



## ANÁLISE DO CONFORTO TÉRMICO EM AMBIENTES URBANOS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DE MODELO CLIMÁTICO DE BALANÇO DE ENERGIA

**Gianna M. Barbirato**

Universidade Federal de Alagoas

Campus A.C. Simões

CEP 57072-920 Tabuleiro dos Martins, Maceió – AL, Brasil

Email: [gmb@fapeal.br](mailto:gmb@fapeal.br) , web page: <http://www.geca.ctec.ufal.br>

**Arthur Mattos**

Universidade Federal do Rio Grande do Norte

Av. Salgado Filho, s/n Lagoa Nova

CEP 59000-000 Natal - RN, Brasil

Email: [Armattos@ct.ufrn.br](mailto:Armattos@ct.ufrn.br)

**Resumo.** *O trabalho analisa o conforto térmico em ambientes urbanos da cidade de Maceió AL, através da adaptação de um modelo climático de balanço de energia às condições climáticas típicas da cidade, de forma a subsidiar planejamento urbano na identificação dos efeitos diferenciados de tipologias urbanas distintas na temperatura do ar. Os resultados mostram variações térmicas que evidenciam a influência da massa de construção na temperatura do ar resultante e permitiram a calibração do modelo matemático na forma de simulações concordantes com dados de temperatura do ar observados através de trabalho experimental e na simulação de efeitos térmicos conseqüentes de possíveis situações futuras desses ambientes urbanos.*

**Palavras-chave:** *Conforto térmico; Climatologia urbana; Modelagem climática.*

### 1. INTRODUÇÃO

A massa construída das cidades produz alterações na paisagem natural, e, conseqüentemente, no conforto térmico dos ambientes urbanos, resultando em inúmeros microclimas. O fenômeno de “ilhas de calor” (e ilhas frias coexistentes, devido ao sombreamento de edifícios altos), já bastante estudado, tornou-se na verdade sinônimo da própria climatologia urbana (Terjung & O’Rourke, 1980).

Sobre os climas tropicais de baixa latitude, há ainda pouca base científica própria e fundamentada (Oke et al. ,1991). Estima-se que menos de 10% do que é hoje publicado sobre climatologia urbana dizem respeito ao estado da atmosfera tropical ou seus processos fundamentais. Da mesma forma, há ainda pequena quantidade de estudos nos trópicos, em especial as avaliações quantitativas (Tso, 1996).

A maioria dos trabalhos sobre climatologia tropicais baseia-se unicamente em dados de estações-padrão já existentes, localizadas freqüentemente em áreas suburbanas de aeroportos, e que raramente são ideais para o monitoramento urbano, além da escassez de equipamentos apropriados para estudos adequados da camada limite urbana. Essas dificuldades em parte explicam o baixo progresso no campo e a necessidade de estudos básicos, segundo avaliações da própria OMM - Organização Mundial de Meteorologia -, que sirvam como ponto de partida para investigações urbanas mais elaboradas (Oke, 1986).

Com base nessa exposição, este trabalho desenvolveu-se visando contribuir para o entendimento dos sistemas climáticos urbanos de países tropicais, tendo como objetivo principal a análise do conforto térmico em ambientes urbanos através da aplicação de um modelo climático de balanço de energia, adaptando-o para as condições climáticas típicas da cidade de Maceió (AL), de forma a auxiliar o planejamento urbano na orientação das diversas tipologias dos espaços, no teste de soluções e na previsão de possíveis efeitos térmicos de diferentes usos do solo urbano (Barbirato, 1998).

Para a investigação, foram realizadas medições de temperatura do ar sobre 03 frações urbanas da cidade de Maceió, com padrões de uso e ocupação do solo diferenciados. A partir dos dados colhidos no trabalho experimental, procedeu-se ao ajuste de um modelo de balanço de energia com a sua adaptação para as condições climáticas típicas da cidade. Por fim, foi feita a avaliação do potencial do modelo, quanto à sua sensibilidade às variações observadas, e quanto à sua aplicabilidade como ferramenta auxiliar nos trabalhos de planejamento e conforto térmico de ambientes urbanos.

