de materiais construtivos, das atividades industriais, das condições climáticas e da sucessão das situações sinóticas e tipos de tempo. Para Cantat (2004), que desenvolveu pesquisa semelhante na capital francesa, a ICU é especialmente importante sob condições atmosféricas estáveis, que se caracterizam pela baixa velocidade do vento e pela ausência de nebulosidade.

Costa et al. (2009), utilizando dados orbitais de bandas refletivas e térmicas do satélite Landsat TM-5 e técnicas de geoprocessamento, identificaram ilhas de calor na malha urbana de Ilha Solteira-SP. De acordo com os autores, as áreas urbanas das cidades vêm sofrendo as consequências negativas dos desequilíbrios ambientais, materializados através do excessivo aquecimento de seus espaços, o que tem provocado desconforto térmico nas suas populações. Os resultados obtidos mostraram que o perímetro urbano estudado possui áreas com temperatura à superfície bastante elevada. O estudo identificou a ocorrência de sete ilhas de calor e que estas estão localizadas em áreas de concentração de edificações. Na mesma linha, Moreira & Galvínio (2009) também utilizaram imagens do satélite Landsat TM-5 para analisar variações das ilhas de calor em Recife-PE. Os dados analisados

evidenciaram que nos últimos vinte e quatro anos houve um incremento médio de 4 °C na temperatura mínima e de 8 °C na temperatura máxima.

Para Teza & Baptista (2005) o fenômeno ilha de calor não ocorre apenas em metrópoles brasileiras, mas ocorre necessariamente em áreas urbanas. Os autores, utilizando imagens de satélite das cidades de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, concluíram que esse problema ambiental é consequência de um planejamento urbano deficiente ou inexistente, que se desenvolve a partir de pressupostos que poderiam ser mitigados com ações tomadas previamente ao assentamento da população. Eles detectaram temperaturas à superfície maiores nos centros de todas essas cidades e ocorrência de decréscimo da temperatura nas periferias. Em todas as metrópoles foi detectado um grande adensamento de edificações no centro da cidade, com construções feitas de materiais que possuem características de absorver mais radiação e emitir mais calor para superfície. A topografia de quase todas as áreas estudadas favorece a dispersão de poluentes e particulados atmosféricos sobre a área urbana dos municípios, fator que, de acordo com os autores, intensificou o fenômeno ilha urbana de calor.

Barbirato et al. (2001) identificaram padrões diferenciados de clima na cidade de Maceió, a partir de análises térmicas em diversas escalas e constataram que a influência da área urbana sobre a temperatura do ar se mostrou bastante significativa nas análises das diversas escalas de abordagem e que o entorno interfere diretamente nos resultados da temperatura e umidade relativa do ar, criando microclimas diferenciados.

Eliasson (2000) realizou estudo de caso envolvendo diferentes técnicas de entrevista e coleta de dados históricos junto aos setores de planejamento em três cidades na Suécia. Esse autor concluiu que os administradores urbanos daquele país demonstraram interesse nos aspectos climáticos pesquisados, mas o uso da informação foi dispersa e, na prática, a climatologia teve um baixo impacto sobre o processo de planejamento das cidades. Ainda na Suécia, Svensson & Eliasson (2002) analisaram durante um período de 18 meses, dados de temperatura do ar coletados em 18 locais dentro da cidade de Gotemburgo. Constataram que, à noite, as áreas construídas foram sempre mais quentes, apresentando temperatura de até 8 °C mais alta em relação às áreas não edificadas.

Bias et al. (2003), analisando o fenômeno de ilha de calor na cidade satélite de Sobradinho-DF, verificaram variações significativas, com diferenças de até 9°C,

observadas entre áreas com arborização e corpos hídricos e áreas com elevado grau de urbanização.

Utilizando imagens de satélite, Sousa & Baptista (2005) buscaram associar variações térmicas na cidade de São Paulo em função da distribuição espacial do que chamaram de “mancha urbana”. Os autores constataram que tanto a imagem ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) quanto a imagem MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer), sofreram variação térmica na mesma faixa de temperatura, sendo que, a ilha de calor é melhor visualizada utilizando as imagens MODIS. Em pesquisa correlata, Amorim (2005) evidenciou que a cidade de Birigui-SP apresenta pico positivo de temperatura no período noturno e em área mais densamente construída. Dentre as causas que originam as ilhas de calor a autora destaca o armazenamento de calor durante o dia na cidade, graças às propriedades térmicas e caloríficas dos materiais de construções e sua devolução para a atmosfera durante a noite; a produção do calor antropogênico (circulação de veículos e pessoas); a diminuição da evaporação decorrente da substituição da superfície original por concreto e asfalto e a canalização fechada de rios e córregos e a menor perda de calor sensível, devido à redução da velocidade do vento originada pelas edificações.

Estudos realizados por Pereira Filho et al. (2004) mostraram que chuvas de verão na Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) são mais intensas devido aos efeitos combinados da ilha de calor observada na região e a circulação de brisa marítima advinda do litoral. Posteriormente, em pesquisas complementares, Pereira Filho et al. (2007) constataram que as temperaturas nas bordas da RMSP são pelo menos 5 °C menor em relação ao centro da ilha de calor urbano. Também no estado de São Paulo, Coltri et al. (2007) caracterizaram ilhas de calor durante o inverno no município de Piraciba, identificando sua morfologia e intensidade quando comparadas às ilhas de calor observadas na época de safra. Os autores concluíram que as ilhas de calor não seguem um padrão definido, sendo, em geral, menos intensa nos bairros centrais e nas bordas da cidade, uma vez que esses locais possuem mais áreas verdes.

Há significativo interesse atual na tentativa de reduzir o superaquecimento potencial das cidades durante o verão, mitigando os efeitos de eventuais ondas de calor. No Reino Unido, por exemplo, a ilha de calor urbano verificada por Davies et al. (2008) resultou em um aumento do número de mortes devido ao

superaquecimento durante o verão além de provocar uma elevada carga de refrigeração artificial com grandes repercussões econômicas. Em contrapartida, no inverno, a ilha de calor tende a contribuir na diminuição do uso de fontes de aquecimento, reduzindo, inclusive, o número de mortes relacionadas com frio excessivo. Ou seja, em cidades mais frias, os efeitos das ilhas de calor podem até ser vistos como benéficos. Portanto, compete aos gestores públicos possuir elementos para melhor avaliar os efeitos desses impactos antes de propor grandes modificações urbanas, que devem ser adequadas às características climáticas de cada região.

Moura et al. (2008) identificaram ilhas de calor no período diurno em Fortaleza-CE, com maior frequência nos setores sudoeste e central da cidade, correspondendo às áreas com maior massa edificada, porém, sem verticalização, e com baixa cobertura vegetal. Para Nascimento & Barros (2009), a cidade de Goiânia-GO, apresenta sérios problemas advindos da ocupação antrópica, dentre eles, a ocorrência de ilhas de calor. Durante suas pesquisas, foi possível mensurar significativas diferenças de temperatura entre as áreas urbana e rural do município. Os referidos autores indicaram que, enquanto nos locais adjacentes às áreas verdes e corpos hídricos a temperatura observada esteve próxima a 22 °C, nas áreas da região central, com intensa quantidade de construções e fluxo de atividades antrópicas, a temperatura alcançou picos de 32 °C.

Lima et al. (2010) constataram aumento nas temperaturas mínimas, médias e mínimas absolutas anuais em quatro estados do Nordeste Setentrional: Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. No estudo desenvolvido, os autores apresentam indicadores de possíveis ocorrências de mudanças climáticas na Região Nordeste Setentrional e que o clima é mais quente principalmente durante a noite. Ao analisar a influência da urbanização no clima das cidades de Petrolina-PE e Juazeiro-BA, Bezerra (2009) detectou ocorrências de ilhas de calor urbano nessas cidades, sobretudo durante o período noturno e em áreas mais densamente urbanizadas. Resultados similares foram obtidos nas pesquisas de Bourbia & Boucheriba (2010), realizadas na cidade de Constatina, região semiárida da Argélia. Após medição e análise de uma série de variáveis climáticas na cidade, os resultados indicaram uma forte diferença de temperatura do ar (cerca de 3 a 6 °C) entre o ambiente urbano e o meio rural circundante. Nesses estudos, ficou ressaltado que o planejamento tem um imenso impacto no microclima local, que por

sua vez afeta o conforto e qualidade do espaço dentro de uma cidade. Os espaços abertos urbanos desempenham um papel importante na criação do clima urbano, afirmaram os autores.

O ordenamento do território é considerado como um dos principais instrumentos disponíveis para adaptação às mudanças climáticas afirmaram Rannow et al. (2010). Em estudo de caso realizado em distritos na Alemanha, os autores propuseram um modelo baseado em indicadores capaz de avaliar onze possíveis impactos com relevância para o sistema de planejamento espacial alemão e identificaram regiões com impactos cumulativos das mudanças climáticas como áreas de “*hot spots*” que precisam de ações urgentes de reordenamento territorial. Ainda de acordo com esses autores, para enfrentar tamanho desafio, autoridades de planejamento devem dispor de informações sobre impactos das mudanças climáticas em um nível de escala regional e local.

Portanto, constata-se que a medição da intensidade e dos efeitos da ilha de calor sobre um clima regional é de grande utilidade, pois fornece aos gestores públicos subsídios para adoção de medidas que possam reduzir os efeitos da temperatura, o consumo de energia e a poluição do ar nos ambientes urbanos. Pode-se afirmar que a constatação de fenômenos dessa natureza em metrópoles globais dificulta a viabilização de medidas concretas para solução dos problemas detectados, uma vez que o processo de urbanização observado nessas cidades está praticamente consolidado. Paradoxalmente, nas cidades do semiárido brasileiro, onde se pode, com relativo grau de facilidade, adotar medidas preventivas e/ou corretivas que favoreçam o conforto térmico de seus habitantes, poucas pesquisas foram realizadas.

### **2.3. Conforto térmico**

O conforto térmico é fundamental para a saúde e bem estar das pessoas. Estudos sobre essa temática objetivam estabelecer as condições necessárias para a concepção de um ambiente adequado às atividades humanas, bem como determinar métodos adequados para análise térmica do ambiente. Temperaturas fora de determinados limites de conforto acarretam fadiga térmica, e por consequência, mal-estar e redução do rendimento no trabalho, podendo, inclusive,

ocasionar perda total de capacidade para realização de atividades intelectuais, problemas de saúde e até morte (LAMBERTS & XAVIER, 2002).

Segundo a *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers – ASHRAE (2005)*, conforto térmico é o estado de espírito que expressa satisfação com o ambiente térmico e é analisado pela avaliação tanto de parâmetros objetivos como de subjetivos. As condições ambientais para a obtenção de uma sensação de conforto térmico variam de acordo com o indivíduo, pelo fato de existirem variações distintas tanto fisiológicas como psicológicas entre as pessoas. Quando as condições térmicas do meio ultrapassam certas faixas, mecanismos termorreguladores do organismo são ativados com a finalidade de manter a temperatura interna do corpo constante.

Como criaturas de sangue quente, os humanos produzem calor continuamente. Quanto mais ativa é uma pessoa, maior é o calor que ela gera, podendo variar desde 100 W para uma pessoa sedentária, até 1.000 W, para uma pessoa que pratica exercícios físicos intensos (ASHRAE, 2005). Para manter o corpo dentro de uma faixa de temperatura considerada saudável, esse calor deve ser constantemente dissipado para o ambiente. Logo, quando as temperaturas ao redor estão mais elevadas e/ou os níveis de atividade aumentam, o corpo é menos capaz de transferir calor através da pele e da respiração. Quando a temperatura do ar se torna mais quente do que a pele, o ar começa a aquecer o corpo em vez de resfriá-lo e a transpiração torna-se o único meio para o corpo se refrescar. Nesses momentos a ingestão de líquidos é muito importante para evitar o estresse térmico (LAMBERTS et al., 2011).

Mortes provocadas por temperaturas elevadas não são nada incomuns, como as registradas nas cidades americanas de Filadélfia, Nova York, St. Louis (CURRIERO et al., 2002; SHERIDAN, 2002; WOOD, 2002). Em 1995, registrou-se uma das ondas de calor mais trágicas, responsável por pelo menos setecentos óbitos num período de apenas cinco dias em Chicago, Estados Unidos (KLINENBERG, 2002), embora seja raro um número tão grande de mortes associadas a uma onda de calor. Lamberts et al. (2011) também destacaram que a importância de um estudo sobre conforto térmico no ambiente urbano das cidades está baseada principalmente nos seguintes parâmetros: (i) a condição de bem-estar humana; (ii) a qualidade no desempenho das atividades cotidianas e, (iii) a redução no consumo de energia.

O aumento da vegetação em áreas urbanas pode resultar em redução de até 2 °C na temperatura do ar. Em algumas circunstâncias, por exemplo, a evaporação do sistema solo-planta associado a condições meteorológicas favoráveis, podem representar uma diminuição da temperatura do ar no local de até 4 °C (TAHA, 1997). A partir de hipótese correlata, a cidade de Valência foi usada como cenário para a pesquisa realizada por Gómez et al (2001). Os autores mostraram a diferença de desempenho entre as áreas com e sem jardins, ruas, com e sem árvores, e ainda mediram o desempenho térmico de diferentes configurações de rua. Assim, constataram a existência de uma correlação entre as possibilidades de conforto urbano e a existência de zonas verdes, tanto mais eficaz quanto maior for o tamanho destas zonas arborizadas ou áreas verdes.

Segundo Johansson (2006) há poucos estudos sobre o microclima e conforto humano de áreas urbanas, principalmente em regiões de clima quente e seco. O autor investigou a influência da geometria urbana no conforto térmico ao ar livre, em Fez, Marrocos e concluiu que em climas quentes e secos um desenho compacto urbano é preferível. No entanto, se há uma estação fria como em Fez, o desenho urbano deve incluir algumas ruas mais largas com espaços abertos ou ambos para favorecer acesso à incidência de radiação solar.

Na busca de alternativas para ofertar conforto térmico em ambientes já edificados, Alexandria & Jonesb (2008) avaliaram o efeito dos chamados “telhados verdes” e “paredes verdes” (quando paredes e telhados são cobertos com alguma vegetação) no ambiente construído. Os autores constataram os efeitos da diminuição de temperatura e melhoria do conforto térmico ao ar livre além da economia de energia utilizando-se de tal técnica para combater os efeitos das ilhas de calor. A pesquisa realizada demonstrou que existe um potencial significativo de redução das temperaturas principalmente quando a envoltória do edifício é coberta com vegetação. Ao compararem dados obtidos em Riyadh, na Arábia Saudita e Hong Kong, na China, os autores concluíram que em regiões de clima mais quente e seco, maior será o efeito de vegetação na redução das temperaturas urbanas.

Diante do exposto, e para melhor entender os padrões de conforto humano, é preciso se reportar às formas de obtenção das variáveis de conforto térmico. Estas variáveis são relativas às condições humanas e ambientais ou climáticas. Esses dois grupos de variáveis são abordados na literatura científica utilizando-se diversificadas metodologias, as quais serão resumidas a seguir:

### **2.3.1. Variáveis humanas de conforto térmico**

Conceitua-se como neutralidade térmica, o estado físico no qual todo o calor gerado pelo organismo através do metabolismo é trocado na mesma proporção com o ambiente ao redor, não havendo nem acúmulo de calor, nem perda excessiva do mesmo, mantendo a temperatura corporal constante. Neutralidade térmica é uma condição necessária, mas não suficiente para que uma pessoa esteja em conforto térmico. Um indivíduo que estiver exposto a um campo assimétrico de radiação, pode muito bem estar em neutralidade térmica, porém não estará em conforto térmico. A insatisfação térmica para com o ambiente pode ter causa na percepção de desconforto por calor ou frio quando o balanço térmico não é estável, ou seja, quando há diferenças entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente (LAMBERTS et al., 2011). Ainda de acordo com Lamberts et al. (2011), as variáveis humanas de conforto térmico são ligadas à atividade física, ao calor gerado pelo metabolismo, à vestimenta ou à resistência térmica da roupa utilizada pelas pessoas além de outros fatores subjetivos como a complexidade física dos indivíduos, sexo, idade, cor da pele e aclimação. Esses dados podem ser obtidos através da aplicação de questionários específicos, com o intuito de medir de forma indireta, através de informações comparáveis e quantificáveis as reações das pessoas que revelem seu nível de satisfação em relação a diversos aspectos técnicos, funcionais e comportamentais do ambiente construído.

### **2.3.2. Variáveis ambientais de conforto térmico**

As variáveis ambientais de conforto térmico são provenientes de levantamentos físicos realizados através de medições ou calculados a partir dos dados medidos. Após a obtenção desses dados, é possível calcular o índice de conforto térmico para espaços externos, a partir das diversas relações indicadas nas normas técnicas existentes, a saber: Índice de *Stress* Térmico; Temperatura Neutra ao Exterior; Índice de Sensação Térmica; Índice Humidex; e Índice de Thom.

Diversos estudos apontam também para análise das condições de conforto térmico no interior dos ambientes construídos. Nessa linha de pesquisa, Nicol e Humphreys (2002) argumentam que as pessoas têm uma tendência natural de adaptação às mudanças ambientais observadas no local em que elas estão. Ou

seja, caso as condições do ambiente se alterem, as pessoas reagem de tal forma que o conforto se restabeleça. Portanto, é importante que os ocupantes de um ambiente tenham controle sobre as estratégias de conforto adotadas na edificação tais como janelas, ventiladores, sistemas de aquecimento ou refrigeração, cortinas e sistema de iluminação artificial, de modo que a intensidade com que elas atuem seja correspondente à necessidade do indivíduo que ocupe o ambiente.

Krüger (2002) afirma que a área de investigação de conforto e de desempenho térmico em edificações envolve o estudo dos processos térmicos que ocorrem no interior de edificações e ainda que quando se há conhecimento desses estudos, o engenheiro, arquiteto ou projetista podem intervir diretamente no consumo de energia elétrica despendido para a utilização de ar-condicionado na edificação.

As cores dos revestimentos nas fachadas ou na cobertura interferem na quantidade de radiação solar refletida e/ou absorvida. Portanto, a quantidade de calor que cada cor absorve ou reflete é diferente e quanto mais escura ela for, maior será a quantidade de calor absorvida. Granja & Labaki (2003) avaliaram o efeito térmico provocado pelo emprego de cores na superfície externa do telhado. Nessa mesma direção, Armelin & Cherry (2004) estudaram a influência da adoção do sistema que utiliza uma manta de subcobertura de base de alumínio (instalada entre as telhas de cobertura e a estrutura, geralmente de madeira). Comparando os dados que foram obtidos através do experimento chegaram à conclusão de que há cerca de 80% de redução do fluxo de calor quando se deixa de utilizar a cobertura sem barreira e sem ventilação para utilizar cobertura com barreira e ventilação.

Kwok & Chun (2003) analisando escolas no Japão que utilizavam estratégias diferentes para se alcançar o conforto térmico, sendo que uma utilizava ar condicionado enquanto a outra adotava ventilação natural, observaram que em ambos os casos os ocupantes sentiam-se confortáveis. Os dados obtidos através de medições tanto nas salas com ventilação natural quanto nas salas com ar condicionado indicavam que o clima interno estava fora dos limites de conforto, isto é, mesmo que os dados apontem desconforto os seus ocupantes podem se sentir confortável devido a fatores complementares como vestimentas.

Alternativa pouco aplicada para regulação térmica em ambientes exteriores está relacionada ao tipo de material empregado na pavimentação das ruas, calçadas e ambientes externos em geral. Pavimentos asfálticos são impermeáveis possuem

cores escuras, apresentando refletância solar abaixo de 25%. Esses pavimentos podem esquentar acima de 65 °C sob o sol do verão. Inversamente, as temperaturas em “pavimentos frios” ficam 15 °C abaixo dessas medidas, mantendo picos de temperatura abaixo de 50 °C. Existem duas maneiras de tornar os pavimentos mais frios: (i) ou aumento de sua refletância solar, tornando os pavimentos mais claros, ou (ii) através do aumento da sua capacidade de armazenar água, aumentando sua porosidade (POMERANTZ et al., 2000; GARTLAND, 2001).

O fluxo de calor de um pavimento para o ambiente é um fator importante para o aquecimento urbano (ASAEDA & CA, 2000). Em pesquisa realizada em Tóquio, Japão, os autores mediram o fluxo de calor de asfaltos e concretos tradicionais. Observaram que um pavimento asfáltico com refletância solar de 10% chegou aos 66 °C às 13:00h. Já um pavimento de concreto com refletância de 45% chegou a 49 °C no mesmo horário. O estudo japonês também observou solos sem revestimento e descobriu que o fluxo de calor do solo depende em grande parte do seu teor de água. Solos úmidos permaneceram mais frescos e transferiram menos calor ao ar, apesar de terem refletância solar baixa. Por fim os autores constataram que o fluxo de calor de pavimentos naquela metrópole é igual a cerca de 50% da taxa de consumo de energia da cidade.

Com objetivo de analisar o ambiente urbano de Maceió-AL, Barbosa et al. (2003) desenvolveram uma linha de pesquisa adotando procedimentos metodológicos que indicam atributos determinantes nas alterações do clima das cidades, de modo a orientar novas intervenções aplicadas aos espaços urbanos. A pesquisa realizada evidenciou a necessidade premente de se estabelecerem políticas públicas em relação ao uso da vegetação com o objetivo de melhorar a qualidade de vida, favorecer a economia de energia e evitar a formação de ilhas de calor.

Corbella & Yannas (2003) argumentaram que um ambiente físico confortável para uma pessoa é relacionado ao sentimento de neutralidade em relação a ele. Definiram neutralidade como sendo a condição em que uma pessoa não sente a necessidade de um ambiente mais frio ou mais aquecido. Em uma outra abordagem, Schmid et al. (1991) buscam na sua pesquisa demonstrar que conforto não se limita à neutralidade pela simples eliminação de fatores indesejáveis. Os autores aprofundaram a discussão, buscando uma abordagem holística de conforto que supera a linha de neutralidade.

Prado & Ferreira (2005) constataram que o albedo ou refletância (razão entre a quantidade de radiação solar refletida por uma superfície e a quantidade total que ela recebe) exerce influência sobre o ganho térmico na superfície de materiais que recebem incidência de radiação solar. Como em uma edificação a região que mais recebe radiação solar é a cobertura, estes autores fizeram uma análise dos materiais mais utilizados para cobertura no Brasil: cerâmica vermelha e branca, fibrocimento sem amianto, cobertura de alumínio, cobertura de aço inoxidável, metal revestido de alumínio e zinco, metal termo-acústico que pode ser alumínio (verde e branco) e cerâmicas coloridas com e sem resina. Dentre os materiais por eles pesquisados as cerâmicas vermelha e branca foram os únicos que apresentaram temperatura de superfície mais baixa que a temperatura do ar.

Ao analisar o conforto térmico na área urbana de Rosana-SP, Cascioli et al.(2007) constataram que ao longo dos últimos séculos as paisagens naturais foram modificadas devido a ações antrópicas. Dentre as mudanças percebidas no ambiente observaram que as características climáticas estão se alterando, tanto no meio rural como no meio urbano. De maneira geral, pode-se verificar que o desconforto térmico relativo ao calor dentro da área urbana de Rosana-SP foi maior do que o encontrado na área da sede de um Parque Estadual próximo da região. Tal fato foi atribuído aos materiais construtivos utilizados nas edificações e de algumas práticas adotadas no município, como o tipo de pavimentação de vias públicas e o corte de árvores.

Viana & Amorim (2008) pesquisaram as condições climáticas geradas em uma cidade de pequeno porte, Teodoro Sampaio, no interior do estado de São Paulo. Para tanto, utilizaram-se da proposição teórico-metodológica estabelecida por Monteiro (1976) denominada Sistema Clima Urbano, que trata o clima da cidade com base numa perspectiva geográfica, a partir de uma visão integrada entre o homem, a natureza e a cidade, sob uma mesma atmosfera. As autoras evidenciaram que as condições climáticas intra-urbanas geradas naquela cidade estavam diretamente relacionadas à heterogeneidade da ocupação do solo e das funcionalidades urbanas, o que acabou gerando para a cidade ilhas de calor e de frescor, bem como ilhas úmidas e secas.

O clima urbano em Campina Grande-PB foi estudado utilizando-se os dados de temperatura e umidade relativa do ar, comparando-se medições realizadas na área urbana e suburbana da cidade. Nestas pesquisas, Sousa Júnior (2006)

constatou mudanças significativas na maioria das séries analisadas em torno do ano de 1985, estabelecendo essa data como limite dos períodos de pré-urbanização intensa e pós-urbanização intensa. Ainda segundo o autor, a urbanização produziu variabilidade climática significativa na cidade. Silva et al. (2009) concluíram que a temperatura média do ar em Campina Grande-PB vem aumentando a uma taxa de 0,037 °C por ano, enquanto que a umidade relativa decresce a uma taxa de 0,175% por ano, afetando o nível de conforto térmico do local. Os autores concluíram ser possível determinar o nível de conforto térmico da cidade baseado na escala de desconforto térmico de Thom.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada em quatro municípios da região semiárida brasileira, eleitos por apresentarem características socioeconômicas e ambientais representativas do fenômeno de urbanização acelerada dos últimos anos no Brasil e do bioma caatinga, predominante em toda a região. A coleta dos dados climáticos, dividida em três fases, foi realizada no perímetro urbano e na área rural dos municípios durante os anos de 2007, 2008 e 2012 e serviu de base para a verificação da ocorrência de ilhas de calor e determinação do índice de desconforto térmico nas áreas urbanas dos municípios de Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA durante os períodos úmido (12 a 26/05/2007) e seco (15/11 a 05/12/2008), bem como, avaliar o índice de conforto térmico na cidade de Petrolina-PE no ano de 2012 (01/01 a 31/12/2012) e o efeito da arborização no microclima de Juazeiro-BA no período úmido e quente (24/10 a 09/11/2012). O Quadro 1 sintetiza as fases das campanhas de campo.

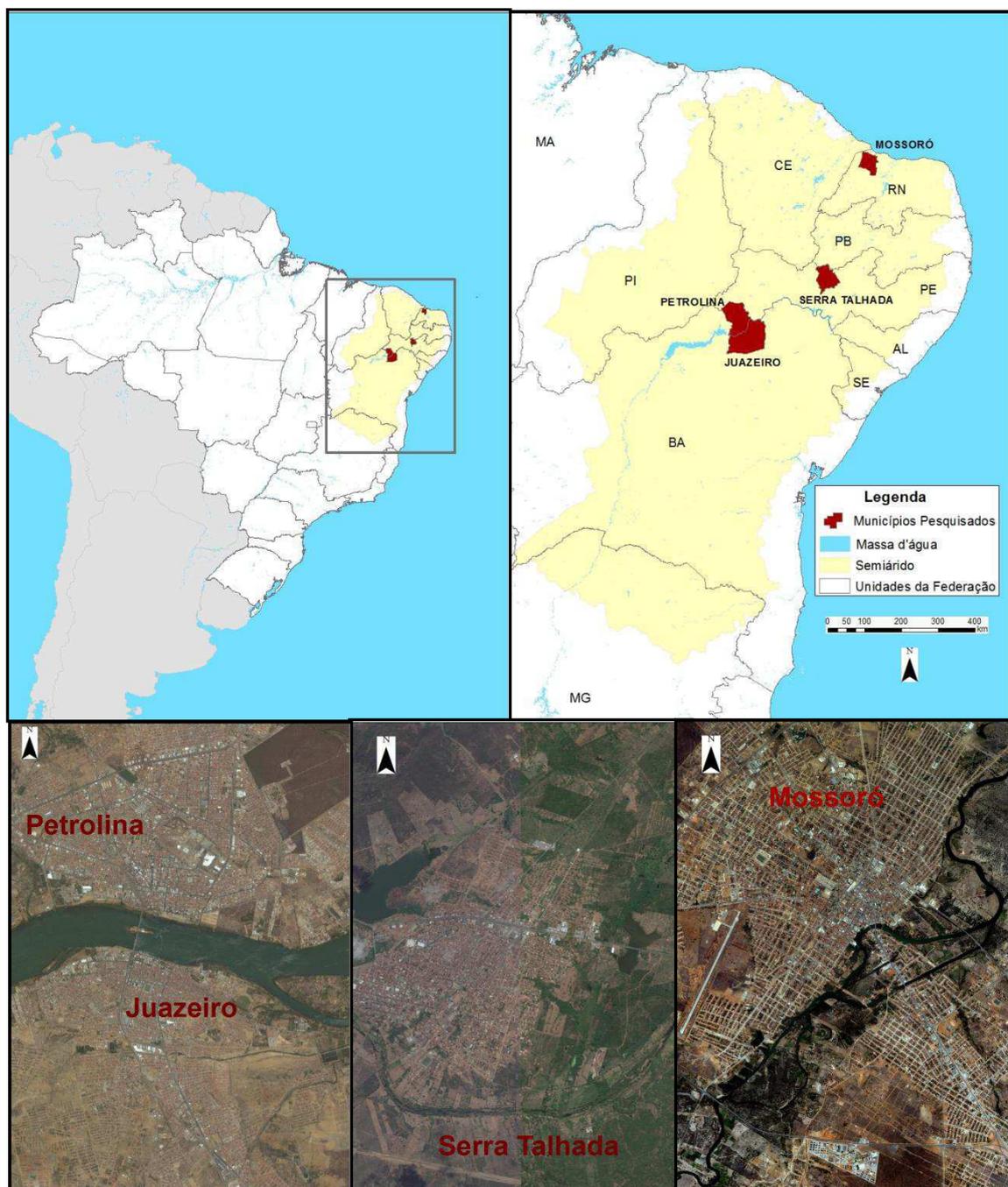
**Quadro 1** – Fases da campanha de campo para coleta de dados.

CAMPANHAS	OBJETIVOS	PERÍODOS
<b>1ª Fase:</b> Levantamento de dados nas áreas urbanas e rurais de Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA.	Identificar ilhas de calor e avaliar o desconforto térmico nas áreas urbanas	Período úmido: 12/05/2007 a 26/05/2007  Período seco: 15/11/2008 a 05/12/2008
<b>2ª Fase:</b> Levantamento de dados nas áreas urbana e rural de Petrolina-PE.	Propor alternativa para caracterizar o desconforto térmico da área urbana.	01/01 a 31/12/2012
<b>3ª Fase:</b> Levantamento de dados em área de calçamento e área arborizada, na zona urbana de Juazeiro-BA.	Avaliar os efeitos da arborização no microclima da área urbana.	24/10 a 09/11/2012

Nos anos de 2007 e 2008 foram montadas, nas cidades estudadas, estações meteorológicas automáticas em pontos representativos das mesmas. Os dados climáticos do ano 2012 relativos ao perímetro urbano de Petrolina-PE foram aqueles gerados pela estação meteorológica vinculada à rede do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e para os dados climáticos do período de 24/10 a 09/11/2012, instalou-se estação meteorológica automática no centro da cidade de Juazeiro-BA.

### 3.1. Área de estudo

A delimitação da área de estudo foi decorrente de convergências entre a localização geográfica e a representatividade que esses municípios possuem na região semiárida, aliado à possibilidade de instalação de equipamentos de forma simultânea para a realização de pesquisas de campo. Os mapas apresentados na Figura 1 localizam geograficamente os municípios estudados.



**Figura 1** – Localização geográfica dos municípios estudados em relação ao Brasil e à região semiárida brasileira.

O Semiárido brasileiro possui área aproximada de 982.563,30 km<sup>2</sup> e vegetação predominante de Caatinga. Essa região apresenta clima caracterizado por elevadas médias anuais de temperatura do ar (27 °C), de evaporação (2.000 mm) e precipitação pluviométrica anual de até 800 mm, com distribuição irregular no tempo e no espaço (Brasil, 2005). No geral, os solos são rasos, com pontuais afloramentos rochosos e chão pedregoso (INSA, 2011). A combinação desses elementos concorre para um balanço hídrico negativo em grande parte do ano e episódios cíclicos de secas. Tais atributos climáticos geram graves consequências socioambientais para seus mais de 22 milhões de habitantes (IBGE, 2010).

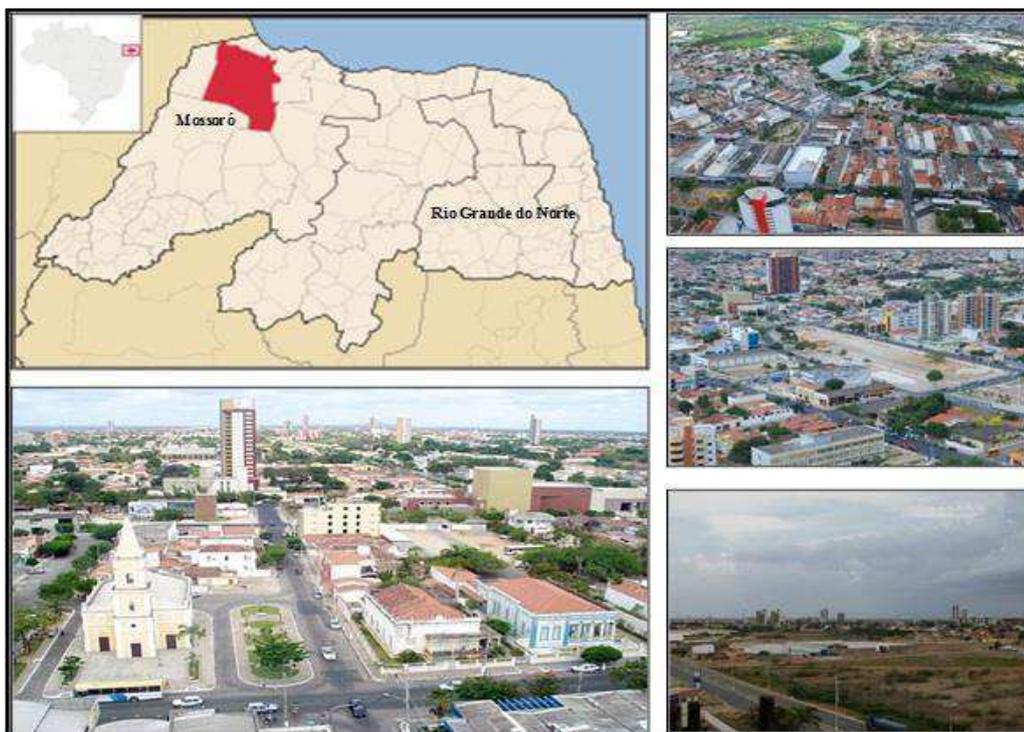
Os principais aspectos físicos e geográficos dos municípios pesquisados estão resumidos a seguir.

