



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgf



Análise das Condições do Conforto Térmico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Campus Universitário

Joel Silva dos Santos¹, Vicente de Paulo R. da Silva², Lincoln Eloi de Araújo³, Eduardo Rodrigues Viana de Lima⁴ & Angelina Dias Leão Costa⁵

¹ Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Brasil – E-mail: joelsilvadossantossantos@yahoo.com.br

² Universidade Federal de Campina Grande – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosféricas, Brasil - E-mail: vicente@dca.ufcg.edu.br

³ Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Engenharia e Meio Ambiente, Brasil – E-mail: lincolneloi@yahoo.com.br

⁴ Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Geociências, Brasil – E-mail: eduvianalima@gmail.com

⁵ Universidade Federal da Paraíba - Departamento de Arquitetura e Urbanismo, Brasil – E-mail: angelinadlcosta@yahoo.com.br

Artigo recebido em 12/05/2011 e aceito em 07/08/2011

RESUMO

O estudo do clima urbano, especificamente do comportamento do seu campo térmico, constitui-se em um dos grandes problemas socioambientais para as populações residentes nessas áreas. Dessa forma, o presente trabalho analisa os efeitos dos diferentes tipos de cobertura de solo nas condições do campo térmico do Campus I da Universidade Federal da Paraíba, localizado na cidade de João Pessoa, PB. As medições da temperatura do ar e umidade relativa foram realizadas em dois períodos distintos (seco e chuvoso), utilizando-se data logger Hobos em seis pontos representativos da área de estudo. O Índice de Thom foi utilizado para analisar o nível de conforto térmico nas escalas diária e horária e o tipo de cobertura de solo de cada ponto analisado foi definido considerando oito classes, de acordo com a percentagem de vegetação e de materiais permeáveis e impermeáveis existentes no entorno do ponto. Os resultados do trabalho permitiram caracterizar o micro clima local e identificar alterações no ambiente provocadas pelo adensamento de construções, além de fornecerem dados para fazer sugestões no sentido de minimizar esses efeitos através da manutenção da arborização remanescente da Mata Atlântica. As análises quantitativas e qualitativas dos dados revelaram diferentes condições micro climáticas na área de estudo que foram modificadas substancialmente em função da cobertura do solo. As áreas com alta concentração de materiais impermeáveis mostraram nível de desconforto térmico bastante elevado no período de maior demanda atmosférica, que ocorre entre 11 e 15h.

Palavras-chave: Clima urbano, Campo térmico, Índice de Desconforto de Thom

Analysis of Conditions of Thermal Comfort in Urban Environment: a Case Study in University Campus

ABSTRACT

The study of urban climate, specifically the behavior of their thermal field, it constitutes one of the great social and environmental problems for people living in these areas. In this way, the present study analyzes the effects of different types of ground cover in the thermal field of the Federal University of Paraíba, *Campus I* which is located in the city of João Pessoa, PB. The measurements of air temperature and relative humidity were carried out in two distinct periods (dry and wet seasons), using data logger Hobos in 6 representative points through study area. Thom's discomfort index was used to analyze the thermal comfort level in daily values into one-hour time scale through University campus. The types of ground cover for each analyzed point were classified into 8 classes according to percentage cover in vegetation and permeable and impermeable materials. The results allowed to characterize the local microclimate, as well as identify environment changes provided by urban crowding, and to suggest actions to reduction of these effects by maintaining Atlantic forest biodiversity. The quantitative and qualitative data analysis showed that the different microclimatic conditions at experimental area were substantially due to soil cover changes. The areas with high concentration level in waterproof materials showed high level of thermal discomfort just in the period with highest atmospheric demand which it occurs from 11 to 15h.

Keywords: Urban climate, thermal comfort, Thom's index

* E-mail para correspondência: joelsilvadossantossantos@yahoo.com.br
(Santos, J. S.).

1. Introdução

A partir do processo da Revolução Industrial, as preocupações com o ambiente urbano, em virtude da degradação dos recursos naturais e da qualidade de vida das populações tornaram-se cada vez mais crescentes. A necessidade de estudos mais detalhados a respeito da qualidade do ar e da formação de ilhas de calor nos grandes centros urbanos proporcionou o desenvolvimento da climatologia urbana e a necessidade de interação dessa área do conhecimento com o planejamento do uso e ocupação desses espaços (Oke, 2004). Neste sentido Fan & Sailor (2005) relatam que ao mesmo tempo em que se intensificou a degradação do ambiente, cresceu o despertar da consciência para a intervenção racional ou planejada na alteração/construção do ambiente urbano, exigindo, assim, cada vez mais estudos que direcionem o uso sustentável dos recursos naturais de forma que contribuam para a mitigação dos impactos ambientais.

Nos ambientes urbanos constata-se cada vez mais o comprometimento da qualidade de vida das populações com relação às condições atmosféricas, pois o clima afeta diretamente as atividades econômicas, a saúde e o bem estar da população. As áreas urbanas são as mais intensamente modificadas e a sua degradação ocorre em função do uso irracional dos recursos naturais que criam ambientes com uma vulnerabilidade maior em relação aos ambientes rurais (Silva et al.,

2010). A vulnerabilidade desses ambientes funciona como um circuito alimentado positivamente, onde a população absorve seus efeitos e realimenta o circuito novamente. Dessa forma, a temática do conforto climático ganha relevância e notoriedade cada vez maior nos dias atuais em diversas regiões do planeta. Lazar & Podesser (1999) realizaram um estudo de clima urbano na cidade de Graz, Áustria, e observaram uma estreita relação entre as diferentes formas de uso e ocupação do espaço urbano e a sua relação com a dinâmica climática local. Os autores alertaram para a importância de se correlacionar os conhecimentos da climatologia urbana ao planejamento e ordenamento territorial. Ichinose et al. (1999), em pesquisa realizada na cidade de Tóquio, no Japão, verificaram os principais impactos ocasionados pelo calor produzido a partir de fontes antrópicas e suas influências na dinâmica climática urbana. Os autores observaram que as reduções no consumo de energia podem contribuir para a mitigação dos impactos ambientais no campo térmico da cidade. Por outro lado, Chen et al. (2006) empreenderam um estudo do clima urbano na região da província de Guangdong, no sul da China, utilizando técnicas de sensoriamento remoto e analisando as mudanças ocasionadas pelos diferentes padrões de uso e cobertura do solo nessa região. Os autores verificaram uma estreita relação entre o uso e ocupação do espaço urbano e as alterações nas condições microclimáticas locais. Em estudo similar,

Jonsson et al. (2004) analisaram como as partículas em suspensão na atmosfera urbana influenciam os parâmetros climáticos, como a velocidade do vento, umidade relativa do ar e temperatura do ar. A compreensão dos impactos ambientais, provenientes dos efeitos antrópicos no clima urbano na cidade de Filadélfia, nos Estados Unidos, foi apresentada por Fan & Sailor (2005), utilizando-se de modelos de camada limite planetária.