## 2. O BALANÇO DE ENERGIA URBANO

Os estudos de processos de fluxos de energia, umidade e massa em ambientes urbanos permitem uma melhor caracterização da superfície atmosférica afetada pela urbanização. A modelagem matemática é um recurso importante para o entendimento dos processos atmosféricos, a previsão de fenômenos, além de se constituir, até certo ponto, como uma alternativa aos trabalhos de campo para obtenção de dados.

Para identificação das características da superfície urbana e das mais importantes destas na determinação do clima urbano, muitos modelos matemáticos existentes na literatura técnica disponível são elaborados com base no entendimento do balanço de energia urbano, visando sua aplicação, entre outras áreas, no planejamento das cidades.

O balanço de energia da superfície, descrito na Eq. (1), constitui o seccionamento da energia radiante absorvida na superfície da terra em fluxos de calor que controlam o clima da superfície. A maioria dos modelos consideram os seguintes componentes ( Fig. 1):

$$Q^* + Q_F = \Delta Q_S + \Delta Q_A + Q_H + Q_E \quad (1)$$

onde:

$Q^*$  = fluxo de radiação líquida, em função do albedo, energia solar difusa e direta, radiação infravermelha emitida pelo topo da camada intra-urbana e densidade de fluxo infravermelho da atmosfera;

$Q_F$  = fluxo de calor antropogênico (combustão, condicionamento do ar, etc.);

$\Delta Q_S$  = densidade de fluxo de armazenamento de energia na camada intra-urbana e solo;

$\Delta Q_A$  = advecção líquida;

$Q_H$  = fluxo de calor turbulento sensível;

$Q_E$  = fluxo de calor turbulento latente.

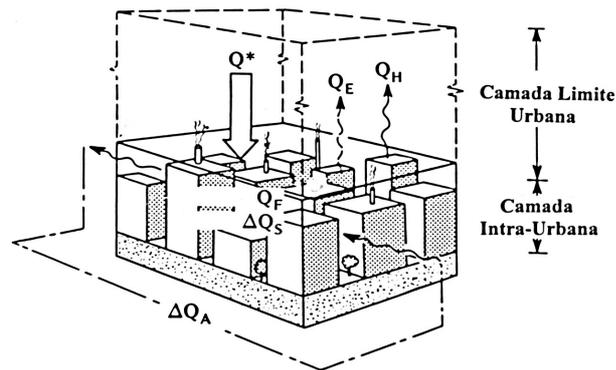


Figura 1 - Representação esquemática dos fluxos envolvidos no balanço de energia de um volume urbano construção - ar. Fonte: Oke, 1996.

Os modelos climáticos de balanço de energia da superfície urbana envolvem um grande número de parâmetros que intervêm no meio ambiente climático urbano, e têm sido bastante aplicados em trabalhos didáticos e de pesquisa. São importantes no teste de soluções sugeridas para problemas climáticos urbanos e na previsão dos possíveis efeitos ambientais de diferentes usos do solo.

As cidades, entretanto, ainda permanecem sem análise satisfatória de balanço de energia, devido ao grande número de fenômenos envolvidos em cada termo da equação do balanço e à dificuldade de sua precisa quantificação. Os modelos climáticos urbanos têm sua aplicação limitada à falta de validação com medidas de campo e dificuldades em se especificar as propriedades da complexa superfície urbana.

### 3. O MODELO CLIMÁTICO URBANO ADOTADO

Dentre muitos modelos propostos pela literatura técnica (Carlson & Boland, 1978; Oke et al., 1992; entre outros), o modelo climático de balanço de energia adotado para o presente trabalho é o proposto em Tso et al. (1990), e foi selecionado como o mais apropriado para ser adaptado às condições climáticas típicas e para a simulação do comportamento térmico de diversas frações urbanas da região de estudo, especialmente porque foi aplicado para uma cidade tropical de baixa latitude e clima quente e úmido, com perfil climático, portanto, semelhante à região estudada. O modelo prevê, ainda, a variação da temperatura do ar devido à variação da massa construída, parâmetro fundamental para profissionais de arquitetura e engenharia em estudos de climatologia urbana e planejamento urbano dos espaços.