### **3.1.1. Município de Mossoró-RN**

O município de Mossoró (05°11'15" S; 37°20'39" W) tem altitude média de 16 m, área de 2.099,3 km<sup>2</sup> e população de 259.815 habitantes (IBGE, 2010). Pertence à mesorregião do Oeste Potiguar e à microrregião homônima, distando 285 km da capital do estado, Natal, limitando-se com os municípios de Tibau, Grossos, Areia Branca, Serra do Mel, Açu, Upanema, Governador Dix-Sept Rosado, Baraúna e o Estado do Ceará. Sua vegetação original é formada pela caatinga hiperxerófila, carnaubal e vegetação halófica.

O clima da cidade, segundo a classificação climática de W. Köppen é do tipo BSw<sup>h</sup> caracterizado como seco, muito quente com a estação chuvosa ocorrendo durante o outono. A temperatura média anual de 27,6 °C, precipitação de 772,7 mm/ano e pressão atmosférica média anual de 757,1 mmHg. A umidade relativa do ar tem valor médio anual de 68,3% e a direção predominante dos ventos é no sentido nordeste e sudeste.

A Figura 2 detalha a localização geográfica do município no estado do Rio Grande do Norte, juntamente com o registro fotográfico de alguns de seus aspectos urbanos.



**Figura 2** – Localização geográfica de Mossoró-RN e fotos de sua área urbana.

### 3.1.2. Município de Serra Talhada-PE

O município de Serra Talhada ( $07^{\circ}59'31''$  S;  $38^{\circ}17'54''$  W) tem altitude média de 429 m e está localizado na parte setentrional da microrregião Pajeú, estado de Pernambuco. Limita-se geograficamente, com o estado da Paraíba e com os municípios de Floresta, Calumbi, Betânia, Santa Cruz da Baixa Verde, São José do Belmonte e Mirandiba. Possui uma área de 2.980 km<sup>2</sup>, está localizado a 415 km de Recife, capital pernambucana, e tem uma população de 79.232 habitantes (IBGE, 2010). Sua infraestrutura urbana o coloca em posição privilegiada, sendo um centro em desenvolvimento nas áreas de comércio, lazer, cultura e educação. Seu crescimento se deu em função de sua posição estratégica, no cruzamento das estradas de acesso à Paraíba, Bahia e Ceará.

O clima é semiárido, do tipo BShs' de acordo com a classificação climática de W. Köppen. O período chuvoso se inicia em novembro com término em abril. A temperatura média anual é de 25,2 °C. O município está inserido na Bacia Hidrográfica do Rio Pajeú e tem como vegetação predominante a Caatinga Hiperxerófila (IBGE, 2010). A Figura 3, a seguir, identifica geograficamente a área pesquisada juntamente com registro fotográfico de seus aspectos urbanos.



**Figura 3** – Localização geográfica de Serra Talhada – PE e fotos de sua área urbana.

### 3.1.3. Município de Petrolina-PE

O município de Petrolina ( $09^{\circ}23'55''$  S;  $40^{\circ}30'03''$  O; 376 m), dista 722 km de Recife, capital do estado de Pernambuco e possui uma população de 293.962 habitantes distribuída em uma área territorial de 4.561,87 km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Limita-se com os municípios de Dormentes, Lagoa Grande, Afrânio e com o estado da Bahia.

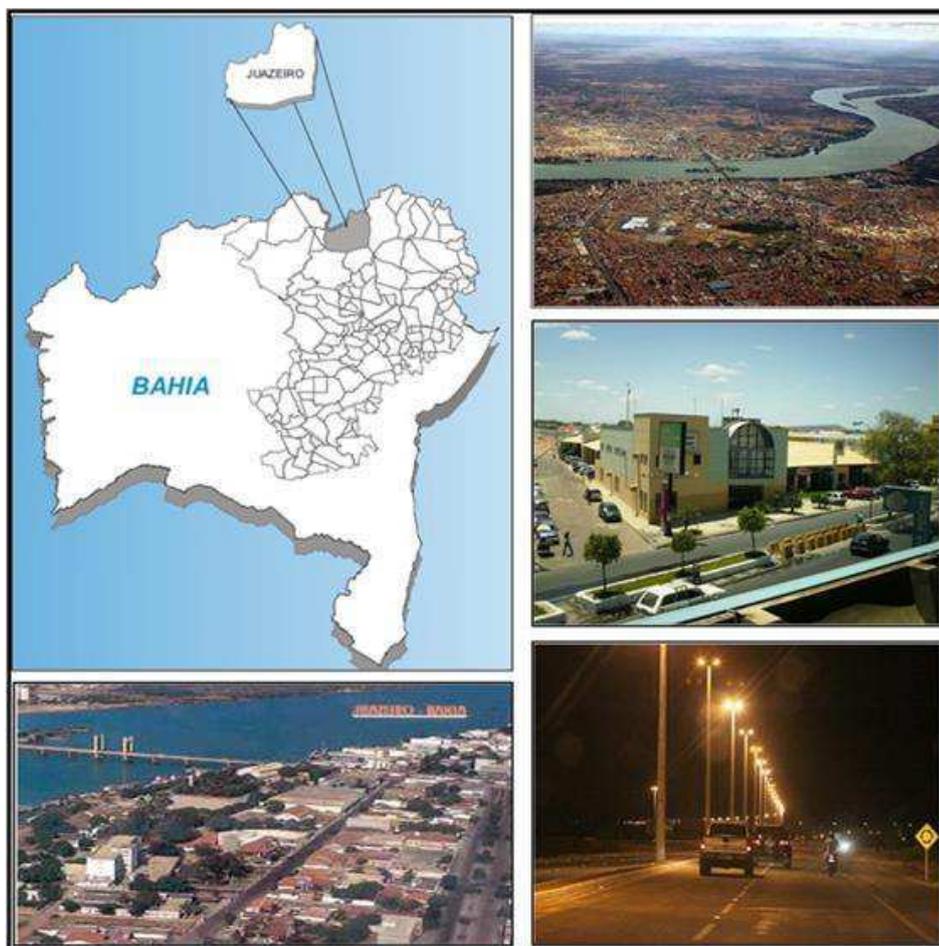
Apresenta clima do tipo BSw<sup>h</sup>' (classificação de Köppen), definido como semiárido e muito seco, com período chuvoso ocorrendo entre novembro e abril, e precipitação pluviométrica média anual de 549 mm. Está inserido na unidade geoambiental da Depressão Sertaneja, que representa a paisagem típica do semiárido nordestino, caracterizada por uma superfície de pediplanação bastante monótona, relevo suavemente ondulado. A vegetação é basicamente composta por Caatinga Hiperxerófila com trechos de Floresta Caducifólia. Em geral, os solos são rasos, têm fertilidade natural média e problemas de salinização (MASCARENHAS et al., 2005). A Figura 4 localiza a área pesquisada com fotos de alguns aspectos urbanos.



**Figura 4** – Localização geográfica de Petrolina-PE e fotos de sua área urbana.

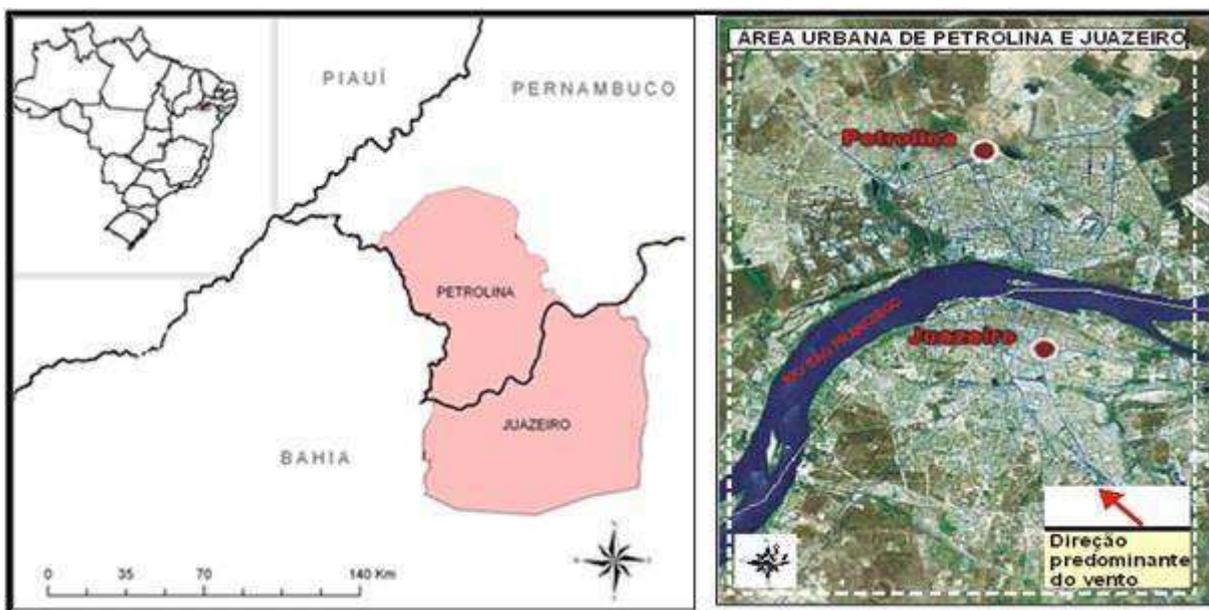
#### **3.1.4. Município de Juazeiro-BA**

O Município de Juazeiro (09°24'42" S; 40°29'55" W) está localizado na região de planejamento do Baixo Médio São Francisco, Bahia, limitando com os municípios de Curaçá, Jaguarari, Campo Formoso, Sobradinho e com o Estado de Pernambuco. A partir de Salvador, capital baiana, o percurso efetuado até o município é de 500 km. Possui altitude média de 368 m e população de 197.965 habitantes (IBGE, 2010). A área municipal é de 6.500,52 km<sup>2</sup>, e considerada propícia a alto risco de seca, com pluviosidade média anual abaixo de 430 mm e clima do tipo BSw<sup>h</sup>, segundo classificação climática de Köppen. O relevo distingue-se por extenso pediplano, interposto por várzeas e terraços aluviais. A vegetação dominante é a Caatinga Arbórea (densa ou aberta), com poucos parques contendo palmeiras. Está inserido na bacia hidrográfica do rio São Francisco e parte da sua população urbana tem as águas desse rio como fonte de abastecimento (VIEIRA et al., 2005). Na sequência, a Figura 5 detalha a localização da área e apresenta fotos de seus aspectos urbanos.



**Figura 5** – Localização geográfica de Juazeiro-BA e fotos de sua área urbana.

Destaca-se que os municípios de Petrolina-PE e Juazeiro-BA constituem um conglomerado urbano único de médio porte, com aproximadamente quinhentos mil habitantes. Representam um núcleo de desenvolvimento calcado nos alicerces da agricultura irrigada. São cidades localizadas no centro do semiárido brasileiro, às margens do Rio São Francisco, extremo oeste de Pernambuco e norte da Bahia. O polo Petrolina/Juazeiro caracteriza-se basicamente pela irregularidade no regime de chuvas, observando-se concentração das precipitações pluviométricas num período de quatro meses, durante o qual ocorrem sob a forma de fortes aguaceiros de pequena duração. Têm a Caatinga como vegetação predominante e apresentam temperaturas elevadas. Apesar de serem geopoliticamente pertencentes a dois Estados distintos, constituem uma malha urbana única, separadas apenas pelo rio São Francisco, denominado carinhosamente pela população local de “Velho Chico”. A Figura 6 evidencia a proximidade dos dois municípios.



**Figura 6** – Polo Petrolina-PE e Juazeiro-BA destacado em mapa (à esquerda) e em imagem de satélite adaptada do *Google Earth* (à direita).

### 3.2. Material

Os materiais utilizados para a realização da pesquisa consistiram em estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), da Universidade Federal do Vale do São Francisco (UNIVASF), da Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE), da Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA), além de equipamentos disponibilizados pelo pesquisador Mário de Miranda Vilas Boas Ramos Leitão, orientador dos trabalhos. A seguir são apresentados detalhes acerca da instrumentação utilizada bem como dos procedimentos de levantamento de dados nas campanhas experimentais.

#### 3.2.1. Instrumentação utilizada

Com objetivo de obter dados da temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento e precipitação pluviométrica, foram utilizados os seguintes instrumentos durante a primeira fase da campanha de campo para coleta de dados:

- Psicrômetro elétrico para medir a temperatura e umidade relativa do ar (sonda HMP 45C, Campbell) instalado na torre de observação a uma altura de 1,50 m;
- Anemômetro sensível a variações de 0,2 m/s para medir a velocidade do vento, instalado no topo da torre de observação a 3,0 metros de altura, constituído por um rotor com três conchas hemisféricas as quais acionam um sensor eletrônico;
- Anemoscópio para medir a direção do vento, instalado no topo da torre de observação a 3,0 metros de altura;
- Pluviômetro para medir a precipitação;
- Sistema automatizado de coleta de dados (datalogger CR-10X, Campbell), onde foram conectados todos os sensores, permitindo o monitoramento dos dados climáticos de forma contínua durante 24 horas por dia;
- Teclado removível, para programação do datalogger;
- Módulo de armazenamento de dados para a retirada e transporte dos dados de campo para um microcomputador;
- Painel solar para alimentação da bateria do datalogger.

Todos os sensores foram acoplados a sistemas automáticos de aquisição de dados, Microlloger CR-10X, programados para coletar dados a cada dois segundos, emitir média a cada trinta minutos e relatório de valores extremos a cada vinte e quatro horas. Para todas as cidades, os dados obtidos nos diferentes locais de observação foram comparados com aqueles que representam a condição natural, sem influência da urbanização, coletados nas estações meteorológicas localizadas na área rural.

A seleção dos locais para a instalação dos instrumentos teve como base levantamentos realizados mediante visitas de campo, tomando-se por referência a representatividade da área. O local escolhido levou em consideração também a segurança dos aparelhos, para preservar a integridade do patrimônio e do experimento e a existência de dados em área rural de fontes de referência, como as Universidades. Os sensores foram calibrados para garantir a eficácia das medições e comparações entre os parâmetros observados.

O Quadro 2 apresentado a seguir, relaciona as estações micrometeorológicas da primeira fase, associando-as em função da tipologia do ambiente urbano estudado.

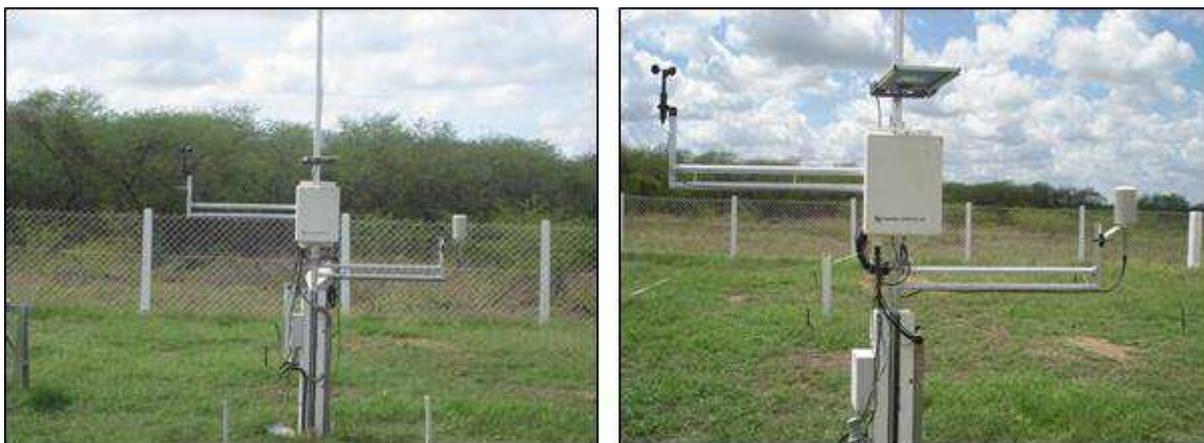
**Quadro 2** – Locais das campanhas experimentais da primeira fase.

MUNICÍPIO	PONTO DE OBSERVAÇÃO	TIPOLOGIA DO AMBIENTE
Mossoró-RN	Estação 01: (05°11'30" S; 37°20'44" W; 16 m)	Área urbana: bairro comercial
Mossoró-RN	Estação 02: (05°12'48" S; 37°18'44" W; 37 m)	Área rural: UFERSA
Serra Talhada-PE	Estação 03: (07°59'07" S; 38°17'34" W; 429 m)	Área urbana: bairro comercial
Serra Talhada-PE	Estação 04: (07°57'13" S; 38°17'41" W; 443 m)	Área rural: UFRPE
Petrolina-PE	Estação 05: (09°23'55" S; 40°30'03" W; 376 m)	Área urbana: bairro comercial
Petrolina-PE	Estação 06: (09°19'28" S; 40°33'34" W; 393 m)	Área rural: UNIVASF
Juazeiro-BA	Estação 07: (09°24'42" S; 40°29'55" W; 368 m)	Área urbana: bairro comercial
Juazeiro-BA	Estação 08: (09°26'56" S; 40°31'27" W; 356 m)	Área rural: UNIVASF

A seguir apresentam-se as Figuras 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14 que ilustram as estações utilizadas durante essa fase de coleta de dados.

**Figura 7** – Estação meteorológica 01, localizada na área urbana de Mossoró-RN.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 8** – Estação meteorológica 02, localizada na área rural de Mossoró-RN.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 9** – Estação meteorológica 03, localizada na área urbana de Serra Talhada-PE.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 10** – Estação meteorológica 04, localizada na área rural de Serra Talhada-PE.

Fonte: Arquivo de fotos do autor



**Figura 11** – Estação meteorológica 05, localizada na área urbana de Petrolina-PE.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 12** – Estação meteorológica 06, localizada na área rural de Petrolina-PE.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 13** – Estação meteorológica 07, localizada na área urbana de Juazeiro-BA.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 14** – Estação meteorológica 08, localizada na área rural de Juazeiro-BA.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.

A segunda fase contemplou a coleta de dados de temperatura do ar, umidade relativa do ar, direção e velocidade do vento na área urbana e na área rural de Petrolina durante o período de um ano (01/01/2012 a 31/01/2012). Foram utilizados os mesmos instrumentos relacionados na primeira fase. Os dados da área urbana foram obtidos na Estação Meteorológica do INMET, localizada no bairro Gercino Coelho, enquanto os dados da área rural foram obtidos na Estação da UNIVASF, situada à Rodovia BR 407, Km 12 - Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho - C1. O Quadro 3 localiza as estações dessa fase da pesquisa.

**Quadro 3** – Locais das campanhas experimentais da segunda fase.

MUNICÍPIO	PONTO DE OBSERVAÇÃO	TIPOLOGIA DO AMBIENTE
Petrolina-PE	Estação 09: 09°23'00" S; 40°48'00" W; 393 m	Área urbana: bairro comercial (Estação INMET)
Petrolina-PE	Estação 10: 09° 19'28" S; 40°33'34" W; 393m	Área rural (UNIVASF = Estação 06)

A Figura 15 mostra fotos da estação meteorológica do INMET.



**Figura 15** – Estação meteorológica 09 (INMET), na área urbana de Petrolina-PE.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.

Por fim, para a terceira fase dos experimentos de campo foram estabelecidas duas bases de coleta de dados na área urbana de Juazeiro visando à determinação das variáveis relacionadas ao clima urbano para avaliar a influência da arborização no conforto térmico da cidade. A primeira, instalada a céu aberto em um local com pavimentação em paralelepípedo (calçamento) e a segunda, sob a copa de árvores e em local gramado. As referidas estações foram equipadas com psicrômetros, anemômetros, termopares, fluxímetros, termômetros de globo negro e saldo radiômetros. Todos os instrumentos foram conectados a dataloggers CR-10X. Foram coletados dados referentes à temperatura e umidade relativa do ar, temperatura da superfície, balanço de radiação e seus componentes, velocidade e direção do vento durante o período de 23/10/2012 a 08/11/2012, época mais quente e seca do ano na região. Na sequência, o Quadro 4 localiza as estações dessa fase da pesquisa.

**Quadro 4** – Locais das campanhas experimentais da terceira fase.

MUNICÍPIO	PONTO DE OBSERVAÇÃO	TIPOLOGIA DO AMBIENTE
Juazeiro-BA	Estação 11: 09°24'42" S; 40°29'55" W; 368 m	Área urbana: bairro comercial em área arborizada.
Juazeiro-BA	Estação 12: 09°24'55" S; 40°30'05" W; 368 m	Área urbana: bairro comercial em área sem arborização.

As Figuras 16 e 17, apresentadas a seguir, mostram as estações meteorológicas instaladas na área urbana de Juazeiro-BA durante a terceira fase.



**Figura 16** – Estação meteorológica 11, na área urbana de Juazeiro-BA, com influência de sombreamento pela arborização.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.



**Figura 17** – Estação meteorológica 12, na área urbana de Juazeiro-BA, sem arborização.

Fonte: Arquivo de fotos do autor.

### 3.3. Métodos

Para caracterização das ocorrências de ilhas de calor (IC) foi utilizada a metodologia proposta por Monteiro (1976) a qual, toma como base, a comparação da temperatura do ar mínima, média e máxima entre as áreas urbana e rural, adotando-se como parâmetro a seguinte escala de intensidade: (i) intensidade fraca, quando a diferença de temperatura do ar oscila entre 0 e 2 °C; (ii) moderada, quando a diferença de temperatura do ar se situa entre 2 e 4 °C; (iii) forte, quando a diferença de temperatura do ar oscila entre 4 e 6 °C e; (iv) muito forte, quando a diferença de temperatura do ar for maior do que 6 °C (Goméz et al., 2001). Valores abaixo de 0° C indicam a não ocorrência de ilhas de calor.

O desconforto térmico foi determinado abrangendo condições diárias extremas de temperatura do ar máxima e mínima, gerando, respectivamente, valores de índice de conforto térmico máximo e mínimo, empregando-se as seguintes expressões para suas determinações:

$$IDTx = Tmáx - (0,55 - 0,0055.URmín).(Tmáx - 14,5) \quad (1)$$

$$IDTm = Tmín - (0,55 - 0,0055.URmáx).(Tmín - 14,5) \quad (2)$$

onde IDTx é o índice de desconforto térmico máximo (°C), Tmáx é a temperatura máxima do ar (°C), URmín é a umidade relativa mínima (%), IDTm é o índice de desconforto térmico mínimo (°C), Tmín é a temperatura mínima do ar (°C) e URmax é a umidade relativa máxima (%).

As equações (1) e (2) foram adaptadas da formulação para cálculo do índice de desconforto térmico (IDT) proposta por Thom, apresentado por Monteiro & Alucci (2005), expresso por:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 \cdot UR) \cdot (T - 14,5) \quad (3)$$

onde IDT é o índice de desconforto térmico ( $^{\circ}\text{C}$ ), T é a temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e UR a umidade relativa do ar (%).

A adaptação do cálculo se fez necessária tendo em vista que a temperatura do ar máxima ( $T_{\text{máx}}$ ) ocorre em horários muito próximos em que ocorre a umidade relativa do ar mínima ( $UR_{\text{mín}}$ ) e, analogamente, a temperatura do ar mínima ( $T_{\text{mín}}$ ) ocorre em horário muito próximo daquele em que ocorre a umidade relativa do ar máxima ( $UR_{\text{máx}}$ ), possibilitando a geração de índices de conforto térmico distintos.

Os valores dos índices de desconforto térmico foram avaliados adotando-se a classificação proposta por Silva et al. (2009), visualizada na Tabela 1.

**Tabela 1** – Classes do desconforto térmico em função do índice de desconforto térmico (IDT).

Nível	Faixa do IDT ( $^{\circ}\text{C}$ )	Classe do desconforto térmico
1	$IDT \leq 14,9$	Desconfortável
2	$15,0 \leq IDT \leq 19,9$	Confortável
3	$20,0 \leq IDT \leq 26,4$	Conforto parcial
4	$IDT \geq 26,5$	Desconfortável

Fonte: Silva et al. (2009)

Para avaliar os efeitos da arborização no microclima da área urbana, procurou-se aprofundar as análises sobre radiação, considerando o balanço de radiação, definido matematicamente pela equação (4). Nessa perspectiva, considerou-se além dos efeitos da radiação solar incidente, a radiação atmosférica incidente, radiação refletida pela superfície e também a radiação emitida a partir da superfície.

$$R_n = (K \downarrow - K \uparrow) + (L \downarrow - L \uparrow) \quad (4)$$

ou ainda,

$$R_n = BOC + BOL \quad (5)$$

ou seja:

$$BOC = (K \downarrow - K \uparrow) \text{ e } BOL = (L \downarrow - L \uparrow)$$

onde:  $K_{\downarrow}$  é a radiação de onda curta incidente;  $K_{\uparrow}$  é a radiação de onda curta refletida;  $L_{\downarrow}$  é a radiação de onda longa que chega à superfície emitida pela atmosfera;  $L_{\uparrow}$  é a radiação de onda longa emitida pela superfície.

A fim de permitir uma efetiva comparação dos dados obtidos nas diferentes localidades pesquisadas, todos os horários registrados nos experimentos de campo (hora civil) foram convertidos em tempo solar verdadeiro, considerando-se as correções da equação do tempo ( $Et$ ) e as diferenças de longitude ( $\Delta\lambda$ ), conforme as equações a seguir (IQBAL, 1983):

$$Ts = Tc + \Delta\lambda + Et \quad (6)$$

onde  $Ts$  = tempo aparente (hora solar);  $Tc$  = tempo civil (hora civil);  $\Delta\lambda$  = correção devido às diferenças de longitudes.

$$\Delta\lambda = 4.(\lambda p - \lambda e) \quad (7)$$

onde  $\lambda p$  = longitude do meridiano padrão e  $\lambda e$  = longitude local, e:

$$Et = 0,000075 + 0,001868\cos(\Gamma) - 0,032077\sin(\Gamma) - 0,014615\cos(2\Gamma) - 0,04089\sin(2\Gamma) \quad (8)$$

$$\text{onde } \Gamma = \frac{360}{365} \cdot (d - 1) \quad \text{com } d = \text{dia Juliano.} \quad (9)$$

Todos os dados obtidos foram convertidos para a mesma hora solar e o resultados estão apresentados e analisados nos Resultados e Discussões.

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

Conforme os objetivos propostos, a seguir apresentam-se os resultados e discussões para as diferentes fases da pesquisa.

### **4.1. Primeira fase**

O clima característico dos ambientes urbanos influencia a saúde e o bem estar do homem, sendo possível, distinguir, nesta influência, inúmeras variáveis, dentre as quais se destacam a temperatura do ar, umidade relativa do ar e a velocidade dos ventos (ANDRADE, 2005). Tais variáveis climáticas estão diretamente ligadas ao conforto térmico e à qualidade de vida.

Nessa fase da pesquisa foram realizadas medições nas áreas urbana e rural de Mossoró-RN, Serra Talhada-PE, Petrolina-PE e Juazeiro-BA em dois períodos do ano. Diante das múltiplas campanhas de campo, decidiu-se trabalhar com uma abordagem descritiva e comparativa, analisando os dados em agrupamentos sazonais específicos, representativos dos períodos úmido e seco. Os resultados foram sistematizados em tabelas onde estão apresentados os valores médios e os valores extremos (máximos e mínimos) da temperatura do ar, umidade relativa do ar e velocidade do vento. Também são apresentadas figuras que ilustram esses resultados através de gráficos comparativos entre os ambientes rural e urbano de cada município pesquisado.

#### **4.1.1. Temperatura do ar**

A temperatura do ar é uma variável de grande relevância em estudos de conforto térmico humano pois é responsável pelas trocas de calor - por convecção - entre o indivíduo e o ambiente que o cerca. A seguir, são apresentados os resultados obtidos para essa variável em cada período analisado.

##### **4.1.1.1. Período úmido**

Os resultados das campanhas de campo realizadas na época úmida nas áreas rural e urbana dos municípios pesquisados estão sintetizados na Tabela 2. O período de coleta de dados foi de 12 a 26/05/07 para Mossoró, Petrolina e Juazeiro

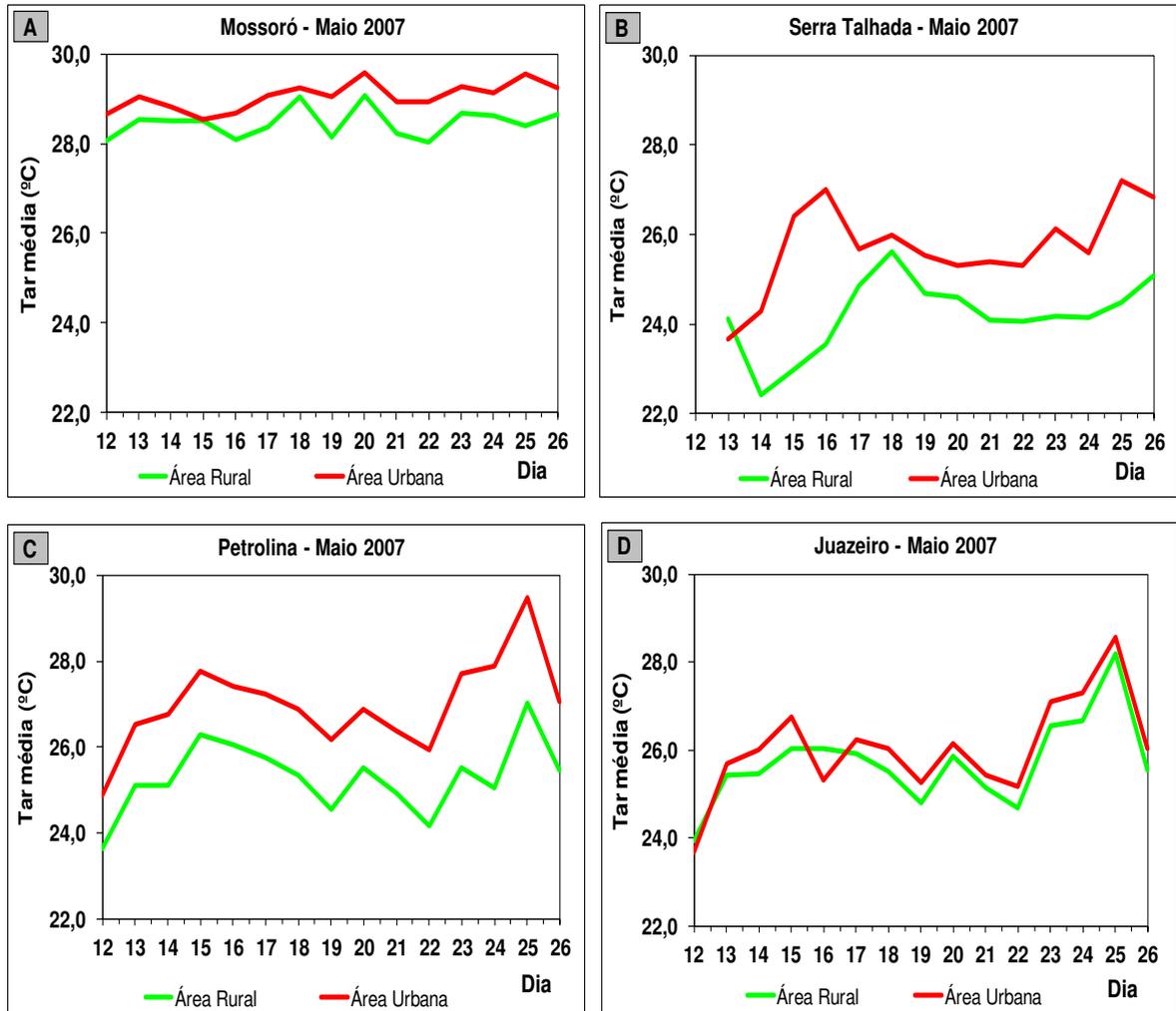
e de 13 a 26/05/2007 para Serra Talhada em função de fatores logísticos para a instalação da estação micrometeorológica da área urbana desse município. Verifica-se que a temperatura do ar (Tar) nas áreas urbanas foi, em média, superior àquela observada na área rural em todos os municípios e que a área urbana de Mossoró apresentou a maior média geral (29,0 °C) e a maior mínima (22,4 °C). A Tabela 2 evidencia também que na área urbana de Serra Talhada ocorreu o maior valor absoluto da temperatura do ar durante o período (38,2 °C). Neste mesmo local também foi observada a maior amplitude térmica diária (18,9 °C). Entretanto, a área urbana de Mossoró foi a localidade que apresentou a maior média da temperatura máxima (35,5 °C). A área rural de Petrolina registrou o menor valor absoluto (17,7 °C) ao passo que a área rural de Serra Talhada foi o local com a menor média da temperatura mínima do ar (20,1 °C). As ocorrências de temperaturas mais baixas foram observadas entre 05:00h e 06:00h da manhã enquanto as mais elevadas ocorreram entre 14:00h e 15:00h.

**Tabela 2** – Temperatura do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período úmido.

TEMPERATURA DO AR (Tar)							
ESTAÇÃO ANALISADA	MÍNIMA			MÁXIMA			MÉDIA (°C)
	Média (°C)	Absoluta (°C)	Hora Abs.	Média (°C)	Absoluta (°C)	Hora Abs.	
Estação 01: Mossoró (Urbana)	24,5	22,4	04:56	35,5	36,9	14:51	29,0
Estação 02: Mossoró (Rural)	23,7	21,9	05:37	34,8	36,3	14:47	28,5
Estação 03: Serra Talhada (Urbana)	21,1	19,3	06:24	32,4	38,2	15:12	25,7
Estação 04: Serra Talhada (Rural)	20,1	18,5	05:14	30,1	32,3	15:19	24,2
Estação 05: Petrolina (Urbana)	22,4	20,4	05:56	33,5	37,9	14:52	27,0
Estação 06: Petrolina (Rural)	20,6	17,7	05:59	31,2	35,3	15:05	25,3
Estação 07: Juazeiro (Urbana)	21,7	19,9	06:05	31,8	36,0	15:10	26,0
Estação 08: Juazeiro (Rural)	21,3	18,4	05:54	31,3	35,4	15:03	25,7

Na Figura 18, visualizam-se as curvas da temperatura média do ar (Tar média) durante o período úmido nas áreas urbana e rural de cada município. Percebe-se pela figura um comportamento similar nos ambientes, com as áreas urbanas se apresentando mais quentes do que as áreas rurais na quase totalidade dos dias analisados. Esse fato resulta da própria estrutura do ambiente urbano, tendo em vista que a concentração das edificações, pavimentação da superfície e pouca arborização, entre outros fatores, contribuem para que haja maior absorção da radiação, bloqueio do vento e conseqüentemente maior aquecimento intra-

urbano. Registrou-se situação atípica, ou seja, temperatura do ar maior na área rural do que na área urbana, apenas em Juazeiro no dia 16/05/07, provavelmente devido à ocorrência de intensa nebulosidade sobre a área urbana do referido município.