Apesar do estudo da climatologia urbana ter se desenvolvido em várias partes do mundo desde a década de 70, somente a partir de 1980 ocorreram importantes conferências sobre climatologia urbana aplicada às regiões tropicais. No Brasil, os estudos sobre a climatologia urbana indicam que o expressivo processo de degradação do solo e das paisagens naturais tem comprometido o nível de conforto térmico e da qualidade do ar das populações urbanas (Gomes & Amorim, 2003; Brito, 2007; Silva et al., 2010). O estudo do impacto das variáveis atmosféricas sobre o espaço urbano se reveste de grande importância para o nível de conforto térmico dos ambientes construídos, bem como sobre o bem estar da população. Essas informações podem orientar na tomada de decisões concernentes à preservação da qualidade de vida nos ambientes urbanos cada vez mais degradados. Assim, o nível de conforto térmico e o fenômeno de ilha de calor urbana, em face às suas relevâncias para o organismo humano,

têm sido amplamente estudados em diversas partes do planeta (Burian & Shepherd, 2005; Gulyás et al., 2005; Sarrat et al., 2005). Particularmente no Brasil, esse tema também vem sendo estudado por vários pesquisadores em diferentes centros urbanos do país (Gomes, 2003; Maitelli et al., 2004; Brito, 2007; Silva et al., 2010).

A incidência e distribuição da energia solar e sua variabilidade espaço-temporal são alguns dos fatores que afetam a qualidade da vida das pessoas que vivem nas grandes cidades. A energia tende a se concentrar nos aglomerados das construções civis em áreas de urbanização intensa, afetando, consideravelmente, a sensação térmica ou o conforto térmico (Deosthali, 1999). É diante deste contexto que o presente trabalho supõe que o processo de expansão urbana tem provocado desconforto térmico e que pode ser quantificado através de um índice bioclimático apropriado. Dessa forma, o principal objetivo deste trabalho consiste em analisar o campo térmico do Campus Central da UFPB, considerando as diversas formas de cobertura do solo. A pesquisa também tem a finalidade de fazer recomendações de manejo e planejamento para o ambiente analisado, que atualmente vem passando por diversas modificações em função do rápido crescimento do Campus Universitário nos últimos anos.

2. Material e Métodos

2.1 Área de estudo

O Campus I da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) está localizado na cidade de João Pessoa, PB, a 4 km do centro da cidade a uma altitude média de 33 metros acima do nível do mar. O clima da área estudada é caracterizado por valores médios anuais de temperatura e umidade relativa do ar bastante elevados, enquanto o regime pluviométrico é concentrado nos meses de maio, junho e julho (Silva, 2004). A cidade permanece durante todo o ano dentro da faixa de influência dos ventos alísios de sudeste. Somente com a chegada dos meses mais quentes, eles têm a sua frequência alterada através dos ventos de leste e de nordeste (ventos alísios) e da Zona de Convergência Tropical (Silva et al., 2010). A cidade de João Pessoa apresenta condições climáticas caracterizadas por duas estações bem definidas (seca e chuvosa), predominantemente quente e úmida durante todo ano (verificar se existe uma estação seca como é predominantemente úmida. O Campus I da UFPB tem uma área total de 180 ha, com partes edificadas e outras arborizadas, que representam cerca de 50% da área total do terreno (Figura 1). As rápidas transformações que tem ocorrido no Campus Universitário em função dos investimentos que tem sido feitos no ensino superior do país, tem cada vez mais reduzido as áreas verdes e ampliado as áreas edificadas e pavimentadas, contribuindo, assim, para a alteração da paisagem e do campo térmico local. Para a realização deste trabalho foi utilizada a metodologia baseada em critérios adotados

por Katzschner (2002) e Costa (2007), onde os autores avaliam o clima urbano através de descrições físicas do espaço ocupado, aliadas às medições *in loco*. Inicialmente, foram definidos os pontos de coleta dos dados, bem como elaborados e analisados mapas temáticos dos pontos de medição. Os seis pontos de coleta foram os seguintes: Biotério (P01), Centro de Tecnologia (P02), Centro de Ciências da Saúde (P03), Hospital Universitário (P04), Ginásio Esportivo (P05) e Reitoria (P06) (Figura 2).

As medições foram realizadas durante 30 dias no período de estiagem (março/2010) e 30 dias no período chuvoso (entre maio e junho/2010), em intervalos de uma hora, por meio de equipamentos tipo termo-higrômetro *Hobo*. Os horários das medições iniciaram-se às 12 horas do dia inicial (01/03/2010) e finalizaram às 17:00 horas do último dia de medição (01/04/2010) referente ao período de estiagem. O mesmo ocorreu para o período chuvoso com o seu início no dia 01/05/2010 e o seu término no dia 01/06/2010 nos mesmos horários assinalados anteriormente. Em seguida, após os registros, os dados coletados foram submetidos às análises de consistência, visando estimar o índice de conforto térmico de Thom, que foi utilizado para subsidiar as diretrizes para o planejamento da ocupação do solo da área de estudo. A metodologia consistiu em determinar para cada unidade climática local um raio de 150 m da localização do ponto de coleta, nas direções norte e oeste (Katzschner et al., 2002) e um

raio de 350 m nas direções leste e sul, de maneira que se obtenha o valor total de 500 m, que correspondesse à medida de 0,5 km defendida por Oke (2004). Tal procedimento objetiva analisar a importância da ventilação

como um elemento de controle climático para o campo térmico da área. Dessa forma, a análise foi feita numa área total de 0,21 km² no entorno de cada ponto, conforme detalhado na Figura 3.



Figura 1. Localização da área de estudo, inserida na malha urbana da cidade de João Pessoa, PB (Imagem do Google Earth).