O modelo climático adotado, de mesoescala, consiste na representação do balanço de energia de uma fração urbana como resultante do balanço de fluxos de radiação, calor latente e sensível e fluxo de calor no solo, representado pela Eq. 2 e Fig. 2, em um plano da superfície urbana sob a seguinte equação de balanço de energia:

$$M = R - H - LE - S \quad (2)$$

onde:

$M$  = armazenamento de energia térmica ( $W/m^2$ )

$R$  = fluxo de radiação líquida ( $W/m^2$ );

$H$  = fluxo de calor sensível para o ar ( $W/m^2$ );

$L$  = calor latente da água (J/kg);

$E$  = taxa de evaporação (portanto,  $LE$  é o fluxo de calor latente) ( $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$ );

$S$  = fluxo de calor no solo ( $\text{W}/\text{m}^2$ ).

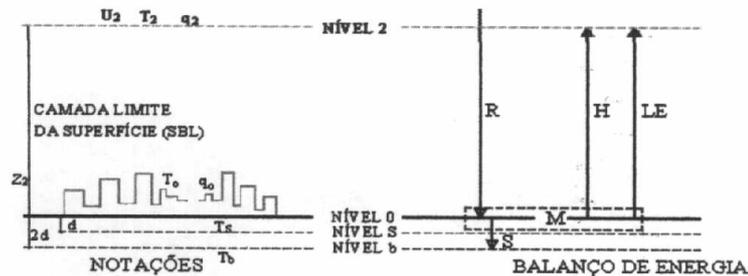


Figura 2 - Esquema do Modelo. Fonte: TSO et al., 1990, p.144.

O princípio do modelo é de que a massa construída urbana homogêneo, avolumétrico, mas que é capaz de armazenar energia térmica à taxa de (Eq. 3):

$$M = m_c C_c \frac{dT_o}{dt}, \quad (3)$$

onde:

$m_c$  = massa construída por unidade de área ( $\text{kg}/\text{m}^2$ )

$C_c$  = calor específico da massa construída, à pressão constante ( $\text{kJ}/\text{kgK}$ )

$\frac{dT_o}{dt}$  = taxa de mudança da temperatura do ar, em relação ao tempo.

No plano da superfície (nível 0, conforme fig.2), as temperaturas do solo, das construções e do ar estão sempre em equilíbrio térmico ( a  $T_o$ ). Para os demais fluxos, são utilizadas as equações clássicas utilizadas em modelos correntes (descritos em Barbirato, 1998). Para a formulação do modelo, admite-se homogeneidade horizontal em todos os parâmetros meteorológicos e de solo; fluxos turbulentos de calor e vapor d'água constantes entre os níveis 0 e 2 e temperatura, velocidade de vento e umidade específica constantes a  $Z_2$ . A cobertura urbana é unicamente caracterizado pela rugosidade  $Z_0$ .

#### 4. A ÁREA DE ESTUDO

A cidade de Maceió, capital de Alagoas, está localizada no litoral do Nordeste do Brasil, entre a latitude  $9^{\circ}39'57''$  Sul e longitude  $35^{\circ}44'07''$  Oeste, às margens do Oceano Atlântico, desenvolvendo-se sobre uma formação de restinga. Abrange uma área de  $512\text{km}^2$ , possui uma população de 668.000 habitantes e densidade demográfica de  $1.357,64$  hab./ $\text{km}^2$  e taxa de crescimento anual de 4,21%, segundo estimativas do IBGE - Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística -, no ano de 1991.