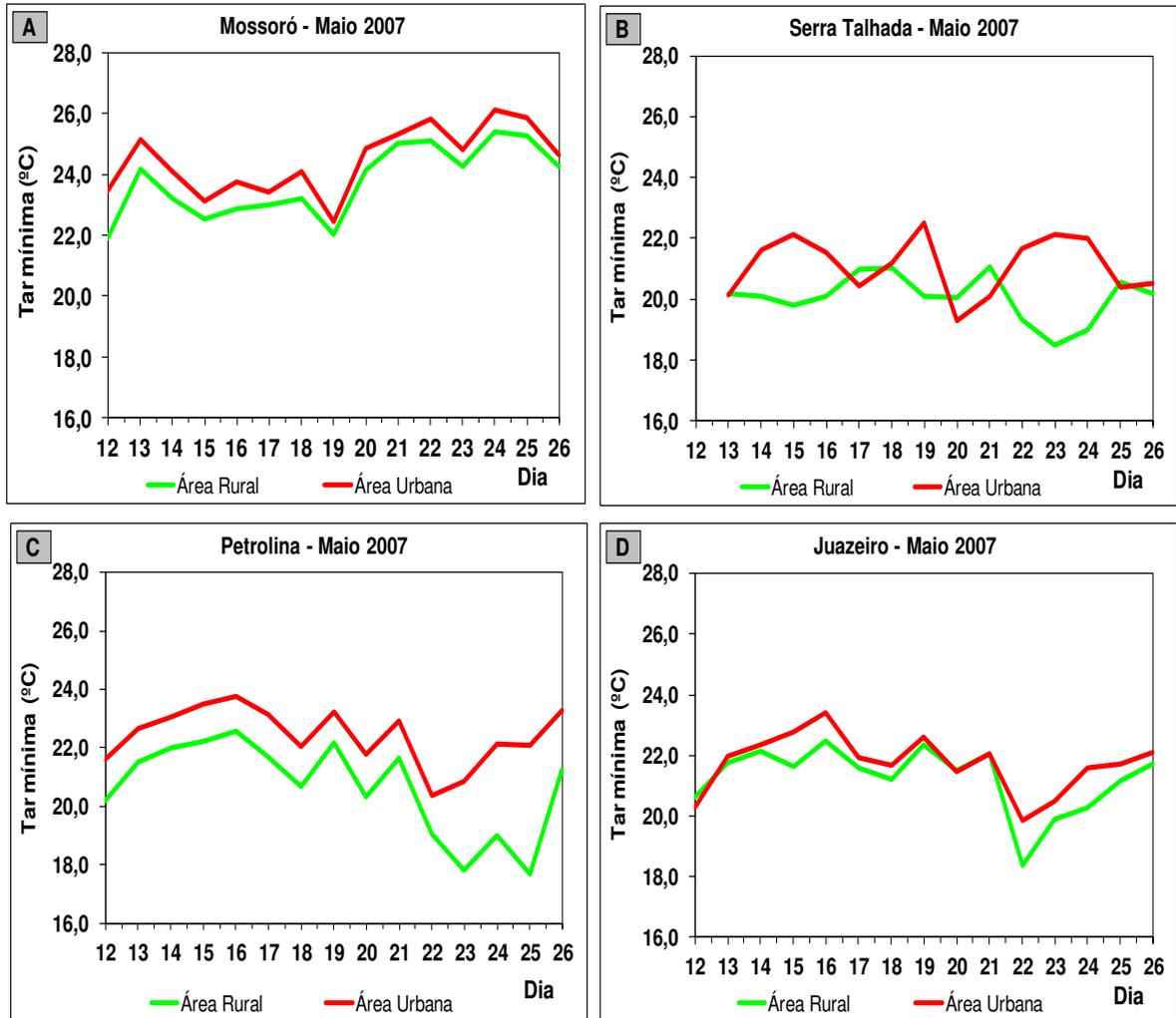


**Figura 18** – Valores médios diários da temperatura do ar em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Para ampliar a análise do comportamento da temperatura do ar ao longo do período analisado, apresenta-se a Figura 19, na qual se evidencia a dinâmica para os valores mínimos desse parâmetro climático (Tar mínima).

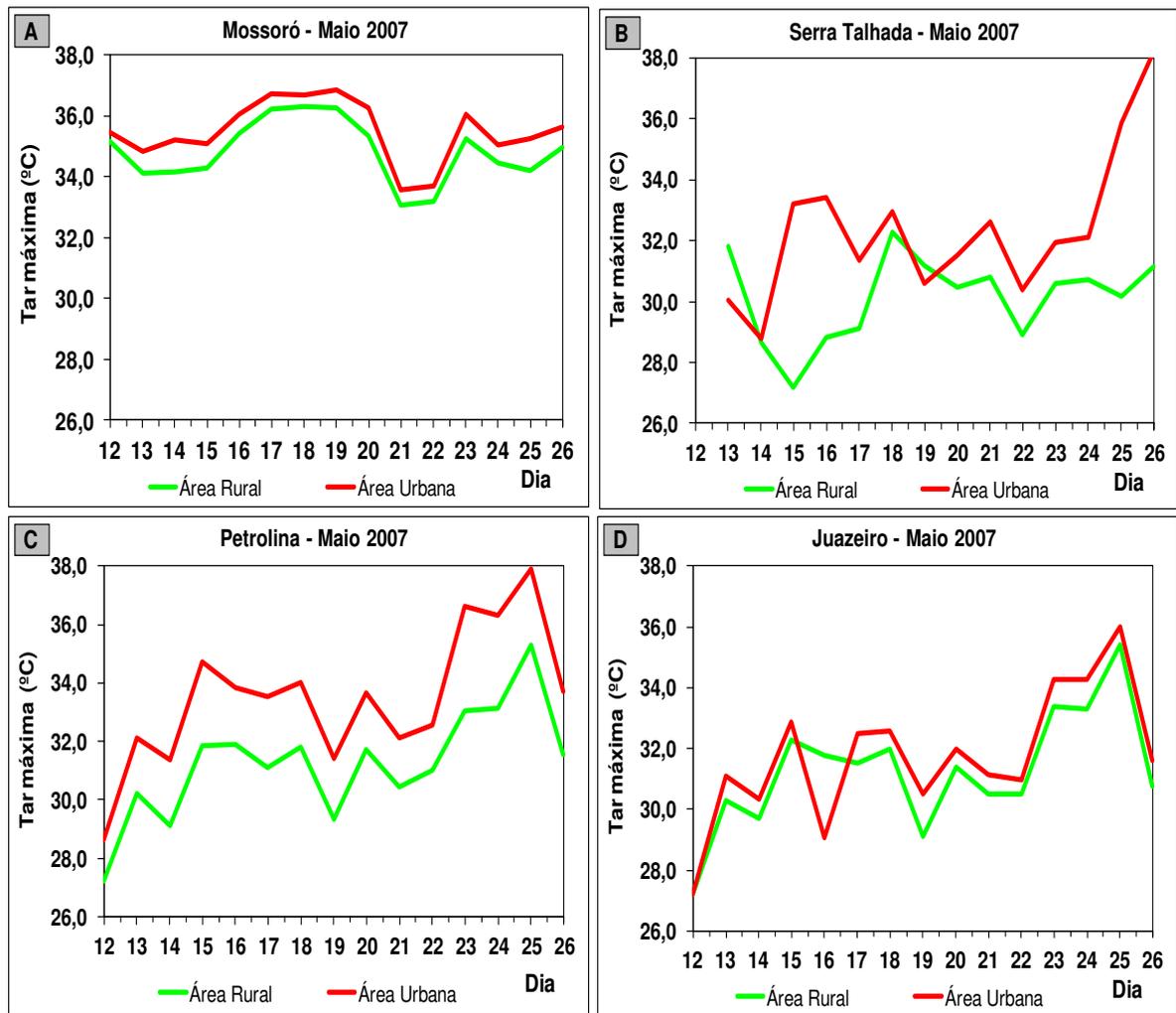
Os gráficos dessa figura denotam a reprodução de situação já observada anteriormente na análise da temperatura média do ar, ou seja, as temperaturas mínimas das áreas urbanas são, em geral, maiores que suas correspondentes medidas nas áreas rurais. Foram registradas condições atípicas, ou seja, temperatura mínima menor na área urbana do que na área rural nos municípios de Serra Talhada nos dias 17, 20 e 21/05/07 e em Juazeiro nos dias 12 e 20/05/07,

provavelmente devido à ocorrência de grande nebulosidade sobre a área urbana dessas localidades.



**Figura 19** – Valores diários da temperatura do ar mínima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Na Figura 20, apresentam-se os valores máximos da temperatura do ar (Tar máxima). Observa-se na figura comportamento semelhante ao já observado para a temperatura média e mínima, onde em geral, as temperaturas do ambiente urbano superaram as do ambiente rural, com ocorrências isoladas de situações contrárias em Serra Talhada e Juazeiro. Petrolina foi o município que apresentou as maiores diferenças entre os ambientes rural e urbano, devido ao fato da localização da estação na área urbana ter favorecido às condições para bloqueio do vento, aumento da umidade e conseqüente elevação da temperatura representando assim a realidade do ambiente urbano desse município.



**Figura 20** – Valores diários da temperatura do ar máxima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

#### 4.1.1.2. Período seco

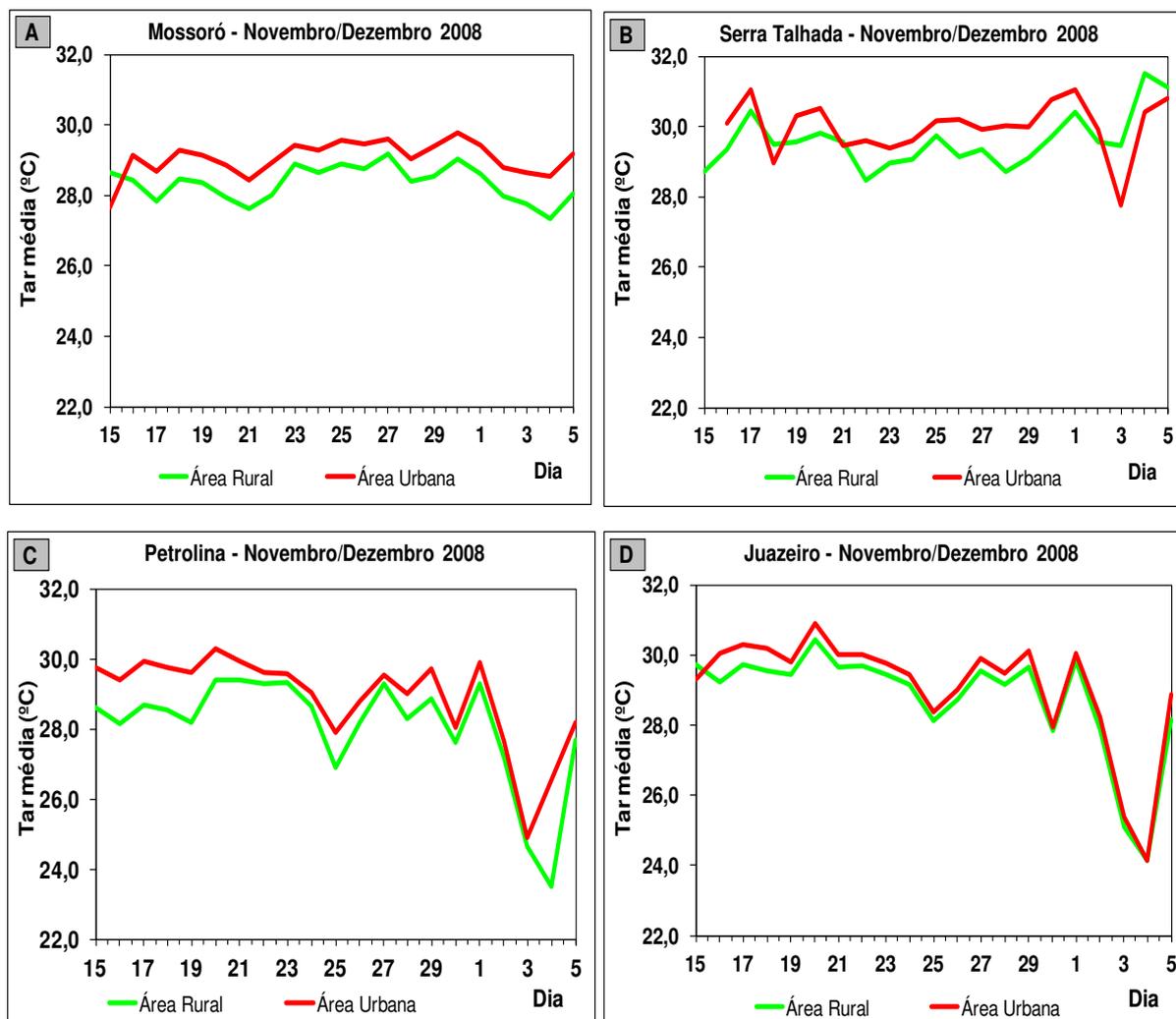
O comportamento da temperatura do ar nas áreas rural e urbana dos municípios de Mossoró, Serra Talhada, Petrolina e Juazeiro durante o período seco (15/11/08 a 05/12/08) é apresentado na Tabela 3, com médias, valores extremos e horários de ocorrência dos máximos e mínimos. Analisando-se a referida tabela, observa-se que a temperatura do ar nas áreas urbanas foi, em média, superior àquela observada na área rural em todos os municípios. Constata-se também que a área urbana de Serra Talhada apresentou a maior média (30,0 °C) e o maior valor absoluto da temperatura do ar (39,0 °C) durante o período. Na área rural de Serra Talhada ocorreu a média mais baixa da temperatura mínima (22,0 °C), entretanto, foi na área urbana de Petrolina que se registrou o menor valor absoluto para essa

variável climática (20,6 °C). A maior amplitude térmica ocorreu na área rural de Serra Talhada, com 17,7 °C de diferença entre a temperatura máxima e a mínima. As ocorrências das temperaturas mais baixas foram sempre observadas nos horários entre 04:00h e 07:00h da manhã enquanto que as maiores temperaturas do ar ocorreram em horários próximos as 13:00h e 16:00h.

**Tabela 3** – Temperatura do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período seco.

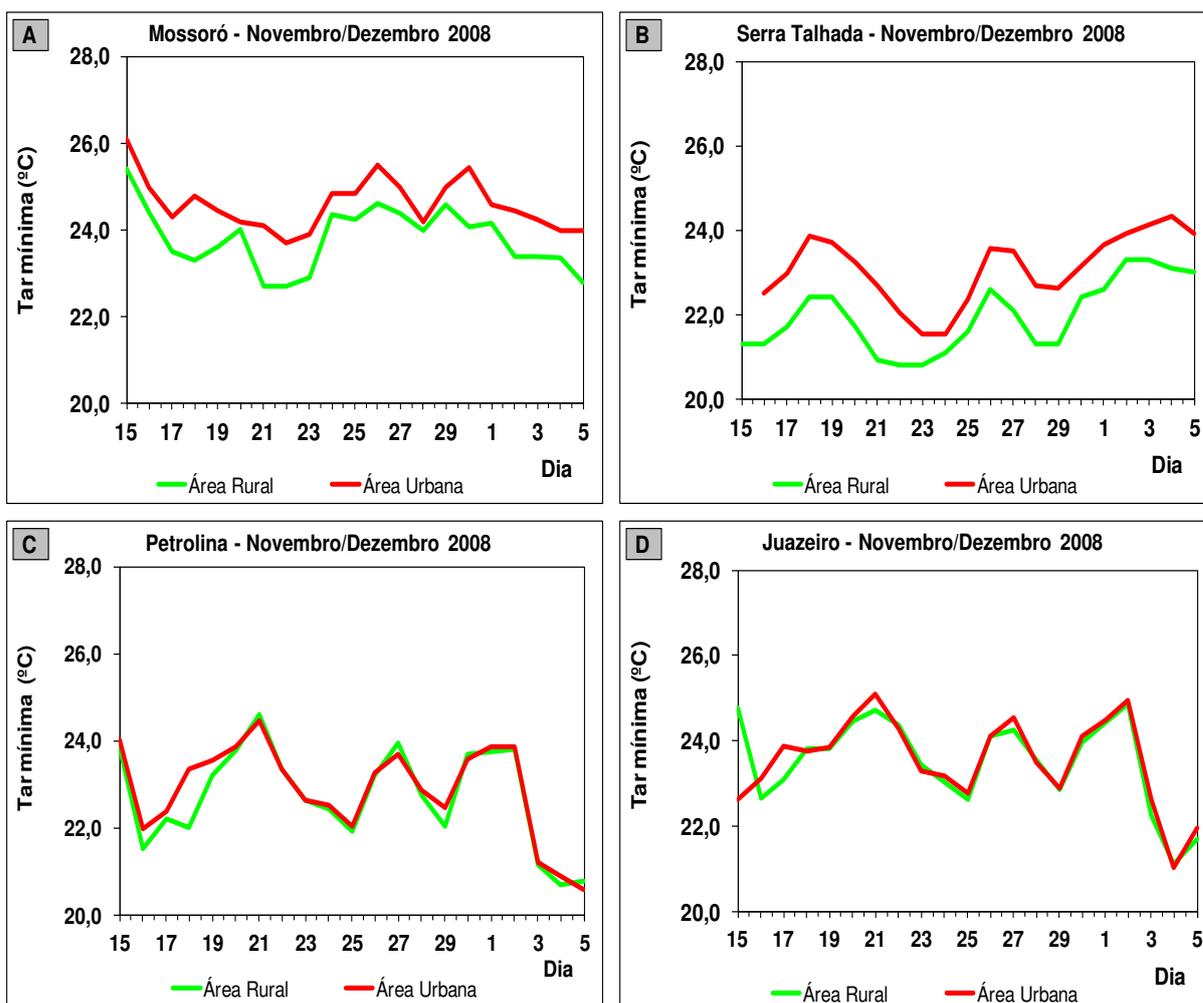
TEMPERATURA DO AR (Tar)							
ESTAÇÃO ANALISADA	MÍNIMA			MÁXIMA			MÉDIA (°C)
	Média (°C)	Absoluta (°C)	Hora Abs.	Média (°C)	Absoluta (°C)	Hora Abs.	
Estação 01: Mossoró (Urbana)	24,6	23,7	04:37	36,0	37,9	12:51	29,1
Estação 02: Mossoró (Rural)	23,8	22,7	04:14	35,0	36,9	12:04	28,3
Estação 03: Serra Talhada (Urbana)	23,1	21,5	05:26	37,2	39,0	15:07	30,0
Estação 04: Serra Talhada (Rural)	22,0	20,8	05:25	36,1	38,5	13:32	29,6
Estação 05: Petrolina (Urbana)	22,9	20,6	05:23	35,9	37,9	13:59	28,9
Estação 06: Petrolina (Rural)	22,7	20,7	06:26	34,5	36,4	16:17	28,1
Estação 07: Juazeiro (Urbana)	23,5	21,0	07:01	35,1	37,1	13:52	29,1
Estação 08: Juazeiro (Rural)	23,5	21,1	07:03	34,4	36,1	16:04	28,8

Na sequência, apresenta-se a Figura 21, onde se pode observar de forma comparativa as curvas da temperatura média do ar (Tar média) durante período seco nas áreas urbana e rural de cada município. Do mesmo modo que no período úmido, percebe-se um comportamento similar nos ambientes, com as áreas urbanas se apresentando mais quentes do que as áreas rurais na quase totalidade dos dias analisados. Essa situação é decorrente da morfologia observada nessas cidades (rugosidade, impermeabilização, forma das vias, adensamento de edificações e, sobretudo, arborização insuficiente), fatores contribuintes para uma maior concentração da radiação, bloqueio do vento e maior aquecimento do espaço citadino. Registrou-se situação atípica, ou seja, a temperatura do ar maior na área rural do que na área urbana, apenas pontualmente em alguns dias, devido ao aumento de nebulosidade sobre a área urbana de Serra Talhada.



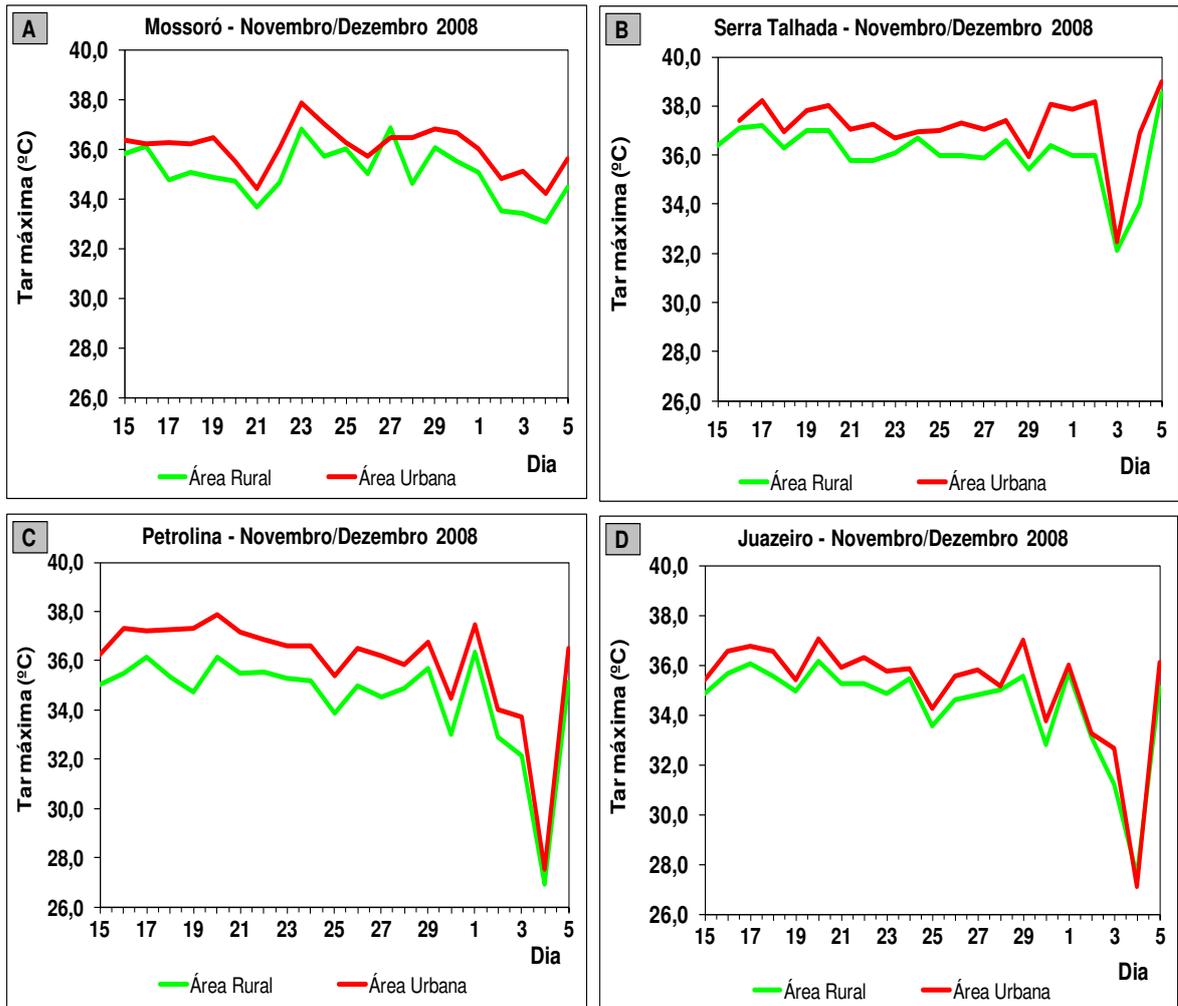
**Figura 21** – Valores médios diários da temperatura do ar em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Para melhor compreender o comportamento da temperatura do ar durante o período seco, apresenta-se na Figura 22, os valores mínimos da temperatura do ar (Tar mínima). Na referida figura, observa-se que a temperatura mínima do ar sempre esteve acima de 20,0 °C em todas as localidades e foram registradas variações significativas entre os ambientes rural e urbano tanto em Mossoró quanto em Serra Talhada. De um modo geral, Petrolina e Juazeiro apresentaram menores diferenças entre esses dois ambientes.



**Figura 22** – Valores diários da temperatura do ar mínima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Na Figura 23, apresentam-se os valores máximos da temperatura do ar (Tar máxima), onde se observa que, assim como no período úmido, o período seco registrou temperaturas mais elevadas no ambiente urbano que no ambiente rural na quase totalidade dos dias pesquisados. Registre-se ainda que Serra Talhada, Juazeiro e Petrolina apresentaram acentuada queda da temperatura nos dias 03 e 04/12/08 devido à ocorrência de precipitação.



**Figura 23** – Valores diários da temperatura do ar máxima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Os resultados obtidos para a temperatura do ar em ambos os períodos pesquisados, tanto na área urbana quanto na área rural, corroboram com as pesquisas feitas por Ayoade (2003), que destacou as alterações das propriedades térmicas e hidrológicas da superfície terrestre decorrentes do processo de urbanização. A substituição das superfícies naturais por superfícies pavimentadas, trouxeram como resultado em ambos os casos, uma elevação da temperatura nas áreas urbanas, mesmo quando houve diminuição da duração do fotoperíodo.

De acordo com King & Davis (2007), a razão para a cidade ser mais quente que a área rural é resultado da diferença de energia absorvida e dissipada em cada região contribuindo para o relativo aquecimento das cidades. Nesse sentido, há que se concordar quando Amorim (2010) afirmou que a cidade é geradora de um clima próprio, resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a

camada limite do ambiente urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local.

#### 4.1.2. Ocorrência de ilhas de calor

Diversos pesquisadores levantam a hipótese de que as mudanças climáticas que estão ocorrendo ou que poderão ocorrer no futuro podem ser ocasionadas por atividades antrópicas e exemplificam um fenômeno em particular, o aquecimento urbano isolado, ao constatarem o aquecimento localizado das grandes cidades em relação à área rural circundante. Nos estudos realizados em grandes centros urbanos, alguns autores têm destacado a importância do monitoramento das ilhas de calor: Lombardo (1985), Oke et al. (1991), Goldreich (1995), Arnfield (2003), Pongracz et al. (2005), Silva et al. (2006), Leitão et al. (2011), dentre outros.

Com o objetivo de aprofundar as análises acerca do comportamento da temperatura do ar nas áreas estudadas, também foram tabuladas as diferenças entre a temperatura média do ar registrada na área urbana e a registrada na área rural. Esses dados permitiram caracterizar a ocorrência, bem como, a intensidade de ilhas de calor (IC) nos quatro municípios durante os períodos estudados.

##### 4.1.2.1. Período úmido

De acordo com os dados da Tabela 4, pode-se constatar que, mesmo no período úmido, na grande maioria dos dias, a temperatura média do ar no ambiente urbano superou àquela observada no ambiente rural, indicando ocorrência de ilhas de calor. Destaca-se que a maior diferença média foi de 3,5 °C, registrada em Serra Talhada no dia 16/05/2007.

**Tabela 4** – Diferença entre a temperatura média do ar registrada na área urbana e a registrada na área rural durante o período úmido ( $\Delta Tar_1$ ).

		$\Delta Tar_1$ (°C) = Tar média (URBANA) – Tar média (RURAL)														
DATA		12/05/07	13/05/07	14/05/07	15/05/07	16/05/07	17/05/07	18/05/07	19/05/07	20/05/07	21/05/07	22/05/07	23/05/07	24/05/07	25/05/07	26/05/07
LOCAL																
Mossoró		0,6	0,5	0,3	0,1	0,6	0,7	0,2	0,9	0,5	0,7	0,9	0,6	0,5	1,2	0,6
Serra Talhada		-	-0,5	1,9	3,4	3,5	0,8	0,4	0,9	0,7	1,3	1,2	2,0	1,4	2,7	1,8
Petrolina		1,3	1,4	1,6	1,5	1,4	1,5	1,5	1,6	1,4	1,5	1,8	2,2	2,8	2,5	1,6
Juazeiro		-0,3	0,3	0,5	0,7	-0,7	0,3	0,5	0,5	0,3	0,3	0,5	0,5	0,6	0,4	0,5

#### 4.1.2.2. Período seco

Os resultados apresentados na Tabela 5 indicam que, durante o período seco, na grande maioria dos dias, a temperatura do ar no ambiente urbano também superou àquela observada no ambiente rural, configurando ocorrência de ilhas de calor em todas as localidades. Consta-se que a maior diferença média entre a temperatura do ar da área urbana e a da área rural foi de 3,0 °C, observada no dia 04/12/08 em Petrolina.

**Tabela 5** – Diferença entre a temperatura média do ar registrada na área urbana e a registrada na área rural durante o período seco ( $\Delta Tar_2$ ).

		$\Delta Tar_2$ (°C) = Tar média (URBANA) – Tar média (RURAL)																					
DATA		15/11/08	16/11/08	17/11/08	18/11/08	19/11/08	20/11/08	21/11/08	22/11/08	23/11/08	24/11/08	25/11/08	26/11/08	27/11/08	28/11/08	29/11/08	30/11/08	01/12/08	02/12/08	03/12/08	04/12/08	05/12/08	
LOCAL																							
Mossoró		-1,0	0,7	0,9	0,8	0,8	0,9	0,8	0,9	0,5	0,6	0,7	0,7	0,4	0,6	0,9	0,7	0,8	0,8	0,9	1,2	1,1	
Serra Talhada		-	0,8	0,6	-0,5	0,7	0,7	-0,1	1,2	0,4	0,5	0,4	1,1	0,5	1,3	0,9	1,1	0,7	0,3	-1,7	-1,1	-0,3	
Petrolina		1,2	1,3	1,3	1,2	1,4	0,9	0,5	0,3	0,3	0,4	1,0	0,6	0,3	0,7	0,9	0,4	0,6	0,5	0,3	3,0	0,5	
Juazeiro		-0,4	0,8	0,6	0,6	0,4	0,5	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,3	0,5	0,1	0,2	0,4	0,3	0,0	0,7	

As ilhas de calor urbana são por vezes pouco expressivas e menores que 1 °C em média, mas ocasionalmente podem alcançar vários graus, quando as condições urbanas, topográficas e meteorológicas são favoráveis para seu desenvolvimento. Portanto, constata-se que os resultados obtidos no semiárido nordestino estão de acordo com o observado por TAHA (1997), segundo o qual, a temperatura do ar nas cidades pode ser 2 a 5°C mais alta do que os seus arredores. Nesse mesmo sentido, Akbari et al. (2001) afirmam que em uma tarde clara de verão, a temperatura do ar em uma cidade típica é aproximadamente 2,5°C mais quente que nos seus arredores rurais.

#### 4.1.3. Intensidade de ilhas de calor

A partir dos dados apresentados nas Tabelas 4 e 5 foi possível classificar a intensidade da ilha de calor (IC) de acordo com a metodologia estabelecida. A classificação obtida está apresentada nas Tabelas 6 e 7, onde se utilizou a seguinte convenção, com base na diferença entre a temperatura do ar observada na área urbana e na área rural:

- **Nc** = ilha de calor não caracterizada (diferença negativa);
- **Fr** = ilha de calor de fraca intensidade (diferença entre 0º e 2 ºC);
- **Mo** = ilha de calor moderada (diferença entre 2º e 4 ºC);
- **Fo** = ilha de calor forte (diferença entre 4º e 6 ºC);
- **Mu** = ilha de calor muito forte (diferença superior a 6 ºC).

#### 4.1.3.1. Período úmido

As informações apresentadas na Tabela 6 evidenciam que, durante o período úmido ocorreram ilhas de calor em todas as localidades estudadas. Verifica-se também que a maioria dos dias apresentou, em termos médios diários, ilhas de calor de fraca intensidade. Ressalte-se ainda que durante esse período também foram caracterizadas ilhas de calor de intensidade moderada tanto em Serra Talhada quanto em Petrolina.

**Tabela 6** – Intensidade média de ilha de calor no período úmido.

CLASSIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR QUANTO À INTENSIDADE															
DATA \ LOCAL	12/05/07	13/05/07	14/05/07	15/05/07	16/05/07	17/05/07	18/05/07	19/05/07	20/05/07	21/05/07	22/05/07	23/05/07	24/05/07	25/05/07	26/05/07
<b>Mossoró</b>	Fr														
<b>Serra Talhada</b>	-	Nc	Fr	Mo	Mo	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Mo	Fr	Mo	Fr
<b>Petrolina</b>	Fr	Mo	Mo	Mo	Fr										
<b>Juazeiro</b>	Nc	Fr	Fr	Fr	Nc	Fr									

#### 4.1.3.2. Período seco

Ao analisar os resultados da Tabela 7 verifica-se que a maioria dos dias apresentou, em termos médios diários, ilhas de calor de fraca intensidade. Entretanto, mesmo utilizando dados médios diários, foram caracterizadas ilhas de calor de intensidade moderada em Petrolina. Deve-se atentar para o fato de que os valores apresentados nas Tabelas 6 e 7 representam um indicativo em termos médios diários de tal ocorrência, uma vez que estão tabulados em termos médios diários, o que pode diluir as ocorrências extremas ao longo de um dia.

