

Denise Duarte

Orientador:  
Prof. Dr. Geraldo Gomes Serra

P

ADRÕES DE OCUPAÇÃO DO  
SOLO e MICROCLIMAS  
URBANOS NA REGIÃO DE  
CLIMA TROPICAL  
CONTINENTAL

088

pós-

## RESUMO

O objeto deste trabalho são os microclimas urbanos nas cidades brasileiras na região de clima tropical continental. Partindo do princípio que há uma correlação entre microclimas urbanos e ocupação do solo, o objetivo é medir numericamente a correlação entre a temperatura do ar e algumas variáveis familiares ao planejamento, e que podem ser regulamentadas pela legislação municipal. Faz-se uma descrição qualitativa e quantitativa das variáveis urbanísticas envolvidas, bem como medições de temperatura e umidade do ar em diferentes estações e horários. Os resultados mostram que as variáveis *taxa de ocupação* e *coeficiente de aproveitamento* mantêm correlação positiva com a temperatura do ar, e refletem uma maior influência da densidade construída sobre o período noturno, o que concorda com a teoria existente. Já com as variáveis *arborização* e *água* a correlação foi negativa em relação à temperatura do ar, em todos os horários.

## ABSTRACT

The subject of this research is the urban microclimate in cities of the Brazilian continental tropical region. According to the principle that there is a correlation between urban microclimates and urban occupation, the objective is to numerically measure the correlation between air temperature and variables that are familiar to urban planning strategies, which can be controlled by municipal regulations. Qualitative and quantitative descriptions of the urban variables are made, as air temperature and humidity measurements registered along the day for the two main seasons. The results show that with variables related to the *built density*, the correlation was positive when referred to air temperature, and reflected the greater influence of built density at night, what is in accord with the existing theory. On the other hand, using *trees* and *water*, the correlation was negative, when related to air temperature, in all periods.

## I. INTRODUÇÃO

Nesse fim de século, muitas cidades são vistas como símbolos de crise ambiental. Os problemas relacionados ao meio ambiente urbano são os mais variados: excesso de ruído, emissão de poluentes no ar e na água, escassez de recursos energéticos e de água, falta de tratamento adequado de resíduos, alterações no regime de chuvas e de ventos, formação de ilhas de calor, ilhas secas, ilhas de frio, inversão térmica, aumento do consumo de energia para condicionamento artificial e transporte, etc. É clara a necessidade de desenvolver novas estratégias de planejamento que permitam a continuidade do crescimento das áreas urbanas de forma que a população possa viver num ambiente mais sustentável.

O condicionamento artificial dos edifícios teve efeitos marcantes nas cidades modernas. Diversas tentativas de se controlar o ambiente urbano foram apresentadas, por exemplo, pelos projetos ousados de Buckminster Fuller (1985), que buscavam tornar a sua idéia de *Spaceship Earth* uma realidade. Há também um projeto de Sérgio Bernardes para o Hotel Tropical de Manaus de 1967 (1967/68); tratava-se de um hotel de turismo internacional nos arredores de Manaus, em plena floresta amazônica, com uma cúpula protetora refletora, criando um ambiente interno climatizado.

A vida urbana se converteu em uma série de experiências condicionadas artificialmente, com moradia, espaços de trabalhos e veículos isolados do exterior. Liberando os edifícios das preocupações climáticas, o condicionamento artificial permitiu o desenvolvimento de megaestruturas cujo aquecimento, refrigeração, umidade e iluminação dependem totalmente de sistemas mecânicos. Isso fez com que as cidades dessem as costas ao meio exterior, tornando-se cada vez mais um lugar contaminado, varrido por ventos de inverno ou sufocados pelo calor do verão. A preocupação exclusiva com o microclima interior nega o papel climático ao espaço exterior, e os microclimas urbanos, cada vez mais insalubres, geram maior confiança nos microclimas interiores controlados (Hough, 1998).

Até pouco tempo os principais esforços da chamada *arquitetura bioclimática* estavam voltados para o desempenho higratérmico dos edifícios, e pouco tinha sido feito visando uma adequação climática do espaço urbano e a melhoria das condições de conforto nos espaços públicos. Em um espaço fechado, o conceito de conforto está estreitamente ligado ao conceito de temperatura do ar, sendo esta a variável fundamental a considerar. Já em espaços abertos existem outros fatores que contribuem de maneira mais significativa do que a temperatura. Em um espaço fechado, a concepção da envoltória é o fator determinante da demanda energética. Já em espaços abertos, os elementos arquitetônicos e urbanísticos que conformam esses espaços, tais como coberturas, lâminas d'água, pavimentos, vegetação, confinamento, etc., são ao mesmo tempo os componentes da instalação de climatização natural.

## 2. CLIMA URBANO E PLANEJAMENTO

Para a construção de novas cidades, o planejamento deve começar com a seleção do sítio. Quando as condições naturais não são favoráveis, a criação de um microclima apropriado é essencial para incentivar (ou até mesmo possibilitar) o uso de áreas externas em cidades de clima rigoroso.

A preocupação em se planejar proteção total ou parcial para pedestres, incentivando a criação de conexões entre edifícios via galerias, arcadas, passagens sombreadas, etc., é comum às cidades de clima rigoroso, mas muitas vezes as regulamentações urbanísticas inviabilizam essas inovações. Os projetistas deveriam ser encorajados a planejar esses espaços em troca de ganhos na área construída, de descontos em impostos para o proprietário, etc. Esses ganhos poderiam incentivar o uso de elementos construtivos que contribuíssem para a melhoria das condições de conforto.

A infra-estrutura é o principal meio de controlar o meio ambiente urbano, mas as determinações têm que ser locais. Para tanto, há a necessidade do entendimento do sítio natural antes do urbanismo, fazendo-se uma leitura ecológica da forma urbana, principalmente das áreas ambientalmente mais frágeis que, muitas vezes, não são pensadas em termos urbanos. Deve-se ter em mente que o espaço natural (Serra, 1987) não é uma folha em branco: clima, relevo, hidrografia e demais fatores naturais devem ser considerados no desenho urbano e deve-se tirar proveito deles para melhorar a qualidade do produto final, que é a cidade. Em cidades de clima rigoroso, por exemplo, não posso mudar o clima regional, mas posso utilizar dispositivos microclimáticos para criar espaços mais agradáveis. Sob a pressão da ocupação são rápidos o desaparecimento de espaços catalisadores de atividades urbanas e o surgimento de áreas degradadas pela ocupação inadequada, tais como os movimentos de terra desnecessários que acontecem na abertura de novos loteamentos, contribuindo para a desertificação do solo e tornando a recuperação bem mais difícil. Fatos como esses podem trazer à cidade mudanças progressivas e irreversíveis, contrapondo crescimento e decadência.

Nas questões que envolvem clima urbano e planejamento, apesar de todo o conhecimento já produzido, falta aproximação entre as partes envolvidas; há um distanciamento entre as duas áreas: climatologistas, de um lado; arquitetos e planejadores, de outro. Climatologistas urbanos demonstram interesse em estudos para cidades de clima tropical, em países em desenvolvimento, e também lamentam a lacuna de interação com o planejamento; para a climatologia essa linha de pesquisa já possui um histórico razoavelmente longo. Ela foi intensificada a partir da década de 70 com os estudos de Landsberg, Oke, Chandler, Borstein e seus seguidores. Um dos maiores obstáculos para a integração entre a climatologia urbana, as questões energéticas, as ações de

planejamento e o desenho urbano é a complexidade da modelagem. Cada uma dessas áreas tem suas limitações: o trabalho do climatologista não chega ao desenho urbano porque ele não tem ferramentas para isso – no máximo chega a algumas recomendações gerais para o planejamento; o arquiteto, por sua vez, não domina a modelagem matemática usada pelos climatologistas. Alguns modelos matemáticos são formulados na climatologia urbana para o balanço de energia, mas não são facilmente aplicáveis ao planejamento; muitos desses modelos dizem respeito à camada limite urbana, e não consideram o referencial humano. Já os arquitetos e planejadores urbanos vivem em função de modelos concretos, e não têm familiaridade com as regras gerais; estas precisam ser traduzidas para uma linguagem mais voltada para a aplicação prática desse conhecimento.

Falta uma linguagem comum, que contribua para que a somatória desse conhecimento resulte em propostas concretas de planejamento e desenho urbano adequadas ao clima, e com isso seja possível alcançar as vantagens que um padrão de ocupação mais adequado pode trazer, principalmente a redução no consumo de energia e o conforto para os moradores. Um bom exemplo de interação é o que aconteceu na EXPO'92, em Sevilha, quando previamente foi formada uma equipe multidisciplinar de especialistas para testar diferentes soluções e orientar o trabalho dos muitos arquitetos que planejaram o recinto da exposição sob condições climáticas tão adversas, e com enorme sucesso.

As características do clima urbano, suas causas e efeitos, já são bem conhecidas, mas esse conhecimento raramente é aplicado. Cada cidade é composta por um mosaico de microclimas diferentes; os mesmos fenômenos que caracterizam o mesoclima urbano existem em miniatura por toda a cidade, como pequenas ilhas de calor, bolsões de poluição atmosférica e diferenças locais no fluxo dos ventos. É imperativo agir sobre os microclimas da cidade para a saúde, o conforto e a conservação de energia, ainda que os arquitetos e urbanistas das cidades modernas raramente o façam. O sucesso ou o fracasso dos espaços públicos urbanos tem muito a ver com o conforto, o que é, para muitos, uma preocupação menor. Existem outras exigências igualmente importantes para os projetistas, tanto funcionais como estéticas, mas se um lugar é desconfortável, esse desconforto pode acabar com todas as outras considerações (Spirn, 1995).

Na tentativa de resumir o estado da arte nas pesquisas envolvendo clima urbano e planejamento, e tomando como principais referências os trabalhos de Oke, Monteiro, Bitan, Givoni, Lombardo, Assis, a escola alemã de climatologia urbana, os experimentos recentes em Atenas, e alguns estudos recentes de ventilação urbana, as principais conclusões são:

- o desafio hoje é transformar dados de clima urbano em critérios de ocupação, em índices urbanísticos, etc. Apesar das mais de 30 pesquisas em clima urbano no Brasil, poucas saíram das prateleiras. Surgiram alguns métodos

bons para diagnósticos, mas difíceis de serem aplicados ao planejamento. O que realmente falta é uma metodologia quantitativa, utilizando modelos de *input-output*, incorporando todo o sistema. Por ora, a combinação de diferentes técnicas de pesquisa pode gerar bons resultados, pelo menos enquanto não se dispõe de uma ferramenta única que englobe todas as variáveis em questão;

- falta um consenso sobre como fazer as medidas, como integrar escalas diferentes, quais os instrumentos a serem utilizados, etc.;
- as últimas medições do balanço de energia em áreas densamente ocupadas demonstraram que não se pode aplicar as mesmas relações já encontradas em áreas menos urbanizadas, pois as variáveis parecem interagir de maneira bem mais complexa;
- os modelos baseados nos *canyons* urbanos mostraram resultados diferentes para condições diurnas e noturnas, que podem ser contraditórias;
- é conveniente substituir o parâmetro *população*, usado em alguns modelos de ilha de calor por *densidade construída*, por esta apresentar uma relação causal mais forte com o aquecimento urbano;
- os resultados de sobrevôos com câmeras infravermelhas a fim de se determinar a influência dos materiais no aquecimento urbano já demonstraram claras diferenças de desempenho térmico entre superfícies naturais e construídas;
- pode haver compatibilidade entre verticalização, alta densidade ocupacional e manutenção da ventilação em áreas urbanas;
- sob determinadas condições é possível criar microclimas urbanos que nunca existiram nas condições naturais, os chamados oásis urbanos.

### 3 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA

Parte-se de um princípio largamente aceito pela comunidade científica de que há uma correlação entre microclimas urbanos e algumas variáveis relacionadas ao uso e ocupação do solo. Já existe uma fundamentação teórica e dados empíricos suficientemente claros para afirmar que o espaço construído é um dos fatores que contribuem para a criação de microclimas diferenciados em relação ao clima regional, em alguns casos, inconvenientes ou desconfortáveis para o ser humano, conforme já foi demonstrado em estudos anteriores sobre a existência de ilhas de calor, de ilhas secas ou dos desconfortos relacionados à circulação de ventos em ambientes urbanos, por exemplo.

Teoricamente esse processo é reversível, ou pelo menos pode ser alterado ou controlado até certo ponto pelas ações de planejamento e desenho urbano. Pode-se até restaurar ou amenizar as condições ambientais indesejadas retirando-se a causa, em última instância, demolindo a cidade, ou partes dela. Em Nova York, por exemplo, para a construção do Central Park, mais de 340 ha, boa parte deles

já ocupados, foram desapropriados; no centro de Maringá, planejado na década de 40, uma densa área verde foi preservada no centro da então futura cidade, com a vegetação original do lugar.

Por um conjunto de medidas relacionadas ao planejamento da cidade e ao tratamento dos espaços públicos é possível criar um microclima mais ameno em regiões de clima rigoroso, ou até mesmo criar um microclima que nunca existiu nas condições naturais (Givoni, 1989). Em muitas cidades brasileiras, na região de clima tropical continental, que predomina no Centro-Oeste do Brasil, não seria suficiente restaurar condições anteriores à urbanização porque, na verdade, elas nunca foram boas, o clima regional já era rigoroso antes da urbanização. Num caso crítico como este o desafio para o planejador urbano é criar condições que nunca existiram, claro que não na cidade como um todo, como se ela fosse climatizada à maneira das cidades visionárias protegidas por um domo climatizado, mas numa sucessão de pequenos espaços com certo grau de confinamento, nos quais a alteração das condições climáticas seja possível. Para Yannas (1998), o tecido urbano não é homogêneo, e essas diferenças sugerem que pequenas ilhas de microclimas mais amenos podem ser criadas, revertendo os fenômenos de aquecimento. Alterações como estas já foram feitas, por exemplo, no recinto da Exposição Universal de 1992, durante o rigoroso verão sevilhano, com condições climáticas bastante parecidas com as da estação seca na região de clima tropical continental no Brasil.

Para Rosenfeld et al. (1995) a temperatura do ar pode ser reduzida com uma combinação da modificação do albedo e do verde, e esses oásis são encontrados principalmente nas cidades construídas em climas áridos. Em Sacramento, Califórnia, após um extensivo programa de arborização urbana, os espaços tratados dentro da cidade possuem melhores condições de conforto higrotérmico do que fora, sob a influência das condições naturais.

Estudos do Heat Island Group, vinculado ao Lawrence Berkeley Laboratory, e do U.S. Department of Energy, também demonstraram que o aumento de temperatura em áreas urbanas não segue necessariamente um aumento de população. A região onde hoje se situa Los Angeles era semidesértica em 1880, e as temperaturas máximas anuais giravam em torno de 38,9° C. Com a irrigação nas áreas de cultivo, em 50 anos as temperaturas no verão caíram 2,8° C. Após a urbanização, a partir dos anos de 1940, as áreas verdes foram substituídas por pavimentos e massa edificada; em 50 anos as temperaturas no verão voltaram aos níveis de 1880 e ainda estão subindo à razão de 0,56° C a cada 10 anos. Sailor (1995) também simulou alterações no albedo e na porcentagem de cobertura vegetal de Los Angeles e demonstrou que apenas com o albedo seria possível uma redução da temperatura na área central de 1,4° C; no caso da cobertura vegetal, a redução seria de 1,3° C. Novas simulações do efeito combinado das duas estratégias resultaram em ganhos quase em dobro e, segundo o autor, uma

redução de apenas 1° C na temperatura de pico à tarde corresponde a uma economia de energia de 2% na cidade.

#### 4. ENUNCIADO DA HIPÓTESE

Em estudos internacionais já foi provado que é possível introduzir modificações no espaço urbano que modifiquem a temperatura, a umidade do ar e a ventilação, amenizando condições climáticas extremas. Os mouros já faziam isso há séculos na Andaluzia, intuitivamente, por tentativa e erro. Porém, embora se afirme que é possível melhorar os microclimas urbanos atuando sobre uso e ocupação do solo, o grau de correlação entre a temperatura do ar e algumas variáveis diretamente aplicáveis ao planejamento não foi estabelecido.

Os modelos de clima urbano existentes geralmente tratam da cidade como um todo para prever a intensidade máxima da ilha de calor (que não é objeto desta pesquisa) em função:

- do tamanho da cidade, usando o parâmetro população, às vezes com a interferência da velocidade regional de vento;
- da relação H/W (*height/width*) ou do fator de céu visível (*sky view factor*) nos *canyons* urbanos;
- ou ainda do balanço de energia, com variáveis familiares aos climatologistas, mas não diretamente aplicáveis ao planejamento urbano.

O que este trabalho fez foi estabelecer uma correlação numérica entre a temperatura do ar e alguns parâmetros de uso e ocupação do solo, não para a cidade como um todo, mas em diferentes pontos do espaço construído, que são representativos dos diferentes padrões de ocupação, usando variáveis de planejamento que podem ser regulamentadas pela legislação municipal. Comentando os modelos existentes, Givoni (1998) diz ser conveniente substituir o parâmetro *população* por *densidade construída*, por esta apresentar uma relação causal mais forte com o aquecimento urbano. A densidade de diferentes áreas construídas na cidade afeta os microclimas pontualmente e, pelo seu efeito cumulativo, determina a modificação do clima regional pela urbanização. Para o autor, a fração de solo coberta pelos edifícios também é um fator relevante para se avaliar o efeito climático da urbanização.

Neste trabalho foram definidas como variáveis explicativas (variáveis independentes) a taxa de ocupação e o coeficiente de aproveitamentos líquidos e brutos do solo (que de certa forma descrevem a variável *densidade construída* recomendada por Givoni), a área de espelho dos corpos d'água e a área de projeção horizontal das copas das árvores, e todas elas podem ser quantificadas, além dos três horários do dia nos quais foram realizadas as medições microclimáticas, às 8, 14 e 20 horas.

O objetivo é medir a correlação numérica entre algumas variáveis de uso e ocupação do solo urbano e a variável temperatura do ar, a fim de orientar qual o conjunto de medidas necessárias para amenizar as condições climáticas nas cidades brasileiras na região de clima tropical continental, que predomina no Centro-Oeste do Brasil. Optou-se por fazer o trabalho de campo na cidade de Cuiabá, tomada apenas como amostra dentro do universo das cidades brasileiras sob essas condições de clima.

O modelo utilizado para o estabelecimento de tal correlação é universalmente válido para cidades em regiões continentais, com diferentes tipos de clima e padrões de ocupação urbana. Já o grau de correlação e o conjunto de medidas resultantes ficam restritos às cidades sob as mesmas condições climáticas, além da necessidade de se integrar às tradições culturais locais.

A inovação também está no modelo de pesquisa para sistematizar essa correlação e no uso de variáveis familiares ao planejador urbano e que podem ser regulamentadas. Com o estabelecimento do grau de correlação entre a temperatura do ar e cada parâmetro relacionado à ocupação urbana, pode-se saber qual a associação de cada um deles com a temperatura e quais os seus períodos de maior influência, pois os fenômenos climáticos urbanos são diferentes para o período diurno e noturno; a ilha de calor é um fenômeno tipicamente noturno, mas é preciso investigar melhor o estresse térmico que acontece durante o dia.

Os resultados podem ser utilizados no planejamento de novas áreas de ocupação para que elas respondam melhor às condições do clima. As conclusões podem trazer informações para subsidiar códigos de obras, leis de uso do solo, o planejamento de cidades novas ou de novos bairros, o assentamento de conjuntos habitacionais que se multiplicam na periferia, geralmente sem nenhuma preocupação com questões de conforto higrotérmico, arrasando terrenos sem respeitar a topografia e sem preservar a vegetação existente.

Os mais recentes estudos nessa área, como o de Oke et al. (1999), ainda não conseguiram equacionar totalmente o balanço de energia em áreas urbanas, e concluíram que os efeitos combinados das características da superfície, tais como a disponibilidade de água e as propriedades térmicas dos materiais, interagem de maneira bastante complexa, vão demandar tempo e novos estudos para serem equacionados.

Também ainda não se dispõe de uma equação matemática de fácil aplicação para o planejamento urbano, mas já foi possível levantar uma tendência para a correlação entre temperatura do ar e as condições de ocupação, e dar prosseguimento ao estudo em trabalho posterior.

Acredita-se que o estabelecimento desses padrões mais adequados de ocupação exija profunda revisão dos códigos de edificações, bem como dos planos diretores municipais, do ponto de vista ambiental e energético. Para se chegar a essas melhorias também é necessário o envolvimento da população na

busca de soluções para os problemas locais, estimulando a participação dos moradores. Acredita-se que os problemas ambientais não podem ser resolvidos somente pelo Estado; é imprescindível a atuação consciente e responsável da comunidade, como já acontece em algumas cidades, e para isso pode-se começar pelos pequenos problemas do entorno mais imediato, ligados aos usos e costumes, à cultura local. As medidas propostas devem considerar e otimizar a participação da comunidade em um compromisso coletivo no qual o modelo de gestão de desenvolvimento local seja aberto e flexível, capaz de incorporar novos fatores e corrigir distorções, reformulando-se continuamente.

## 5. OS SETE CASOS ESTUDADOS EM CUIABÁ

Após o reconhecimento da cidade, foram escolhidos sete casos na zona urbana de Cuiabá. Além da simultaneidade das medidas em diferentes pontos, na escolha dos casos a serem estudados, procurou-se responder a dois interesses: a diversidade das morfologias – para colocar em evidência as relações entre as diferentes configurações urbanas e a distribuição dos parâmetros microclimáticos e energéticos dos espaços externos – e a uniformidade dos elementos morfológicos numa determinada *fração* urbana. Sendo assim, procurou-se escolher casos com diferentes padrões de ocupação urbana e, ao mesmo tempo, estabelecer critérios de uniformidade para a delimitação de cada área estudada. Além do entorno das duas estações meteorológicas de apoio, foram escolhidos outros cinco pontos-chave da amostra, como o centro antigo e a área de ocupação predominantemente vertical. No centro da cidade foram escolhidos três pontos:

**Morro da Luz:** maior área verde na parte central da cidade, o Morro da Luz fica junto ao núcleo de ocupação do período colonial, no centro antigo, que por sua vez é densamente ocupado em suas ruas estreitas e tortuosas. O acelerado desenvolvimento dos últimos anos vem exercendo forte pressão sobre o centro, provocando sua descaracterização e alterando as relações entre seus componentes. As ruas são todas pavimentadas. Com exceção do morro, há vegetação arbórea em algumas praças e em alguns poucos quintais remanescentes.

**Araés:** um bairro antigo já consolidado e que foi remodelado pelo Projeto Cura – Comunidades Urbanas de Renovação Acelerada – na década de 70 (Cuiabá. *Projeto Cura*, [s.d.]). Na época predominava a ocupação espontânea, isenta de qualquer diretriz inicial, que acabou resultando num sistema viário bastante desordenado. As vias locais eram pouco definidas, e não se podia identificar sequer um alinhamento para as construções mais antigas. A maioria delas se encontrava junto às vias públicas, sem recuo frontal, com áreas verdes privativas nos centros das quadras. A proposta do Cura acabou por considerar o

emaranhado das vias internas como vias locais, desestimuladoras do tráfego pela sua descontinuidade, deixando mais sujeitas ao movimento as vias limítrofes. Do alto, o bairro ainda hoje é visto como uma densa massa verde devido à farta vegetação existente nos quintais remanescentes e algumas árvores nas calçadas.

**Avenida do CPA:** o Centro Político Administrativo – CPA é uma das principais áreas de crescimento da cidade. Apesar da proximidade do centro antigo, o padrão urbanístico é completamente diferente da ocupação tradicional da cidade, com edifícios altos ao longo de largas avenidas. O principal eixo dessa área de expansão é a avenida Historiador Rubens de Mendonça, conhecida como avenida do CPA, que é ocupada principalmente por edifícios comerciais de alto padrão, hotéis, bares, restaurantes, lanchonetes, lojas de conveniência, etc.; ao longo desse eixo a avenida é circundada por edifícios residenciais. As avenidas são largas, bastante diferentes da ocupação tradicional nas áreas mais antigas da cidade, onde a sombra e o confinamento surgem como resultado dos próprios edifícios, com as construções alinhadas em ruas estreitas e tortuosas. Com poucas exceções, a vegetação se resume a árvores jovens plantadas recentemente ao longo das avenidas e alguma vegetação nativa em terrenos ainda desocupados. No trecho próximo ao viaduto da avenida Miguel Sutil boa parte dos terrenos ao longo da avenida e suas imediações estão sendo ocupados por edifícios altos. São imóveis residenciais e comerciais de médio e alto padrão. Nesse trecho a prefeitura tenta há alguns anos a negociação com os proprietários dos imóveis para a padronização das calçadas de 9 metros de largura com a incorporação da arborização junto às vagas para estacionamento.

Mais afastados do centro estão os pontos:

**UFMT:** a Estação Climatológica Mestre Bombled localiza-se no campus da Universidade Federal de Mato Grosso – UFMT, que possui 67% de área verde, com espécies nativas e exóticas. Pela existência de grandes áreas verdes e pela presença do zoológico esse espaço é bastante utilizado nos fins de semana, e vem funcionando como uma opção de lazer para a população.

**Horto Florestal:** o horto tem 19,75 ha de área verde, com grande variedade de espécies. Além do perímetro do horto, a área é cercada pela mata ciliar do rio Coxipó e é cortada por dois córregos. No horto foram encontrados bosques homogêneos bastante sombreados às margens do rio; a área é coberta por mata ciliar e cerradão, e em poucos pontos das suas margens existe uma vegetação ciliar ainda íntegra, com áreas alagáveis e de várzea. O cerradão é nitidamente florestal, com alta densidade, e dossel atingindo cerca de 14 m de altura.

**Pascoal Ramos:** o Pascoal Ramos, uma ex-colônia agrícola que até 1994 ficava fora do perímetro urbano, é hoje um bairro próximo ao Distrito Industrial de Cuiabá, de acordo com a Lei de Bairramento de dezembro de 1997. Ainda são poucas as ruas pavimentadas. Encontram-se quintais bastante arborizados e

alguma vegetação nas ruas. A altitude do posto de medição é de aproximadamente 180 m.

**INMET:** o 9º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localiza-se no município vizinho de Várzea Grande, aproximadamente 1 km após a travessia da ponte Júlio Müller sobre o rio Cuiabá. A altitude do posto é de 151,34 m e o entorno é coberto por vegetação das margens do rio Cuiabá. O posto fica próximo à avenida da FEB, principal acesso à cidade; a ocupação é rala e não há edifícios altos nessa região da cidade.

Foi estabelecida uma área de 25 ha no entorno de cada ponto escolhido para as medições de microclimas urbanos; as áreas são irregulares e o fator determinante para a delimitação do entorno foi a homogeneidade do padrão de ocupação. A inexistência de mapas temáticos e de cadastros atualizados referentes ao meio ambiente urbano dificultou o levantamento de dados, obrigando-nos a buscar alternativas. A desatualização dos bancos de dados da Prefeitura Municipal de Cuiabá inviabilizou a utilização do cadastro imobiliário como pensado inicialmente para o levantamento das taxas de ocupação e índices de aproveitamento em alguns dos pontos de interesse para a pesquisa. Essas lacunas foram preenchidas com a combinação de todas as fontes disponíveis, incluindo interpretação de fotos aéreas, o uso do cadastro imobiliário onde foi possível e pesquisa de rua com documentação fotográfica, anotações em mapas, tabelas, gráficos, etc. Dessa forma foram obtidos:

- taxas de arborização (área da projeção horizontal das copas das árvores) e de superfícies d'água, área ocupada por ruas, área da projeção construída e área total construída dentro dos limites de 25 ha estabelecidos;
- taxas de ocupação e coeficientes de aproveitamento líquidos e brutos em 25 ha no entorno de cada ponto de medição.

Cabe lembrar que os índices foram levantados não no bairro como um todo, mas dentro do perímetro estabelecido, totalizando 25 ha no entorno de cada ponto de medição, e que em alguns casos não correspondem à totalidade do bairro, parque ou instituição que deu o nome ao posto (Tabela 1).

Tabela 1  
Índices levantados no  
entorno de cada ponto  
de medição

	água %	verde %	taxa ocup. líquida	coef. aprov. líquido	taxa ocup. bruta	coef. aprov. bruto
Horto Florestal	9,8	86,7	0,00	0,00	0,00	0,0
Pascoal Ramos	0,0	24,7	0,31	0,31	0,23	0,2
Araés	0,2	31,2	0,60	0,94	0,47	0,8
Morro da Luz	0,0	21,4	0,92	1,98	0,65	1,2
Avenida do CPA	0,0	5,1	0,54	2,50	0,34	0,9
UFMT	1,7	29,8	0,12	0,20	0,10	0,2
INMET	32,9	27,1	0,12	0,12	0,05	0,1

## 6. MEDIÇÕES DE PARÂMETROS MICROCLIMÁTICOS

Optou-se por realizar essas medições em dois períodos representativos para o clima regional, na estação seca e na estação chuvosa, em agosto de 1998 e janeiro/fevereiro de 1999, respectivamente. Foram seis dias consecutivos de medições em cada estação, sendo um dia com leituras de hora em hora, das 8 às 20 horas e, nos outros cinco dias, leituras em três horários que coincidem com os utilizados pelas estações meteorológicas de apoio: 8, 14 e 20 horas, sendo estas o 9º Distrito de Meteorologia do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, e a Estação Climatológica Mestre Bombled, no campus da Universidade Federal de Mato Grosso. Nos outros cinco casos foi utilizado um abrigo meteorológico simplificado com um psicrômetro estático para registrar temperatura de bulbo seco e de bulbo úmido, podendo-se assim extrair os valores de umidade do ar.

O Horto Florestal foi considerado como representativo das condições climáticas regionais, com pouquíssima intervenção urbana; nos mesmos horários foram feitas medições nos outros pontos da cidade, com condições de ocupação bastante diversas. Para garantir uma certa uniformidade nas condições de medição em relação às estações de apoio e ao Horto Florestal, todos os abrigos foram locados sobre solo natural, em quintais de residências ou em estacionamento não-pavimentado.

Nos meses de *inverno* a região passa por uma estação quente e seca bem definida, com amplitude térmica diária por volta de 15° C. As temperaturas mínimas chegam a patamares mais confortáveis, mas as máximas não caem muito em relação à temperatura média das máximas anuais. Apesar das temperaturas mais baixas durante à noite e primeiras horas da manhã, altas temperaturas, por volta dos 37° C, são facilmente alcançadas à tarde, principalmente nas áreas centrais, densamente ocupadas e pavimentadas, com pouca vegetação ou outro tipo de sombreamento significativo.

No verão o clima é quente e úmido, com baixa amplitude térmica de novembro a março, quando ocorrem fortes chuvas, alternadas por períodos de transição sob o calor do sol intenso, com um aumento rápido da temperatura do ar. Na estação quente e úmida a cidade toda é desconfortável; as calmarias são frequentes durante o dia, intensificando o estresse térmico causado pela combinação de altas temperaturas e umidade elevada. Nesse período, o principal recurso, além do sombreamento, é a ventilação.

Neste estudo o parâmetro utilizado para comparação das condições de conforto térmico entre os diferentes casos é a temperatura do ar. Tendo em vista as condições climáticas encontradas, com a temperatura média dos postos sempre elevada, a preocupação com estresse térmico pelo frio é desprezível em relação ao estresse pelo calor; sendo assim, considera-se o local mais confortável quanto menor for a temperatura do ar.

Figura 1  
Temperatura média e diferenças médias de temperatura (considerando as estações seca e chuvosa) em relação ao caso mais crítico, o Morro da Luz

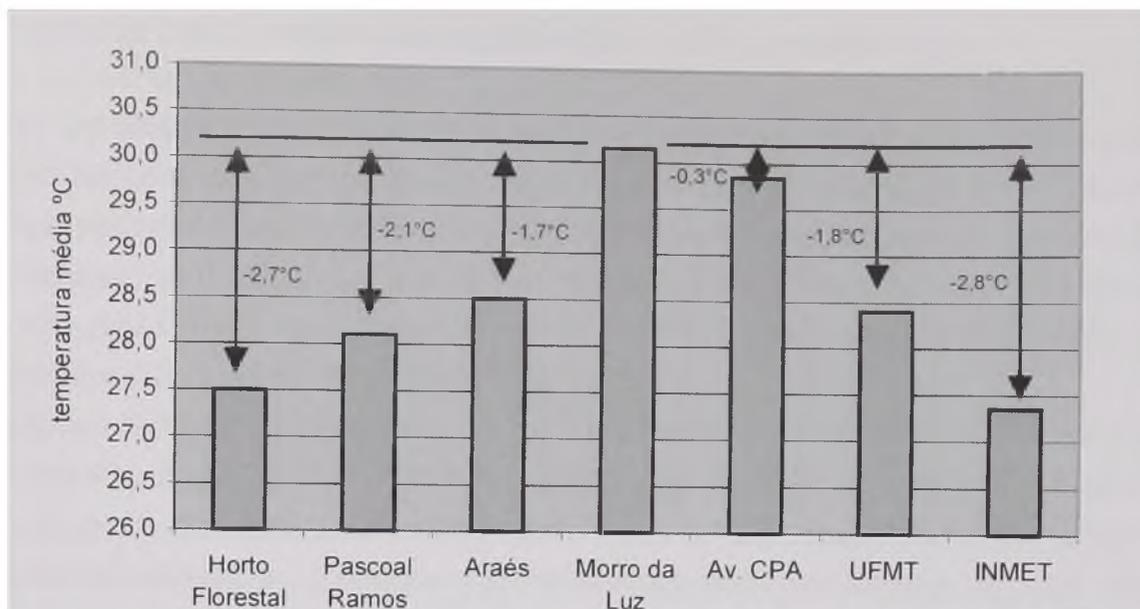


Figura 2  
Taxa de ocupação, coeficiente de aproveitamento, porcentagem de superfícies d'água e de arborização brutas versus temperatura média durante as estações seca e chuvosa

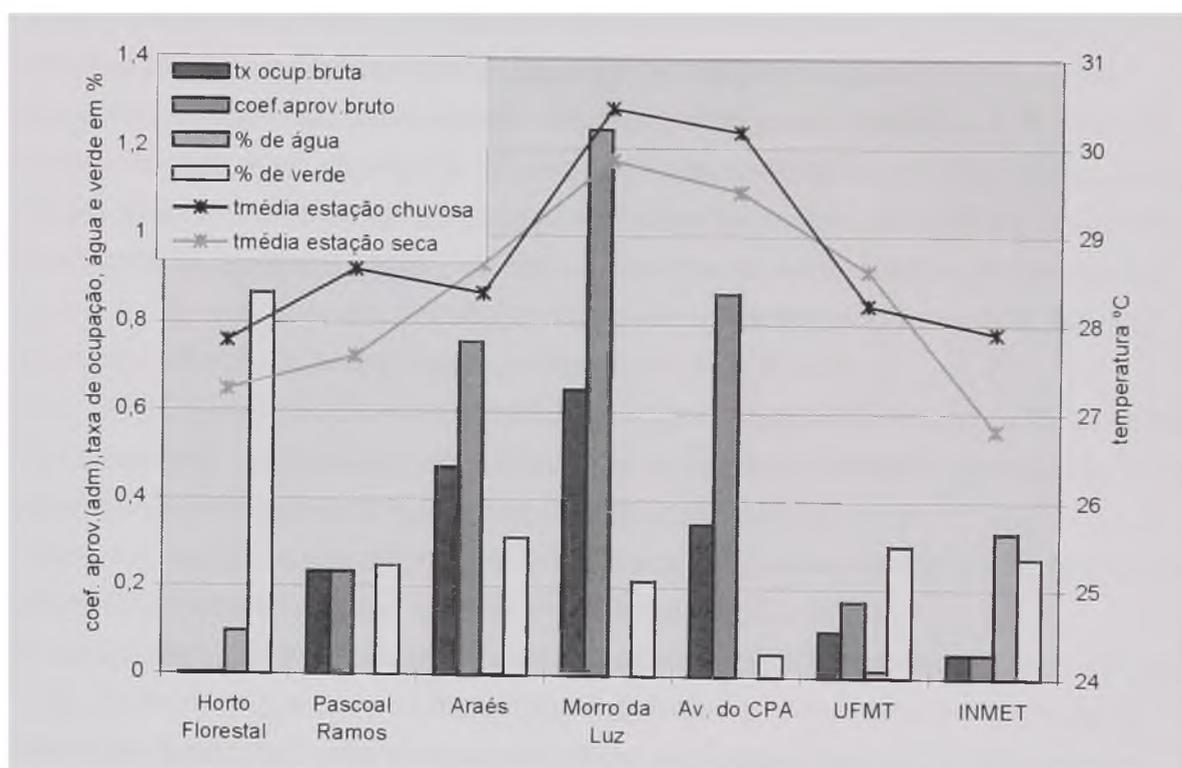
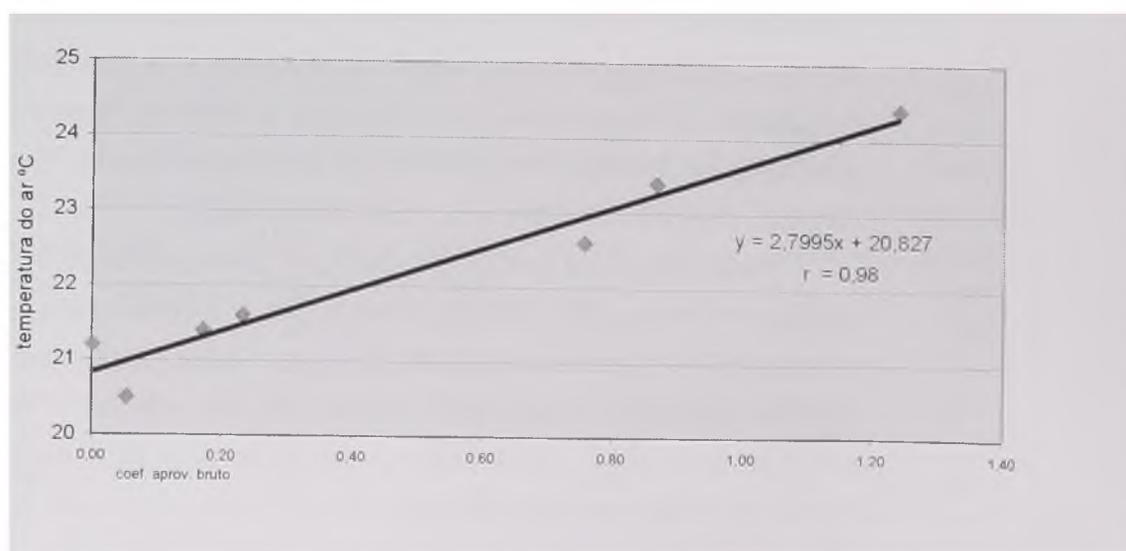


Figura 3  
Gráfico de dispersão com a função linear que relaciona as variáveis envolvidas e o coeficiente de correlação ( $r = 0,98$ ) entre temperatura do ar e coeficiente de aproveitamento bruto às 8 horas, em 23/08/98, durante a estação seca



Resumindo os resultados das medições e considerando as duas estações do ano, a Figura 1 apresenta as temperaturas e diferenças médias em relação ao caso mais crítico (posto Morro da Luz), mas cabe lembrar que, dentre as 392 observações de temperatura do ar, ocorreram diferenças pontuais de até 7° C em alguns horários.

## 7. COMPROVAÇÃO DA TESE E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Admite-se que os locais dos sete casos estudados, hoje dentro da zona urbana do aglomerado Cuiabá/Várzea Grande, apresentavam aproximadamente as mesmas condições climáticas antes da urbanização. Todos os postos situam-se na depressão cuiabana, aproximadamente à mesma altitude, e nenhum dos sete casos sofre efeitos particulares da topografia, como acontece em espigões ou fundos de vale, por exemplo. Sendo assim, admite-se que as diferenças hoje encontradas são principalmente devidas à urbanização.

Para se detectar ou não a correlação entre a variação horizontal da temperatura do ar medido (variável-resposta ou variável-dependente) e cada uma das variáveis referentes à ocupação (variáveis explicativas ou independentes) – sendo estas a taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento líquidos e brutos, arborização e superfícies d'água, para cada horário de leitura, às 8, 14 e 20 horas – foram construídos gráficos de dispersão, foram calculados os coeficientes de correlação ( $r$ ) entre as variáveis dependentes e independentes, duas a duas, e foram realizados testes de regressão linear simples para avaliação da função linear que relaciona estas variáveis para cada leitura, resultando em 216 testes no total. O número de leituras de temperatura e umidade do ar corresponde ao número de observações (392 pares de dados no total) em diferentes horários e estações do ano, para que se pudesse trabalhar com medidas representativas de cada período em pelo menos três faixas de horário: 8, 14 e 20 horas. A informação gerada pelo trabalho de campo é considerada apenas uma tendência, já que o pequeno número de casos (sete unidades observacionais) não é suficiente para um tratamento estatístico mais elaborado. Sendo assim, analisam-se os dados sob um contexto mais descritivo do que inferencial. A correlação já fica visível quando se sobrepõem as variáveis que caracterizam a ocupação com a temperatura do ar média na estação seca e na estação chuvosa para cada caso estudado (Figura 2).

Foram traçadas as linhas de regressão e calculados os coeficientes de correlação ( $r$ ) entre a temperatura do ar e as variáveis explicativas para cada leitura, às 8, 14 e 20 horas, separadamente; como exemplo, a Figura 3 mostra a correlação entre a temperatura do ar às 8 horas do dia 23 de agosto de 1998, na estação seca, e o coeficiente de aproveitamento bruto nas sete unidades

observacionais. O mesmo procedimento foi repetido para cada dia e horário de medição, e para cada variável explicativa envolvida.

Em horários distintos, em função dos diferentes fenômenos relacionados ao clima urbano, os resultados mostraram associação entre as variáveis e o alto grau de correlação entre elas, comprovando a tese.

Os resultados mostram que em ambas as estações, com as variáveis referentes ao espaço construído – taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento líquidos e brutos – o coeficiente de correlação médio foi sempre positivo em relação à temperatura do ar, sendo mais alto às 8 e às 20 horas (com  $r_{\text{médio}}$  para taxa de ocupação, variando de 0,57 a 0,81, e  $r_{\text{médio}}$  para coeficiente de aproveitamento, variando de 0,63 a 0,87), refletindo a maior influência do espaço construído no período noturno, o que concorda com a teoria existente.

Às 14 horas, as maiores trocas por convecção explicam a menor correlação entre o espaço construído e a temperatura do ar ( $r_{\text{médio}}$  para taxa de ocupação, variando de 0,22 a 0,53, e  $r_{\text{médio}}$  para coeficiente de aproveitamento, variando de 0,32 a 0,63). Cabe lembrar que, durante a estação seca, houve uma invasão de massa polar resultando em instabilidade das condições atmosféricas, principalmente com maiores velocidades de vento do que as habituais, aumentando as trocas por convecção e minimizando a interferência do espaço construído sobre a distribuição horizontal das temperaturas.

Já com as variáveis referentes ao espaço natural, arborização e superfícies d'água, o coeficiente de correlação médio foi sempre negativo em relação à temperatura do ar e parece se comportar de maneira mais ou menos uniforme nos três horários, com  $r_{\text{médio}} = -0,4$  para arborização, e  $r_{\text{médio}} = -0,37$  para superfícies d'água. Porém, áreas verdes e corpos d'água devem ser considerados principalmente nas trocas de calor latente e na transformação da energia absorvida; em áreas urbanas este fator pode sofrer uma grande diminuição em relação às trocas de calor sensível devido à impermeabilização do solo, canalização de águas superficiais e diminuição da cobertura vegetal.

Para as condições climáticas da região em estudo, o padrão de ocupação mais adequado para o conforto térmico noturno é contraditório com as necessidades diurnas de conforto humano. