

# Métodos preditivos da Climatologia como subsídios ao planejamento urbano: aplicação em conforto térmico

**Eleonora Sad de Assis**

Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo – Escola de Arquitetura

Universidade Federal de Minas Gerais

Correio eletrônico: elsad@dedalus.lcc.ufmg.br

## **Resumo**

Apresenta-se um procedimento de simulação física em modelo reduzido do fenômeno da ilha de calor numa área urbana da cidade de Belo Horizonte (MG) integrado à abordagem de trabalho de campo, demonstrando a capacidade do modelo físico em reproduzir fatos do mundo real, o que lhe confere capacidade preditiva. A comparação de resultados entre o modelo físico reduzido e a área urbana de estudo foi feita através de um modelo numérico aplicado simultaneamente aos dois casos. A boa correlação encontrada entre os resultados mostra que se pode utilizar este procedimento para a avaliação objetiva dos impactos das estruturas urbanas sobre o clima natural do sítio local, auxiliando na tomada de decisão para o planejamento e projeto urbano, bem como nas legislações construtivas, com vistas à preservação das condições de qualidade físico-ambiental e acessibilidade aos recursos naturais na área urbana.

## **Palavras-chave**

Clima urbano – ilha de calor – modelos físicos radiativos – planejamento urbano – cidade de Belo Horizonte.

Terra Livre	São Paulo	Ano 19 - vol. I - n. 20	p. 145-158	jan/jul. 2003
-------------	-----------	-------------------------	------------	---------------

## Introdução

Os estudos sobre o clima urbano têm demonstrado que muitos processos atmosféricos em escala local sofrem influência da cidade. Basicamente, a área urbanizada, ao modificar certas características da paisagem natural, tais como materiais constituintes, permeabilidade do solo à água, índice de vegetação, rugosidade (permeabilidade aos ventos) e superfícies expostas à radiação solar, modifica o balanço energético local, causando mudança de comportamento das variáveis do clima. Segundo Oke (1982), a diferença primária entre os processos térmicos da área urbana e de seu entorno natural ou rural está na repartição entre os fluxos turbulentos de calor sensível (trocas térmicas secas) e de calor latente (trocas térmicas úmidas). As áreas naturais ou rurais adjacentes à cidade perdem mais calor por meio do resfriamento evaporativo. Nas cidades, onde as superfícies têm mais capacidade térmica e o grau de impermeabilização é muito maior, ao contrário, a maior parte do fluxo térmico é de calor sensível – que, por sua natureza, é causa de desconforto térmico humano (estresse bioclimático). As estruturas urbanas favorecem ainda o estoque de calor, aumentando a importância desse termo no sistema, pois, durante a noite, a intensidade da perda térmica é função da quantidade de calor armazenado e disponibilizado na superfície.

Oke (1981), investigando os fatos que determinam a formação da “ilha de calor” urbana à noite, demonstrou também que as duas características urbanas mais relevantes na análise das diferenças no balanço de energia e nas taxas de resfriamento entre os meios urbano e natural ou rural adjacentes à cidade são:

- a geometria urbana, caracterizada pela relação altura e distância entre edifícios ou entre edifícios e ruas – denominada razão H/W – ou pelo fator de visão do céu ( $y_s$ );
- propriedades térmicas das superfícies, avaliadas através de sua inércia térmica.

É interessante ressaltar que estas características são extensamente controladas pela atividade de planejamento e projeto, tanto na escala urbana quanto na do edifício, através das legislações urbanas e códigos de obra, de modo que há, em princípio, potencial para agregar objetivamente informações da climatologia ao planejamento e gestão das cidades, através do chamado planejamento urbano climaticamente responsável (Chandler, 1976; Landsberg, 1976; Katzschner, 1997 etc.). Entretanto, embora se reconheça a importância da consideração do clima no planejamento urbano, constata-se que muito pouco do conhecimento disponível da climatologia urbana é usado no planejamento das cidades. Oke (1984) aponta que parte do problema está na natureza da pesquisa em climatologia urbana, essencialmente descritiva, e na sua dificuldade em traduzir seus resultados em subsídios e ferramentas úteis para aplicação em planejamento. De fato, Taesler (1986) observa que, do ponto de vista da climatologia, o principal objetivo reside em estudar o impacto da área urbana sobre a atmosfera, mas que para o planejador urbano e para o projeto de edificações, ao contrário, o interesse está em avaliar os impactos do clima sobre as funções, a economia e a segurança do ambiente construído, bem como sobre a saúde e bem-estar da população, de modo a tomar decisões para a preservação da qualidade desse ambiente.