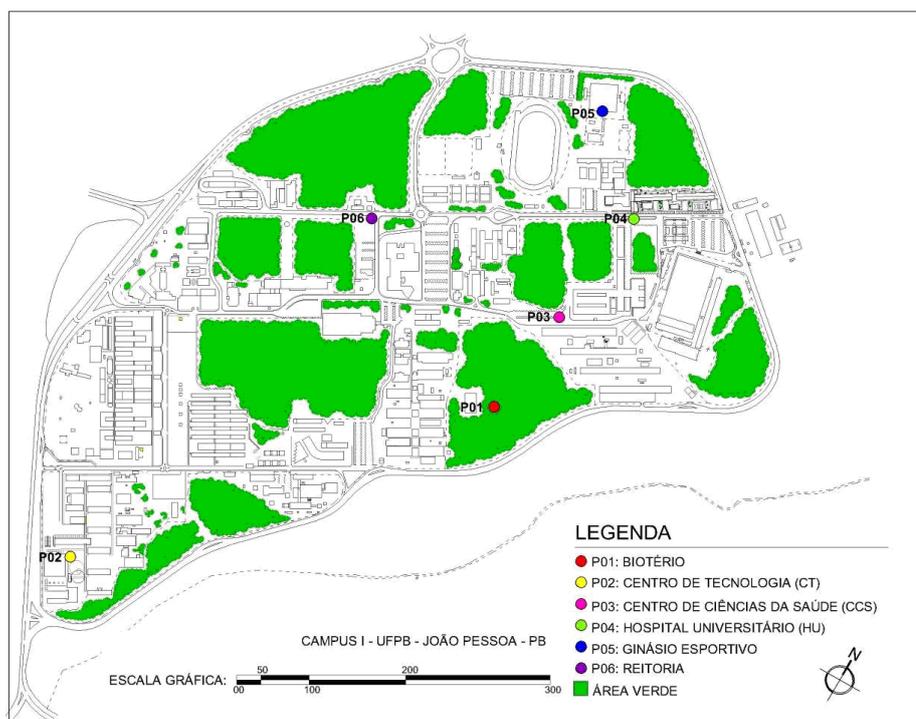


Figura 2. Mapa do Campus I da UFPB com a localização dos pontos de medição e das áreas arborizadas mais densas.

O índice de cobertura do solo foi obtido pela contribuição percentual dos seguintes tipos de cobertura para a formação da área total: área verde, edificações, solo permeável (grama), solo semipermeável (areia), solo impermeável (revestimento em concreto), solo impermeável (revestimento em paralelepípedo), solo impermeável (revestimento em paralelepípedo), solo impermeável (revestimento em paralelepípedo), solo impermeável (revestimento em paralelepípedo) e superfícies de água.

2.2 Nível de conforto térmico

Para analisar o nível de conforto térmico nos pontos monitorados, tanto no período de estiagem como no chuvoso, utilizou-se o índice bioclimático proposto por Thom (1959), mais comumente usado em

estudos de clima urbano, para descrever a sensação térmica que uma pessoa experimenta devido às condições climáticas de um ambiente. Este índice oferece uma medida razoável do grau de desconforto para várias combinações de temperatura e umidade relativa do ar. Na estimativa do índice de desconforto de Thom (IDT), em graus Celsius, a seguinte equação foi aplicada:

$$IDT = T - (0,55 - 0,0055 UR)(T - 14,5) \quad (1)$$

Onde T é a temperatura do ar (°C) e UR é a umidade relativa do ar (%). Na caracterização do nível de desconforto térmico, foi utilizada a classificação proposta por Giles et al. (1990) e apresentada na Tabela 1.

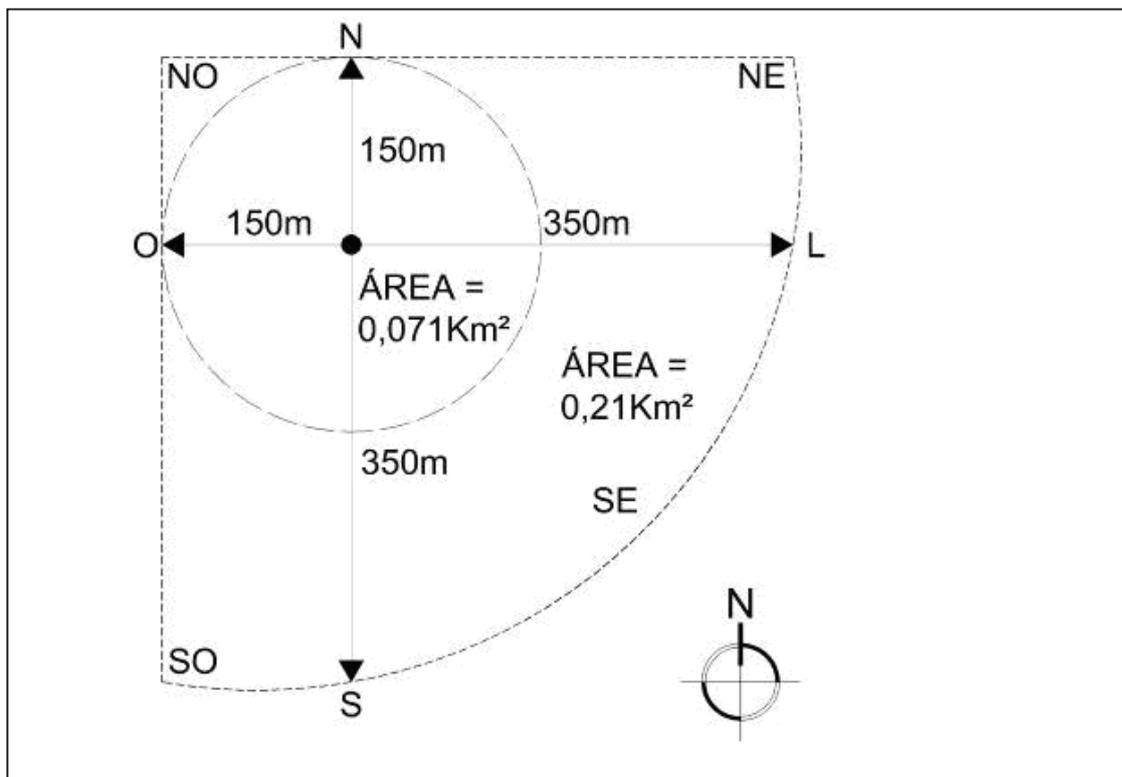


Figura 3. Composição da área de análise de cada ponto de coleta de dados, durante os dois períodos experimentais.

Tabela 1. Faixa de classificação do índice de desconforto de Thom (IDT).

Faixas	IDT (° C)	Nível de desconforto térmico
1	IDT < 21,0	Sem desconforto
2	21,0 ≤ IDT < 24,0	Menos de 50% da população sente desconforto
3	24,0 ≤ IDT < 27,0	Mais de 50% da população sente desconforto
4	27,0 ≤ IDT < 29,0	A maioria da população sente desconforto
5	29,0 ≤ IDT < 32,0	O desconforto é muito forte e perigoso
6	IDT ≥ 32,0	Estado de emergência médica

Fonte: Giles et al. (1990).

3. Resultados e Discussão

Com base na análise das Figuras 2 e 3, e nas visitas *in loco*, foram definidas classes dos tipos de recobrimento do solo como representativos da situação atual de cada área de 0,21 km². Os resultados da classificação da cobertura do solo para os seis pontos de medição na área de estudo são os seguintes:

(i) Biotério (P01): esse ponto se encontra situado em meio a uma área de grande e densa cobertura vegetal, justamente na direção do vento (sudeste) e com edificações em cobertura cerâmica próximas no lado oeste do quadrante. Na sua área de abrangência, na parte externa do Campus, encontra-se uma rua com pavimentação asfáltica e fluxo médio de veículos, localizada ao lado de uma reserva de Mata Atlântica. O solo é permeável, com cobertura em areia e a topografia da área apresenta acentuado declive;

(ii) Centro de Tecnologia (P02): Esse ponto de medição se encontra numa área pavimentada em tijolo cerâmico e rodeada por edificações com cobertura em telha cerâmica e telha metálica. Próximo a esse ponto de medição existe uma pequena massa de cobertura vegetal na

direção leste e o recobrimento do solo é, em sua maioria, impermeável. Esse ponto se encontra próximo da via de acesso principal à Universidade, com cobertura asfáltica e fluxo intenso de veículos durante todo o dia;

(iii) Centro de Ciências da Saúde (P03): Esse ponto de medição está localizado numa área com recobrimento do solo em paralelepípedo (calçamento), porém, próximo de duas grandes áreas arborizadas do Campus, com uma dessas áreas verdes na direção sudoeste, onde se encontra localizado o P01 (Biotério). Na direção leste, observa-se uma grande área de edificações com vários tipos de cobertura (telha metálica e telha cerâmica), tendo, também o Hospital Universitário (HU), destacando-se pelas suas grandes dimensões. O solo possui quatro tipos de revestimento: areia, pedra/calçamento, asfalto e concreto;

(iv) Hospital Universitário (P04): O quadrante do ponto 04 engloba pequenas áreas arborizadas nas direções oeste e norte. Esse ponto se encontra cercado de grandes áreas edificadas com cobertura em telha cerâmica e metálica; destaca-se por estar bem próximo do Hospital Universitário, que é a

edificação com maior altura do Campus Universitário, em uma área de muito movimento de pessoas e veículos. O solo é recoberto por areia, pedra/calçamento, asfalto e concreto; **(v) Ginásio Esportivo (P05):** O Ginásio poliesportivo do Campus tem grande cobertura metálica, porém esse é o quadrante menos edificado e com grande área permeável com recobrimento em grama (o campo de futebol). Ele possui áreas arborizadas na direção sul e nordeste e pequena concentração de edificações no sentido leste e sudoeste; e, **(vi) Reitoria (P06):** O ponto da Reitoria está inserido numa área de recobrimento do solo em areia que fica ao lado de uma rua com pavimentação asfáltica. Nas direções noroeste, oeste e sul, encontra-se uma grande área de cobertura vegetal, enquanto nas direções leste e sudeste se encontra uma área edificada com cobertura em telha cerâmica e metálica.

A análise dos dados revela que a variação média térmica entre os pontos

monitorados foi de 1,2°C no período de estiagem e de 0,9 °C no período chuvoso; já a variação média da umidade relativa do ar foi de 7% no período de estiagem e de 6% no período chuvoso (Tabela 2). Isso resultou numa variação do índice de desconforto térmico de 0,8 e 0,4 °C nos períodos seco e chuvoso, respectivamente. A comparação entre os valores médios das variáveis analisadas entre o período seco e chuvoso indicou uma redução de 6,7°C na temperatura do ar e um acréscimo de 11,3% na umidade relativa e, conseqüentemente, numa redução de 4,1°C no Índice de Desconforto de Thom. Pela análise dos dados, o P01 apresentou os menores valores médios de temperatura do ar e maiores de umidade relativa do ar, resultando no menor índice de desconforto térmico, dentro da faixa 3, indicando que mais de 50% da população sente desconforto térmico nesse ponto em ambos os períodos (Tabela 2).

Tabela 2. Temperatura média do ar e umidade relativa média para cada ponto analisado nos dois períodos na área de estudo.

Pontos	Temperatura média do ar (°C)		Umidade relativa do ar (%)		Índice de Thom (%)	
	Período seco	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso	Período seco	Período chuvoso
P01	28,0	26,3	80	89	26,5	25,6
P02	29,1	27,2	74	83	27,0	26,0
P03	28,8	26,9	77	86	27,0	25,9
P04	29,2	26,8	76	87	27,3	25,9
P05	29,0	27,0	73	83	26,8	25,8
P06	29,1	26,8	78	88	27,3	26,0
Média	28,8	26,8	76,3	86,0	26,9	25,8

Por outro lado, os pontos P02, P04, P05 e P06 apresentaram as maiores médias de temperatura do ar e as menores médias de umidade relativa do ar em ambos os períodos, em face da cobertura de asfalto e ausência de massa vegetal densa nesses locais, além da concentração de edifícios que bloqueiam o ar proveniente da direção predominante do vento local. Uma vez que o nível de conforto humano em áreas urbanas pode ser afetado por uma ampla gama de fatores climáticos e antrópicos (Stathopoulos et al., 2004), os valores do Índice de Thom nesses pontos ficaram dentro da faixa 4, onde segundo Giles et.al. (1990), a maioria da população sente desconforto térmico. A média do Índice de Thom na área de estudo foi de 25,8 °C, portanto, dentro da faixa 3. Nenhum ponto exibiu valores médios dentro da faixa de conforto térmico classificado como muito forte e perigoso ($27,0 \leq \text{IDT} < 29,0$), tampouco sem nenhum desconforto térmico ($\text{IDT} < 21,0$). Os pontos P03 e P05 também apresentaram baixos valores do Índice de Thom, principalmente durante o período chuvoso, em face das áreas analisadas terem apresentado razoável cobertura vegetal, com o favorecimento do fluxo predominante de vento para o conforto térmico. Esses resultados sinalizam que a cobertura do solo, composto por diversos tipos de materiais de revestimento de superfície, alterou as condições térmicas dos pontos monitorados. Resultados semelhantes foram obtidos por

Silva et al. (2010), quando analisaram o clima urbano da cidade de Campina Grande, PB.

Os pontos analisados, em geral, apresentam nível de desconforto térmico dentro da faixa 3 no período chuvoso, e da faixa 4 no período de estiagem. Nesse último período, os pontos 4 e 6 foram os que apresentaram os maiores valores do IDT, que pode ser explicado pela ausência de cobertura vegetal nessas áreas. Esses dois pontos de coleta de dados têm áreas pavimentadas, além de edificações com cobertura em telha cerâmica e metálica, que influenciam diretamente o balanço de energia à superfície. Por outro lado, o ponto 1, que é localizado em área com cobertura vegetal densa, foi o que apresentou o menor IDT no período de estiagem, pois a vegetação funciona como um regulador térmico do ambiente através do sombreamento. Esse fato demonstra a importância da cobertura vegetal no nível de conforto térmico em espaços urbanos, justificando-se, assim, a importância de se destinar áreas públicas para uso exclusivo para preservação de áreas verdes. No período chuvoso, pode-se destacar que, à exceção do ponto 1, que novamente apresentou o menor valor do IDT, todos os demais pontos analisados apresentaram o mesmo índice de conforto térmico. Também nesse período, destaca-se o papel da vegetação no nível de desconforto térmico, indicando que o ponto 1 é mais confortável dentre todos os ambientes analisados.

No sentido de analisar com mais detalhes a influência da cobertura do solo urbano sobre o nível de conforto térmico das pessoas, a Tabela 3 exibe o percentual do tipo de cobertura para cada ponto da área de estudo. Constata-se, portanto, que existe uma quantidade expressiva de massa verde na área de estudo, como resquícios da Mata Atlântica, chegando até 66,5% no Biotério (P01). A cobertura com solo permeável (areia) também tem um percentual elevado na composição da área total de cada ponto da área de estudo, entretanto, superfícies líquidas praticamente

não apresentam contribuição para a área total do ponto P05 (Ginásio esportivo). A comparação entre o percentual de cobertura do solo e a temperatura do ar, umidade relativa e índice de desconforto de Thom dos pontos analisados através do coeficiente de correlação é apresentada na Tabela 4. O fator positivo para o conforto térmico (Fat +) foi composto pela contribuição de C1 + C3 + C8; enquanto o fator negativo para o conforto térmico (Fat -) foi obtido pelo somatório da contribuição percentual das outras classes de cobertura do solo.

Tabela 3. Classe e percentual do tipo de cobertura do solo para cada ponto da área de estudo.

Classe	Tipos de cobertura do solo	P01	P02	P03	P04	P05	P06
C1	Área verde	66,5	46,9	40,0	27,4	25,1	33,9
C2	Edificações	8,2	11,4	19,0	24,6	19,0	11,8
C3	Solo permeável – grama	0,0	3,9	0,5	1,1	5,9	3,1
C4	Solo semi permeável – areia	22,5	23,4	26,2	26,0	24,6	33,3
C5	Solo impermeável - revestimento em concreto	0,0	0,2	0,0	0,5	0,2	2,3
C6	Solo impermeável - revestimento em paralelepípedo	0,0	6,6	9,8	15,4	20,7	3,7
C7	Solo impermeável - revestimento asfáltico	2,8	7,6	4,5	5,0	4,2	12,0
C8	Superfícies de água	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	0,0

A variável climática que melhor se correlacionou com o percentual de cobertura do solo foi a temperatura do ar, variando de $\pm 0,85$ (C1 = área verde) a 0,15 na classe C8 (superfícies de água). Os agrupamentos dos fatores positivos e negativos para o conforto térmico também apresentaram alto coeficiente de determinação ($\pm 0,83$). Evidentemente, os fatores positivos têm uma correlação inversa

com o aumento da temperatura do ar, enquanto os fatores negativos têm uma correlação positiva. Isso ocorre para as outras variáveis climáticas, porém com a umidade relativa do ar esse relacionamento é ainda menor do que com o Índice de Thom e a temperatura do ar.

Os maiores coeficientes de correlação ocorreram com os fatores positivos e

negativos, bem como com a classe de solo C1. Esse resultado indica que o agrupamento de classes de cobertura de solo foi satisfatório para o propósito deste estudo e, ainda, que a alta contribuição das áreas verdes na composição da área total dos pontos analisados refletiu substancialmente nas variáveis atmosféricas analisadas. Similarmente, o coeficiente de correlação com Índice de Desconforto de Thom foi maior com a composição de fatores positivos e negativos, bem como com a classe de cobertura de solo C1 e menor com a classe C3 no período seco e C6 no período chuvoso,

bem como para a média dos dois períodos. O Índice de Thom foi positivamente relacionado com solo permeável (areia) e solo impermeável (revestimento em concreto), com coeficiente de correlação de 0,72 e 0,63, respectivamente, no período seco. Também para o período chuvoso e para a média dos períodos, os coeficientes de correlação variaram entre 0,51 e 0,69. A classe de recobrimento de solo C7 (solo impermeável – revestimento asfáltico) também apresentou alto coeficiente de correlação com o nível de conforto térmico, chegando a 0,76 no período chuvoso.

Tabela 4. Coeficientes de correlação entre o percentual de cobertura do solo e a temperatura do ar, umidade relativa do ar e Índice de Desconforto de Thom dos pontos analisados. O tipo de cobertura do solo é classificado na Tabela 3 e Fat+ = composição dos fatores positivos para o conforto térmico e Fat- = composição dos fatores negativos para o conforto térmico.

Cobertura/ período	Fat +	Fat -	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8
Temperatura do ar										
Seco	-0,83	0,83	-0,85	0,56	0,54	0,46	0,40	0,56	0,55	0,15
Chuvoso	-0,52	-0,59	-0,59	0,33	0,67	0,08	0,01	0,51	0,34	0,27
Médio	-0,74	0,74	-0,78	0,49	0,62	0,32	0,25	0,57	0,49	0,21
Umidade relativa do ar										
Seco	0,55	-0,55	0,63	-0,45	-0,80	0,20	0,22	-0,78	0,00	-0,63
Chuvoso	0,31	0,41	0,41	-0,24	-0,77	0,33	0,35	-0,61	0,05	-0,58
Médio	0,44	-0,44	0,53	-0,35	-0,79	0,27	0,29	-0,70	0,02	-0,61
Índice de desconforto de Thom										
Seco	-0,72	0,72	-0,68	0,49	0,09	0,72	0,63	0,21	0,68	-0,29
Chuvoso	-0,55	-0,56	-0,56	0,24	0,35	0,57	0,51	0,14	0,76	-0,22
Médio	-0,69	0,69	-0,66	0,42	0,18	0,69	0,61	0,20	0,73	-0,28

O menor coeficiente de correlação foi com a classe de cobertura de solo C6 (solo impermeável - revestimento em

paralelepípedo). Entretanto, isso não significa que essa classe de cobertura de solo não seja positivamente relacionada com o nível de

conforto térmico, pois os efeitos do solo impermeável foram todos incorporados em solos com revestimento em concreto, que exibiu alto coeficiente de correlação. Os resultados aqui apresentados permitem inferir que o Índice de Desconforto de Thom detecta de forma satisfatória a influência da cobertura do solo no nível de conforto térmico das pessoas em qualquer período do ano. Esse índice expressa o grau de confortabilidade que o ser humano sente em decorrência das condições térmicas agradáveis ao corpo.

As trajetórias das médias diárias da temperatura do ar, umidade relativa do ar e do Índice de Thom durante os períodos seco e chuvoso em cada ponto da área de estudo, são exibidos, respectivamente, nas Figuras 4 e 5. Os valores das médias da temperatura do ar apresentam os menores valores em ambos os períodos, no horário das 20-06h, em face da ausência de incidência de radiação solar e redução da emissão de calor sensível emitido pela superfície. Em seguida, a temperatura do ar começa a aumentar até atingir o máximo em torno das 12-14 h, justamente quando ocorre a maior incidência de radiação solar e emissão de calor sensível. O aumento/redução da temperatura é acompanhado pela redução/aumento da umidade relativa, tanto no período seco (Figura 4B) quanto no período chuvoso (Figura 5B). Nos dois períodos analisados, o ponto 4 foi o que apresentou os maiores valores de temperatura do ar em função da ausência de cobertura vegetal e presença de

pavimentação na área, que interferem diretamente no balanço de energia. Por outro lado, o ponto 1 apresentou os menores valores de temperatura do ar e os maiores de umidade relativa do ar em face da cobertura vegetal presente nessa área. Já os pontos 4 e 5, por se tratarem de áreas mais pavimentadas e com pouca cobertura vegetal, apresentaram os menores índices de umidade relativa do ar e altas taxas de temperatura do ar em ambos os períodos avaliados. Isso evidencia a importância da manutenção ou implantação de cobertura vegetal em áreas urbanas com vistas ao aumento do conforto térmico da população.

O tipo de recobrimento do solo, caracterizado pelas superfícies naturais ou não (verde, permeável ou impermeável), repercute na temperatura do ar e na umidade relativa do ar e, conseqüentemente, no nível de conforto térmico. A densidade de massa construída com materiais impermeáveis nos pontos 4, 5 e 6, influenciaram para o aumento da temperatura do ar e na redução da umidade relativa do ar, além desses pontos estarem localizados próximos às edificações que impedem um fluxo normal do vento em face das barreiras lá existentes. Por outro lado, as áreas verdes com grandes extensões de massas vegetais contribuem para a redução da temperatura do ar local e mantêm a umidade relativa do ar mais elevada, tal como ocorreu no ponto 1 (Biotério). Resultados similares foram obtidos por Gomes & Amorim (2003), quando analisaram os efeitos da arborização

no conforto térmico das praças públicas da cidade de Presidente Prudente, SP. O Índice de Desconforto de Thom no período seco variou entre 25,4 e 27,7 °C em P01; 25,6 e

28,3 °C em P02; 25,6 e 28,2 °C em P03; 25,6 e 29,0 °C em P04; 25,7 e 28,0 °C em P05 e entre 25,9 e 28,8 °C em P06 (Figura 4C).

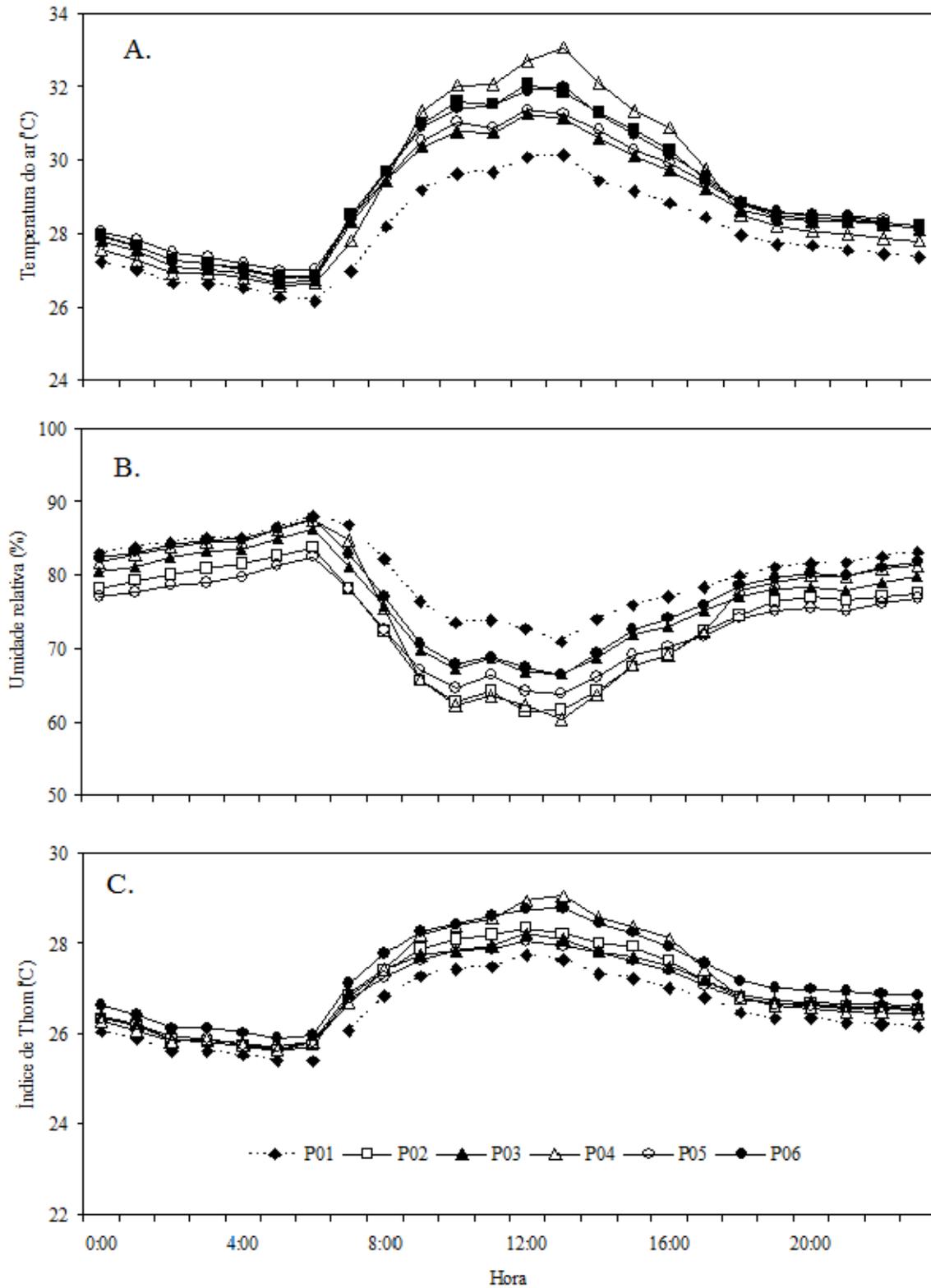


Figura 4. Curso diário médio da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e do Índice de Thom (C) durante o período seco em cada ponto analisado na área de estudo.