**Tabela 7** – Intensidade média de ilha de calor no período seco.

CLASSIFICAÇÃO DE ILHAS DE CALOR QUANTO À INTENSIDADE																						
DATA		15/11/08	16/11/08	17/11/08	18/11/08	19/11/08	20/11/08	21/11/08	22/11/08	23/11/08	24/11/08	25/11/08	26/11/08	27/11/08	28/11/08	29/11/08	30/11/08	01/12/08	02/12/08	03/12/08	04/12/08	05/12/08
LOCAL																						
Mossoró	Nc	Fr																				
Serra Talhada	-	Fr	Fr	Nc	Fr	Fr	Nc	Fr	Nc	Nc	Nc	Nc										
Petrolina	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Mb	Fr
Juazeiro	Nc	Fr																				

Esses resultados estão de acordo com Saraiva et al. (2010) que caracterizou ilha de calor em Mossoró durante o outono de 2010, com intensidade moderada e amplitude entre a máxima e a mínima de 3,5 °C. Porém, a pesquisa da referida autora não coletou dados durante a madrugada, revelando ao final, necessidade de estudos complementares. Ilhas de calor inversas ou negativas (quando a área urbana é mais fria que os arredores rurais) e ilhas de calor neutras (quando a diferença de temperatura urbano-rural é de 0,5°C ou menos) são mais frequentemente observadas durante o dia do que a noite (Yow e Carbone, 2006). Bezerra (2009) também sugeriu a necessidade de aprofundamento de estudos para detecção de ilhas de calor em Petrolina e Juazeiro, principalmente através da comparação dessas cidades com áreas de outros municípios da região semiárida. Não foram identificados estudos dessa natureza para Serra Talhada.

#### 4.1.4. Umidade relativa do ar

É uma variável que interfere diretamente na transferência de calor entre o homem e o meio ambiente. Portanto, a umidade relativa do ar está diretamente relacionada com o bem-estar humano. Ambientes altamente urbanizados tem a particularidade das ilhas de calor e entre suas consequências estão alterações na umidade. Quanto menor a umidade do ar, maior será a transferência de calor por evaporação dos seres vivos. A umidade relativa do ar (UR) é expressa pela razão entre a pressão parcial do vapor d'água ( $e(t)$ ) e a pressão de saturação do vapor d'água ( $es(t)$ ), conforme equação a seguir:

$$UR = [e(t)/es(t)].100 \quad (10)$$

Na sequência, estão apresentados através de tabelas e gráficos, as médias e os valores absolutos com horário de ocorrência dos mínimos e máximos dessa variável para cada período analisado.

#### 4.1.4.1. Período úmido

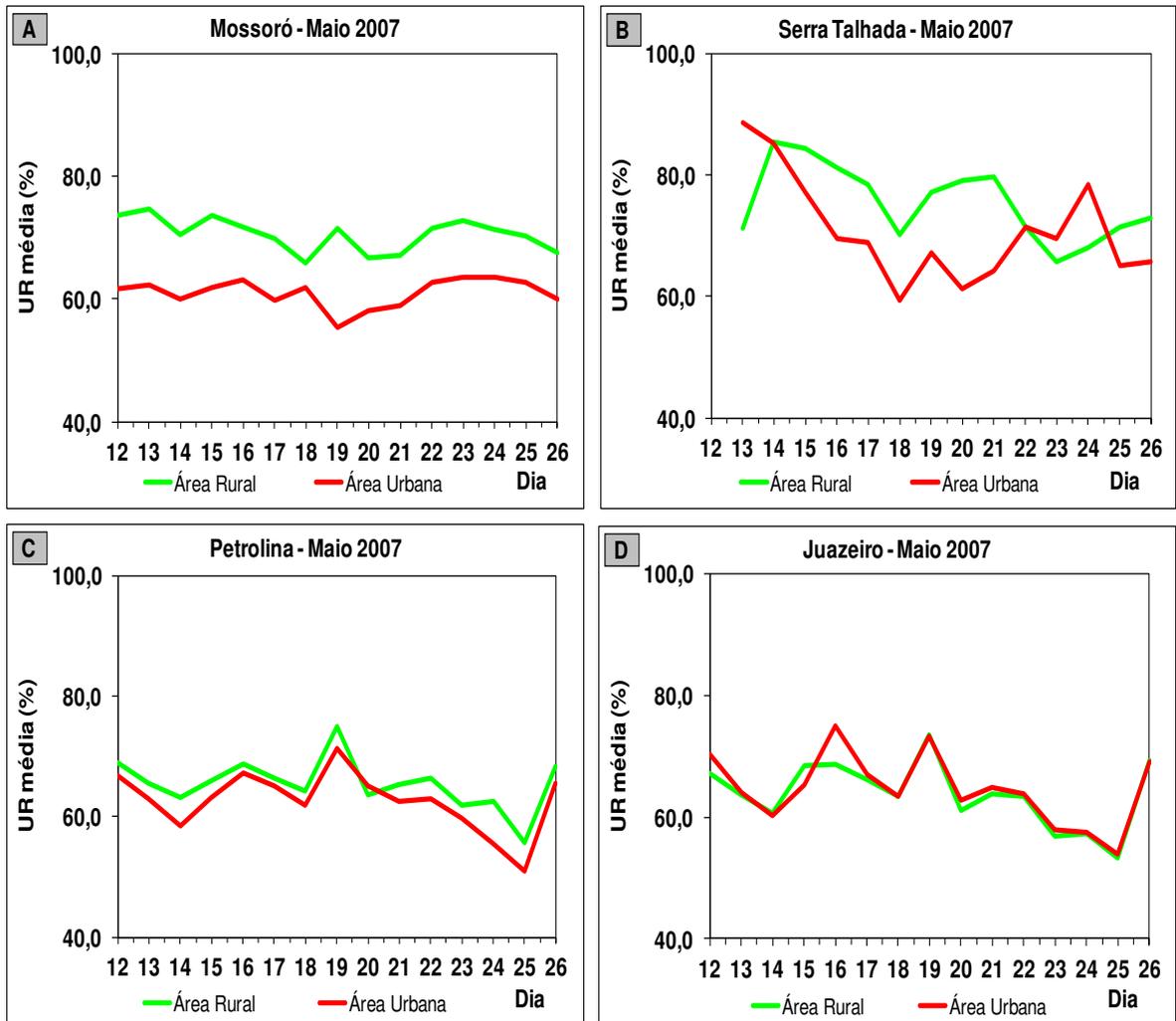
Analisando os dados apresentados na Tabela 8, é possível observar que no transcorrer desse período a umidade relativa máxima foi, em média, superior a 78,5% em todas as localidades pesquisadas. Essa variável climática foi, em média, menor no ambiente urbano que no ambiente rural em Mossoró, Serra Talhada e Petrolina. Em Juazeiro, provavelmente devido às correntes de vento advindas do rio São Francisco na direção da cidade, a área urbana apresentou teor médio de umidade relativa do ar um pouco superior ao observado na área rural. A umidade máxima absoluta ocorreu sempre entre 05:00h e 08:00h da manhã, enquanto que a umidade mínima entre 14:00h e 16:30h.

**Tabela 8** – Umidade relativa do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período úmido.

ESTAÇÃO ANALISADA	UMIDADE RELATIVA DO AR (UR)						MÉDIA (%)
	MÍNIMA			MÁXIMA			
	Média (%)	Absoluta (%)	Hora Abs.	Média (%)	Absoluta (%)	Hora Abs.	
Estação 01: Mossoró (Urbana)	36,0	28,3	14:52	78,5	80,9	05:30	61,0
Estação 02: Mossoró (Rural)	46,3	39,7	14:09	88,3	95,4	05:17	70,6
Estação 03: Serra Talhada (Urbana)	45,2	28,3	14:33	89,5	95,0	05:55	73,0
Estação 04: Serra Talhada (Rural)	54,3	38,0	12:28	95,6	100,0	04:46	74,0
Estação 05: Petrolina (Urbana)	38,0	23,3	15:28	87,5	95,4	07:46	62,7
Estação 06: Petrolina (Rural)	40,1	25,1	16:24	89,2	100,0	06:02	65,5
Estação 07: Juazeiro (Urbana)	41,5	26,2	15:12	85,8	97,1	07:35	64,6
Estação 08: Juazeiro (Rural)	39,8	23,7	15:08	85,2	94,8	07:29	63,8

A Figura 24 mostra as curvas com os valores médios da umidade relativa do ar nas áreas pesquisadas. Observa-se que as curvas de umidade estiveram sempre muito próximas em Petrolina e Juazeiro. O mesmo não aconteceu em Mossoró, onde a umidade na área urbana foi bem menor do que na área rural. Em Serra Talhada observou-se que em algumas ocasiões o ambiente urbano esteve mais

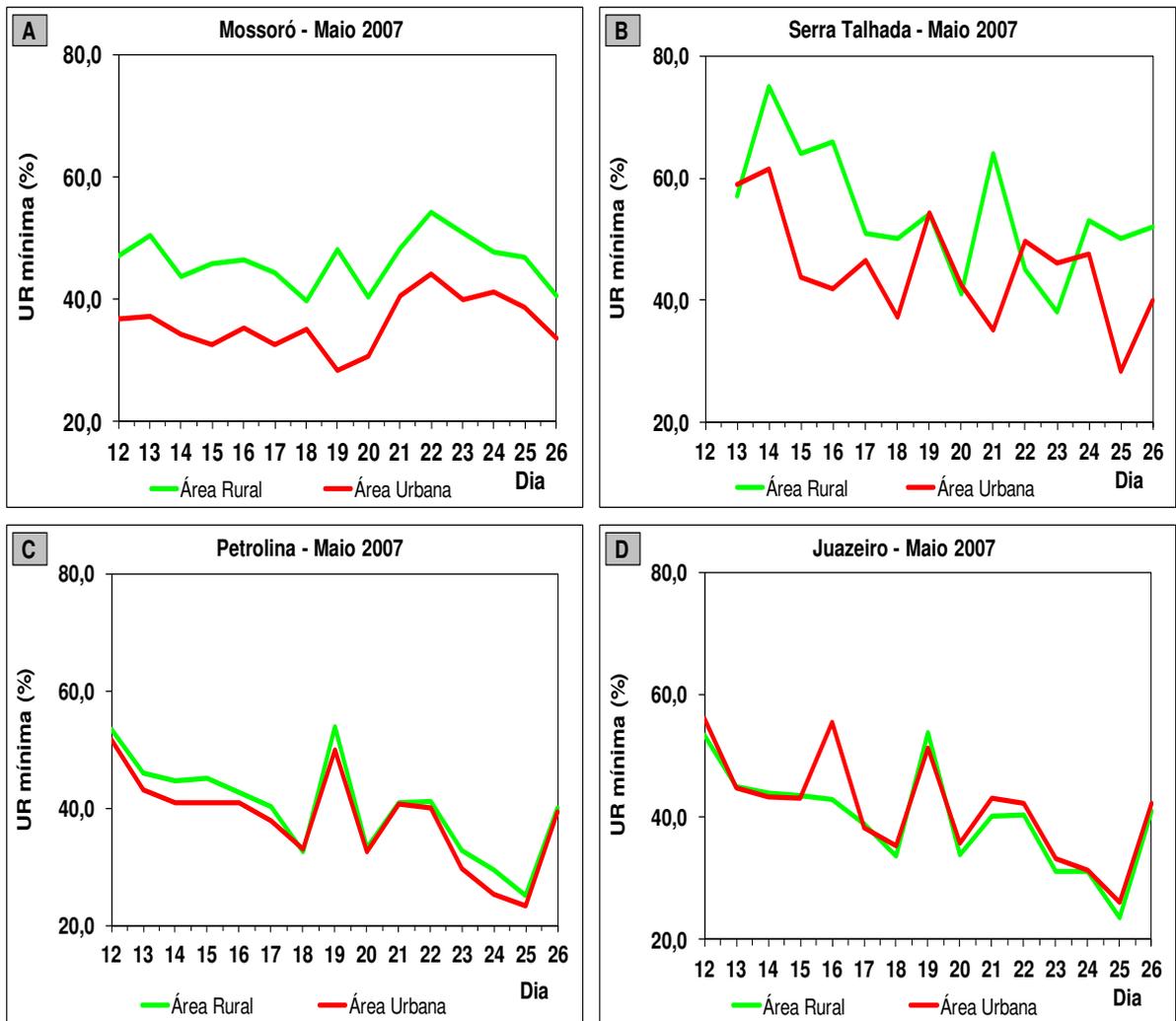
úmido que o rural, provavelmente devido à influência da topografia desse município associada a precipitações em sua área urbana.



**Figura 24** – Valores médios diários da umidade relativa do ar em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Ressalte-se ainda que a ocorrência de valores extremos de umidade relativa do ar impacta diretamente no conforto térmico, uma vez que índices acima de 90% dificultam a transpiração e índices inferiores a 30% são prejudiciais à saúde humana e que, ainda de acordo com a Tabela 8, ocorrências de valores de umidade inferiores a esse patamar foram constatadas nos quatro municípios estudados. A área urbana de Mossoró apresentou, em média, os menores valores de umidade (36,0%) enquanto que em termos absolutos o menor índice registrado nesse período foi 23,3% na área urbana de Petrolina.

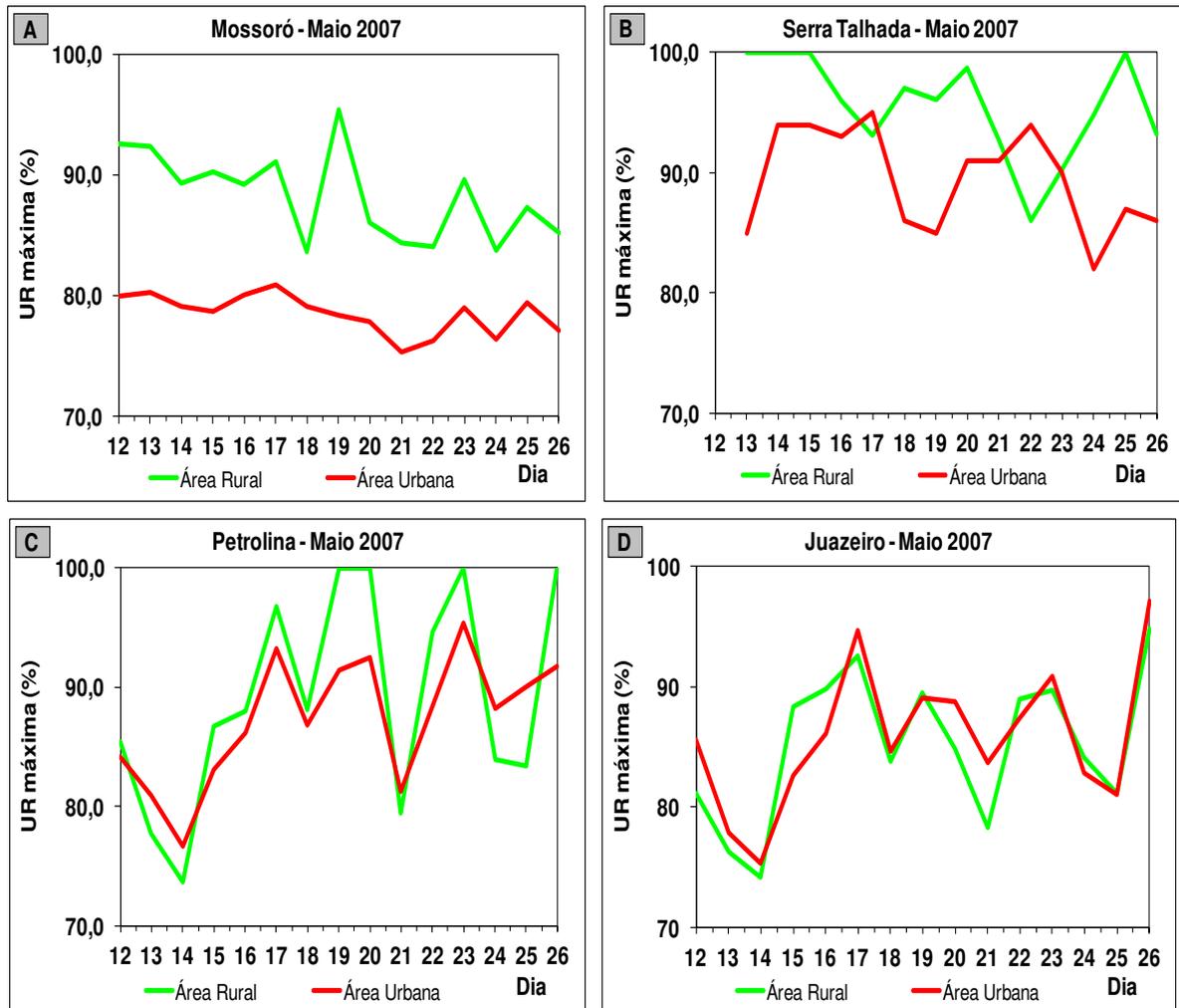
A Figura 25 ilustra o comportamento dos valores mínimos para essa variável climática durante o período úmido nas áreas estudadas. Nela, destacam-se os baixos valores de umidade (em alguns dias inferiores a 40% tanto na área urbana quanto na área rural), extremamente danosos à saúde, em todos os municípios mesmo durante o período úmido, sendo Mossoró e Serra Talhada as localidades que apresentaram maiores diferenças entre o ambiente urbano e o ambiente rural. A umidade mínima em Petrolina e Juazeiro apresentou um comportamento mais homogêneo com pequenas diferenças entre o ambiente urbano e o rural.



**Figura 25** – Valores diários da umidade relativa do ar mínima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Na Figura 26, evidenciam-se as ocorrências da umidade relativa do ar máxima com relevância para o fato da acentuada diferença entre as condições

urbanas e rurais observadas tanto em Mossoró quanto em Serra Talhada, tendo essas localidades apresentado as maiores umidades na área rural. Já Petrolina e Juazeiro apresentaram condições mais homogêneas. No entanto, em Petrolina, a diferença foi mais acentuada devido a ocorrência de chuvas na área urbana, o que elevou a umidade a 100%, situação essa também registrada em Serra Talhada nos dias 13, 14, 15 e 25/05/07.



**Figura 26** – Valores diários da umidade relativa do ar máxima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Apesar de maior alerta das autoridades de saúde acontecer quando há baixa umidade relativa do ar, também é comum as pessoas não se sentirem bem em dias quentes com umidade do ar elevada. Isso acontece porque, com o ar saturado de vapor de água, a evaporação do suor do corpo se torna difícil, inibindo a perda de calor.

Ressalte-se ainda que ao se confrontar os horários dos valores extremos (mínimas e máximas) da umidade relativa do ar apresentados, com os horários de ocorrência de temperatura do ar (mínimas e máximas), constata-se a relação inversa que existe entre essas variáveis, ou seja, as ocorrências de umidade relativa mínima são em horários muito próximos aos de ocorrência de temperatura do ar máxima e as ocorrências de umidade relativa máxima são em horários muito próximos aos de ocorrência da temperatura do ar mínima.

#### 4.1.4.2. Período seco

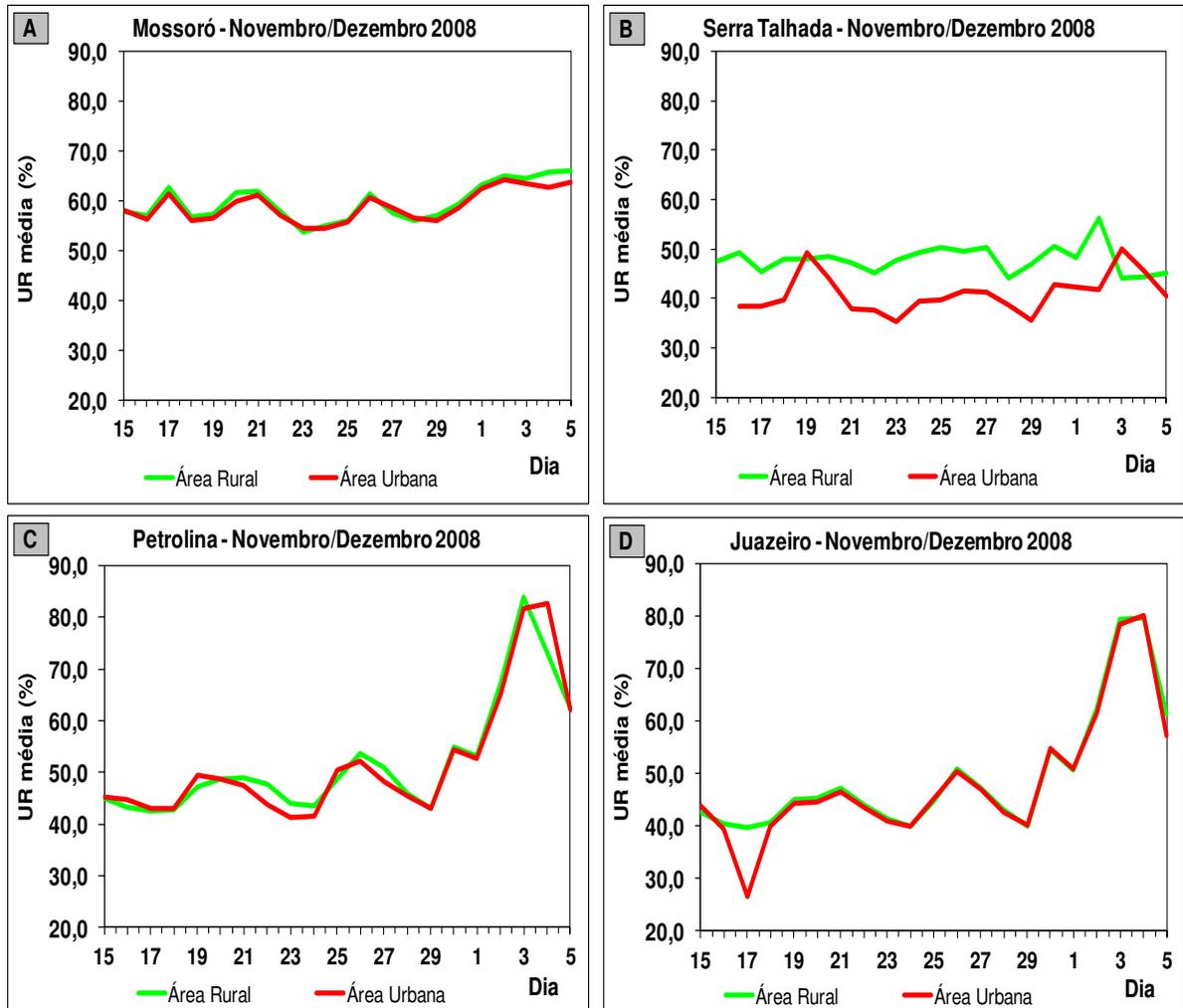
Para caracterização do período seco foram utilizados dados provenientes de campanhas de campo simultâneas realizadas nos municípios pesquisados durante o período de 15/11/2008 a 05/12/2008, cujos resultados estão sintetizados na Tabela 9. Analisando os dados da referida tabela, é possível observar que no transcorrer desse período a umidade relativa foi, em média, inferior a 60,0% em todas as localidades pesquisadas. O valor mínimo absoluto registrado foi de 12,2% na área urbana de Serra Talhada. Os valores médios dessa variável climática estiveram, em média, mais baixos nas áreas urbanas do que nas áreas rurais de todos os municípios.

**Tabela 9** – Umidade relativa do ar: mínima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência); máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média do ar no período seco.

UMIDADE RELATIVA DO AR (UR)							
ESTAÇÃO ANALISADA	MÍNIMA			MÁXIMA			MÉDIA (%)
	Média (%)	Absoluta (%)	Hora Abs.	Média (%)	Absoluta (%)	Hora Abs.	
Estação 01: Mossoró (Urbana)	32,0	23,3	12:42	79,2	81,9	05:31	59,0
Estação 02: Mossoró (Rural)	33,6	25,1	12:19	81,6	85,8	06:00	59,7
Estação 03: Serra Talhada (Urbana)	19,6	12,2	15:36	72,8	88,1	05:06	41,0
Estação 04: Serra Talhada (Rural)	23,7	15,7	15:22	73,9	89,3	06:02	47,9
Estação 05: Petrolina (Urbana)	29,8	18,7	15:28	74,6	93,1	08:34	51,7
Estação 06: Petrolina (Rural)	28,4	21,5	14:55	77,8	100,0	06:08	52,0
Estação 07: Juazeiro (Urbana)	28,6	18,3	16:04	70,1	91,9	07:44	48,5
Estação 08: Juazeiro (Rural)	28,8	17,8	15:47	72,1	92,9	07:36	49,6

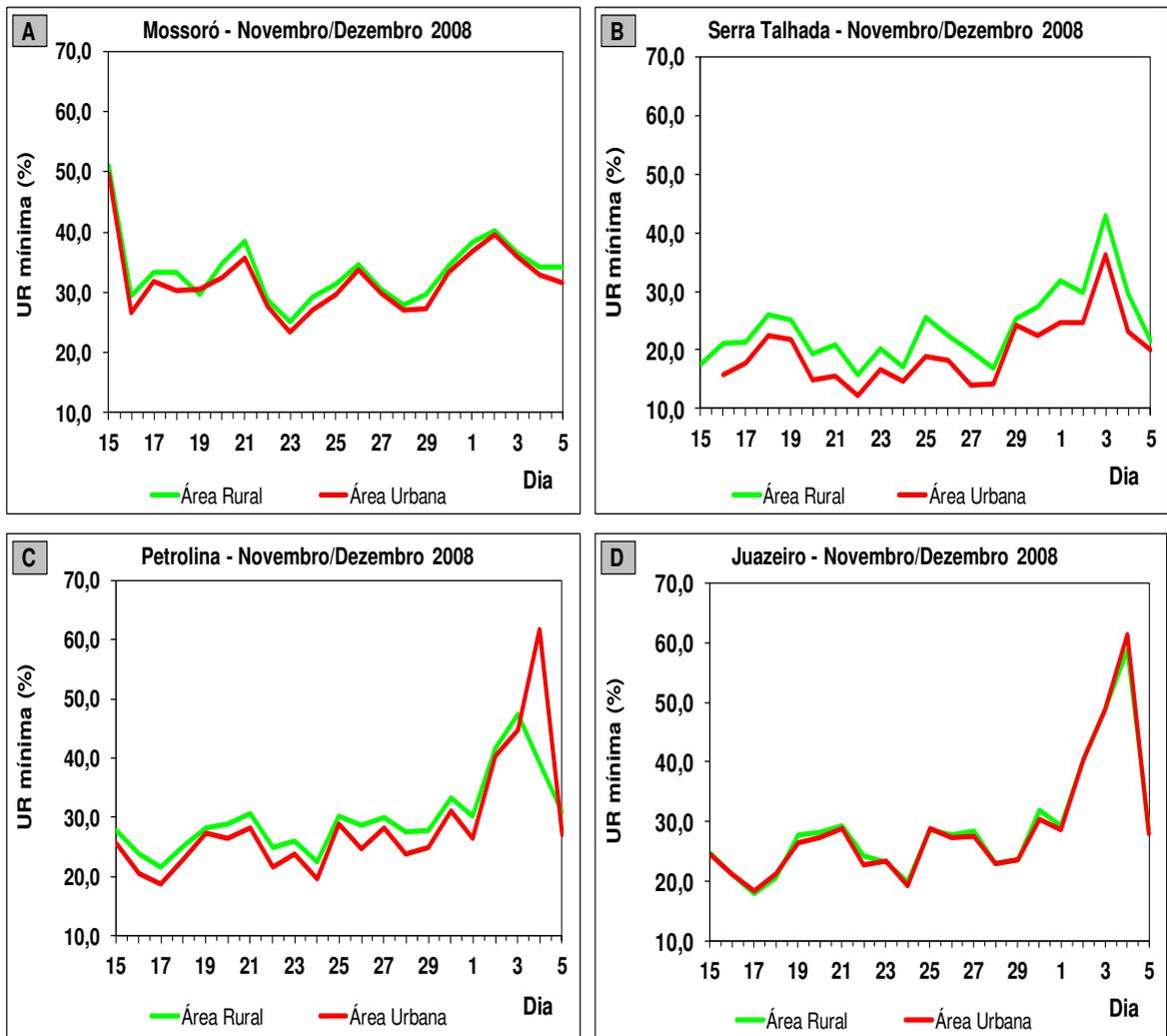
A Figura 27 permite a visualização das curvas com os valores médios para a umidade relativa do ar nas áreas pesquisadas. Observa-se que as referidas curvas estiveram sempre muito próximas em Petrolina, Juazeiro e Mossoró, o mesmo não

acontecendo com Serra Talhada, onde a umidade do ar na área urbana foi bem menor do que na área rural, provavelmente devido à influência das condições topográficas próprias desse município.



**Figura 27** – Valores médios diários da umidade relativa do ar em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

A Figura 28 ilustra as ocorrências da umidade relativa do ar mínima. Nela, constata-se que a umidade relativa mínima no ambiente urbano foi, em geral, um pouco inferior àquela registrada no ambiente rural. Situação atípica foi observada pontualmente em Juazeiro, devido à ocorrência de precipitação apenas na área urbana.

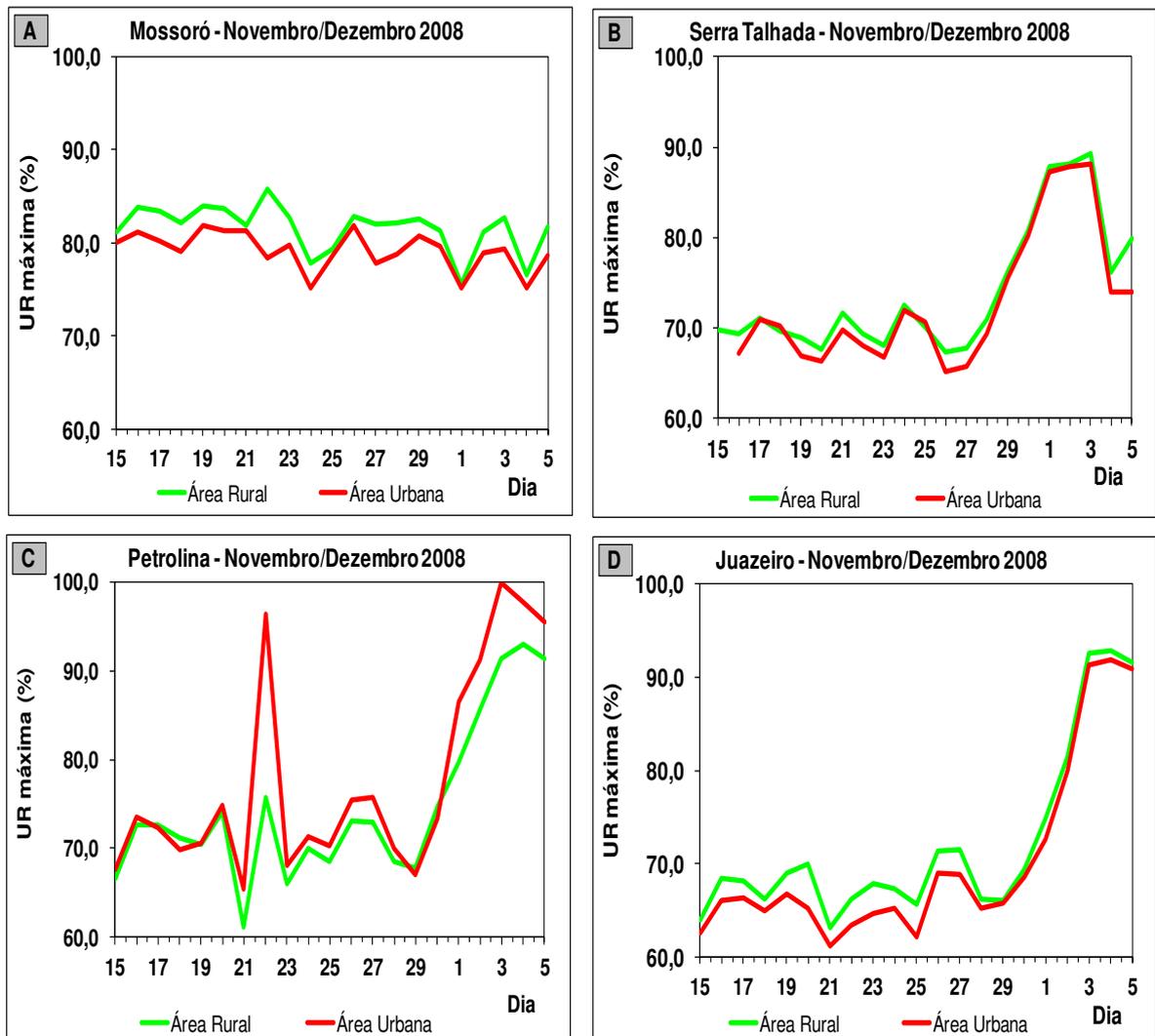


**Figura 28** – Valores diários da umidade relativa do ar mínima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Além do desconforto e das doenças respiratórias, a baixa umidade também aumenta o risco dos focos de incêndio, principalmente na área da Caatinga. Aliada as altas temperaturas, pode provocar danos ao meio ambiente e, para evitar transtornos e amenizar o desconforto térmico, deve-se usar roupas claras, evitar atividades físicas ao ar livre e exposição ao sol entre 10h e 17h. Também é importante aumentar o consumo de água, além de intensificar o uso do protetor solar.

A Figura 29 evidencia as ocorrências da umidade relativa do ar máxima. Constata-se que a umidade relativa máxima no ambiente urbano foi, em geral, inferior àquela registrada no ambiente rural. Situação atípica foi observada pontualmente em Petrolina, devido à ocorrência de precipitação apenas na área urbana desse município. Ressalte-se segundo Fortuniak et al. (2006) a intensidade

das diferenças higrométricas na área urbana tem sido menos estudada que o fenômeno de ilhas de calor. Os resultados obtidos para essa pesquisa também indicam que as diferenças mais altas para umidade relativa do ar rural-urbano são observadas à noite. Segundo os autores, sob condições favoráveis, a área urbana pode ter umidade relativa do ar menor em mais de 40% do que seus arredores, embora diferenças da ordem de 20 a 30% sejam mais típicas.



**Figura 29** – Valores diários da umidade relativa do ar máxima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

#### 4.1.5. Velocidade do vento

A velocidade do vento também se constitui em um importante atributo da ambiência climática da área urbana das cidades. De um modo geral, fortes movimentos de ar representam uma desvantagem em climas frios e um benefício em

climas quentes. No semiárido quando os dias são quentes e o vento é calmo a sensação de calor é bastante acentuada. O vento é a variável meteorológica de primeira ordem para a promoção do conforto climático urbano, porém, é o elemento mais alterado pela urbanização. Os resultados obtidos para essa variável climática em cada período são apresentados a seguir.

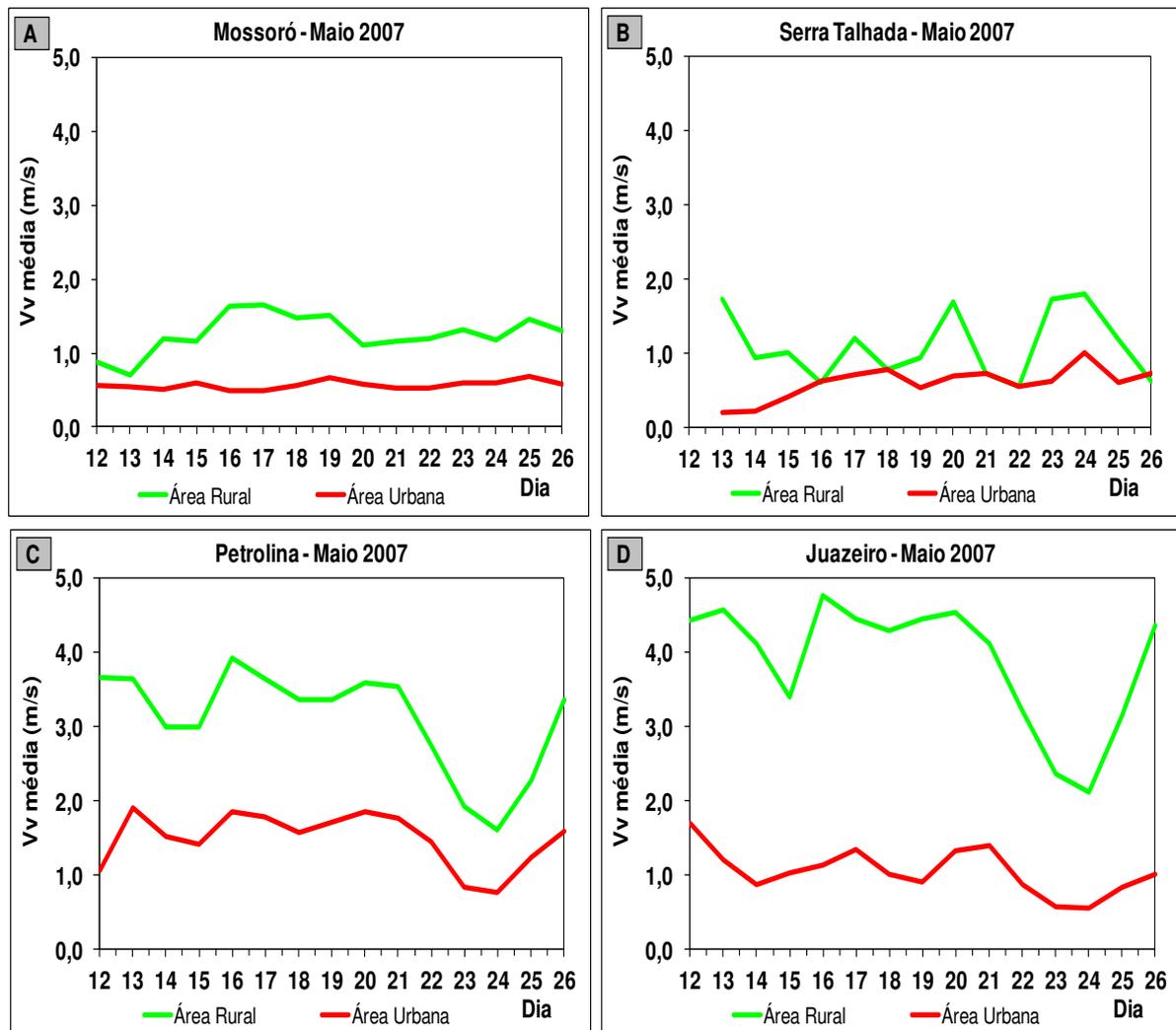
#### 4.1.5.1. Período úmido

Para melhor compreender o comportamento do vento em cada cidade, os resultados obtidos para essa variável climática estão sumarizados na Tabela 10. Na referida tabela fica evidente a ocorrência de baixos valores de velocidade do vento em Mossoró com média de 0,6 m/s na área urbana. Mesmo na porção rural dessa cidade, a velocidade média do vento foi muito baixa (1,3 m/s). Em Serra Talhada, apesar de apresentar o mesmo valor médio de Mossoró (0,6 m/s), ocorreram rajadas de até 7,0 m/s na área urbana.

**Tabela 10** – Velocidade do vento: máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média no período úmido.

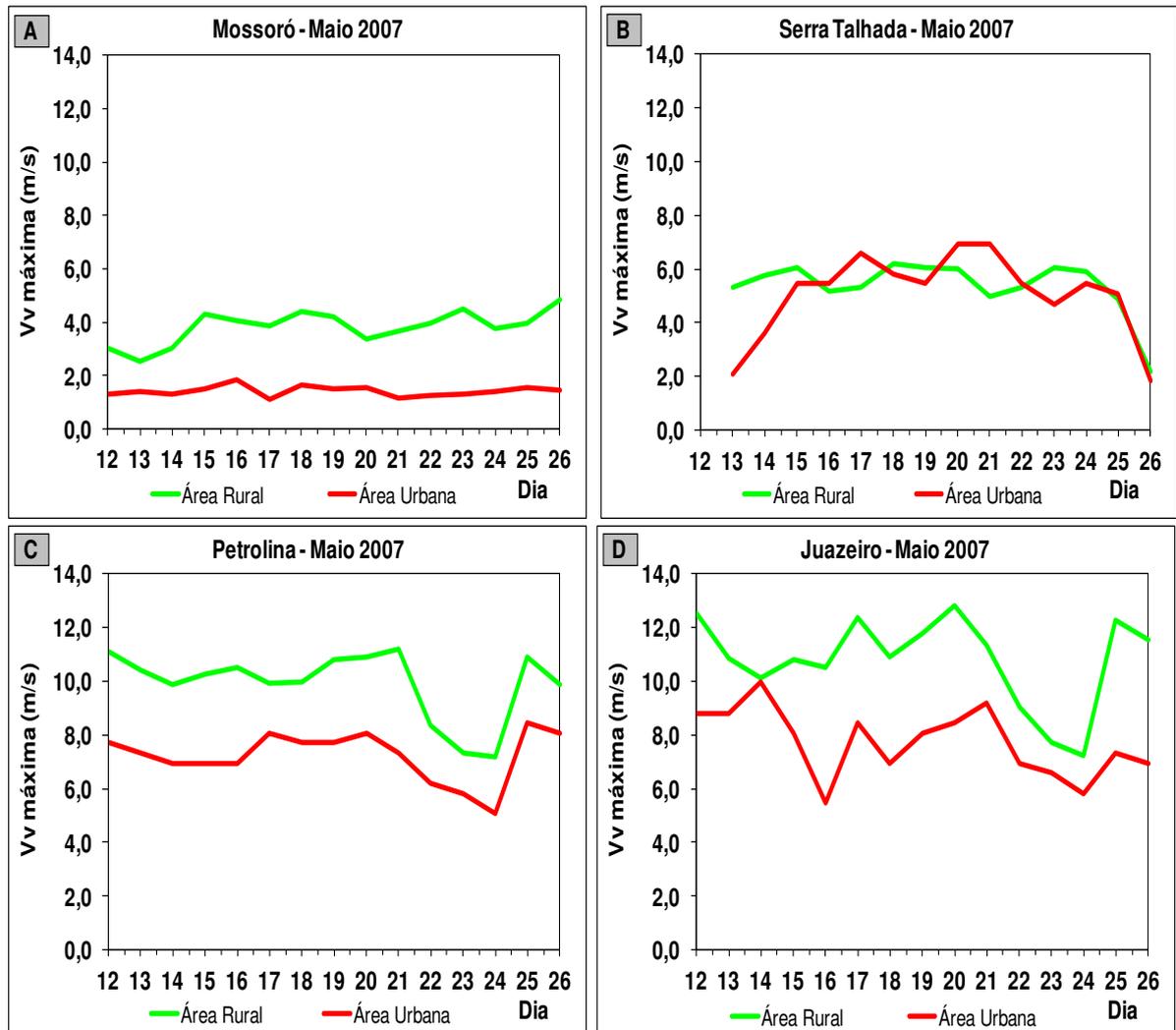
VELOCIDADE DO VENTO (Vv)				
ESTAÇÃO ANALISADA	MÁXIMA			MÉDIA (m/s)
	Média (m/s)	Absoluta (m/s)	Hora Abs.	
Estação 01: Mossoró (Urbana)	1,4	1,9	15:00	0,6
Estação 02: Mossoró (Rural)	3,8	4,8	16:25	1,3
Estação 03: Serra Talhada (Urbana)	5,1	7,0	07:54	0,6
Estação 04: Serra Talhada (Rural)	5,4	6,2	10:43	1,1
Estação 05: Petrolina (Urbana)	7,2	8,5	19:42	1,5
Estação 06: Petrolina (Rural)	9,9	11,2	15:06	3,1
Estação 07: Juazeiro (Urbana)	7,7	10,0	10:55	1,1
Estação 08: Juazeiro (Rural)	10,8	12,8	13:29	3,9

A Figura 30 ilustra o comportamento da velocidade média diária do vento durante o período úmido nas quatro cidades estudadas. Analisando-se as curvas de velocidade média diária do vento verifica-se claramente a ação das estruturas urbanas de todas as cidades bloqueando a circulação do ar e conseqüentemente, contribuindo para o aquecimento intra-urbano. Esta situação aparece de forma acentuada tanto em Petrolina como em Juazeiro, com significativa diferença entre a velocidade do vento observada na área rural e aquela verificada na área urbana, evidenciando como o ambiente urbano dessas cidades influencia negativamente a circulação dos ventos.



**Figura 30** – Valores médios diários da velocidade do vento em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Os valores máximos de velocidade do vento ilustrados pelas curvas da Figura 31 indicam que em Mossoró, Petrolina e Juazeiro ocorreu a mesma situação descrita anteriormente, ou seja, as velocidades máximas nas áreas rurais foram superiores às daquelas de suas respectivas áreas urbanas. Entretanto, em Serra Talhada observa-se, em alguns dias, a ocorrência de rajadas de vento na área urbana superiores às registradas na área rural, possivelmente devido à localização da estação micrometeorológica na área urbana em uma avenida larga, que canalizou o fluxo de ar. A velocidade do vento atua em conjunto com a umidade relativa e a temperatura do ar no conforto térmico humano, resfriando ou aquecendo o corpo, denotando estreita relação entre essas variáveis.



**Figura 31** – Valores diários da velocidade do vento máxima em áreas rural e urbana no período úmido (Maio/2007): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

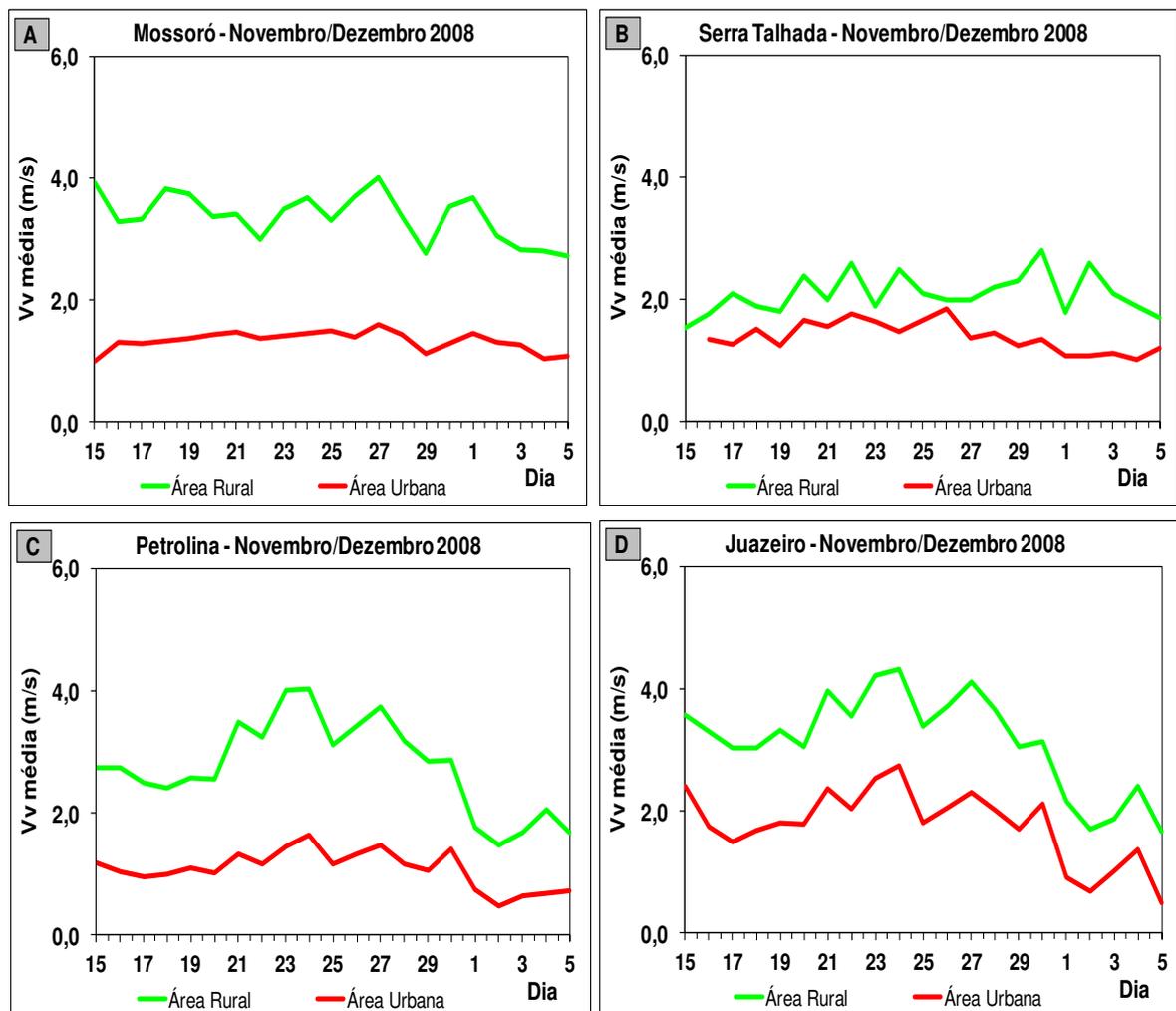
#### 4.1.5.2. Período seco

Os resultados obtidos para a velocidade do vento no período seco estão sumarizados na Tabela 11, onde se observa que a área urbana de Petrolina apresentou a velocidade média mais baixa (1,1 m/s), enquanto que a área rural de Mossoró apresentou a média mais alta (3,4 m/s). Fica evidente que a área rural de todos os municípios apresentou velocidade média do vento superior a sua respectiva área urbana, ressaltando assim, a influência das estruturas urbanas sobre esta variável. Ou seja, a morfologia das cidades em termos de densidade de construções, afetam além do padrão de aquecimento, a movimentação do ar no nível das ruas (GRIMMOND, 2007) e que a intensidade das ilhas de calor diminui com o aumento da velocidade do vento e cobertura de nuvens (RUNNALS & OKE, 2000).

**Tabela 11** – Velocidade do vento: máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média no período seco.

VELOCIDADE DO VENTO (Vv)				
ESTAÇÃO ANALISADA	MÁXIMA			MÉDIA (m/s)
	Média (m/s)	Absoluta (m/s)	Hora Abs.	
Estação 01: Mossoró (Urbana)	7,1	8,8	14:51	1,3
Estação 02: Mossoró (Rural)	7,5	8,8	08:18	3,4
Estação 03: Serra Talhada (Urbana)	6,9	8,5	07:49	1,4
Estação 04: Serra Talhada (Rural)	7,8	9,3	06:45	2,1
Estação 05: Petrolina (Urbana)	7,0	10,3	18:55	1,1
Estação 06: Petrolina (Rural)	10,2	13,0	20:41	2,8
Estação 07: Juazeiro (Urbana)	7,8	10,7	13:41	1,8
Estação 08: Juazeiro (Rural)	10,9	14,7	12:13	3,2

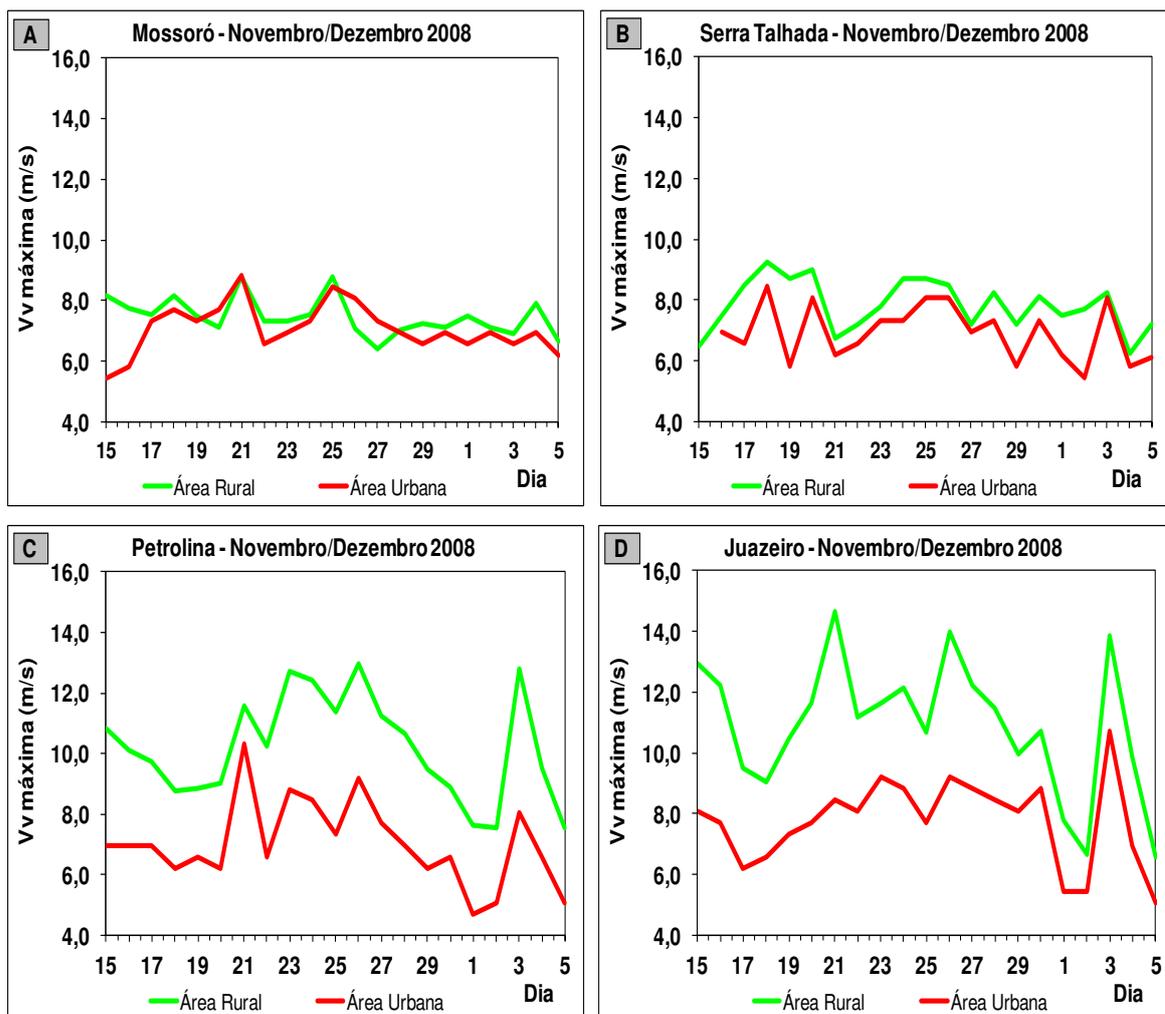
A Figura 32 ilustra o comportamento da velocidade média diária do vento durante o período seco nas quatro cidades estudadas.



**Figura 32** – Valores médios diários da velocidade do vento em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

Analisando as curvas de velocidade média diária do vento na Figura 32, verifica-se claramente a ação das estruturas urbanas de todas as cidades bloqueando a circulação do ar e conseqüentemente, contribuindo para o aquecimento intra-urbano. Esta situação ocorreu de forma acentuada tanto em Petrolina como em Juazeiro, com significativa diferença entre a velocidade do vento observada na área rural e aquela da área urbana, evidenciando que o ambiente urbano influencia negativamente a circulação do ar.

Os valores máximos de velocidade do vento ilustrados na Figura 33 indicam que em Serra Talhada, Petrolina e Juazeiro ocorreu a mesma situação descrita anteriormente, ou seja, as velocidades máximas nas áreas rurais foram superiores às de suas respectivas áreas urbanas. Entretanto, em Mossoró observa-se, em alguns dias, a ocorrência de rajadas de vento na área urbana superiores às registradas na área rural.



**Figura 33** – Valores diários da velocidade do vento máxima em áreas rural e urbana no período seco (Novembro/Dezembro 2008): (A) Mossoró; (B) Serra Talhada; (C) Petrolina e (D) Juazeiro.

#### 4.1.6. Avaliação térmica

Com o objetivo de avaliar as características térmicas das cidades do semiárido estudadas, foi calculado o índice de desconforto térmico de Thom (IDT) individualmente para cada localidade e em cada período de estudo. Para tanto, foram tomados como base dados médios de temperatura do ar ( $T_{ar\text{média}}$ ) e umidade relativa do ar ( $UR_{\text{média}}$ ) obtidos nos experimentos de campo, aplicando a equação proposta por Thom em sua forma original e a correspondente classificação térmica conforme metodologia já descrita.

##### 4.1.6.1. Período úmido

Na Tabela 12 constata-se que os resultados obtidos para o IDT durante o período úmido indicaram uma condição *desconfortável de calor* (maior ou igual a 26,5 °C) em Mossoró nos dias 15 e 23/05/07 (área rural) e no dia 25/05/07 (área urbana). Os demais resultados indicam uma condição de *conforto parcial* (entre 20,0 e 26,4 °C) para todas as áreas pesquisadas. Os valores médios não evidenciaram conforto térmico (entre 15,0 e 19,9 °C) em nenhum dos dias do período analisado. Ressalte-se que os dados da Tabela 12, por serem médias diárias não servem como indicativos definitivos de situação de conforto ou desconforto térmico.

**Tabela 12** – Avaliação térmica durante o período úmido.

		ÍNDICE DE DESCONFORTO TÉRMICO (IDT)														
DATA		12/05/07	13/05/07	14/05/07	15/05/07	16/05/07	17/05/07	18/05/07	19/05/07	20/05/07	21/05/07	22/05/07	23/05/07	24/05/07	25/05/07	26/05/07
LOCAL																
Estação 01:																
Mossoró (Urbana)		25,7	26,0	25,7	25,6	25,8	25,9	26,2	25,5	26,1	25,7	26,0	26,3	26,2	26,5	26,0
Estação 02:																
Mossoró (Rural)		26,1	26,6	26,2	26,5	26,0	26,1	26,3	26,0	26,4	25,8	25,9	26,6	26,4	26,1	26,1
Estação 03:																
Serra Talhada (Urbana)	-	23,1	23,5	24,9	24,9	23,8	24,0	24,2	23,6	23,3	23,6	24,2	24,3	24,8	24,5	
Estação 04:																
Serra Talhada (Rural)	-	22,6	21,8	22,3	22,6	23,6	23,8	22,8	22,9	23,0	22,6	22,3	22,5	22,9	23,5	
Estação 05:																
Petrolina (Urbana)		23,0	24,1	24,0	25,1	25,1	24,8	24,3	24,3	24,5	23,9	23,6	24,8	24,6	25,5	24,7
Estação 06:																
Petrolina (Rural)		22,1	23,1	23,0	24,1	24,1	23,7	23,2	23,2	23,3	22,9	22,4	23,2	22,9	24,0	23,5
Estação 07:																
Juazeiro (Urbana)		22,2	23,5	23,5	24,4	23,8	24,1	23,7	23,7	23,8	23,3	23,0	24,2	24,3	25,0	24,1
Estação 08:																
Juazeiro (Rural)		22,2	23,2	23,1	24,0	24,1	23,8	23,3	23,3	23,4	23,0	22,6	23,7	23,8	24,7	23,7

#### 4.1.6.2. Período seco

Na Tabela 13 os resultados obtidos para o IDT durante o período seco indicaram uma condição de *conforto parcial* (entre 20,0 e 26,4 °C) para todas as áreas pesquisadas. Os valores médios não evidenciaram desconforto e/ou conforto térmico em nenhum dos dias do período analisado. Ressalte-se que os dados da Tabela 13 por serem médias diárias, da mesma forma que os dados da Tabela 12, não servem como indicativo definitivo de situação de conforto ou desconforto térmico.

**Tabela 13** – Avaliação térmica durante o período seco.

		ÍNDICE DE DESCONFORTO TÉRMICO (IDT)																					
DATA		15/11/2008	16/11/2008	17/11/2008	18/11/2008	19/11/2008	20/11/2008	21/11/2008	22/11/2008	23/11/2008	24/11/2008	25/11/2008	26/11/2008	27/11/2008	28/11/2008	29/11/2008	30/11/2008	01/12/2008	02/12/2008	03/12/2008	04/12/2008	05/12/2008	
LOCAL																							
Estação 01:		246	256	257	257	257	255	255	257	256	259	262	261	256	258	263	263	260	258	256	262		
Mossoró (Urbana)																							
Estação 02:		254	251	251	252	251	249	249	252	251	254	257	258	250	252	258	258	254	252	249	255		
Mossoró (Rural)																							
Estação 03: Serra		-	248	254	242	259	256	244	244	241	246	250	252	249	248	245	256	258	250	241	257	255	
Talhada (Urbana)																							
Estação 04: Serra		246	252	257	252	253	255	252	242	248	250	256	251	253	243	248	256	259	259	249	263	261	
Talhada (Rural)																							
Estação 05:		251	247	251	250	252	258	256	253	249	245	241	252	255	247	249	247	259	253	240	248	254	
Petrolina (Urbana)																							
Estação 06:		244	240	242	241	244	252	251	247	245	241	235	246	251	241	243	243	254	248	236	227	249	
Petrolina (Rural)																							
Estação 07:		247	249	239	250	251	259	254	252	248	245	242	251	254	248	250	246	259	253	241	231	255	
Juazeiro (Urbana)																							
Estação 08:		249	244	247	246	249	256	253	250	246	243	240	249	252	246	246	245	257	251	239	231	253	
Juazeiro (Rural)																							

Constata-se que nas Tabelas 12 e 13 há poucos registros de situação de desconforto térmico. Entretanto, tal situação decorre do fato de que ao se adotar valores médios de temperatura e umidade relativa do ar no cálculo do IDT com a equação de Thom em sua forma original, pode-se minimizar a real influência dessas variáveis na classificação da condição de conforto térmico.

Nesse sentido, propõe-se utilizar os valores de temperatura máxima e umidade mínima e de temperatura mínima e umidade máxima para determinação de parâmetros derivados do índice de desconforto térmico proposto por Thom, os quais são denominados de IDTx ou IDTm, respectivamente.

## 4.2. Segunda fase

Observar detalhadamente as variáveis que afetam as condições de conforto térmico é essencial para uma investigação mais profunda do clima urbano da cidade. Desse modo, podem-se compreender eventuais alterações nas variáveis meteorológicas provocadas pela urbanização, que por sua vez formam fatores limitantes na produção do conforto térmico no ambiente urbano.

Com o objetivo de aprofundar a análise do conforto térmico em áreas do semiárido, a segunda fase dessa pesquisa ampliou significativamente o período de observação em relação à fase anterior, contemplando o levantamento de dados em duas estações meteorológicas permanentes durante todo o ano de 2012. Conforme definido em Material e Métodos, a primeira estação localiza-se na área urbana de Petrolina e pertence à rede do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, enquanto que a segunda estação fica localizada na área rural do município e pertence à Universidade Federal do Vale do São Francisco – UNIVASF.

Na Tabela 14, observa-se que o valor médio diário da temperatura do ar no ano de 2012 foi de 27,7 °C na área urbana de Petrolina, com mínima absoluta de 17,7 °C e máxima absoluta de 38,0 °C. Na área rural, o valor diário médio da temperatura do ar foi de 26,6 °C, o mínimo absoluto de 14,7 °C e o máximo de 37,4 °C. Constata-se, portanto, que em média, o ambiente urbano no ano de 2012 apresentou temperatura do ar máxima 0,6 °C maior, temperatura mínima 1,4 °C superior e média anual maior 1,1 °C do que suas correspondentes na área rural.

**Tabela 14** – Temperatura do ar: mínima, máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.

TEMPERATURA DO AR (Tar)							
ESTAÇÃO ANALISADA	MÍNIMA			MÁXIMA			MÉDIA (°C)
	Média (°C)	Absoluta (°C)	Hora Abs.	Média (°C)	Absoluta (°C)	Hora Abs.	
Estação 09: Petrolina (UNIVASF - RURAL)	20,9	14,7	06:00	32,8	37,4	15:00	26,6
Estação 10: Petrolina (INMET - URBANA)	22,3	17,7	05:00	33,4	38,0	15:00	27,7

De acordo com os dados da Tabela 15, na área urbana de Petrolina, o valor médio diário da umidade relativa do ar no ano de 2012 foi de 48,3%, a mínima absoluta, 12% e máxima absoluta 90,0%. Na estação da UNIVASF, área rural de Petrolina, o valor diário médio da umidade relativa do ar foi de 27,8%, o mínimo absoluto foi de 11,8% e o máximo foi de 94,0%. Constata-se ainda que, durante o

ano de 2012, em média, na área rural, a umidade máxima foi superior (76,7%) e a umidade mínima foi, em média, mais baixa (27,8%). Um fato que chama a atenção sob o aspecto climático e impactante para a população foi o baixíssimo índice de umidade relativa do ar registrado no dia 13/09/12: 11,8% na área rural e 12% na área urbana.

**Tabela 15** – Umidade relativa do ar: mínima, máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.

UMIDADE RELATIVA DO AR (Tar)							
ESTAÇÃO ANALISADA	MÍNIMA			MÁXIMA			MÉDIA (%)
	Média (%)	Absoluta (%)	Hora Abs.	Média (%)	Absoluta (%)	Hora Abs.	
Estação 09: Petrolina (UNIVASF - RURAL)	27,8	11,8	14:00	76,7	94,0	05:00	51,0
Estação 10: Petrolina (INMET - URBANA)	28,1	12,0	13:00	71,3	90,0	06:00	48,3

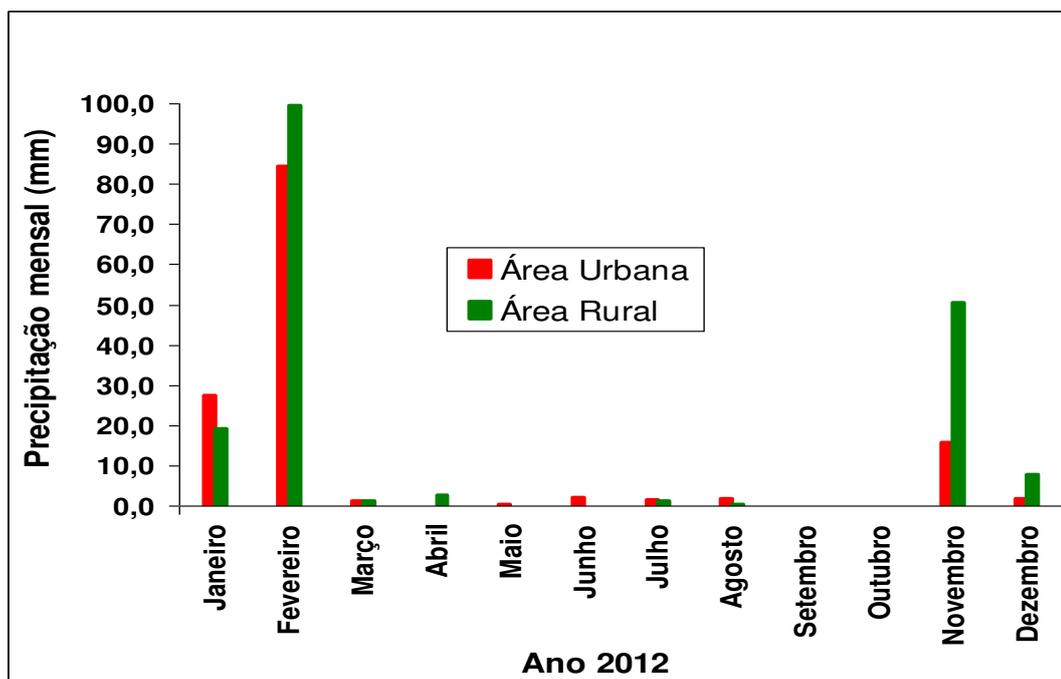
Na Tabela 16, visualiza-se para a área urbana e rural, o valor absoluto com horário de ocorrência e a média para todo o período. Observa-se na tabela que o valor médio diário de velocidade do vento no ano de 2012 foi de 3,7 m/s na área urbana, apresentando rajadas de até 16,6 m/s. Na área rural, o valor diário médio da velocidade do vento foi de 3,9 m/s e as rajadas chegaram até 19,7 m/s. Constata-se ainda que, durante o ano de 2012, em média, a velocidade máxima do vento foi maior na área rural de Petrolina (14,1 m/s).

**Tabela 16** – Velocidade do vento: máxima (valores médios e absolutos com horários de ocorrência) e média geral no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.