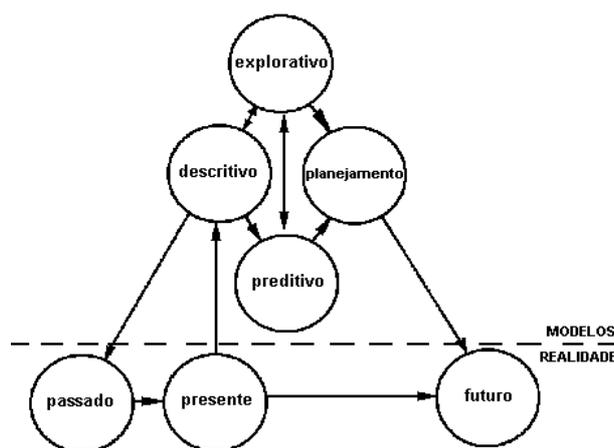
Obviamente, o processo de tomada de decisão em planejamento e projeto não pode estar baseado em critérios puramente qualitativos e em princípios gerais; é necessário desenvolver

metodologias para a análise quantitativa e integrada de atributos da forma urbana e do clima, em suas várias escalas, baseadas em critérios de conforto ambiental e eficiência no uso de recursos energéticos e de materiais, de maneira a diminuir a pressão das áreas urbanas sobre os recursos naturais, dando maior sustentabilidade ao ambiente construído. Monteiro (1986) já chamava a atenção para a necessidade do desenvolvimento de modelagem para a simulação, a partir de situações observadas, fortalecendo as bases de previsão para subsidiar o planejamento urbano.

Assim, o interesse no potencial preditivo dos modelos do clima urbano reside no fato, muito claramente apontado por Echenique (1975), em sua abordagem genérica sobre os modelos de realidade, de que um planejamento mais consequente das ações sobre humanas o ambiente requer o desenvolvimento das teorias ou modelos descritivos da realidade em processos preditivos e de exploração de futuros possíveis (Figura 1), assessorando a tomada de decisão em planejamento.

Figura 1

Processo ideal de elaboração de modelos em relação à realidade, segundo Echenique (1975)



### Objetivo

Apresenta-se um procedimento integrado de investigação da ocorrência do fenômeno de ilha de calor numa área urbana através da abordagem simultânea de trabalho de campo, simulação em modelo físico reduzido da área de estudo e simulação numérica aplicada ao mundo real e ao modelo físico, como forma de demonstrar a capacidade do modelo físico em reproduzir fatos do mundo real, conferindo-lhe capacidade preditiva (Assis, 2000). A abordagem simultânea do mundo real e simulado através de modelagem tem a vantagem de superar o limite de aplicação imposto por resultados descritivos, como apontado anteriormente.

Por outro lado, a vantagem do uso de modelos físicos reside em ser familiar aos projetistas, servindo de instrumento integrador entre os fatos ambientais e o projeto urbano;

possibilita a abordagem de situações complexas, permitindo análises quali-quantitativas; facilita a comparação de desempenho de situações ou características de projeto, subsidiando a tomada de decisão e o aperfeiçoamento de soluções e é útil no desenvolvimento e validação de modelos numéricos. Na escala da UCL (camada urbana ao nível das coberturas), os modelos físicos escalados podem simular padrões complexos de fluxo de ar no ambiente construído, bem como os padrões de sombreamento e de carga térmica em arranjos de edifícios (Olgyay; Olgyay, 1963) e os efeitos da geometria urbana e da inércia térmica no resfriamento noturno de recintos urbanos (Oke, 1981). Verificou-se, também, a possibilidade de usar modelos físicos para a simulação de trocas de calor latente em áreas verdes urbanas de diferentes tipologias paisagísticas (Sproken-Smith, 1994).

Usando uma área urbana de Belo Horizonte (MG) como estudo de caso, partiu-se da hipótese de que, em situação de clima continental com baixa velocidade de vento regional durante o ano (cerca de 1,5 m/s), o principal termo do balanço energético urbano será o de troca térmica por radiação e, neste caso, a variável urbana diretamente relacionada é a *geometria*, descrita pelo fator local de visão do céu (Assis, 2000). A abordagem da ilha de calor como fenômeno noturno é útil, muito embora o ideal seria fazer uma simulação de 24 horas (campo térmico urbano), devido à percepção da importância das condições de resfriamento natural dos edifícios e do recinto urbano para a manutenção do conforto higrotérmico dos habitantes e usuários dos edifícios, bem como para a economia de energia operante para o condicionamento artificial de ambientes interiores.

## Metodologia

Desenvolveu-se um levantamento de dados de temperatura do ar, umidade relativa e velocidade de vento durante 24 horas na área de estudo, em condições de céu claro e calmaria, que são típicas do inverno belo-horizontino, favorecendo a formação da ilha de calor urbana. Os modelos físicos da área de estudo foram usados para simular os efeitos da geometria urbana, em seu papel de regular a perda térmica por radiação de onda longa, em condições similares à do mundo real, ou seja: período noturno, onde a superfície terrestre começa a irradiar calor para o céu, o qual passa a atuar como corpo negro; condições de calmaria e sem nebulosidade, em que o calor antropogênico pode ser desconsiderado no balanço energético local. O planejamento do trabalho de campo, bem como o do experimento com os modelos físicos, está diretamente relacionados com o tipo de modelo numérico do fenômeno estudado, pois suas variáveis devem ser adequadamente medidas e/ou estimadas para permitir a comparação entre os resultados experimentais e os calculados pelo modelo numérico.