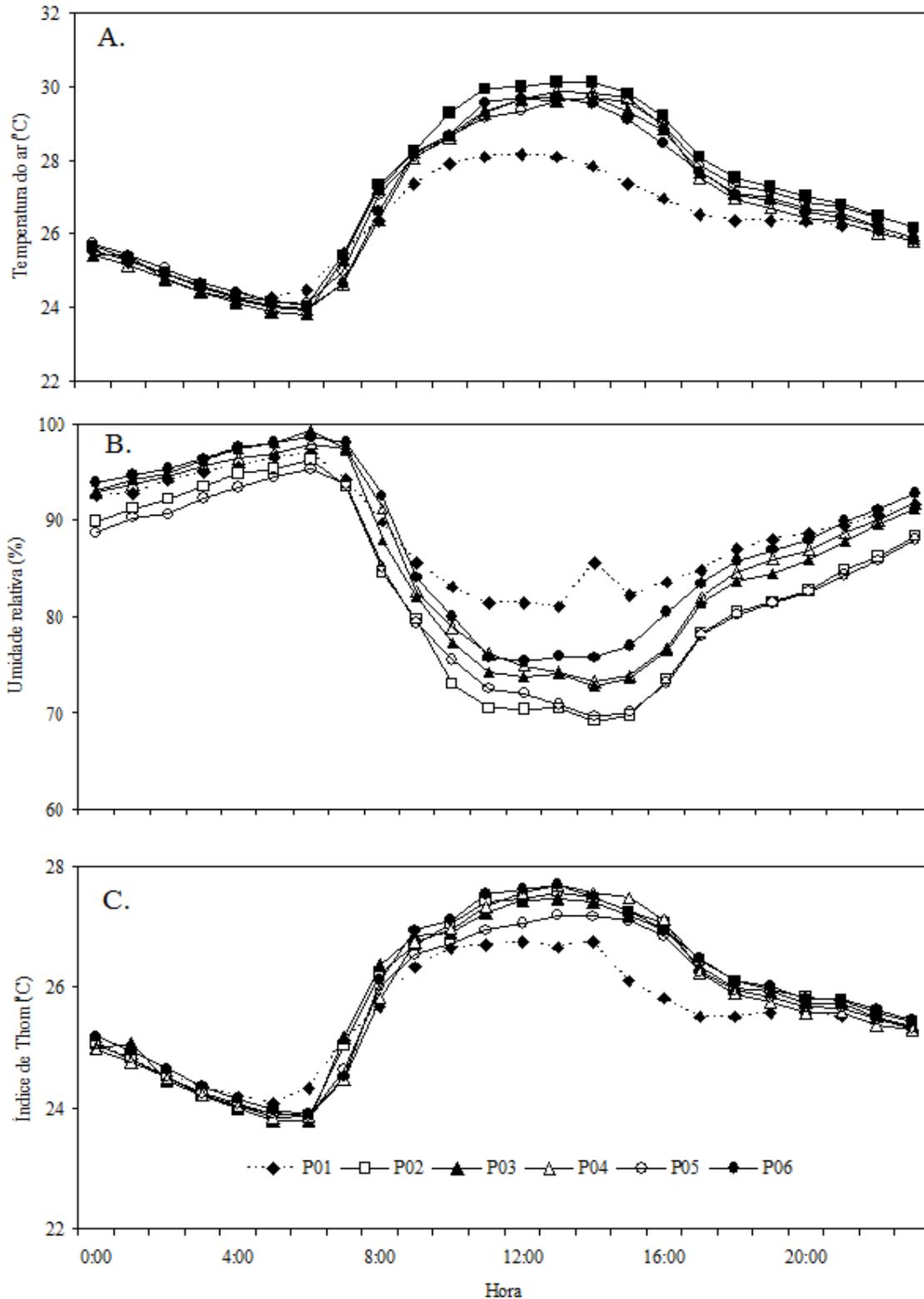


Figura 5. Curso diário médio da temperatura do ar (A), umidade relativa do ar (B) e do Índice de Thom (C) durante o período chuvoso em cada ponto analisado na área de estudo.

Assim, de acordo com a classificação de Giles et al. (1990), o valor mínimo do Índice Desconforto de Thom praticamente não variou entre os pontos, oscilando em torno de

25,5°C, indicando um nível de conforto térmico dentro da faixa 3, ou seja, mais de 50% da população sente desconforto térmico. Os menores valores do índice de Thom

sempre ocorreram entre 4 e 5 h e o ponto mais confortável foi o P01 e o menos confortável foi o ponto P06, no período seco; entretanto, essa diferença foi apenas de 1,1 °C.

Os valores máximos do Índice Desconforto de Thom variaram entre 27,7 °C (P01) e 29,0 °C (P04) e, portanto, todos dentro da faixa 4 (a maioria da população sente desconforto térmico), exceto o ponto 4, que atingiu a faixa 5, indicando que o nível de desconforto é muito forte e perigoso. Os valores máximos desse índice ocorreram no período entre 12 e 13h em todos os pontos analisados. A razão disso foram os valores máximos de temperatura do ar e mínimos de umidade relativa do ar que ocorreram justamente nesse período do dia. No período chuvoso da região, o Índice de Thom variou entre 24,1 e 26,8 °C em P01; 23,9 e 27,6 °C em P02; 23,8 e 27,5 °C em P03; 23,8 e 27,7 °C em P04; 23,9 e 27,2 °C em P05 e entre 23,9 e 27,7 °C em P06 (Figura 5C). Dessa forma, durante o período chuvoso, o nível de conforto térmico na área de estudo atingiu valores mínimos, dentro da faixa 2 (menos de 50% da população sente desconforto térmico), exceto no ponto 1 que se manteve dentro da faixa 3, tal como no período seco. Isso está associado ao fato de que áreas com densa cobertura vegetal na direção do vento e com edificações em cobertura cerâmica, como no caso do P01 (Biotério), pode atuar como regulador térmico, evitando perdas excessivas de calor sensível durante as primeiras horas da madrugada. Esse resultado é semelhante

ao comportamento térmico diário dos desertos, em que durante o dia é muito quente e durante a noite é muito frio, em face da ausência de vegetação e do alto déficit de pressão de vapor. Portanto, a vegetação é um importante componente regulador da temperatura do ar, pois absorve radiação solar que é utilizada nos processos de fotossíntese e transpiração das superfícies vegetadas. O fluxo de vapor de água emitido pela vegetação tem a capacidade de absorver e conservar calor.

A água funciona como reguladora térmica, pois durante o dia ela absorve o calor do sol e o conserva até a noite, para em seguida devolver à atmosfera na forma de fluxo de calor sensível. Por essas mesmas razões, os valores máximos do Índice de Thom ficaram dentro da faixa 4 (a maioria da população sente desconforto térmico), exceto o ponto P01, que ficou na faixa térmica mais confortável (faixa 3 = mais de 50% da população sente desconforto térmico). A diferença entre a temperatura durante o dia e à noite é pequena em regiões litorâneas, porque a evaporação da água do mar atua como regulador térmico. Já em cidades distantes do litoral, e mais ainda em desertos, o gradiente térmico é bem maior.