VELOCIDADE DO VENTO (Vv)				
ESTAÇÃO ANALISADA	MÁXIMA			MÉDIA (m/s)
	Média (m/s)	Absoluta (m/s)	Hora Abs.	
Estação 09: Petrolina (UNIVASF - RURAL)	14,1	19,7	20:00	3,9
Estação 10: Petrolina (INMET - URBANA)	11,7	16,6	15:00	3,7

Nas tabelas 14, 15 e 16 apresentadas anteriormente, destaque deve ser dado aos valores extremos, uma vez que médias aritméticas anuais representam ponderações de um agrupamento grande de dados e, geralmente, não indicam diferenças significativas. Com o objetivo de melhor avaliar o comportamento das variáveis climáticas durante o ano de 2012, apresenta-se na sequência, gráficos ilustrativos da precipitação pluviométrica, temperatura e umidade relativa do ar (mínima, média e máxima) observadas nas áreas urbana e rural de Petrolina.

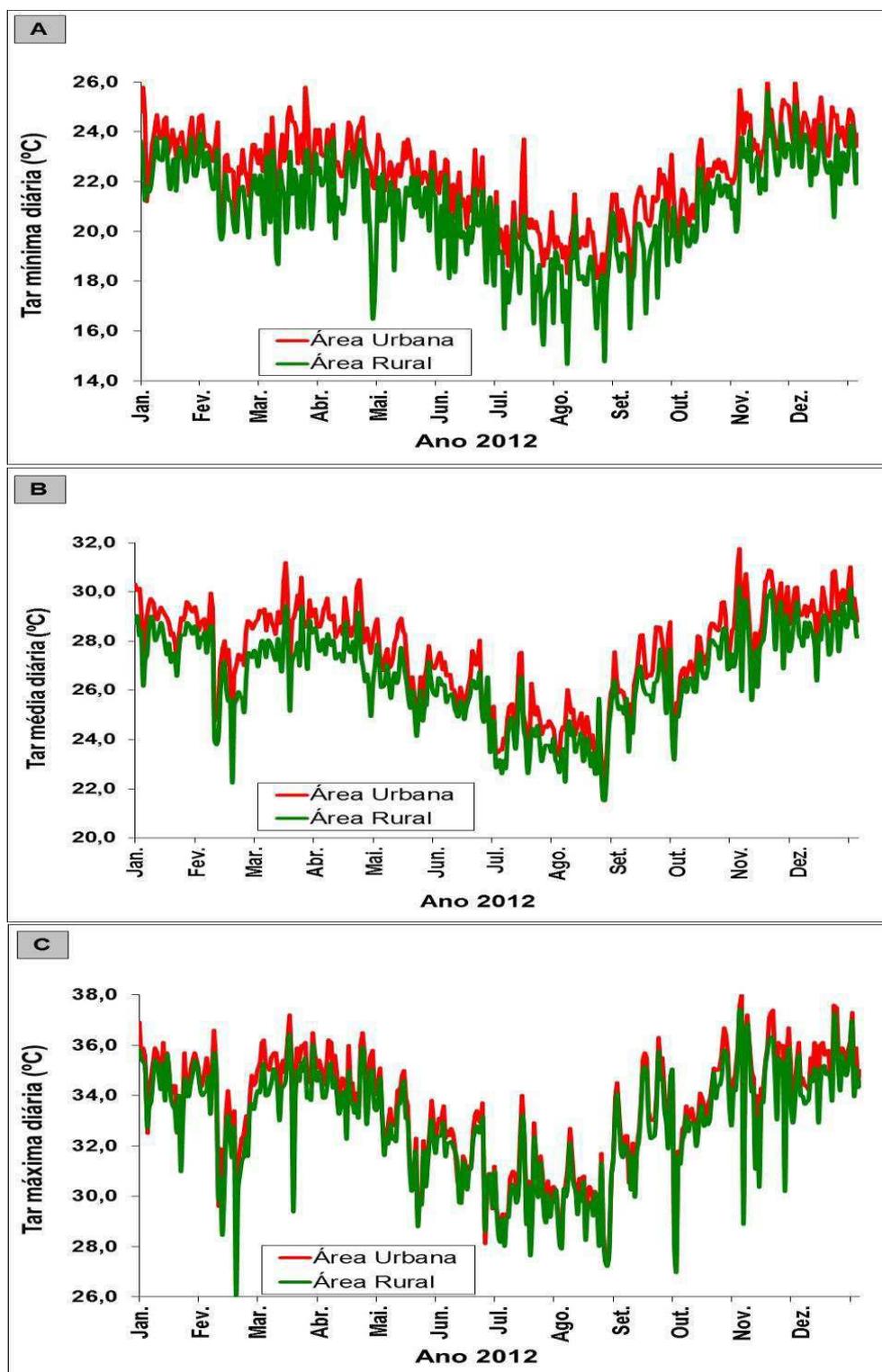
A Figura 34 ilustra a precipitação pluviométrica, destacando-se a irregularidade e a má distribuição das chuvas ao longo do ano, com as precipitações acumuladas na área rural sendo superior às acumuladas no meio urbano: 182 mm na área rural e apenas 135,2 mm na área urbana de Petrolina. Observa-se que a chuva no ano de 2012 foi abaixo da média para a região, fato contribuiu para aumentar o desconforto térmico.



**Figura 34** – Precipitação pluviométrica nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012.

A temperatura do ar observada nas áreas urbana e rural de Petrolina no ano de 2012 é apresentada na Figura 35, onde se verifica que a temperatura do ar mínima (Figura 35A), média (Figura 35B) e máxima (Figura 35C) do ambiente urbano foi mais elevada que as suas correspondentes no ambiente rural praticamente ao longo do ano inteiro, caracterizando a existência de ilhas de calor. Na Figura 35A, observa-se que a temperatura mínima na área rural variou entre 14,7 e 25,5 °C, enquanto que na zona urbana essa variação foi de 17,7 a 26,1 °C. A Figura 35B evidencia que a temperatura média na área rural esteve entre 21,5 e 30,1 °C, enquanto que na área urbana oscilou entre 22,2 e 31,8 °C. Conforme pode ser observado nas Figuras 35A e 35B, os menores valores de temperatura ocorreram no mês de agosto e os maiores em novembro, tanto na área rural quanto na área urbana. A Figura 35C indica que a temperatura máxima da zona rural variou

de 26,0 °C em fevereiro a 37,4 °C em novembro, enquanto a área urbana registrou 27,0° em setembro e 38,0 °C em novembro.



**Figura 35** – Temperatura do ar nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) mínima; (B) média e (C) máxima.

As diferenças entre a temperatura do ar observadas nos dois ambientes pesquisados estão apresentadas na Figura 36 e evidenciam a ocorrência e intensidade de ilhas de calor (IC), de acordo com a metodologia aplicada.

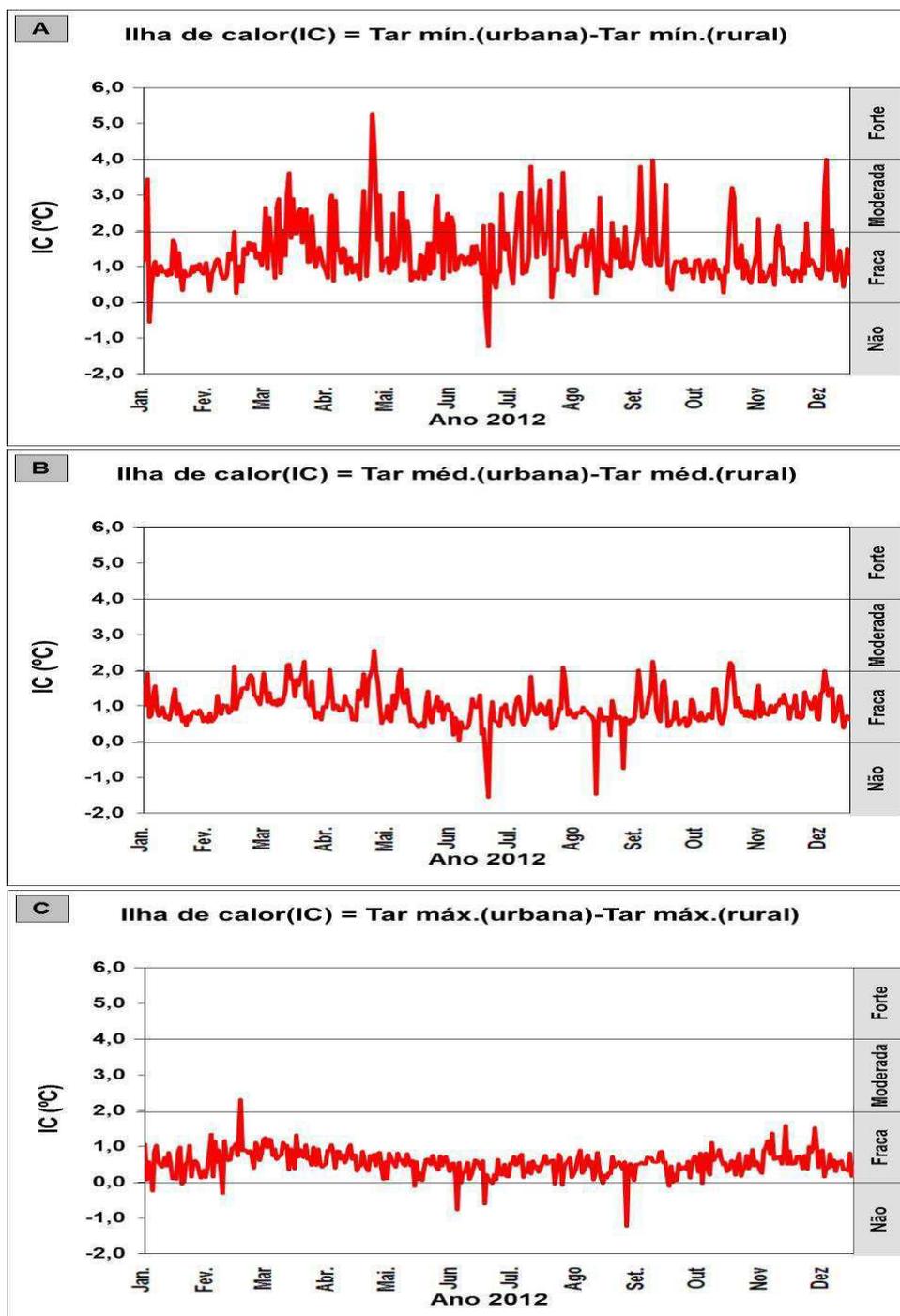
A Figura 36A apresenta o comportamento das ilhas de calor com base na diferença entre a temperatura mínima do ar registrada na área urbana e na área rural, indicando que para essas condições, ocorreram ilhas de calor em quase todos os dias do ano com intensidade variando de fraca a moderada. Particularmente, no dia 28 de abril, ocorreu a maior diferença entre a temperatura mínima do ar da área urbana e da área rural (5,3 °C), caracterizando ocorrência de ilha de calor de forte intensidade.

Na Figura 36B visualiza-se ocorrência de ilha de calor calculada a partir da diferença entre a temperatura média das áreas urbana e rural. Verifica-se que as ilhas de calor no ambiente urbano geralmente foram de fraca intensidade em quase todos os dias do ano. Destaca-se ainda que no dia 29/04 foi registrada a maior diferença entre a temperatura média da área urbana e a da área rural (2,6 °C), caracterizando a ocorrência de ilha de calor com intensidade moderada.

Na Figura 36C é mostrada a ocorrência de ilhas de calor com base na diferença de temperatura máxima do ar registrada nas áreas urbana e rural. Observa-se que no ambiente urbano ocorreram ilhas de calor em quase todos os dias do ano, mas, em geral, de intensidade fraca. No entanto, ressalta-se que houve aquecimento tanto na área urbana quanto na área rural, o que contribuiu para a redução da diferença entre esses dois ambientes. A maior diferença entre a temperatura máxima nos dois ambientes (2,3 °C) foi registrada no dia 19 de fevereiro caracterizando a ocorrência de ilha de calor de intensidade moderada. Dessa forma, os resultados evidenciam a formação de ilhas de calor na área urbana de Petrolina para as três condições de temperatura do ar analisadas (mínima, média e máxima), o que corrobora o seu estudo com base na metodologia proposta.

Segundo Teza & Baptista (2005) o fenômeno ilha de calor não ocorre apenas em metrópoles brasileiras, mas principalmente em áreas urbanas em função da ausência de planejamento e inadequação de materiais construtivos nos espaços urbanos, como observado em Petrolina. Para Gartland (2010), as ilhas de calor são formadas em áreas urbanas porque os materiais de construção normalmente utilizados nessas áreas absorvem e retêm mais calor do sol do que os materiais naturais existentes em áreas rurais.

De acordo com Costa et al. (2009) as áreas urbanas das cidades vêm sofrendo as consequências negativas dos desequilíbrios ambientais, materializados por meio do excessivo aquecimento de seus espaços, o que tem provocado desconforto térmico às suas populações, como as ilhas de calor na zona urbana de Ilha Solteira-SP, com intensidade semelhante às observadas em Petrolina.



**Figura 36** – Ocorrência e intensidade diária de ilhas de calor em Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) Tar mínima; (B) Tar média e (C) Tar máxima.

Na Figura 37 estão apresentadas as curvas de umidade relativa do ar mínima (A), média (B) e máxima (C) nos ambientes urbano e rural de Petrolina ao longo do ano de 2012.

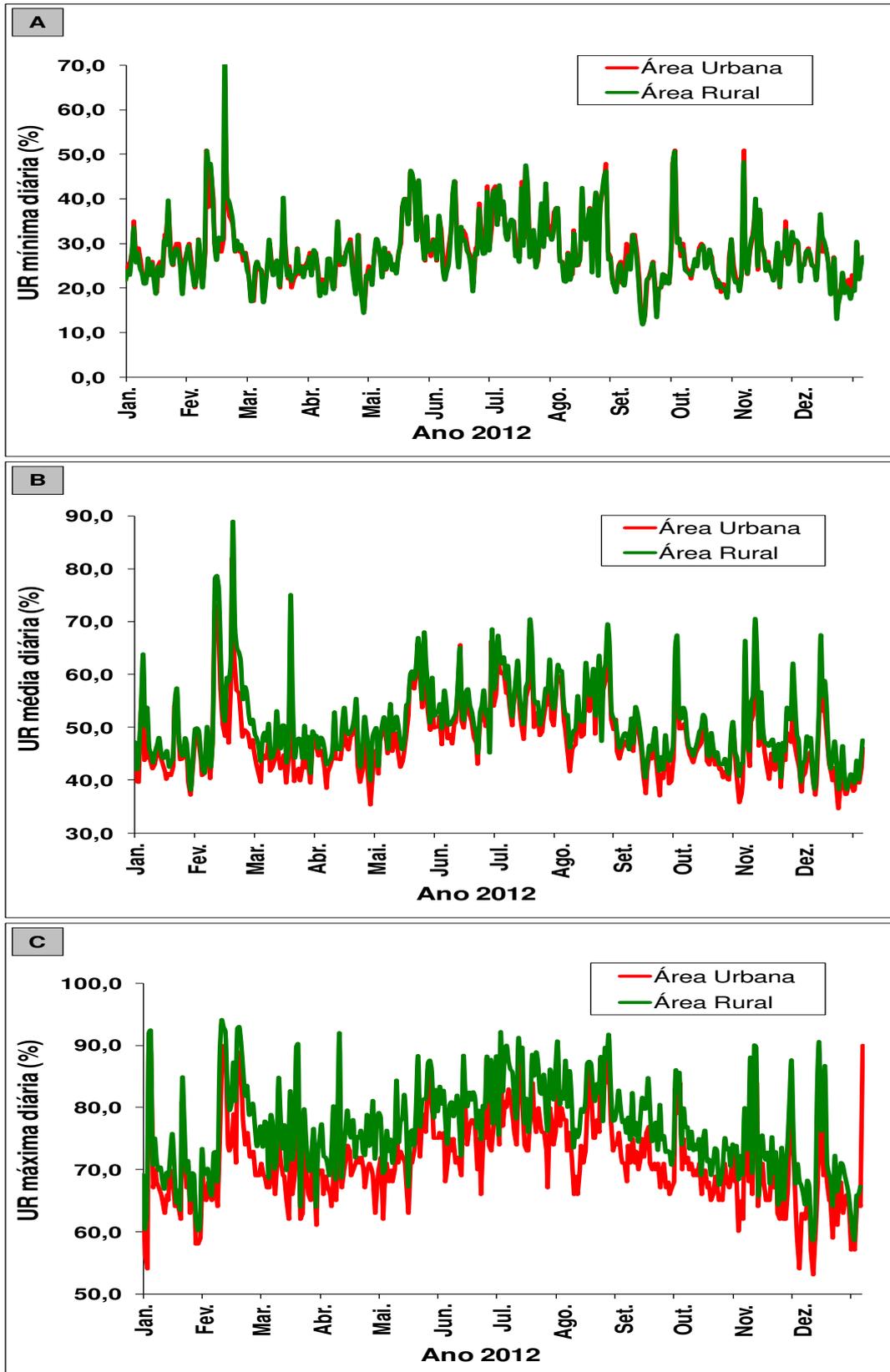
Ao analisar a Figura 37(A), observa-se o comportamento da umidade relativa do ar mínima tanto no ambiente urbano quanto no ambiente rural de Petrolina. Consta-se uma superposição das linhas de cor verde sobre a de cor vermelha denotando que na maioria dos dias, a área rural esteve com umidade mínima do ar mais elevada que a área urbana. Ainda se observa na referida figura diversos dias com umidade relativa abaixo dos 20%, chegando a atingir 11,8% na área rural. Chama-se a atenção para uma sequência de umidade relativa mínima do ar extremamente baixa nos dias 12, 13 e 14 de setembro, cujos valores caíram para, 17%, 12% e 14%, respectivamente, situação muito incômoda em uma área urbana com grande concentração de pessoas.

Na Figura 37(B), observa-se a umidade relativa do ar média em cada ambiente pesquisado. Verifica-se que em média, o ambiente urbano apresentou os índices mais baixos, enquanto que o ambiente rural apresentou os mais altos. Vê-se ainda que, mesmo em termos médios, a umidade relativa esteve, em alguns dias, abaixo de 40% nos meses de fevereiro, abril, setembro, outubro, novembro e dezembro, condição essa que impacta diretamente no conforto térmico.

A Figura 37(C) ilustra o comportamento da umidade relativa do ar máxima ao longo do ano de 2012. Pode-se constatar na figura que a umidade máxima esteve sempre acima de 50%, tanto na área urbana quanto na área rural. Observa-se ainda que no período analisado, a área rural se apresentou mais úmida que a área urbana.

Em síntese, pode-se afirmar que a umidade relativa do ar mínima esteve muito próxima tanto na área rural quanto na área urbana. Entretanto, em relação ao comportamento da umidade relativa do ar média e máxima, observa-se que o ambiente citadino apresentou-se, em geral, menos úmido.

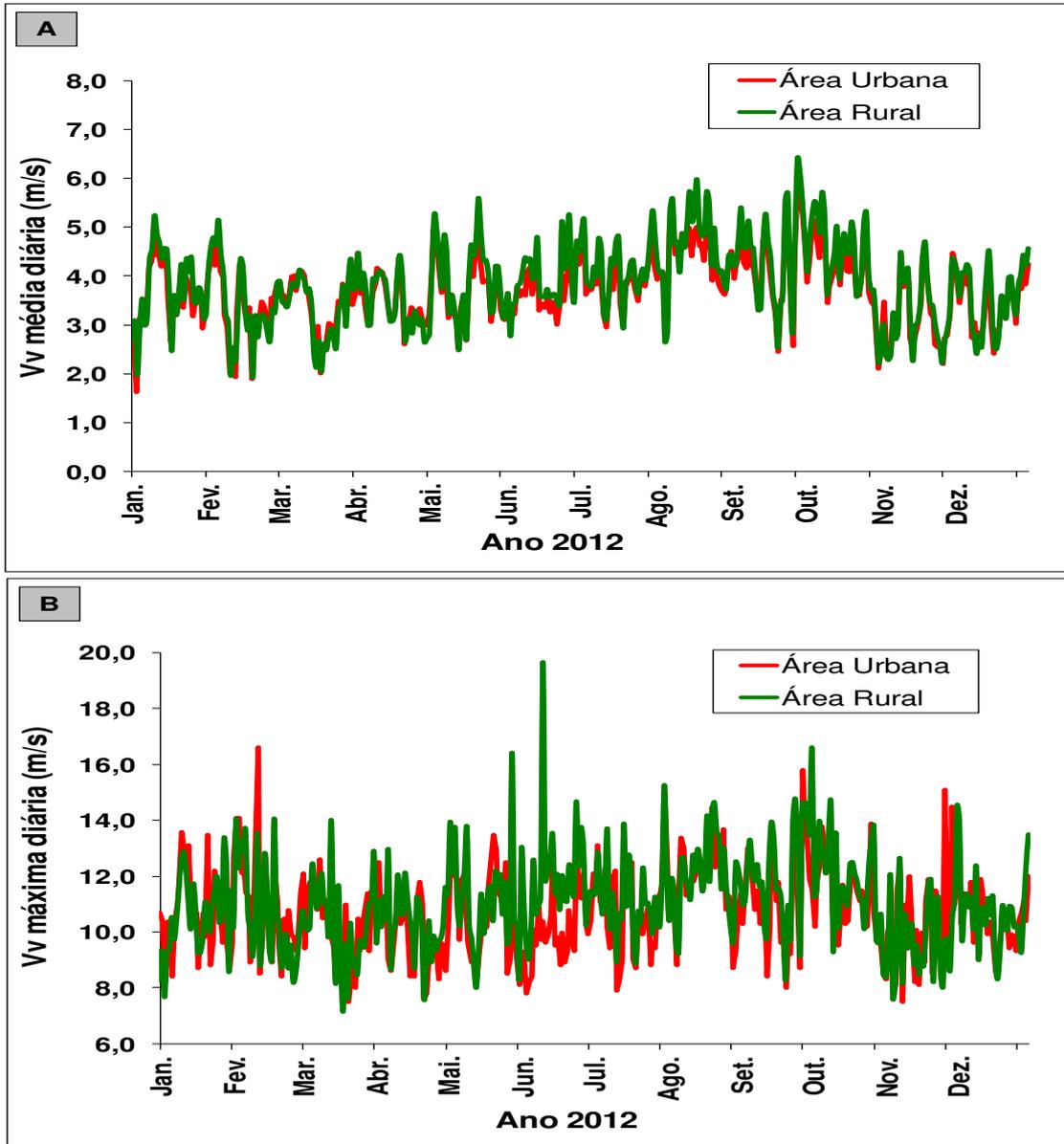
Tais constatações são relevantes do ponto de vista social pelo fato da cidade se constituir num espaço de concentração e circulação da maioria das pessoas durante todo o ano que dependem de serviços dos mais variados possíveis, como comércio, saúde e banco, por exemplo.



**Figura 37** – Umidade relativa do ar nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) URmínima; (B) URmédia e (C) URmáxima.

O comportamento da velocidade do vento (média e máxima) está ilustrado na Figura 38. Ao analisar as curvas da Figura 38(A) constata-se que, na maioria dos

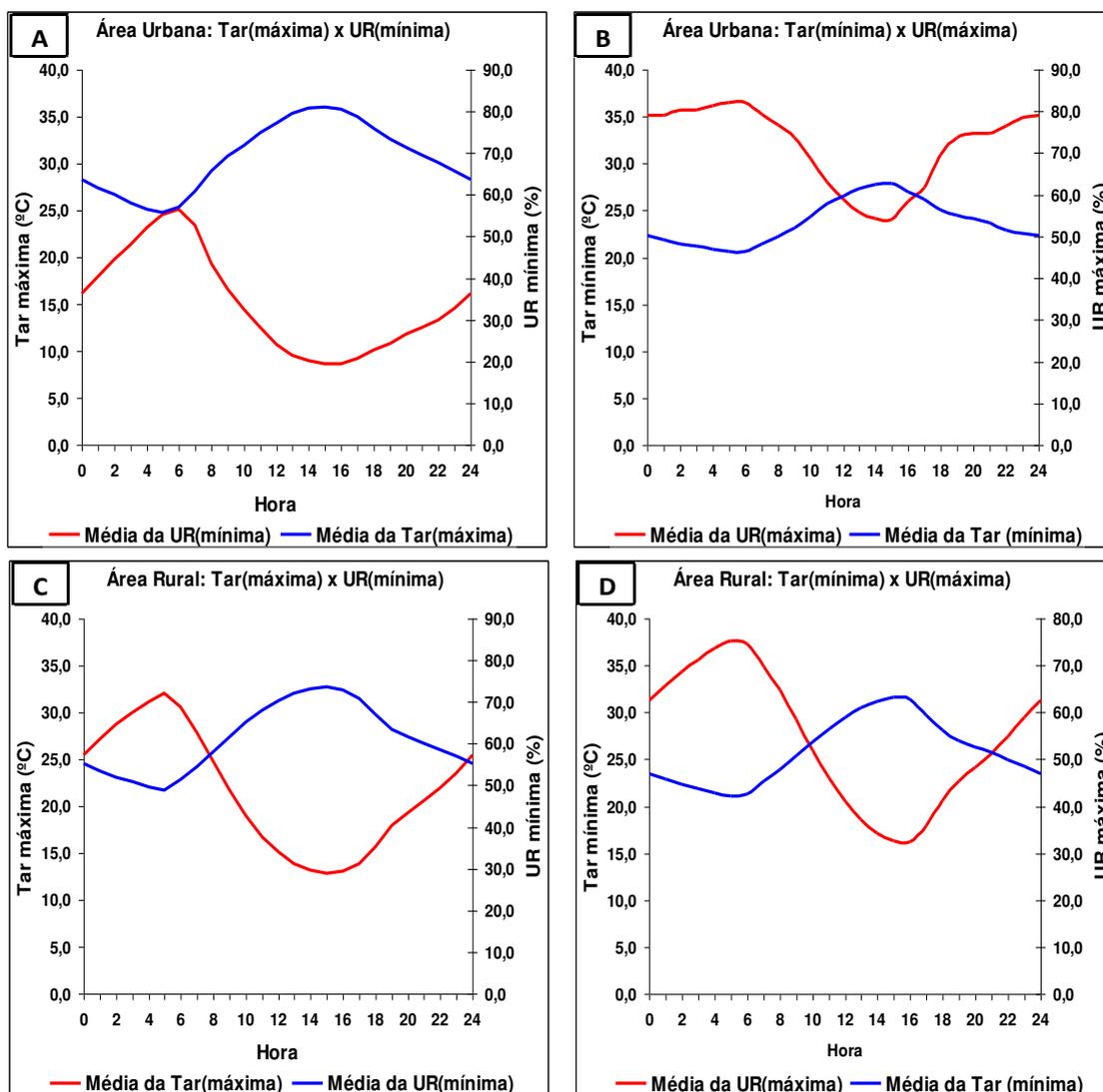
dias de 2012, o ambiente rural apresentou velocidade do vento superior em comparação com o ambiente urbano, ratificando a dificuldade que o ambiente citadino impõe à circulação dos ventos, notadamente devido à concentração de construções altas que bloqueia a passagem do ar. Analisando a Figura 38(B), verifica-se que em termos de velocidade máxima, na grande maioria dos dias, as maiores rajadas de vento também ocorreram na área rural, observando-se situação contrária apenas pontualmente em alguns dias isolados.



**Figura 38** – Velocidade do vento nas áreas rural e urbana de Petrolina-PE no período de 01/01/2012 a 31/12/2012: (A) média e (B) máxima.

Ao analisar mais detalhadamente as curvas de temperatura e umidade relativa do ar em Petrolina, constata-se que as temperaturas máximas do ar ocorreram em horários muito próximos aos de ocorrência da umidade relativa mínima e vice-versa,

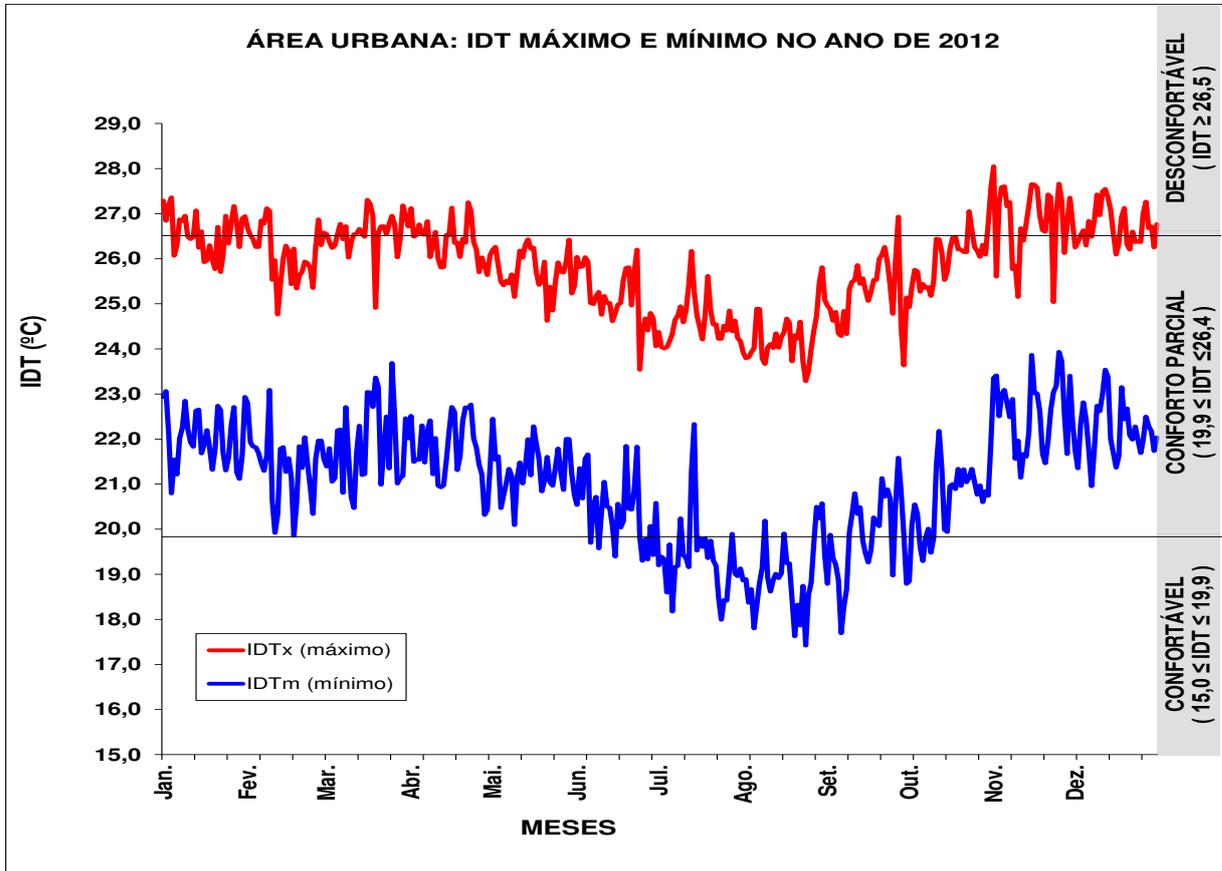
indicando que há uma relação inversa entre essas variáveis, conforme está ilustrado nas Figuras 39A, 39B, 39C e 39D.



**Figura 39** – Valores médios horários da temperatura e umidade relativa do ar no ano de 2012: (A) e (B) na área urbana; (C) e (D) na área rural de Petrolina-PE.

Nas Figuras 40 e 41 são apresentados IDTx e IDTm para as áreas urbana e rural de Petrolina. Verifica-se que o IDTx para a área urbana (Figura 40) apresenta conforto térmico parcial no período final de abril a início de outubro. Entretanto, os períodos de janeiro a março e de novembro a dezembro foram caracterizados pelo desconforto térmico. Verifica-se ainda que o IDTm da área urbana, na maioria dos dias, apresentou condição de conforto térmico parcial; mesmo considerado o cálculo do índice de desconforto térmico com valores mínimos da temperatura do ar, o período de conforto térmico ficou limitado ao final de junho e início de outubro. Os resultados obtidos para o IDTm na área urbana indicam que 23,0% dos dias foram confortáveis e 77,0% dos dias tiveram conforto parcial, ou seja, nenhum dia

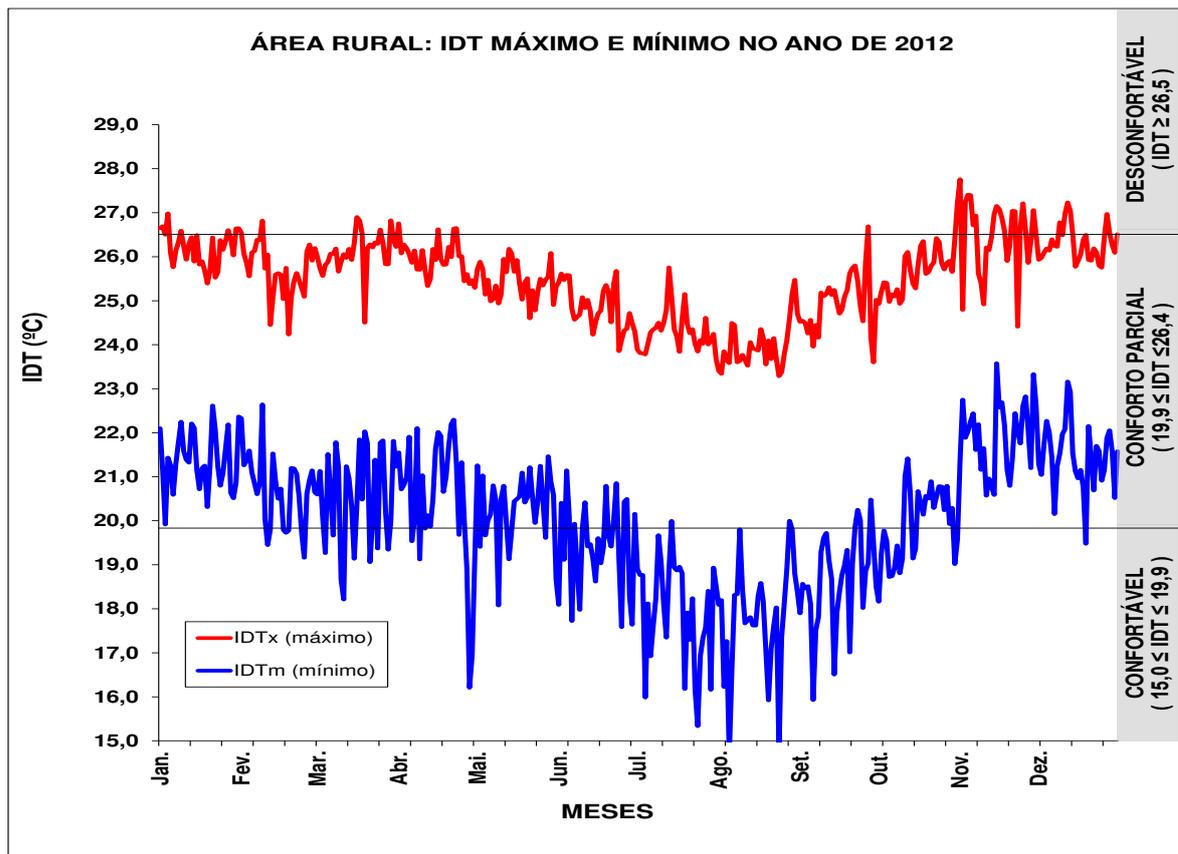
apresentou desconforto térmico. Em contrapartida, os resultados obtidos do IDTx (característico do turno da tarde), mostram que 71,6% dos dias tiveram conforto parcial e 28,4% dos dias foram termicamente desconfortáveis, ou seja, em nenhum dia houve conforto térmico.