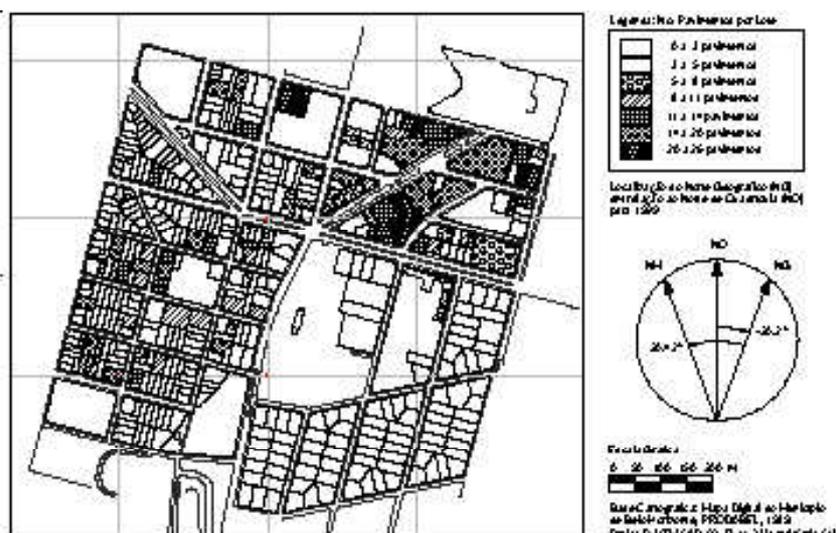
O uso de um modelo numérico para a validação e comparação de resultados entre os fenômenos observados na área de estudo e em seu modelo físico reduzido justifica-se tendo em vista que, embora as características qualitativas da troca térmica por radiação sejam similares nas duas escalas, o grau de intensidade e a escala de tempo do fenômeno não são os mesmos nos dois casos, impossibilitando uma comparação direta entre os resultados obtidos no mundo real e em seu modelo físico. Descreve-se, a seguir, cada uma dessas etapas.

## Caracterização do campo térmico da área de estudo

A área urbana selecionada para o estudo corresponde à região da cidade onde foram observadas as temperaturas médias mínimas (noturnas) mais elevadas, caracterizando a ocorrência da ilha de calor urbana (Assis, 1990). Esse registro ocorreu na estação meteorológica da Lourdes, atualmente a estação-padrão da cidade. Foi delimitada uma área de estudo de cerca de 25 ha em torno dessa estação. A Figura 2 mostra essa região, caracterizada por uma grande diversidade de usos, comerciais, institucionais e residenciais, com tipologia de ocupação variada, ocorrendo áreas verticalizadas com pouca vegetação, bem como áreas de baixa densidade de ocupação e muito arborizadas.

Para o levantamento de dados climáticos, foram definidos 3 circuitos, abrangendo ao todo 23 pontos de medição, em função de uma trajetória racional no trânsito local que permitisse executar cada circuito em cerca de 20 minutos, de modo a percorrer toda a área em cerca de 1 hora, em cada horário amostrado. As medições ocorreram de 3 em 3 horas, a partir das 6:00 horas, tomando como ponto comum a todos os circuitos o da estação meteorológica (ponto 1), para possibilitar a distribuição do erro de medição por todos os pontos do circuito, regularizando as medidas. Foi utilizada instrumentação manual digital – um termo-higrômetro da marca Higrótemp, modelo 90DR, e um anemômetro Iop-vent –, sendo os dados medidos em cada ponto anotados em planilhas para cada horário. Após tratados, os dados horários foram plotados sobre o mapa da área de estudo, com a ajuda de um *software* gerador de superfícies. A Figura 3 mostra, como exemplo, os dados das 21:00 horas, que caracterizam bem a ocorrência das temperaturas mais altas e umidades mais baixas nas áreas mais verticalizadas à noite, em situação de calmaria.

Figura 2  
Mapa da área de estudo com a classificação do número de pavimentos edificadas por lote. Extraído de Assis, 2000



Do ponto de vista do conforto térmico, observa-se (Figura 4) uma diferenciação entre os pontos mais acentuada ao longo do dia, principalmente após as 9:00 horas, mas depois do por-do-sol, com a irradiação térmica dos ambientes ocorrendo ao longo da noite, a tendência é de equalização das condições higrotérmicas até o nascer-do-sol no dia seguinte. A amplitude térmica ao longo das 24 horas é maior nas áreas menos verticalizadas, em contraposição à tendência de conservar calor das áreas mais verticalizadas e densas. Mesmo em período de inverno, durante o dia, algumas áreas ficaram fora da zona de conforto, necessitando ventilação para resgatar as condições de conforto para uma população aclimatada, e, durante a madrugada, todas elas estavam excessivamente frias, em zona de influência do aquecimento passivo (AP, no diagrama).

Figura 3

À esquerda, variação das temperaturas do ar medidas às 21:00 horas na área de estudo, onde as temperaturas mais elevadas ocorrem nas áreas mais verticalizadas; à direita, a distribuição de umidade relativa no mesmo horário. Extraído de Assis, 2000