Efetivamente, em ambos os períodos, o ponto 1 apresentou os menores valores do índice de conforto térmico ao longo do período diurno em função da cobertura vegetal, que influenciou diretamente na temperatura e umidade relativa do ar. Já os

pontos 4 e 6 apresentam os maiores valores do Índice de Thom, em face da ausência de cobertura vegetal e do tipo de recobrimento do solo, o que dificulta os processos de evapotranspiração e aumenta a absorção de calor, alterando, assim, o balanço energético à superfície. Os horários que apresentaram baixos níveis de desconforto térmico em todos os pontos analisados oscilam entre 11 e 15h, declinando nos horários subsequentes em face dos processos de troca de calor e energia que ocorrem entre os diferentes tipos de cobertura do solo nos pontos monitorados. A ausência de cobertura vegetal, associada ao tipo de recobrimento do solo em todos os horários e períodos, determinam o nível de conforto térmico na área de estudo. Portanto, torna-se imprescindível a preservação dos espaços verdes dentro do Campus Universitário, com a finalidade de preservar o seu nível de conforto ambiental.

4. Conclusões

Os resultados do estudo do Campus I da Universidade Federal da Paraíba indicaram que o Índice de Desconforto de Thom é apropriado para avaliar o nível de conforto térmico humano em regiões com clima tropical. A cobertura vegetal, através do sombreamento, exerce papel fundamental no controle do nível de conforto térmico, entretanto, as coberturas de solo com asfalto ou paralelepípedo, ou outros tipos de materiais impermeáveis, têm uma correlação positiva com o aumento do desconforto

térmico. Os valores máximos do Índice de Desconforto Thom foram classificados dentro da faixa 4 (a maioria da população usuária do Campus sente desconforto térmico), exceto o ponto 4, que atingiu a faixa 5, indicando que o nível de desconforto é muito forte e perigoso para a saúde e a qualidade de vida da população, no horário próximo das 13h. Por outro lado, os menores valores do Índice de Desconforto de Thom sempre ocorreram entre 4 e 5 h e a diferença entre o ponto mais confortável e o menos confortável da área de estudo foi de 1,1 °C, que tem expressiva contribuição no nível de conforto térmico. Vale salientar que os pontos analisados com alta concentração de materiais impermeáveis já mostram nível de desconforto térmico bastante elevado no período de maior demanda atmosférica, que ocorre entre 11 e 15h no período seco da região.

Apesar da quantidade expressiva de massa verde (na maior parte resquícios da Mata Atlântica), já existe impacto gerado pela ocupação do espaço geográfico no Campus Universitário da UFPB, provocando a redução da cobertura vegetal. Portanto, a regulamentação com vistas à preservação das áreas verdes remanescentes da Mata Atlântica, torna-se urgente, em face da acelerada expansão do Campus Universitário.

5. Referências

Brito, R. S. (2007). Estudo do Clima Urbano da Cidade de Campina Grande, Paraíba. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-

Graduação em Meteorologia, UFCG, Campina Grande/PB.

Burian, S. J.; Shepherd, J. M. (2005). Effect of urbanization on the diurnal rainfall pattern in Houston. *Hydrological Processes*, v.19, p.1089-1103.

Chen, X. L.; Zhao, H. M.; Li, P. X.; Yin, Z. Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote Sensing of Environment*, v.104, p.133-146.

Costa, A. D. L. (2007). O revestimento de superfícies horizontais e sua implicação microclimática em localidade de baixa latitude com clima quente e úmido. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação da Faculdade de Engenharia Civil, UNESP, Campinas/SP.

Deosthal, V. (1999). Assessment of impact of urbanization on climate: an application of bioclimatic index. *Atmospheric Environment*, v.33, p.4125-4133.

Fan, H.; Sailor, D. (2005). Modeling the impacts of anthropogenic heating on the urban climate of Philadelphia: A Comparison of Implementations in Two PBL Schemes. *Atmospheric Environment*, v.39, p.73-84.

Giles, B. D.; Balafoutis, C. H. (1990). The Greek heatwaves of 1987 and 1988.

International Journal of Climatology, v.10, p.505-517.

Gomes, M.A. S.; Amorim, M. C. C. T. (2003). Arborização e conforto térmico no espaço urbano: estudo de caso nas praças públicas de Presidente Prudente. *Caminhos de Geografia*, v.7, p.94-106.

Gulyás, A.; Unger, J.; Matzarakis. (2005). A. Assessment of the microclimatic and human comfort conditions in a complex urban environment: Modeling and measurements. *Building and Environment*, v.41, p.1713-1722.

Ichinose, T.; Shimodozono, K.; Hanaki, K. (1999). Impact of anthropogenic heat on urban climate in Tokyo. *Atmospheric Environment*, v.33, p.3897-3909.

Jonsson, P.; Bennet, C.; Eliasson, I.; Lindgreen, E. S. (2004). Suspended particulate matter and its relations to the urban climate in Dar es Salaam, Tanzania. *Atmospheric Environment*, v.38, p.4175-4181.

Katzschner, L.; Bosch, U.; Rottgen, M. (2002). Behaviour of people in open spaces in dependency of thermal comfort conditions. In: *Internacional Conference on Passive And Low Energy ARCHITECTURE – PLEA*, 19, France.

Lazar, R.; Podesser, A. (1999). An urban climate analysis of Graz and its significance

for urban planning in the Tributary Valleys East of Grazy (Austria). *Atmospheric Environment*, v.33, p.4195-4209.

Maitelli, G. T.; Chilleto, E. C.; Almeida Junior, N. L.; Chilleto, R. (2004). Intensidade da ilha de calor em Cuiabá, na estação chuvosa. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, Meteorologia e Desenvolvimento Sustentado, 8, Fortaleza/CE.

Oke, T. R. (2004). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. IOM Report, TD. *in press*, World Meteorological Organization, Geneva.

Sarrat, C.; Lemonsu A.; Masson, V.; Guedalia, D. (2005). Impact of urban heat island on regional atmospheric pollution. *Atmospheric Environment*, v.40, p.1743-1758.

Silva, V. P. R. (2004). On climate variability

in Northeast of Brazil. *Journal of Arid Environments*, Cambridge, v.58, p.575-596.

Silva, V. P. R.; Azevedo, P. V.; Brito, R. S.; Campos, J.H.B.C. (2010). Evaluating the urban climate of a typically tropical city of northeastern Brazil. *Environment Monitoring Assessment*, v.161, p.45-59.

Stathopoulo, T.; Wu, H.; Zacharia, J. (2004). Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment*, v.39, p.297-305.

Steeneveld, G. J.; Koopmans, S.; Heusinkveld, B.; Ronda, R.; Van Hove, B.; Holtsla, B. (2011). Quantification of the urban heat island effect and human comfort in the Netherlands using data from hobby meteorologists: role of vegetation in the city. *Geophysical Research*, v.13, p.2011-2633.

Thom, E. (1959). The discomfort index. *Weatherwise*, v.12, p.57-60.