Maceió constitui um bom exemplo de constância de nível térmico que caracteriza o litoral do Nordeste brasileiro, com temperatura média anual de  $25,4^{\circ}\text{C}$  e variação anual de  $3,4^{\circ}\text{C}$  entre os valores médios mensais das temperaturas médias ( $26,7^{\circ}\text{C}$  em fevereiro e  $23,7^{\circ}\text{C}$  em julho, maior e menor média, respectivamente) e uma alta umidade relativa média (78%). Está sob influência alternada dos ventos alísios de Sudeste, mais freqüente (de velocidade fraca a moderada) e os ventos de retorno do Nordeste nos meses mais quentes (janeiro, fevereiro e março). O valor médio mensal da velocidade de vento é de  $2,8\text{m}/\text{s}$ , podendo chegar a valores

absolutos mais intensos de 10m/s na direção Nordeste. A pluviosidade média anual é de 1654mm, com meses mais chuvosos de abril a julho.

## 5. ANÁLISE DO AMBIENTE TÉRMICO URBANO

Foram tratados e corrigidos dados experimentais através de medições móveis de temperatura do ar em 3 frações urbanas da cidade de Maceió – AL, com padrões de uso e ocupação do solo diferenciados:

- fração urbana com alguma verticalização, mas também com edificações térreas e alguns terrenos vazios(área mista); predominantemente residencial ,pouca vegetação (ponto 1);
- fração urbana verticalizada, formada quase na sua totalidade de edificações de múltiplos andares, uso predominantemente residencial; pouca vegetação (ponto 2);
- fração urbana formada quase na sua totalidade de construções térreas, uso predominantemente residencial; pouca vegetação (ponto 3).

Para os pontos medidos, procurou-se selecionar locais com altitudes aproximadamente iguais na cidade, de modo que fossem garantidos termos de comparação climática entre eles. Os pontos são representativos da diversidade da tipologia das edificações existentes na cidade e permitiram percurso rápido entre para as medições móveis em um mesmo horário.

As temperaturas do ar foram sob condições de céu claro – dias 30/04; 1/05, 2/05, 03/05 e 04/05/98 -, caracterizando uma série temporal típica para a área de estudo. Considerando-se a constância de nível térmico que caracteriza a região, praticamente durante todo o ano, e os objetivos do trabalho, essa amostragem foi considerada satisfatória. As medições diárias realizaram-se em um total de nove horas: 8:00h, 9:00h, 10:00h, 14:00h, 15:00h, 16:00h, 19:00h, 20:00h e 21:00h.

Os dados obtidos pelo trabalho experimental foram tratados e corrigidos de modo a serem obtidas, a partir dos horários observados, curvas de evolução da temperatura do ar para o período de 8:00h às 21:00h. A Fig.3 mostra o comportamento médio diário das temperaturas nos diversos pontos medidos e os dados colhidos na estação meteorológica.

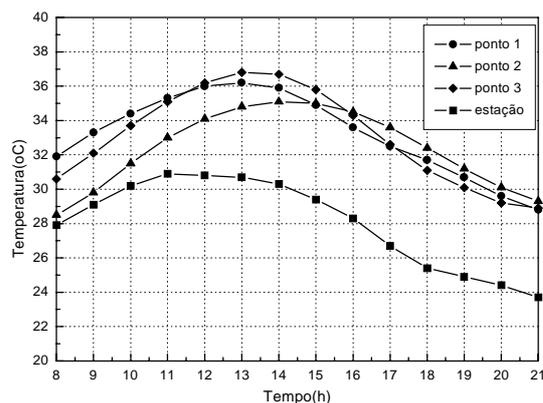


Figura 3 – Temperaturas do ar médias para o período observado.

Em função dos resultados obtidos, observa-se que as massas edificadas produziram, claramente, efeitos de elevação da temperatura interna do ar da cidade. Os valores obtidos pelas curvas de evolução da temperatura do ar mostram pequenas variações entre as diversas frações urbanas, devido aos efeitos amenizadores da umidade atmosférica, mas que reforçam a influência, nas condições microclimáticas, de modificações no ambiente externo pela maior ou menor presença de superfícies como edificações.