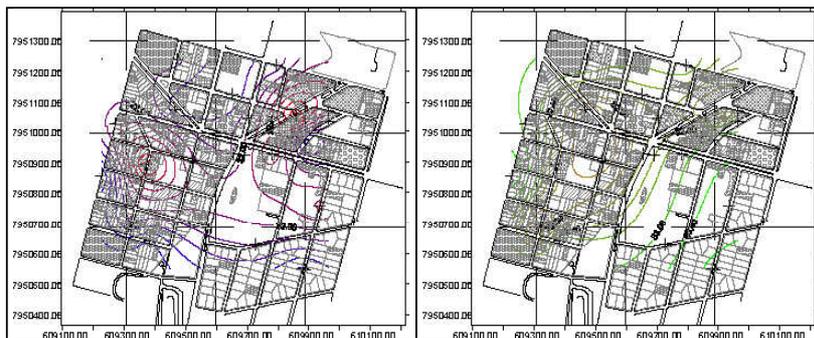
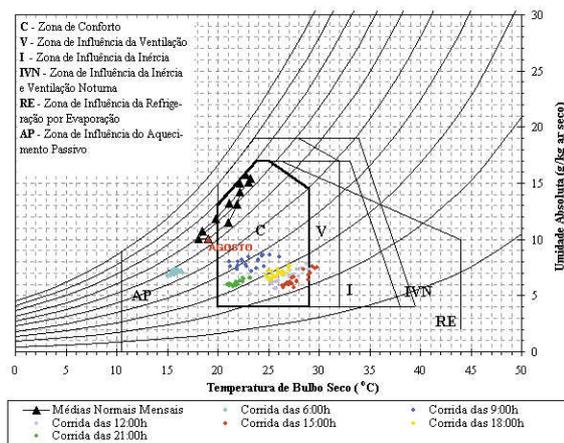


Figura 4

Diagrama bioclimático de Givoni para Belo Horizonte, com os dados horários do trabalho de campo válidos plotados e a curva média normal anual (agosto em destaque, mês em que ocorreram os trabalhos de campo) para comparação. Adaptado de Assis, 2000



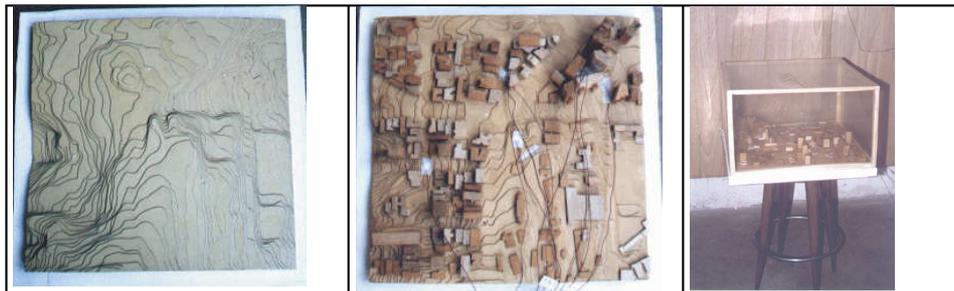
## Modelos físicos da área de estudo: simulação da ilha de calor

Segundo Lowry (1988), o conceito de ilha de calor urbana consiste basicamente de uma diferença de temperatura observada na cidade e o que deveria ser, se a cidade não estivesse ali presente. Então, dois modelos físicos da área de estudo foram executados, um deles representando apenas o terreno, chamado de “modelo rural”, para seguir a nomenclatura usualmente adotada em trabalhos semelhantes, e o outro com a implantação das edificações existentes, chamado de “modelo urbano”. Os modelos foram construídos na escala 1:1000, com dimensões na base de 0,50 m x 0,50 m, correspondentes aos 25 ha da área de estudo. Os materiais usados, papelão de 1 mm de espessura para o terreno e madeira maciça leve para as edificações, têm grande resistência térmica, permitindo melhor observação dos efeitos da geometria urbana. Cada modelo recebeu na base uma placa de 0,04 m de espessura de poliestireno, para isolamento térmico. Foram, ainda, revestidos superficialmente com uma camada de resina acrílica fosca, para prevenir contra trocas de calor latente durante os ensaios.

Uma câmara fria de 6,41 m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,42 m foi usada para os testes, tendo sido ajustada para temperatura interna de -10°C, para permitir simular a diferença média local (do sítio urbano) entre a temperatura de céu e a do solo. A câmara fria foi revestida internamente com chapas de madeira compensada encerada, para melhor controle das emissividades entre suas superfícies e as dos modelos. Esta câmara possui, também, uma antecâmara de 3,42 m<sup>2</sup> e pé-direito de 2,42 m, onde foi montada a bancada virtual de testes e armazenados os modelos físicos durante os ensaios. A Figura 5 mostra alguns detalhes de montagem desses modelos.

Figura 5

À esquerda, o modelo “rural”, com os quatro pontos de medição indicados; ao centro, o modelo “urbano”, com os termopares montados com massa térmica e fita crepe e, a direita, o modelo montado para ensaio, sob a tenda de proteção e já na câmara fria. Extraído de Assis (2000)