**Figura 40** – Índice de desconforto térmico máximo (IDTx) e mínimo (IDTm) na área urbana de Petrolina-PE no ano de 2012.

Analisando os índices de desconforto térmico máximo e mínimo para a área rural de Petrolina (Figura 41) constata-se a ocorrência de conforto térmico parcial em relação à temperatura máxima (IDTx) na grande maioria dos dias de janeiro a outubro. Contudo, a partir de meados de outubro até dezembro a situação mais típica foi a de desconforto térmico. Observa-se ainda na Figura 41 que de acordo com o índice de conforto térmico com base na temperatura mínima (IDTm), houve conforto parcial na maioria dos dias estudados, enquanto a situação de conforto térmico ficou limitada ao período de junho a outubro. Em resumo, os resultados do IDTm obtidos para a área rural indicam que, no período da manhã, 41,5% dos dias foram confortáveis e 58,5% dos dias tiveram conforto parcial, portanto, em nenhum dia pela manhã houve desconforto térmico.

Em contrapartida, para o turno da tarde, o IDTx indicou que em 87,7% dos dias pesquisados ocorreu conforto parcial e 12,3% dos dias foram termicamente desconfortáveis, não tendo ocorrido condição de conforto térmico em nenhum dia durante o turno da tarde. Os resultados corroboram a efetividade da metodologia aplicada e evidenciam que as características da ocupação do espaço urbano da cidade de Petrolina favorecem a formação de ilhas de calor, a ocorrência de desconforto térmico e reforçam a necessidade de se levar em conta no planejamento da ocupação das cidades a influência dos aspectos climáticos e ambientais, com vistas a garantir melhores condições de vida à população. Da mesma forma, Kithia & Dowling (2010), em estudo realizado na cidade queniana de Mombaça, constataram que vários setores urbanos daquela cidade não consideram os aspectos climáticos em seu planejamento, ignorando as sinergias existentes entre adaptação às alterações climáticas e o desenvolvimento urbano.



**Figura 41** – Índice de desconforto térmico máximo (IDTx) e mínimo (IDTm) na área rural de Petrolina-PE no ano de 2012.

Os resultados obtidos tanto para o IDTx como para o IDTm refletem as diferentes condições térmicas entre os ambientes urbano e rural, indicando a importância de se incluir nas atividades de planejamento de ocupação dos espaços

da cidade o estudo das variáveis climáticas urbanas. Segundo Rannow et al. (2010) o ordenamento do território é considerado como um dos principais instrumentos disponíveis para adaptação às modificações climáticas. Estudo de caso realizado pelos autores na Alemanha identificaram regiões com impactos cumulativos das mudanças climáticas como áreas de pontos de calor (ilhas) que necessitam de ações urgentes para o reordenamento territorial. No entanto, a constatação de fenômenos dessa natureza em metrópoles globais dificulta a viabilização de medidas concretas para a solução dos problemas detectados, uma vez que o processo de urbanização observado nessas cidades está praticamente consolidado.

Diante do exposto, a comparação entre os ambientes urbano e sua circunvizinhança rural, evidencia que a área urbana da cidade de Petrolina – o que pode se estender às demais cidades do semiárido – apresenta alterações em suas variáveis climáticas (temperatura, umidade relativa do ar e velocidade do vento), sobretudo durante o período vespertino, impactando diretamente nas condições térmicas que geram desconforto para a população.

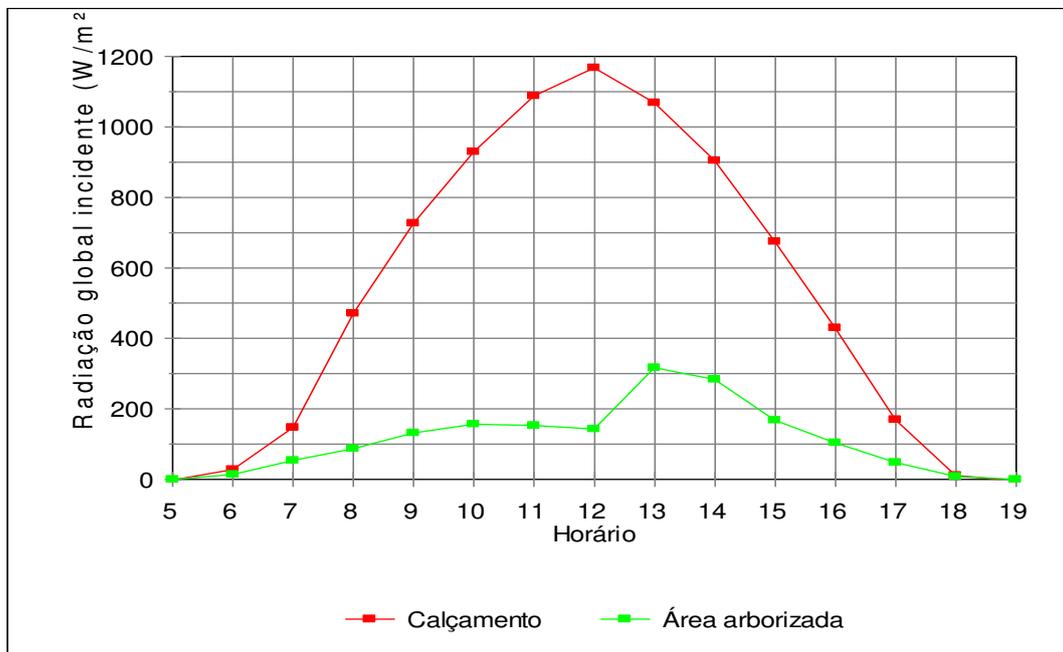
#### **4.3. Terceira fase**

Estudos acerca dos efeitos de áreas vegetadas sobre o clima das cidades são importantes mecanismos para mostrar a importância da arborização do ambiente urbano, pois a presença de árvores nesse ambiente favorece o conforto térmico além de exercer importantes funções paisagísticas e ecológicas. Diante desse contexto, a obtenção de dados comprovando essa realidade será o foco da terceira fase da pesquisa, uma vez que são importantes para chamar a atenção da sociedade e das autoridades governamentais para a adoção de práticas efetivas de arborização das cidades.

No semiárido brasileiro, a grande incidência de radiação solar associada às altas temperaturas, a irregularidade na distribuição das chuvas e elevadas taxas de evaporação contribuem naturalmente para gerar condições climáticas adversas. Conforme já visto nas fases anteriores, esse cenário é potencializado pela infraestrutura urbana e ausência de arborização que tornam os ambientes citadinos desconfortáveis termicamente. Para melhor compreensão do microclima na área pesquisada, apresentam-se na sequência, figuras contendo as curvas representativas das variáveis climáticas estudadas durante essa terceira fase na

área urbana de Juazeiro. Nas fases anteriores dessa pesquisa, ficou evidente a diferença de temperatura entre a área urbana e sua circunvizinhança rural. Contudo, nesta terceira fase, destacam-se as diferenças existentes no interior do próprio ambiente urbano, decorrentes dos materiais utilizados na superfície – com suas características refletivas próprias.

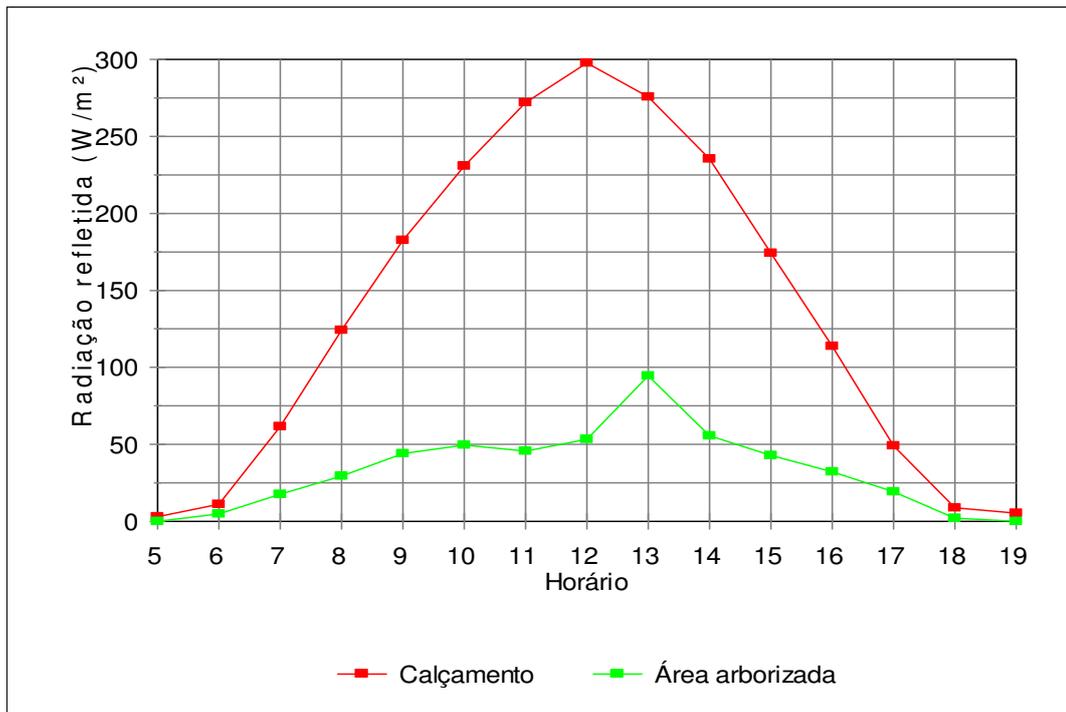
Na Figura 42, visualiza-se a média horária da radiação global incidente na área com calçamento. Analisando a referida figura, observa-se que o sombreamento proporcionado pela arborização foi muito significativo, desde as primeiras horas da manhã até o final da tarde, bloqueando a incidência de radiação global que chegou, ao meio dia, a quase  $1.200 \text{ W/m}^2$  na área a céu aberto. Essa barreira à radiação solar feita pelas árvores gera uma condição muito mais agradável no ambiente sombreado, proporcionando, inclusive, o benefício de redução da temperatura do ar no entorno da área arborizada. Portanto, constatou-se que as árvores contribuíram para a geração de conforto térmico devido ao sombreamento proporcionado por suas copas ter reduzido a incidência de radiação. Nesse sentido, Gartland (2010) afirma que a quantidade de radiação transmitida depende do tipo de árvore, mas geralmente varia entre 6 e 30% no verão e 10 e 80% no inverno.



**Figura 42** – Média horária da radiação global incidente em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

Importante também destacar que a radiação solar ao atingir a superfície terrestre será absorvida ou refletida, em função do material constituinte dessa

superfície. Materiais claros possuem alta refletância solar (como o calçamento) e refletem boa parte da radiação que incide sobre eles, ao passo que as superfícies escuras (como o asfalto) absorvem grande parte da radiação solar incidente. Essa situação pode ser observada na Figura 43, na qual se constata uma grande diferença entre a radiação refletida nos dois ambientes estudados, com área arborizada e gramada apresentando menor reflexão.

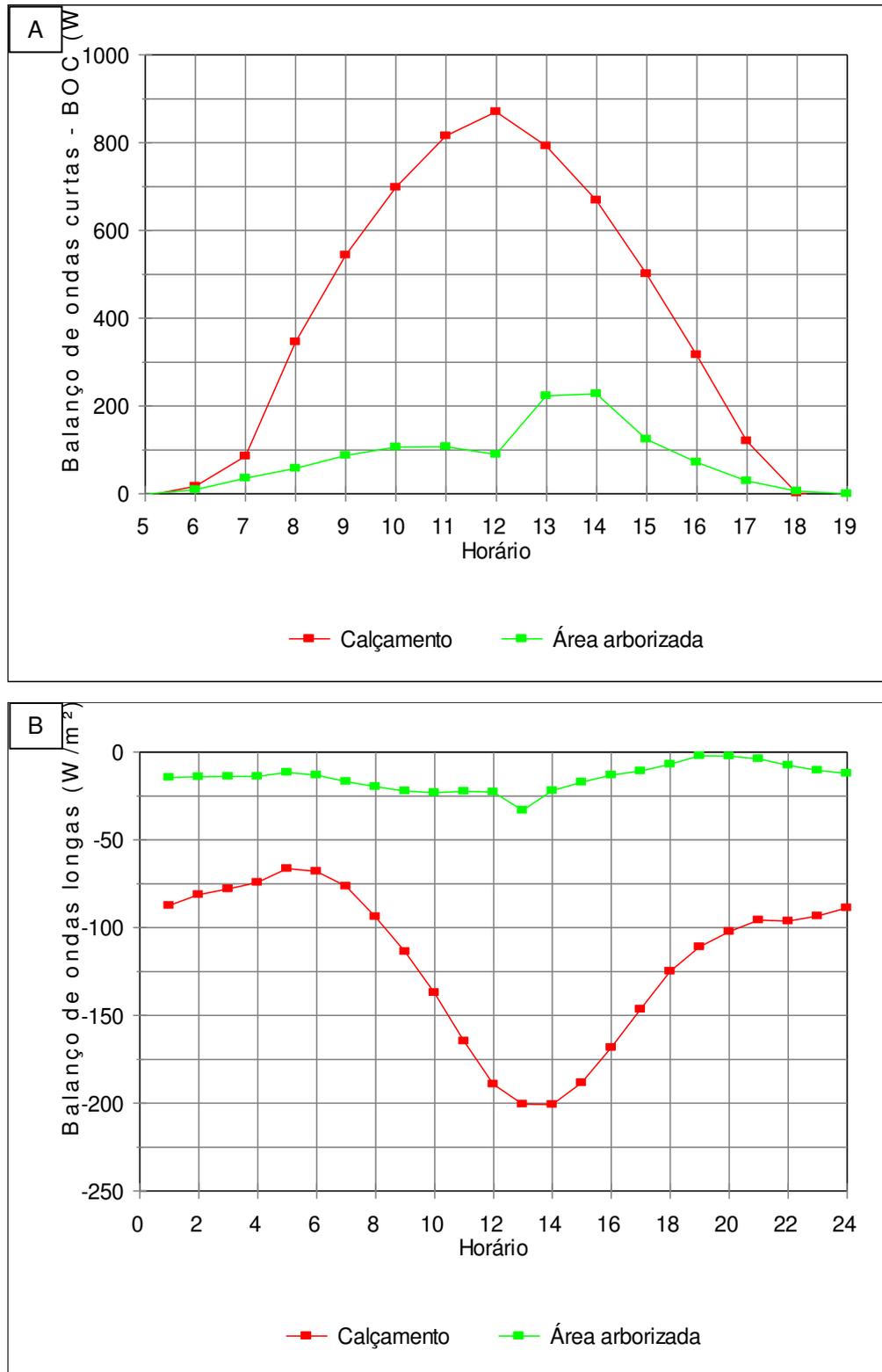


**Figura 43** – Média horária da radiação refletida em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

Estudos sobre radiação solar e terrestre são importantes por ser esta a principal fonte de energia para os processos físicos e biológicos que ocorrem na biosfera. O balanço de radiação se torna útil para saber quanta energia é disponibilizada para tais processos (Galvão & Fisch, 2000).

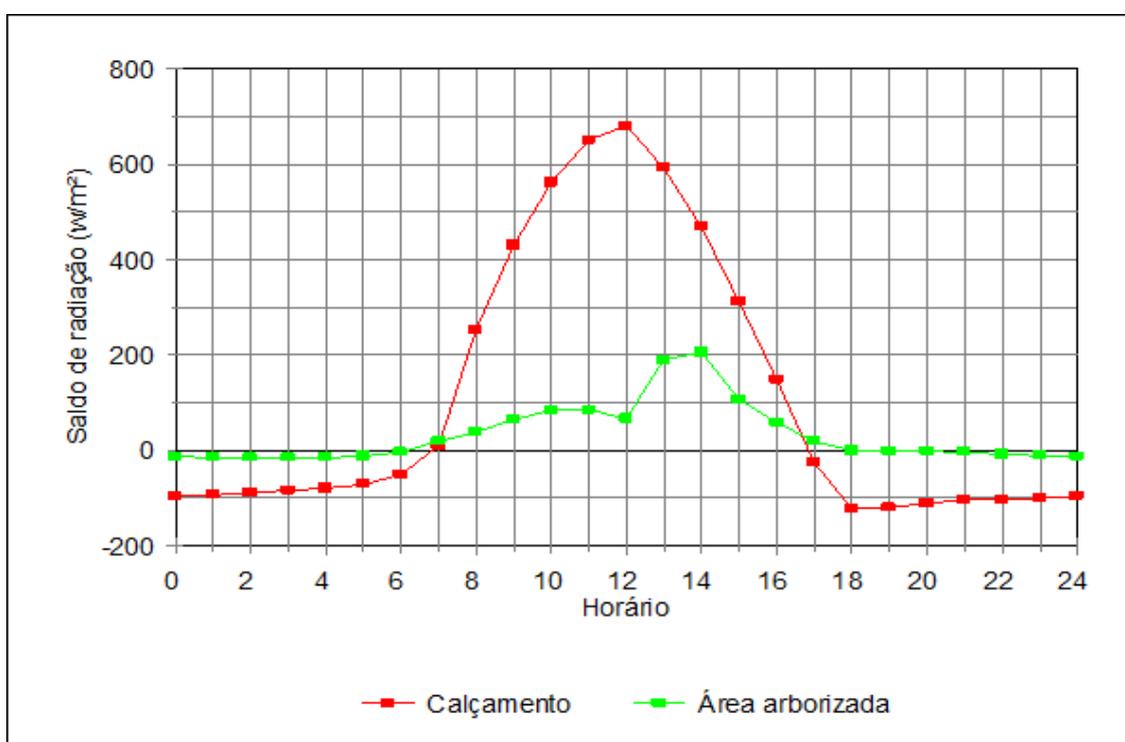
A Figura 44 apresentada a seguir ilustra o Balanço de Ondas Curtas (BOC) e o Balanço de Ondas Longas (BOL) para as áreas estudadas. Na Figura 44-A, são evidentes as diferenças entre as duas áreas, com a área arborizada apresentando sempre um BOC inferior àquele observado na área de calçamento. As observações mostram que as maiores diferenças foram registradas no período entre 10:00h e 12:00h, condição que pode ser atribuída as características de cada área. O Balanço de Ondas Longas representado pela Figura 44-B, indica que a área com calçamento

apresentou valores mais negativos, ou seja, maiores perdas para a atmosfera, com conseqüente aquecimento das camadas adjacentes.



**Figura 44** – (A) Média horária do Balanço de Ondas Curtas; (B) Média horária do Balanço de Ondas Longas em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

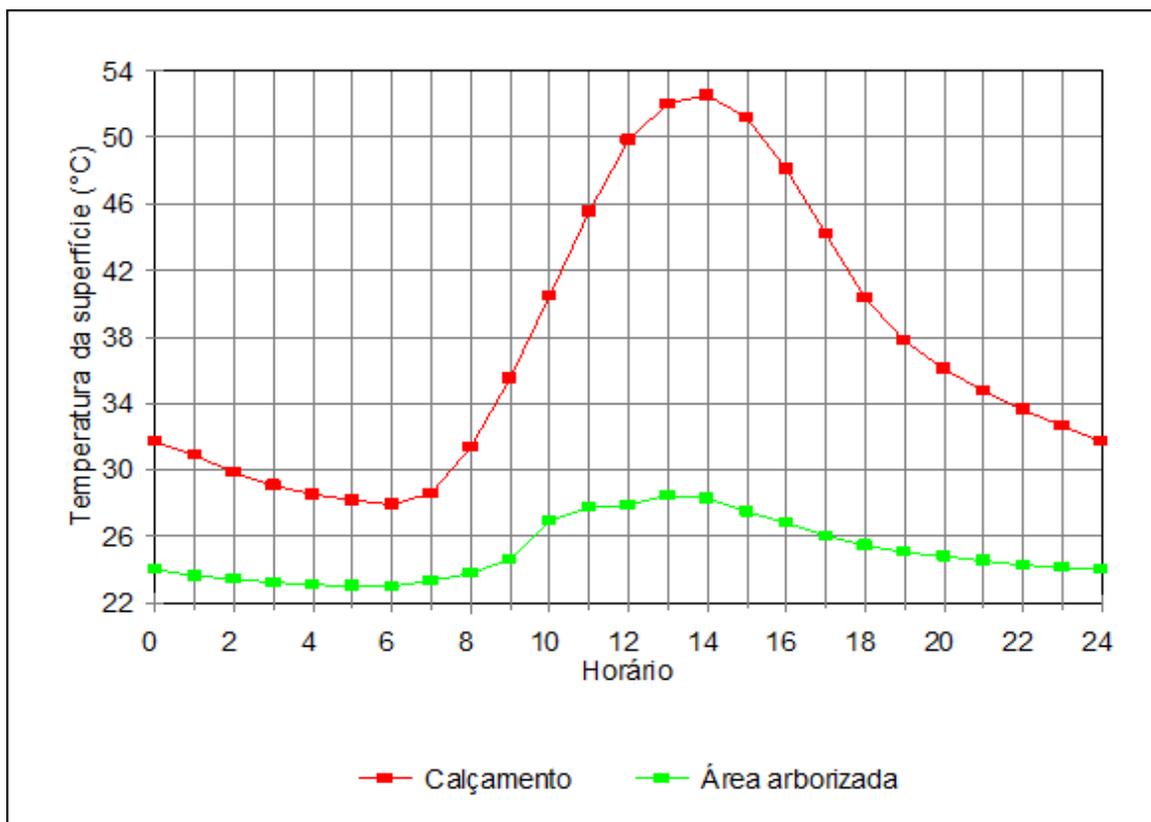
Os resultados obtidos para o saldo de radiação no período estudado estão apresentados na Figura 45. Observa-se que a área arborizada apresenta uma situação onde o saldo de radiação é menor no período entre 7h e 17h. Destaca-se também que, durante no período de 18:00h até as 07:00h da manhã a área de calçamento registrou valores negativos para o saldo de radiação, significando que durante esse período a área a céu aberto continuou transferindo calor da superfície para as camadas imediatamente superiores. Tal condição indica que nas áreas arborizadas as condições de conforto térmico são significativamente melhores do que na área de calçamento, mesmo durante o período noturno e na madrugada.



**Figura 45** – Média horária do saldo de radiação em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

A incidência de radiação solar impacta diretamente na temperatura da superfície, que por convecção aquece o ar adjacente. A Figura 46 ilustra as curvas representativas do comportamento da temperatura à superfície em cada ambiente pesquisado. Constata-se uma grande diferença entre a temperatura da superfície das duas áreas, chegando às 14:00 h a uma diferença aproximada de 23,0 °C entre a superfície com calçamento da área a céu aberto e a superfície gramada da área arborizada, evidenciando o quanto o sombreamento proporcionado pelas árvores reduz as temperaturas das superfícies que estão abaixo delas. Conseqüentemente,

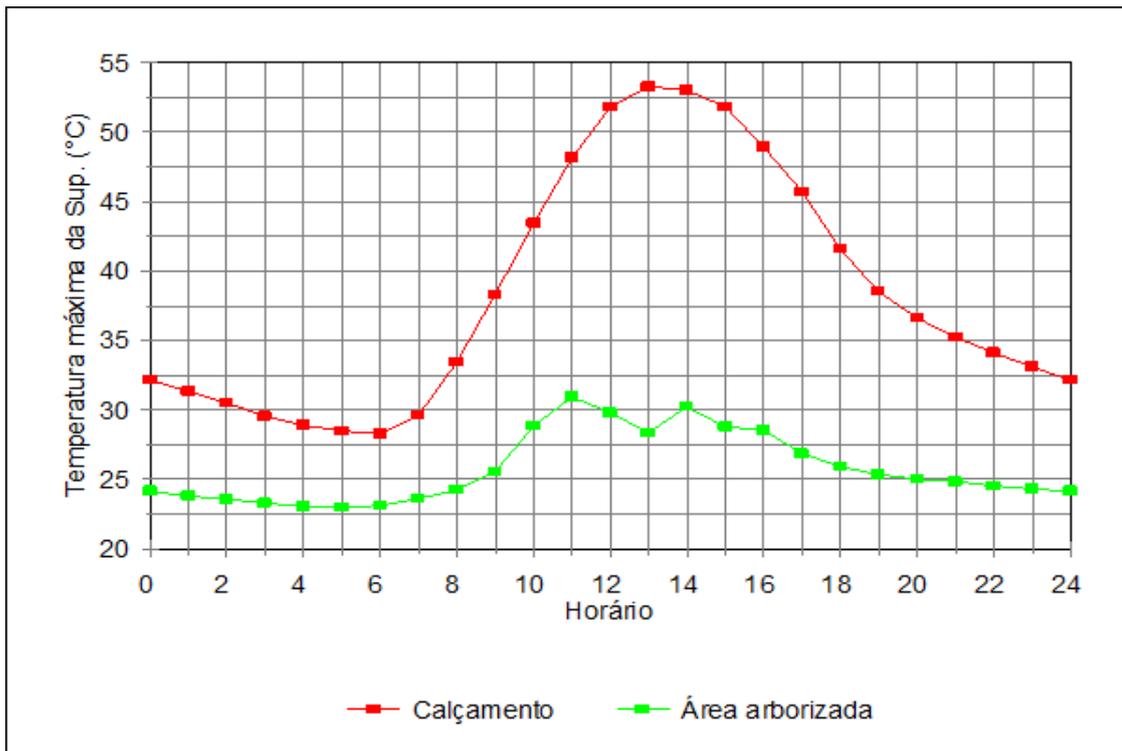
quanto menos quente estiver a superfície, menos calor ela irá transmitir para o ar a sua volta, contribuindo assim para reduzir os efeitos de ilhas de calor. Outros estudos indicam ainda que a temperatura no interior de veículos estacionados foram reduzidas em aproximadamente 25 °C quando o carro estava sombreado por árvores (GARTLAND, 2010).



**Figura 46** – Média horária da temperatura da superfície em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

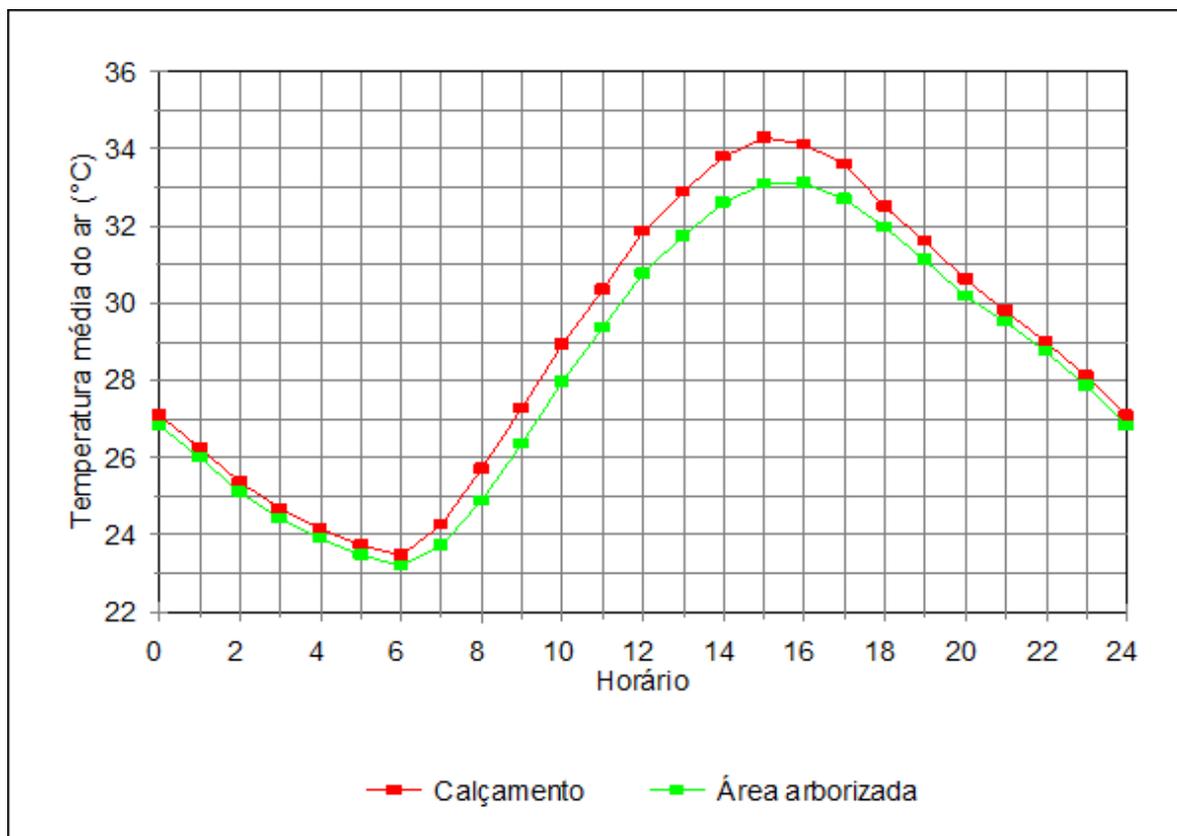
Para aprofundar a análise da evolução da temperatura da superfície nos dois ambientes pesquisados, apresenta-se a seguir, na Figura 47, os valores máximos dessa variável. Observa-se que durante todo o dia, inclusive durante o período noturno e na madrugada, a temperatura da superfície foi muito menor na área gramada e arborizada do que na área a céu aberto.

As diferenças médias registradas foram de até 8 °C durante a madrugada (de 00:00 às 06:00h); 18 °C durante a manhã (06:00 às 12:00); 25 °C durante a tarde (12:00h às 18:00) e de 16 °C durante a noite (18:00h às 24:00) e a maior diferença de temperatura na superfície dos dois ambientes foi de 25 °C às 13:00h. Portanto, constata-se novamente que a arborização proporciona significativa redução na temperatura da superfície, inclusive em seus valores máximos.



**Figura 47** – Temperatura máxima da superfície em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

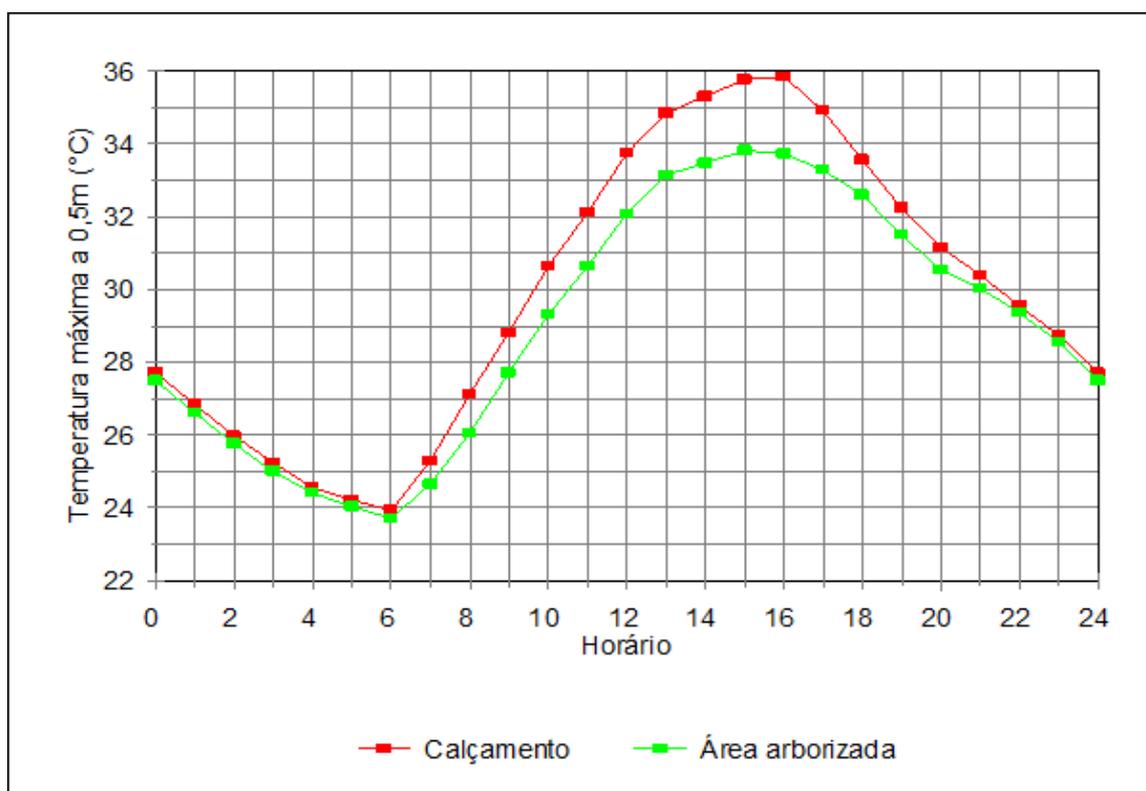
A Figura 48 mostra que a média horária da temperatura do ar na área arborizada esteve sempre mais baixa que na área com calçamento, apresentando no período de 10h às 17h as maiores diferenças. Ou seja, mesmo sendo apenas uma pequena área sombreada para análise, observa-se que a diferença entre os dois ambientes às 15h, horário mais quente do dia, chegou a 1,2 °C. No entanto, é importante ressaltar que mesmo a área sendo sombreada, por ela ser relativamente pequena, sofreu aquecimento por advecção de sua vizinhança calçada com paralelepípedo.



**Figura 48** – Média horária da temperatura do ar a 1,5m de altura em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA, no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

Na Figura 49 visualiza-se a temperatura máxima do ar em área arborizada e com calçamento a 50 cm do solo, altura representativa principalmente para as crianças, os efeitos do sombreamento são ainda mais positivos, uma vez que a diferença entre os dois ambientes analisados chega até 2,0 °C às 15h. Ou seja, na área com calçamento o efeito da radiação incidente é somado ao da radiação refletida, elevando a temperatura e aumentando o desconforto térmico a 50 cm do solo.

Para análise do efeito da vegetação sobre o conforto térmico de áreas pré-determinadas, três índices de conforto e bem-estar foram utilizados em pesquisas realizadas na cidade de Valência, Espanha. Os resultados indicaram claramente a diferença de desempenho entre as áreas com e sem jardins, ruas, com e sem árvores, e que a correlação entre conforto térmico urbano e a existência de zonas verdes é proporcional ao tamanho da área arborizada (GOMÉZ et al., 2001).

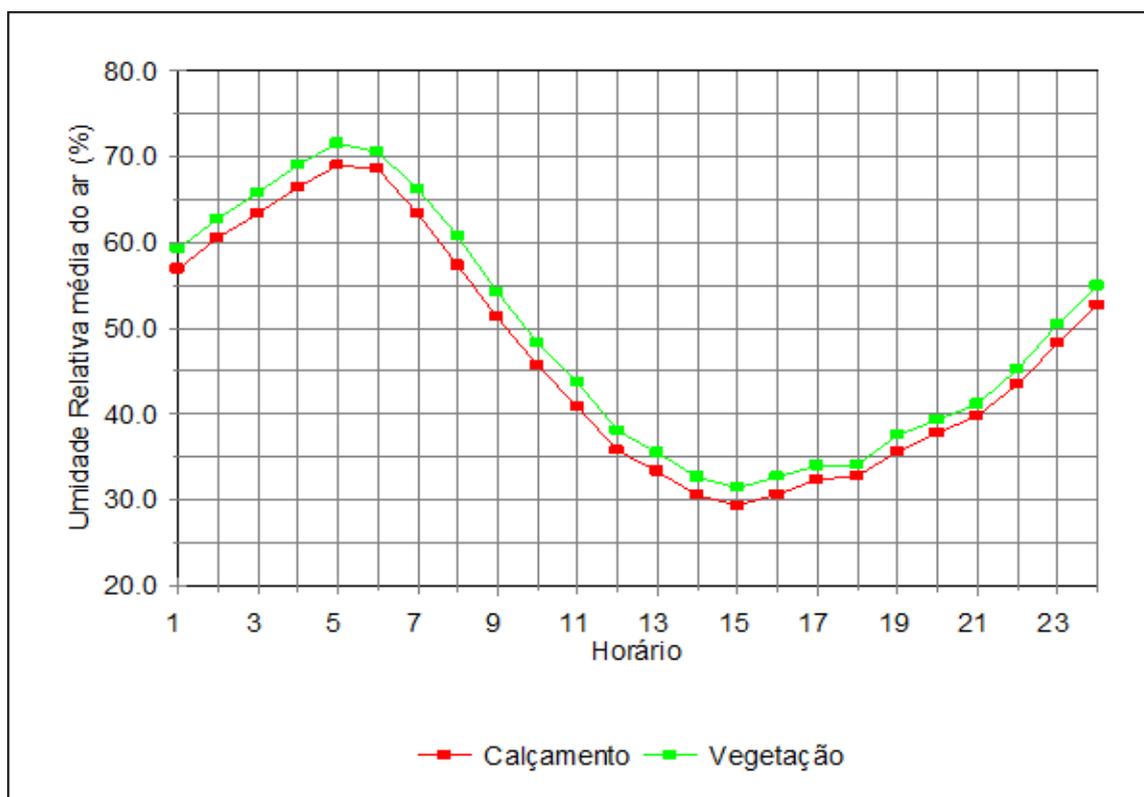


**Figura 49** – Temperatura máxima do ar a 0,5m de altura em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

Árvores absorvem água pelas raízes e transferem vapor através de suas folhas. Esse processo chamado de evapotranspiração retira calor da superfície para evaporar água. O processo de evapotranspiração transfere água em forma de vapor para a atmosfera, refresca a superfície foliar e conseqüentemente o ar por condução, contribuindo para aumentar a umidade relativa do ar, situação muito bem vinda em regiões de clima quente e seco como o semiárido nordestino. Isto evidencia a importância significativa da arborização no microclima local (DIMOUDI & NIKOLOPOULOU, 2003; WONG & YU, 2005 E YU & HIEN, 2006).

Para melhor avaliar o comportamento da umidade relativa do ar nas áreas estudadas, apresenta-se na Figura 50 a média horária dos valores obtidos para essa variável climática.

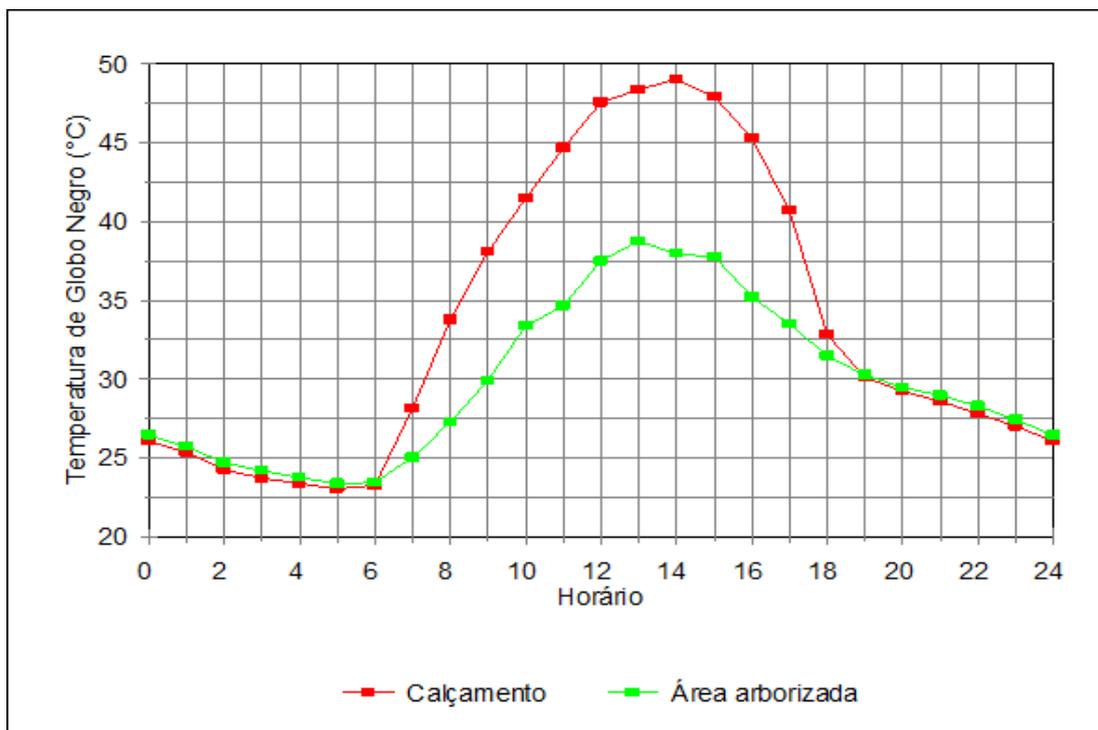
Observando a figura, fica evidente que a área arborizada e gramada apresentou ao longo do dia valores médios de umidade relativa do ar superior aos da área não arborizada.



**Figura 50** – Média horária da umidade relativa do ar em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

Segundo Givoni (1991), as áreas verdes exercem grande influência na qualidade do meio ambiente urbano, afetando o desempenho térmico das edificações, bem como o conforto térmico tanto dentro quanto fora das mesmas. Portanto, as áreas verdes funcionam como moderadoras do clima, ou seja, fornecem sombra, proporcionam evapotranspiração e conseqüente aumento de umidade, reduzem o aquecimento do ar e controlam o vento. Por outro lado, Rossi (2012) afirma que além de aumentar a qualidade de vida na cidade, as áreas verdes exercem outras funções, como a social e a psicológica.

Na Figura 51 é apresentada a temperatura de globo negro, a qual representa, num único valor, os efeitos combinados da energia radiante, temperatura e velocidade do vento, a partir do qual se pode concluir sobre o nível de conforto de um dado ambiente. Ou seja, em estudos sobre o nível de conforto térmico, esta variável indica a carga radiante incidente sobre animais e plantas sob as mais diversas situações ambientais (SOUZA et al., 2002). Os resultados nesta pesquisa caracterizam que a área arborizada apresentou melhores condições de conforto térmico, sobretudo no período diurno, entre 6:00 e 18:00 horas.



**Figura 51** – Média horária da temperatura de globo negro em área com calçamento e em área arborizada da zona urbana de Juazeiro-BA no período de 23/10/2012 a 08/11/2012.

## 5. CONCLUSÕES

A comparação entre ambientes urbanos e sua circunvizinhança rural de municípios da região semiárida permitiu formular as seguintes conclusões:

1) Os resultados obtidos caracterizaram ilhas de calor com intensidades variadas na área urbana de todos os municípios;

2) Ficou evidenciado que as condições climáticas, naturalmente já adversas na região semiárida e potencializadas pelos elementos construtivos do espaço urbano, contribuem para a expansão das ilhas de calor e geração de desconforto térmico para seus habitantes;

3) Aplicando-se a adaptação da equação de Thom para obtenção do índice de desconforto térmico (IDTx e IDTm) para Petrolina-PE, observou-se que a área urbana registrou condições de conforto térmico sempre inferior àquelas observadas na área rural;

4) A arborização da área urbana dos municípios é uma forma eficaz de mitigar o desconforto térmico caracterizado na região;

5) As causas prováveis da formação de ilhas de calor e desconforto térmico caracterizados na área urbana estão associadas a área impermeabilizada da superfície, a verticalização das edificações e a redução das áreas verdes.

Como sugestão, medidas preventivas concretas para mitigar o desconforto térmico e melhorar a qualidade de vida da população são possíveis de ser implementadas, principalmente quando do licenciamento ambiental de loteamentos urbanos e das áreas de interesse público voltadas para a implementação de programas habitacionais, observando-se maior rigor na escolha do tipo de revestimento a ser empregado na pavimentação das vias, sendo a arborização um mecanismo eficaz para mitigar os efeitos adversos dessa condição e ofertar melhor qualidade de vida à população cidadina.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKBARI, H.; POMERANTZ, M.; TAHA, H. ***Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas.*** Solar Energy, Kidlington, v. 70, n. 3, p. 295–310, 2001.

ALEXANDRIA, E.; JONESB, P. ***Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates.*** Building and Environment N° 43, pg.: 480–493. Ed.: Elsevier, 2008.

AMORIM, M.C.C.T. ***Ilhas de calor em Birigui/SP.*** Revista Brasileira de Climatologia, Vol. 1, N° 1. Dezembro, 2005.

AMORIM, M.C.C.T. ***Climatologia e gestão do espaço urbano.*** Mercator, Fortaleza, número especial, p. 71-90, 2010.

AMORIM, M.C.C.T.; DUBREUIL, V.; QUENOL, H. e SANT'ANA NETO, J.L. ***Características das ilhas de calor em cidades de porte médio: exemplos de Presidente Prudente (Brasil) e Rennes (França).*** Confins [Online], 7/2009, posto online em 31 outubro 2009. URL: <http://confins.revues.org>.

ANDRADE, H.O. ***Clima urbano - natureza, escalas de análise e aplicabilidade.*** Finisterra. Revista Portuguesa de Geografia, XL, 80, p.66-91, 2005.

ARAÚJO, R.R.; SANT'ANNA NETO, J.L. ***O processo de urbanização na produção do clima urbano de São Luiz-MA.*** In: SANT'ANNA NETO, J.L. O clima das cidades brasileiras. João Lima Sant'anna Neto (org). – Presidente Prudente: [s/n], 2002.

ARMELIN, H.S.; CHERRY, N. ***Avaliação do uso e desempenho de barreiras de radiação térmica na construção civil.*** Revista de Ciência e Tecnologia de Materiais de Construção Civil. Vol. 1, n. 1, p. 79-82, Maio 2004.

ARNFIELD, A.J. ***Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water urban heat island.*** International Journal of Climatology, v.23, p.1-26, 2003.

ASAEDA, T.; CA, V.T. **Characteristics of permeable pavement during hot Summer weather and impact in the thermal environment.** Building and Environment 35(4): 363-375, 2000.

ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers. **Handbook of fundamentals.** Atlanta, GA, 2005.

AYOADE, J.O. **Introdução à climatologia para os trópicos.** 9ª Ed.. Rio de Janeiro: Bertrand, 2003

AZEVEDO, T.R.; TARIFA, J.R. **O ritmo semanal das atividades humanas e o clima a região metropolitana de São Paulo.** Laboratório de Climatologia e Biogeografia. Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo, Série TA – Texto 008, 2001.

BARBIRATO, G.M.; BARBOSA, R.V.R.; FERNANDES, E.F.; MORAIS, C.S.O. de; THAÍSA C.F.S.de; TELES, V.R. **Comparações entre escalas climáticas de análise urbana.** VI Encontro Latino-Americano sobre conforto no Ambiente Construído. São Pedro/SP, 2001.

BARBOSA, R.V.R.; BARBIRATO, G.M.; VECCHIA, F.A.S. **Vegetação urbana: análise experimental em cidade de clima quente e úmido.** ENCAG-COTEDI. Curitiba-PR, Brasil, 5-7 de novembro de 2003.

BEZERRA, P.T.C. **A Influência da urbanização no clima das cidades de Petrolina/PE e Juazeiro/BA.** Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande - PB. Fevereiro, 2009.

BIAS, E.S.; BAPTISTA, G.M.M.; LOMBARDO, M.A. **Análise do fenômeno de ilhas de calor urbanas, por meio da combinação de dados Landsat e Ikonos.** In: *Simpósio brasileiro de sensoriamento remoto.* Belo Horizonte. Anais XI SBSR, Belo Horizonte - MG, 2003. p. 1741–1748, 2003.

BOURBIA, F.; BOUCHERIBA, F. **Impact of street design on urban microclimate for semi arid climate (Constantine).** Renewable Energy N° 35, pg.: 343–347. Ed.: Elsevier, 2010.

BRASIL - Ministério da Integração Nacional. Secretaria de Políticas de Desenvolvimento Regional. Grupo de Trabalho interministerial do Semiárido. **Cartilha: Nova delimitação do semiárido brasileiro.** Março, 2005.

CANTAT, O. **L'îlot de chaleur urbain parisien selon les 'types de temps'**. Norois, 191, p.75-102, 2004.

CASCIOLI, C.S.; PESSANHA, L.R.P.; AMORIM, M.C.C.T. **O conforto térmico em Rosana/SP.** 2007.

COLTRI, P.P. **Influência do uso e cobertura do solo no clima de Piracicaba, São Paulo: análise de séries históricas, ilhas de calor e técnicas de sensoriamento remoto.** Dissertação de Mestrado – Escola Superior de Agricultura Luiza de Queiroz. 2006.

COLTRI, P.P.; VELASCO, G.D.N.; POLIZEL, J.L.; DEMETRIO, V.A.; FERREIRA, N.J. **Ilhas de calor da estação de inverno da área urbana do município de Piracicaba/SP.** XIII Simpósio de Sensoriamento Remoto, Florianópolis/SC... Anais. INPE, pg. 5151-5157. Abril, 2007.

CORBELLA, O.; YANNAS, S. **Em busca de uma arquitetura sustentável para os trópicos.** Rio de Janeiro: Revan, 2003.

COSTA, D.F.; PERES, L.F.; SILVA, H.R. **Identificação de ilhas de calor na área urbana de Ilha Solteira-SP através da utilização de geotecnologias.** XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto, Natal/RN... Anais INPE,pg.647-653. Abril, 2009.

CURRIERO, E.C.; HEINER, K.S.; SARNET, J.M.; ZEGER, S.L.; STRUG, L.; PATZ, J.A. **Temperature and mortality in 11 cities of the eastern United States.** American Journal of Epidemiology N° 155, pg.: 80-87, 2002.

DAVIES, M., STEADMAN, P.; ORESZCZYN, T. **Strategies for the modification of the urban climate and the consequent impact on building energy use.** Energy Policy N° 36, pg.: 4548–4551, 2008.

DIAS, M.A.F.S.; DIAS, P.L.S. **As incertezas regionais nos cenários de mudanças climáticas globais**. Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET. Abril, 2007.

DIMOUDI, A.; NIKOLOPOULOU, M. **Vegetation in the urban environment: microclimatic analysis and benefits**. Energy and Buildings, Lausanne, n. 35, p. 69-76, 2003.

ELIASSON, I. **The use of climate knowledge in urban planning**. Landscape and Urban Planning Nº 48, pg.: 31-44. Ed.: Elsevier, 2000.

EVANS, J.M.; SCHILLER, S. de. **Application of microclimate studies in town planning: a new capital city, an existing urban district and urban river front development**. Atmospheric Environment. Vol. 30, pg.: 361-364. Ed.: Elsevier, 1996.

FORTUNIAK, K.; KLYSIK, K.; WIBIG, J. **Urban–rural contrasts of meteorological parameters in Lodz**. Theor. Appl. Climatol., Viena, v. 84, p. 91–101, 2006.

GALVÃO, J.A.C.; FISCH, G. **Balanço de radiação em área de pastagem na Amazônia**. Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v.8, n.1, p.1-10, 2000.

GARTLAND, L. **Cool Roof Energy Savings Evaluation for City of Tucson Thomas O. Price Service Center Administration Building One**. Tucson, AZ, City of Tucson, 2001.

GARTLAND, L. **Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. Tradução.: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.

GIVONI, B. **Impact of planted areas on urban environmental quality: a review**. In: Atmospheric Environment, Great Britain, V. 25B, nº3, p.289 - 299, 1991.

GOLDREICH, Y. **Urban climate studies in Israel – a Review**. Atmospheric Environment, v.29. n.4, p.467 - 478, 1995.

GOMÉZ, F.; TAMARIT, N.; JABALOYES, J. **Green zones, bioclimatics studies and human comfort in the future development of urban planning**. Landscape and Urban Planning Nº 55, pg.: 151–161, 2001.

GRANJA, A.D.; LABAKI, L.C. ***Influence of external surface colour on the periodic heat flow through a flat solid roof with variable thermal resistance.*** International Journal of Energy Research. V.27, p. 771-779. 2003.

GRIMMOND, C.S.B.; ROTH, M.; OKE, T.R.; AU, Y.C.; BEST, M.; BETTS, R.; CARMICHAEL, G.; CLEUGH, H.; DABBERDT, W.; EMMANUEL, R.; FREITAS, E.; FORTUNIAK, K.; HANNA, S.; KLEIN, P.; KALKSTEIN, L.S.; LIU, C.H.; NICKSON, A.; PEARLMUTTER, D.; SAILOR, D.; J. VOOGT. ***Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective).*** Procedia Environmental Sciences N° 1, pg.: 247–274. Ed.: Elsevier, 2010.

GRIMMOND, S. ***Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming.*** The Royal Geographical Society, London, p. 83-88, 2007.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. ***Censo demográfico do Brasil.*** Rio de Janeiro, 2010.

INSA - Instituto Nacional do Semiárido. ***Desertificação e mudanças climáticas no semiárido brasileiro.*** Editores: Ricardo da Cunha Correia Lima, Arnóbio de Mendonça Barreto Cavalcante, Aldrin Martin Perez-Marin. Campina Grande: INSA-PB, 209p. 2011.

IPCC AR4 - Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC-AR4). ***Intergovernmental Panel on Climate Change.*** Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Summary for Policy Makers. IPCC, Geneva 2007.

IQBAL, M. ***An Introduction to Solar Radiation.*** Toronto, Academic Press, Canada, 390p., 1983.

JÁUREGUI, E. ***Possible impact of urbanization on the thermal climate of some large cities in México.*** Centro de Ciencias de la Atmósfera, Universidad Nacional Autónoma de México, Circuito exterior, Ciudad Universitaria, México, 2005.

JO, J.H.; GOLDEN, J.S.; SHIN, S.W. ***Incorporating built environment factors into climate change mitigation strategies for Seoul, South Korea: A sustainable urban systems framework.*** Habitat International N° 33, pg.: 267–275. Ed.: Elsevier, 2009.

- JOHANSSON, E. ***Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco.*** Building and Environment N° 41, pg.: 1326–1338. Ed.: Elsevier, 2006.
- KALNAY, E.; CAI, M. ***Impact of urbanization and land-use change on climate.*** Nature, Londres, v.432, n.6939, p.528-531, May. 2003.
- KING, V. J.; DAVIS, C. ***A case study of urban heat islands in the Carolinas.*** Environmental Hazards, Oxford, v. 7, p. 353–359, 2007.
- KITHIHA, J.; DOWLING, R. ***An integrated city-level planning process to address the impacts of climate change in Kenya: The case of Mombasa.*** Cities N° 27, pg.: 466–475. Ed.: Elsevier, 2010.
- KLINENBERG, E. ***Heat Wave: A Social Autopsy of Disaster in Chicago.*** Chicago, University of Chicago press, 2002.
- KRÜGER, E.; ***Experimentos simples na área de conforto e desempenho.*** Abenge-Revista de Ensino de Engenharia. v.21 p.43-47, 2002.
- KWOK, A.G.; CHUN, C. ***Thermal comfort in Japanese schools.*** Solar Energy. v.74, p. 245-252, 2003.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A.A.P. ***Conforto térmico e stress térmico.*** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2002.
- LAMBERTS, R.; XAVIER, A.A.P; GOULART, S.; VECCHI, R. de. ***Conforto e stress térmico.*** Universidade Federal de Santa Catarina. Centro tecnológico. Departamento de Engenharia Civil. Florianópolis, 2011.
- LEITÃO, M.M.V.B.R.; BEZERRA, P.T.C.; OLIVEIRA, G.M.de; MENEZES, H.E.A.; PINTO, M.G.C.L. ***Expansão urbana e aumento da temperatura do ar nas cidades de Petrolina/PE e Juazeiro/BA.*** IV Simpósio Internacional de Climatologia. João Pessoa/PB. Anais... João Pessoa/PB, 2011.

LIMA , R.A.F.; MENEZES, H.E.A., BRITO, J.I.B. **Diagnóstico de tendência de mudanças na temperatura do ar no Nordeste Setentrional**. Revista Caatinga, Mossoró, v. 23, n. 2, p. 117-124, abr.-jun., 2010

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

MAITELLI, G.T. **Uma abordagem tridimensional de clima urbano em área tropical continental: O exemplo de Cuiabá-MT**. 1994, 284p. Tese (Doutorado). Departamento de Geografia. Universidade de São Paulo. São Paulo, 1994.

MASCARENHAS, J.C.; BELTRÃO, B.A.; SOUZA JUNIOR, L.C.; GALVÃO, M.J.T.G.; PEREIRA, S.N; MIRANDA, J.L.F. (Org.). **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Petrolina, estado de Pernambuco**. Ministério de Minas e Energia, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 12p. + anexos, 2005.

MILLS; G., CLEUGH,H.; EMMANUEL,R.; ENDLICHER,W.; ERELL,E.; MCGRANAHAN, G.; NG,E.; NICKSON,A.; ROSENTHAL, J.; STEEMER, K. **Climate Information for Improved Planning and Management of Mega Cities (Needs Perspective)**. Procedia Environmental Sciences N° 1, pg.: 228–246. Ed.: Elsevier, 2010.

MOLION, Luiz C. Baldicero. Desmistificando o Aquecimento Global. Disponível em: [www.alerta.inf.br/files/molion\\_desmist.pdf](http://www.alerta.inf.br/files/molion_desmist.pdf). Acessado em abril de 2010.

MONTEIRO, C.A.F.; MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e clima urbano**. São Paulo: IGEOG/USP, 181p. Série Teses e Monografias, 25, 1976.

MONTEIRO, L.M.; ALUCCI, M.P. **Índices de conforto térmico em espaços abertos. Parte 1. VIII Encontro Nacional e VI Encontro Latinoamericano de conforto no ambiente construído**. São Paulo. Anais...Maceió, ANTAC, 2005.

MOREIRA, E.B.M.; GALVÍNIO, J.D. **Análise multitemporal da ilha de calor urbana na cidade do Recife, através de imagens do landsat TM-5.** XIV Simpósio de Sensoriamento Remoto, Natal/RN... Anais.. INPE, p. 1441-1448. Abril, 2009

MOREIRA, E.B.M.; NÓBREGA, R.S. **Identificação do fenômeno ilhas de calor na área urbana do Recife-PE, através do canal infravermelho termal do satélite Landsat 5.** Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR. Curitiba, PR, INPE p. 0768, Abril-Maio, 2011.

MOURA, M.; ZANELLA, M.E.; SALES, M.C.L. **Ilhas Térmicas na cidade de Fortaleza-CE.** Boletim Goiano de Geografia, Vol. 28, Nº 2, p. 33-34, 2008.

MOURA, M.O.; ZANELLA, M.E.; SALES, M.C.L. **Conforto Térmico em Fortaleza-CE.** Revista da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Geografia - ANPEGE, v.6, 2010.

NASCIMENTO, D.T.F.; BARROS, J.R. **Identificação de ilhas de calor por meio de sensoriamento remoto: estudo de caso no município de Goiania – GO/2001.** Boletim Goiano de Geografia, Vol. 29, Nº 1, p. 119-134, 2009.

NERY, J.; ANDRADE, T.; MOURA, T. **Conforto Térmico em Salvador: o índice PET e sua abordagem projetual.** Revista de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal da Bahia-UFBA, vol. 7, nº 1, Salvador, p. 70-77, 2006.

NICOL, J.F.; HUMPHREYS, M.A. **Adaptative thermal comfort and sustainable thermal standards for buildings.** Energy and building, v.34, p. 563-572, 2002.

NOBRE, C.A. **Mudanças climáticas globais e o Brasil: porque devemos nos preocupar.** Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET. Vol. 31. Abril, 2007.

OKE, T. R. **Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: Comparison of scale model and field observations.** Journal of climatology, New York, v. 1, n. 3, p. 237–254, 1991.

OKE, T. R. **Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites.** In: Air pollution modeling and its Application XVII, Borrego and Norman, Springer, 2004.

OKE, T.R.; JOHNSON, G.T.; STEYN, D.G.; WATSON, I.D. ***Simulation of surface urban heat islands under "Ideal" Conditions at night Part 2: Diagnosis of causation.*** Boundary-Layer Meteorological, v.56, p.339-358, 1991.

OKE, T.R.; ZEUNER, G.; JÁUREGUI, E. ***The Surface Energy Balance in Mexico City.*** Atmospheric Environment, Vol.26B, No 4, 433 - 444,1992.

ORSINI, J.A.M. ***O quarto relatório do IPCC (IPCC AR4) e projeções de mudança de clima para o Brasil e América do Sul.*** Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET. Vol. 31. Abril, 2007.

PEREIRA FILHO, A.J.; BARROS, M.T.L. de; HALLAK, R.; GANDÚ, A.W. ***Enchentes na Região Metropolitana de São Paulo: aspectos de mesoescala e avaliação de impactos.*** XIII CBMET. Anais. Fortaleza – CE, 2004.

PEREIRA FILHO, A.J.; SANTOS, P.M.; CAMARGO, R.; FESTA, M..FUNARI, F.L.; SALUM, S;T; OLIVEIRA, C.T. de; SANTOS, E.M.; LOURENÇO, P.R.; SILVA, E. G.; GARCIA, W.; FIALHO, M.A. ***Impactos antrópicos no clima da Região Metropolitana de São Paulo.*** Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia. Abril, 2007.

PEREZ, J.C; SÁNCHEZ, M.A.V.; BARRADAS, V.L. ***Clima, urbanización y uso del suelo en ciudades tropicales de México.*** Red Nacional de Investigación Urbana, Puebla, México, Ciudades 51, jun-set. 2001.

PINHEIRO, Jairo. ***Clima urbano e suas influências.*** Belém: UFPA, 2008. Disponível em: <<http://www.webartigos.com/articles/10118/1/Clima-Urbano-E-Suas-Influencias/pagina1.html>>. Acesso em: Julho 2010.

POMERANTZ, M.; AKIBARI, A.; CHANG, S.C. ***The effect os Pavements' Temperatures on Air Temperatures in Lrage Cities.*** Berkley, CA, Lawrence Berkley National Laboratory:20, 2000.

PONGRACZ, R.; BARTHOLY, J.; DEZSO Z. ***Remotely sensed thermal information applied to urban climate analysis.*** Advances Space Research, 2005.

PRADO, R.T.A.; FERREIRA, F.L. **Measurement of albedo and analysis of its influence the surface temperature of building roof materials.** Energy and Building. v. 37, p. 295-300, 2005.

RANNOW, S.; LOIBL, W.; GREIVING, S.; GRUEHN, D.; MEYER, B.C. **Potential impacts of climate change in Germany — Identifying regional priorities for adaptation activities in spatial planning.** Landscape and Urban Planning Nº 98, pg.: 160–171. Ed.: Elsevier, 2010.

ROSSI, F.A. Proposição de metodologia e de modelo preditivo para a avaliação da sensação térmica em espaços abertos em Curitiba. Tese de Doutorado apresentada à Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia, Curitiba, 2012.

RUNNALS, K. E.; OKE, T. R. **Dynamics and control of the near-surface heat Island of Vancouver, British Columbia.** Physical Geography, Birmingham, v. 21, n. 4, p. 283–304, 2000.

SARAIVA, A.L.B.C; GRIGIO, M.A.; MOURA, S.R.F. **Estudo do campo térmico da cidade de Mossoró-RN: episódio de outono.** Anais do 9º Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Fortaleza, CE, 26 a 30 de setembro, 2010.

SANTOS, J. S.; SILVA, V. P. R.; ARAÚJO, L. E.; LIMA, E. R. V.; COSTA, A. D. L. **Análise das Condições do Conforto Térmico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em campus Universitário.** Revista Brasileira de Geografia Física v. 04, nº 2, p. 336 -353, 2011.

SANTOS, J. S.; SILVA, V. P. R.; SILVA, E. R.; ARAÚJO, L. E.; COSTA, A. D. L. **Campo térmico urbano e a sua relação com o uso e cobertura do solo em cidade tropical úmida.** Revista Brasileira de Geografia Física, v. 05, nº 3, p. 540-557, 2012.

SHERIDAN, S.C. **The Development of the New Toronto Heat-Health Alert System.** North American Urban Heat Island Summit, Toronto, Toronto Atmospheric Fund, 2002.

SCHMID, H.P., CLEUGH, H.A., GRIMMOND, C.S.B and OKE, T. R. ***Spatial Variability of Energy Fluxes in Suburban terrain***. Boundary-Layer Meteorology 54, 249-276, 1991.

SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B.B. ***Assessment of the human discomfort level and urban heat island using automatic weather station data***. In: International Conference on Experiences With Automatic Weather Stations, 4, 2006, Lisboa. Anais. Lisboa: IMP, 2006.

SILVA, V.P.R.; AZEVEDO, P.V.; BRITO, R.S.; CAMPOS, J.H.B.C. ***Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil***. Environ Monit Assess. DOI 10.1007/s10661-008-0726-3, 2009.

SOUSA, D.O.; BAPTISTA, G.M. ***Análise da influência da resolução espacial na determinação das ilhas urbanas de calor em São Paulo, por meio dos sensores ASTER e MODIS***. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21. INPE, p. 4525-4530. Abril, 2005.

SOUZA, C.F.; TINÔCO, I.F.F.; BAÊTA, F.C; FERREIRA, W.P.M.; SILVA, R.S. Avaliação de materiais alternativos para confecção do termômetro de globo. Cienc. Agrotec., Lavras, v.26, n.1, p.157-164, jan./fev., 2002.

SOUZA JÚNIOR, I. F. ***A influência da urbanização no clima da cidade de Campina Grande-PB***. 2006. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Campina Grande, Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Campina Grande, 2006.

SVENSSON, M.K.; ELIASSON, I. ***Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning***. Landscape and Urban Planning Nº 61, pg.: 37–54. Ed.: Elsevier, 2002.

TAHA, H. ***Urban climates and heat islands: albedo, evapotranspiration, and anthropogenic heat***. Energy and Buildings Nº 25, pg.: 99-103. Ed.: Elsevier, 1997.

TEZA, C.T.V.; BAPTISTA, G.M.M. ***Identificação do fenômeno ilhas urbanas de calor por meio de dados ASTER on demand 08 – Kinetic Temperature (III)***:

**metrópoles brasileiras.** Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. INPE, p. 3911-3918. 16-21. Abril, 2005.

VIANA, S.S.M.; AMORIM, M.C.C.T. **Caracterização do clima urbano em Teodoro Sampaio-SP: uma introdução.** Sociedade & Natureza, Uberlândia, 20 (2): 19-42, dez. 2008.

VIEIRA, A.T.; MELO, F.; LOPES, H.B.V.; CAMPOS, J.C.V.; BOMFIM, L.F.C.; COUTO, P.A.; BEVENUTI, S.M.P. **Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea, Estado – Bahia. Diagnóstico do município de Juazeiro.** Ministério de Minas e Energia, CPRM – Serviço Geológico do Brasil, 2005.

WOOD, A.R. **Saving Lives with White Roofs: A Pilot Program in Philadelphia Could be Used in Other Cities.** Philadelphia, PA, Philadelphia Inquirer, May, 2002.

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

XAVIER, T.M.B.S; PEREIRA FILHO, A.J; XAVIER, A.F.S.;DIAS, P.L.S. **Mudanças climáticas nas cidades e interferências com o aquecimento global.** Boletim da Sociedade Brasileira de Meteorologia – SBMET. Dezembro, 2008.

YOW, D.M.; CARBONE, G.J. **The urban heat island and local temperature variations in Orlando, Florida.** Southeastern Geographer, Athens, v. 46, n. 2, p. 297–321, 2006.

YU, C.; HIEN, W.N. **Thermal benefits of city parks.** Energy and Buildings, Lausanne, v. 38, p. 105-120, 2006.