A distribuição da temperatura do ar mostra um comportamento relativamente uniforme para os três pontos, com aumento gradativo de temperatura entre 8:00h e 14:00h, e resfriamento gradativo até o pôr do sol por volta das 18:00h. As temperaturas do ar nas frações urbanas observadas são sempre superiores às temperaturas da estação meteorológica (ponto de referência), comprovando a modificação térmica provocada pelo meio urbano no clima da cidade.

Os valores médios máximos de temperatura nos pontos de medições móveis sofrem atraso em relação aos valores máximos registrados na estação meteorológica. Essas diferenças de temperatura verificadas devem-se à capacidade de armazenamento de energia das diferentes massas construídas dos distintos entornos.

O maior atraso térmico ocorrido no ponto 2 (temperatura máxima às 14:00h) justifica-se pela maior capacidade de armazenamento de energia térmica da massa construída. No ponto 3, onde há predominância de edificações térreas, o atraso térmico é um pouco menor (temperatura máxima às 13:00h), o mesmo ocorrendo com o ponto 1, onde há peculiaridades locais como um maior espaçamento entre as edificações térreas e de multi - andares, além da presença de terrenos vazios.

As maiores diferenças de temperatura entre os pontos e as temperaturas da estação ocorreram no período da tarde, quando há maior influência do aquecimento dos materiais e superfícies urbanas.

A menor amplitude apresentada pelo ponto 2 (5,8°C) em relação aos pontos 1 e 3 (7,4 °C e 7,9 °C, respectivamente) justifica-se pelo fato de que, por caracterizar-se pela presença predominante de edificações altas, recebe pouca insolação durante todo o dia, produzindo condição microclimática agradável devido ao efeito de sombreamento das edificações altas e temperaturas um pouco mais baixas que os outros pontos, ao longo do dia. Entre 17:00h e 21:00h, entretanto, apresenta valores médios de temperatura pouco acima dos demais pontos, caracterizando-se aí o resultado do armazenamento de energia da maior massa edificada.

O ponto 3 apresentou maiores amplitudes térmicas diárias, já que, com edificações predominantemente térreas (horizontais), há maior aquecimento diurno, por estar mais exposta à insolação durante o dia. Por outro lado, apresentou esfriamento mais rápido a partir do fim do período da tarde.

A análise térmica evidenciou, portanto, a interferência da malha urbana na modificação do clima local embora, em valores absolutos, as diversas tipologias urbanas mostraram pouca alteração na temperatura do ar. As condições favoráveis de vento (brisas marítimas) a que está continuamente submetida a área de estudo certamente promovem a amenização das temperaturas do ar e resfriamento das superfícies. De qualquer forma, uma análise comparativa entre os pontos de medição mostra tendências diferenciadas na totalidade da curva, com valores de temperatura mais altos para o ponto menos adensado - ponto 3, seguido do ponto 1 (área mista), e do ponto 2 (área verticalizada).

## **6. APLICAÇÃO DO MODELO DE BALANÇO DE ENERGIA**

O ajuste do modelo às condições climáticas típicas de Maceió e as simulações realizadas nas frações urbanas foram realizadas mediante implementação computacional para automatizar a solução do problema. O programa gerado, descrito em Barbirato(1998), foi testado para o caso apresentado em Tso et al. (1990) e, obtendo-se perfeita concordância de resultados, foi possível a adaptação do modelo à região estudada.

O resumo final dos dados de entrada utilizados na calibração do modelo são mostrados na tabela 1:

Tabela 1 - Parâmetros de entrada iniciais utilizados para ajuste do modelo

PARÂMETRO	VALOR	FONTE
Calor Específico do ar, $C_p$	$1006 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}^{-1}$	Holman, 1983
Densidade do ar, $\rho_a$	$1,177\text{kgm}^{-3}$	Holman, 1983
Calor Específico do solo, $C_s$	$1185 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}^{-1}$	Oke, 1996
Densidade do solo, $\rho_s$	$1800 \text{ kgm}^{-3}$	Oke, 1996
Condutividade Térm. solo, $k_s$	$1,225 \text{ Wm}^{-1}\text{C}^{-1}$	Oke, 1996
Calor Espec. do concreto, $C_c$	$880 \text{ Jkg}^{-1}\text{C}^{-1}$	Holman, 1983
Calor Lat. Evapor., $L$	$2,437 \times 10^6 \text{ Jkg}^{-1}$	Oke, 1996
Massa Média de Concreto, $m_c$	$m_{c1} = 627,65 \text{ kg/m}^2$ ; $m_{c2} = 1.211,08 \text{ kg/m}^2$ ; $m_{c3} = 420,20 \text{ kg/m}^2$ $m_c \text{ estação} = 10 \text{ kg/m}^2$ (valor estimado)	Valores Calculados
Constante de Von Kármán, $K$	0,4	Tso et al.,1990
Radiação Líquida, $R$	Valores calculados:	
Vel. Vento a 300m, $U_2$	9m/s	Valor calculado
Temp. ar a 300m, $T_2$	$25^\circ\text{C}$	Tso et al.,1990
Umid. Espec. a 300m, $q_2$	0,003	Tso et al.,1990
Fração da Evap. Na Sup. , $E_f$	10%	Tso et al.,1990
Profund. do Solo, $2d$	0,20m	Tso et al.,1990
Temp. do Solo em 2d, $T_b$	$25^\circ\text{C}$	Tso et al.,1990

Após o devido ajuste dos parâmetros, a comparação entre os dados observados e os dados calculados pelo modelo mostrou boa correspondência entre o modelo e as medições no efeito diferenciado da temperatura do ar para as diversas tipologias de uso do solo estudadas. A figura 4 mostra a comparação entre os resultados simulados e a figura 5 apresenta a média ponderada de temperatura do ar através das áreas das frações urbanas, imaginando-se que as frações urbanas formam uma só região.

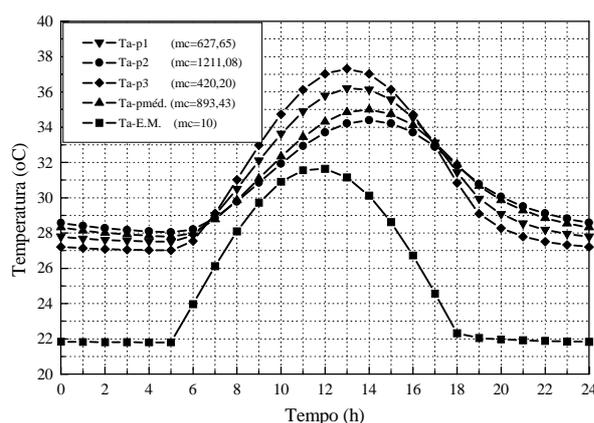


Figura 4 - comparação entre as temperaturas do ar simuladas ( $T_a$ ) para os diversos pontos de observação e estação meteorológica ( $T_{aEM}$ ) e suas respectivas massas de concreto ( $m_c$  em  $\text{kg/m}^2$ ).

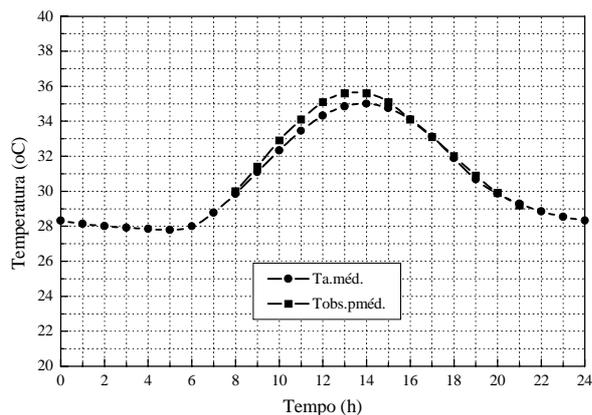


Figura 5 - comparação entre as médias ponderadas de temperaturas do ar observadas ( $T_{obsméd}$ ) e simuladas ( $T_{améd}$ ) dos pontos de observação

### 6.1. Simulação de situações futuras

Alguns testes simulando possíveis situações futuras de configuração urbana para os pontos 1 e 3, como o aumento da massa construída (resultante de possível verticalização dessas áreas) e conseqüente aumento do comprimento de rugosidade, mostram comportamento diferenciado da curva de temperatura diária do ar, resultando em diminuição e deslocamento do valor da temperatura máxima, como mostram as Figs. 6 e 7, além de menor resfriamento das superfícies após o pôr do sol.