Uma placa de aquisição de dados com 16 canais Omega modelo WB-AAI e termopares tipo E (cromel-constantan) 30 AWG foi instalada numa CPU-386 e os termopares, montados em junta torcida, ligados aos drivers de saída da placa. Para monitorar as temperaturas das câmaras, foram fixados 5 termopares nos pontos médios das paredes e teto da câmara fria, e mais 2 termopares mediam respectivamente a temperatura do ar da câmara fria e da antecâmara. Os termopares para medida das temperaturas superficiais foram fixados com massa térmica e fita crepe, que tem emissividade semelhante à dos materiais de revestimento da câmara fria e dos modelos. Os modelos foram montados previamente com 4 a 7 termopares, fixados com massa térmica e fita crepe, e uma tenda de plástico (polietileno de espessura de 15 mđm) para minimizar a troca de calor sensível por convecção, com as frestas entre o modelo e a tenda isoladas com fita crepe. Cada montagem foi deixada pelo menos 24 horas na antecâmara à temperatura ambiente, para que todo o aparato entrasse em equilíbrio com a temperatura dessa sala, em média de 23°C, apresentando a mesma temperatura superficial em todos os pontos medidos antes de o modelo ser introduzido na câmara fria. Cada ensaio foi feito inserindo rapidamente o modelo na câmara, colocando-o sobre um banco de madeira a cerca de 0,50 m do piso. Após introduzir o modelo e fechar a câmara, o refrigerador era desligado. Em cada um dos ensaios, assegurou-se de que a variação da temperatura do ar da câmara fria não ultrapassasse os 3°C, como no experimento de Oke (1981). O decréscimo das temperaturas superficiais do modelo e da câmara eram, então, monitorados durante 60 minutos, com dados registrados a cada minuto. Desses 60 minutos, o tempo médio válido de experimento observado foi de 26 minutos para o modelo “rural” e de 28 minutos para o modelo “urbano”. As condições de início de cada ensaio foram controladas, de modo a haver o mínimo possível de variação entre um ensaio e outro. Das séries de experimentos realizados com cada modelo, os 3 melhores ensaios de cada um deles foram selecionados, gerando dados médios que demonstraram a repetibilidade do experimento.

## Modelo numérico de controle dos experimentos

Oke (1981) desenvolveu um método experimental relativamente simples para simular os efeitos da geometria urbana no resfriamento noturno da cidade. A modelagem numérica que serviu ao controle e validação de seus experimentos foi, depois, aperfeiçoada por Lyons (1983). Esse modelo representa as condições anteriormente descritas e assim, na ausência de advecção, o decréscimo total da temperatura superficial ( $D\delta T$ ) ao longo do tempo no modelo físico reduzido é dado pela chamada equação de Groen:

$$\Delta T(t) = (-L_0/f) * [EXP(f^2 * t / \mu^2) * ERFC(f * t^{1/2} / \mu) - 1] \quad (1)$$

onde

$L_0$  é a densidade de fluxo de radiação de onda longa no tempo  $t = 0$  [ $W/m^2$ ];

$f$  é a taxa de decréscimo da temperatura superficial;

$\mu$  é a admitância térmica [ $J/m^2 K s^{1/2}$ ];

$t$  é o tempo [s].

Este modelo aplica-se a superfícies horizontais, mas o ambiente urbano e o sítio natural possuem também superfícies verticais e/ou inclinadas, devido à topografia, à presença de

vegetação e/ou de edificações. Assim, Oke (1981) propôs uma equação para o termo de densidade líquida de radiação de onda longa ( $L^*$ ) como uma função da variável fator de visão do céu ( $\psi_s$ ), possibilitando avaliar a influência do parâmetro geometria urbana, já que esta variável corresponde ao fator de forma da troca térmica por radiação. Nesta equação, o termo devido a ( $\bar{L}$ ) consiste de duas componentes: uma relativa ao céu e outra devida às superfícies verticais e/ou inclinadas vistas a partir do ponto considerado sobre o piso do modelo (superfície de uma rua, lote etc.):

$$L^* = \psi_s * \downarrow L_s + (1 - \psi_s) * \downarrow L_w - \uparrow L_g \quad (2)$$

onde

$\psi_s$  é o fator de visão do céu para o ponto considerado;

$\downarrow L_s$  é a radiação de onda longa vinda do céu claro [ $W/m^2$ ];

$\downarrow L_w$  é a radiação de onda longa emitida pelas superfícies inclinadas e/ou verticais [ $W/m^2$ ];

$\uparrow L_g$  é a radiação de onda longa emitida pela superfície do piso [ $W/m^2$ ].

Reescrevendo a equação (2) em termos das temperaturas superficiais:

$$L^* = \psi_s * (\epsilon_s * \sigma * T_s^4) + (1 - \psi_s) * (\epsilon_w * \sigma * T_w^4) - (\epsilon_g * \sigma * T_g^4) \quad (3)$$

onde

$\epsilon_i$  é a emissividade de cada superfície considerada;

$\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann;

$T_s$  é a temperatura superficial do céu [K];

$T_w$  é a temperatura superficial das “paredes” em torno do ponto considerado [K];

$T_g$  é a temperatura superficial do piso [K].

Na aplicação deste modelo numérico aos dados do experimento, a variável emissividade e a constante de Stefan-Boltzmann foram tomadas da literatura especializada. A admitância térmica dos modelos foi determinada ensaiando-se o material componente dos modelos físicos em laboratório técnico para a determinação de suas características termo-físicas de condutividade térmica, calor específico e densidade, que são as componentes da admitância. Os fatores de visão de céu de cada ponto estudado no caso do modelo “rural” foram determinados através da elaboração, por desenho geométrico sobre planta topográfica do local, das máscaras de obstrução da abóbada celeste em cada ponto, plotadas sobre o diagrama de forma da hemisfera celeste em projeção eqüidistante (Souza, 1997), o que possibilitou a estimativa da área efetiva de céu bloqueada pelos obstáculos, neste caso, pelas formas do terreno. Do mesmo modo, foram determinados os fatores de visão do céu de cada mesmo ponto no modelo “urbano”, sendo que, neste caso, as máscaras de obstrução foram elaboradas sobre o registro fotográfico de uma lente espelhada esférica colocada sobre cada ponto de estudo na área real. As variáveis de temperatura superficial foram medidas durante o experimento com os modelos físicos.

Uma expansão da série de Taylor da equação de Groen reduz-se à equação de Brunt (1941, citado por Oke, 1981), quando  $L^*$  é mantida constante ao longo da noite, que é o que ocorre no mundo real, de modo que a fórmula de Brunt para a equação geral de Groen é mais adequada para aplicação aos dados levantados na área de estudo.

$$\Delta T(t) = (-2/\pi^{1/2}) \cdot (L^*/\mu) \cdot t^{1/2} \quad (4)$$

Na aplicação deste modelo aos dados de campo, é necessário estimar as densidades dos uxos de radiação de onda longa vinda do céu ( $\bar{L}$ ) e emitida pela superfície do solo ( $L$ ), que compõem  $L^*$ . Swinbank (1963) propôs uma equação para  $\bar{L}$ , como função da temperatura do ar medida à altura-padrão (1,5 m do solo) e ( $L$ ) pode ser calculada diretamente pela Lei de Planck, como no caso dos modelos físicos. As propriedades de condutividade térmica, calor específico e densidade do solo foram estimadas através de dados de literatura, resultando numa admitância térmica ( $m$ ) média do solo da ordem de  $1616 \text{ J.m}^{-2}.\text{°C}^{-1}.\text{s}^{-1/2}$ , valor considerado dentro do intervalo típico para paisagem urbana, segundo Oke (1981).

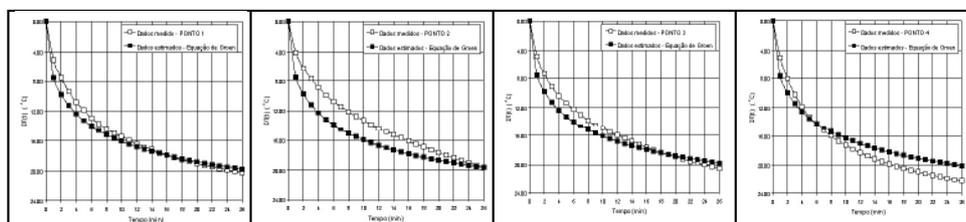
## Resultados

Os gráficos das Figuras 6 e 7 mostram, respectivamente, os resultados medidos nos modelos “rural” e “urbano” nos mesmos pontos de estudo e os resultados estimados pela equação de Groen, observando-se um bom ajuste entre as curvas medidas e calculadas.

Os dados de temperatura de solo a 2 cm de profundidade, medidos na estação meteorológica de Lourdes, no período do trabalho de campo, foram comparados aos resultados obtidos com a aplicação da equação de Brunt, tendo-se obtido, também, um bom ajuste para a série medida entre as 18:00 horas e as 6:00 horas, como mostra a Figura 8.

Figura 6

$\Delta T(t)$  medida e calculada pela equação de Groen para o modelo “rural”, respectivamente nos pontos 1, 2, 3 e 4 da área de estudo, ajuste para 26 minutos, tempo calculado de experimento válido pela mesma equação. Note-se que o tempo observado e calculado são muito próximos.



Extraído de Assis (2000)

Figura 7

$\Delta T(t)$  medida e calculada pela equação de Groen para o modelo “urbano”, respectivamente nos pontos 1, 2, 3 e 4 da área de estudo, ajuste para 28 minutos, tempo calculado de experimento válido pela mesma equação. Os tempos observado e calculado foram praticamente idênticos, o que aumentou a correlação dos resultados. Extraído de Assis (2000)

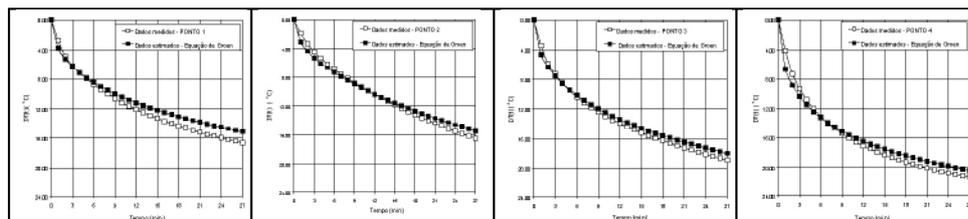
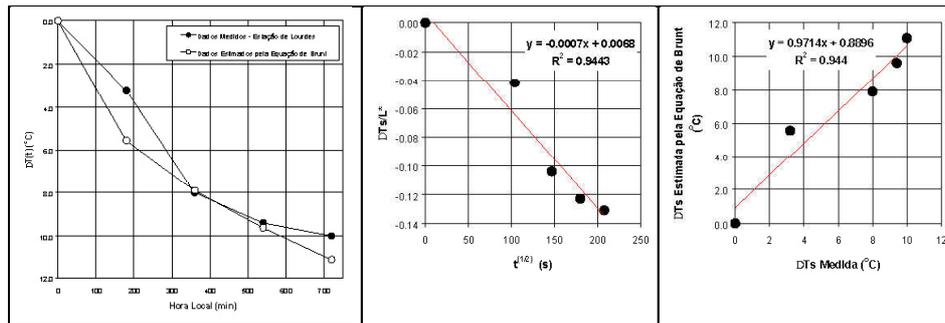


Figura 8  
 Variação medida e calculada da temperatura de solo na Estação de Lourdes. No centro, a tendência linear da relação  $\Delta T/L^*$  versus  $t^{(1/2)}$ ; à direita, a correlação entre temperatura medida e calculada. Extraído de Assis (2000)



Através da aplicação do modelo numérico aos dados medidos em campo e aos dados medidos nos modelos físicos, observou-se, pela correlação entre as curvas medidas e calculadas, que o comportamento térmico do modelo físico corresponde bem ao fenômeno estudado, conferindo-lhe, assim, capacidade preditiva.

Uma vez que foram controladas as características do experimento e dos modelos físicos, pode-se comparar os resultados de ambos e considerar que qualquer diferença em seus resultados esteja relacionada ao efeito do arranjo local dos edifícios. De fato, a Figura 9 mostra as discrepâncias ocorridas entre os dados medidos no modelo “rural” e no modelo “urbano”. Como se pode observar, as maiores discrepâncias entre as curvas “rural” e “urbana” ocorreram nos pontos 1 e 2, ambos localizados em áreas densas e verticalizadas. Isto mostra que essas áreas tendem a se manter mais quentes durante períodos de céu claro e calmaria. O ponto 3, embora localizado em área verticalizada, sofreu provavelmente a influência da grande área livre a sudoeste, que corresponde, na área de estudo, a quase uma quadra inteira ocupada por uma pequena edificação com vegetação de porte arbóreo no entorno. O ponto 4, que corresponde à estação meteorológica de Lourdes, situada em quadra de baixa densidade e ocupação horizontal, apresentou a menor diferença entre as curvas.

## Conclusões

Os modelos físicos radiativos em escala de recintos urbanos reais podem ser usados com sucesso para a simulação do comportamento térmico dessas áreas, uma vez que as condições que representam estejam bem caracterizadas. Neste caso, o experimento se limitou à reprodução das condições ambientais típicas para a ocorrência da ilha de calor urbana.

Um aspecto que merece discussão é o fato de que a modelagem física e numérica do clima urbano trata com temperaturas superficiais e não com temperaturas do ar, as quais, do

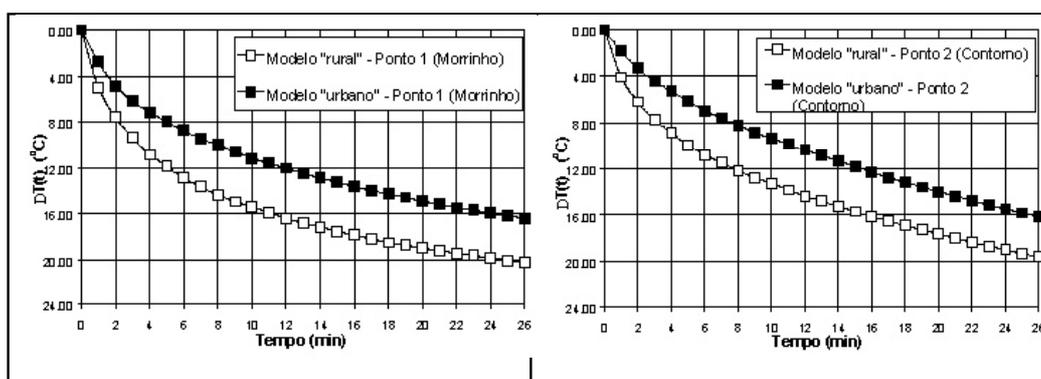
ponto de vista do planeamento urbano, seriam mais significativas para a análise do conforto térmico urbano. Assis (2000) demonstrou que, em climas ou períodos do ano mais secos, existe correlação entre as temperaturas superficiais e as temperaturas do ar, o que reafirma a representatividade do uso de modelos físicos para o estudo de comportamento térmico de áreas urbanas, nestas condições.

Os resultados observados mostraram que há potencial para a utilização deste procedimento na avaliação objetiva da adequação de uma determinada estrutura urbana a um sítio natural, pela comparação entre as curvas de variação da temperatura superficial nos modelos com e sem a estrutura urbana, que sugerem o grau de impacto que esta estrutura tem ou terá sobre o balanço de radiação local. Entretanto, ainda será necessário desenvolver um modo de qualificar o desempenho térmico do ambiente construído no processo do experimento, pois não foi possível aplicar um índice de conforto térmico na escala dos modelos reduzidos.

A última década registrou um crescente interesse na aplicação de critérios ambientais ao planeamento e projeto urbanos, notadamente na área do conforto ambiental e da climatologia urbana, porém, para o desenvolvimento e consolidação de uma perspectiva de planeamento urbano climaticamente responsável, faz-se necessário investir no diálogo interdisciplinar e na formação de profissionais qualificados para lidar com a aplicação prática de tais critérios, o que requer um quadro conceitual consistente e o aprofundamento da pesquisa na área, sem o que, não há como aperfeiçoar os instrumentos legais e de gestão urbana de que se dispõe atualmente.