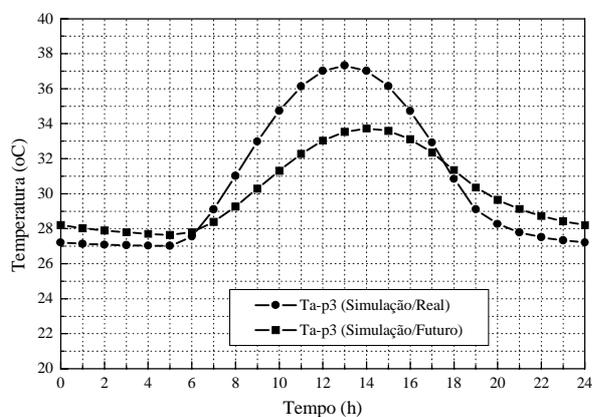


Figura 6 - simulação de situação futura - ponto 3.

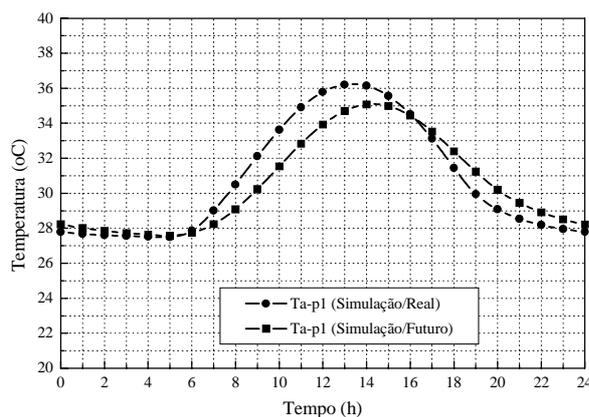


Figura 7 - simulação de situação futura - ponto 1.

## 6.2. Avaliação do modelo

De um modo geral, o modelo adaptado é de fácil aplicação, embora solicite grande quantidade de parâmetros de entrada. Mostrou-se sensível às configurações urbanas distintas, podendo, portanto, ser útil no teste de soluções e previsões dentro do planejamento e controle térmico de ambientes urbanos.

Quanto às suas limitações, o modelo não considera, entre outros fatores, a contribuição do calor antropogênico no ambiente térmico da cidade e possíveis efeitos de nebulosidade. Admite, ainda, uma única temperatura de equilíbrio da superfície, e não considera a complexidade geométrica de uma estrutura urbana. Por outro lado, inclui o cálculo da massa de construção urbana, importante parâmetro na determinação da influência da morfologia urbana nas condições térmicas de um determinado local.

A falta de instrumental adequado para a medição dos componentes de balanço de energia não permitiu a total avaliação do potencial do modelo. Do mesmo modo, os resultados encontrados para uma mesma região estudada não permitiram avaliar totalmente o alcance dessa ferramenta para outras condições microclimáticas mais diferenciadas dentro da cidade.

## 7. CONCLUSÕES

O trabalho procurou enfatizar a importância de algumas considerações que devem ser levadas em conta em planejamento de espaços urbanos, como a influência de um maior adensamento no aumento da temperatura do ar e a importância do sombreamento dos espaços na amenização de condições microclimáticas urbanas locais. Da mesma forma, o modelo numérico climático urbano adaptado mostrou microclimas diferenciados dentro de frações distintas do ambiente urbano e os impactos térmicos conseqüentes, bem como a simulação de situações térmicas possíveis com maior adensamento nesses espaços.