Figura 9

Resultados comparados do experimento com os modelos “rural” e “urbano”, respectivamente nos pontos 1, 2, 3 e 4 da área de estudo. Extraído de Assis (2000)



Deste modo, pode-se constatar uma certa variabilidade no campo térmico do entorno construído da estação meteorológica, que encontra correspondência, pelo menos de modo qualitativo, com os fatos observados através de dados climatológicos do local (Assis, 1990).

## Bibliografia

- ASSIS, E. S. *Mecanismos de desenho urbano apropriados à atenuação da ilha de calor: análise de desempenho de áreas verdes urbanas em clima tropical*. Rio de Janeiro: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1990. 168 p. (Dissertação, Mestrado em Arquitetura).
- ASSIS, E. S. *Impactos da forma urbana na mudança climática: método para a previsão do comportamento térmico e melhoria do desempenho do ambiente urbano*. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo, 2000. 273 p. (Tese, Doutorado em Arquitetura e Urbanismo).
- CHANDLER, T. J. *Urban climatology and its relevance to urban design*. Geneva, 1976. WMO Technical Note 149.
- ECHENIQUE, M. Modelos: una discusión. In: MARTIN, L. MARCH, L. ECHENIQUE, M. *La estructura del espacio urbano*. Barcelona: G. Gili, 1975. p. 235-248.
- KATZSCHNER, L. Urban climate studies as tools for urban planning and architecture. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: FAU/UFBA – ANTAC, 1997. p. 49-58.
- LANDSBERG, H. E. *Special environmental report 7: weather, climate and human settlements*. Geneva, 1976. WMO n. 448.
- LOWRY, W. P. *Atmospheric ecology for designers and planners*. McMinnville: Peavine Publications, 1988.
- LYONS, T. J. Comments on “Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparisons of scale model and field observations”. *Journal of Climatology*, v. 3, p. 95-101, 1983.
- MONTEIRO, C. A. F. Some aspects of the urban climate of tropical South America: the Brazilian contribution. In: TECHNICAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATION WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1986, Geneva. *Proceedings...* Geneva: WMO, 1986. WMO n. 652, p. 166-197.
- OLGYAY, V. OLGAY, A. *Design with climate: bioclimatic approach to architectural regionalism*. Princeton: Princeton University Press, 1963.
- OKE, T. R. Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations. *Journal of Climatology*, v. 1, p. 237-254, 1981.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 108, p. 1-24, 1982.
- OKE, T. R. Towards a prescription of the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, v. 7, p. 1-10, 1984.
- SOUZA, R. V. G. *Iluminação natural em edificações: cálculo de iluminâncias internas – desenvolvimento de ferramenta simplificada*. Florianópolis: Centro Tecnológico – Dep. Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, 1997. (Dissertação, Mestrado em Engenharia Civil).

- SWINBANK, W. C. Long-wave radiation from clear skies. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 89, p. 339-348, 1963.
- SPROKEN-SMITH, R. A. *Energetics and cooling in urban parks*. Vancouver: University of British Columbia, 1994. (Thesis, PhD in Geography).
- TAESLER, R. Urban climatological methods and data. In: TECHNICAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATOLOGY AND ITS APPLICATION WITH SPECIAL REGARD TO TROPICAL AREAS, 1986, Geneva. *Proceedings...* Geneva: WMO, 1986. WMO n. 652, p.199-236.

#### RESUMEN

En un área urbana de la ciudad de Belo Horizonte (Minas Gerais) se presenta un procedimiento de simulación física en un modelo reducido del fenómeno de la isla de calor, incorporado al abordaje del trabajo de campo, que demuestra la capacidad del modelo físico en reproducir los hechos del mundo real, lo que le confiere una capacidad pronosticadora. La comparación de los resultados entre el modelo físico reducido y el área urbana estudiada se hizo utilizando un modelo numérico aplicado simultáneamente a ambos casos. La buena correlación encontrada entre los resultados muestra que se puede usar ese procedimiento para la valoración objetiva de los impactos de las estructuras urbanas sobre el sitio natural local, auxiliando en las tomas de decisión en el planeamiento y el proyecto urbano, así como también en las legislaciones constructivas, objetivando la preservación de las condiciones de calidad físico-ambiental y la accesibilidad de los recursos naturales en el área urbana.

#### PALABRAS-CLAVE

Clima urbano – isla de calor – modelos físicos radioactivos – planeamiento urbano – ciudad Belo Horizonte.

#### ABSTRACT

This paper presents a procedure for the physical simulation of the urban heat island phenomenon applied to a real urban area of the city of Belo Horizonte, MG. The results of the physical simulations were integrated to the urban area survey results through a numerical model applied to both cases. The ability of the physical model in reproducing real facts might give it predictive capacity. The good agreement between the results showed that it is possible to use this procedure for an objective evaluation of the urban structure impacts on the site natural climate, helping the decision making process in urban planning and design, as well as the building legislation, considering the environmental quality and preserving the access to natural resources in urban areas.

#### KEY WORDS

Urban climate – urban heat island – radioactive physical models – urban planning – city of Belo Horizonte.

---

Recebido para publicação em 6 de dezembro de 2002.