Sabe-se que uma das dificuldades encontradas em trabalhos de simulação consiste na escassez de parâmetros de entrada físicos e meteorológicos, o que leva a estimativas ou suposições baseadas em informações disponíveis, muitas vezes não apropriadas para a realidade local. Essa dificuldade impede maior avanço no campo da simulação climatológica urbana, que só se verificará com a realização de maior número de investigações que digam respeito a dados climáticos para as regiões tropicais.

É inegável a importância hoje, na climatologia urbana, de uma abordagem mais quantitativa dos fenômenos e com o uso de simulações. Nesse contexto, torna-se importante o desenvolvimento de pesquisas que auxiliem o planejador urbano quanto à possibilidade de

trabalhar com simulações urbanas que mostrem diversas alternativas de organização dos espaços urbanos, fundamentadas em critérios ambientais, entre os quais, o de conforto térmico dos ambientes urbanos.

Sabe-se que uma das grandes discussões hoje sobre a otimização dos espaços urbanos está no adensamento, ou não, dos centros das cidades, e os impactos ambientais conseqüentes. Do mesmo modo, áreas de crescente valorização imobiliária nas grandes, médias e pequenas cidades são desordenadamente ocupadas.

Sabe-se que há muito ainda a ser estudado e acrescentado sobre ao assunto, para que se possa levar o conhecimento ambiental às esferas de decisão e gestão dos espaços urbanos. Acredita-se que o aumento do reconhecimento da importância da questão ambiental urbana nos problemas de planejamento e conforto ambiental dos espaços urbanos poderá trazer maior divulgação e, conseqüentemente, maior atenção à essa área.

## REFERÊNCIAS

- Barbirato, G. M., 1998, Aplicação de modelo de balanço de energia para análise do ambiente térmico urbano de Maceió – AL, Tese de Doutorado, SHS, EESC, Universidade de São Paulo, São Carlos, São Paulo.
- Carlson, T.N. & Boland, F.E., 1978, Analysis of urban - rural canopy using a surface heat flux / temperature model, *Journal of applied meteorology* n.17, pp.998-1013.
- Holman J.P., 1983, Transferência de calor, McGraw Hill do Brasil, São Paulo.
- Oke, T.R., 1996, *Boundary layer climates*, Routledge, New York.
- Oke, T.R., ed., 1986, *Proceedings of the Technical Conference on Urban Climatology and its applications with Special Regard to Tropical areas*, Mexico, 1984, WMO n.652.
- Oke, T.R., Taesler, R. and Olsson, L., 1991, The tropical urban climate experiment (TRUCE), *Energy and Buildings*, vol.15-16, n. 1-2, pp.67-73.
- Oke, T.R.; Zeuner, G.; Jaureghi, E.(1992). The surface energy balance in Mexico City, *Atmospheric Environment*, vol. 26B, n. 4, pp.433-444.
- Terjung, W.H., & O'Rourke, P. A., 1980, Simulating the causal elements of urban heat islands, *Boundary-Layer Meteorology*, n.19, pp.93-118.
- Tso, C.P., 1996, A survey of urban heat island studies in two tropical cities, *Atmospheric Environment*, vol.30, n. 3, pp. 507-519.
- Tso, C.P., Chan, B.K. and Hashin, M.A., 1990, An improvement to the basic energy balance model for urban thermal environment analysis, *Energy and Buildings*, n.14, pp.143-152.

## THERMAL COMFORT ANALYSIS OF URBAN ENVIRONMENTS BY AN ENERGY BALANCE MODEL APPLICATION

**Abstract.** This work analyses the thermal comfort of urban environments of Maceió – AL, Brazil, by a adaptation of a climate model of urban energy balance to the typical climatic conditions of the city, to subsidize the urban planning. The results of the experimental work shows thermal variations that confirmed the influence of the construction mass on the final air temperature and it permitted the calibration of the mathematical model, obtaining good agreement between observed and calculated air temperature values, and simulations of further thermal effects of possible future configurations of those urban scenarios.

**Key words:** Thermal comfort, Urban climatology; Climatic modeling.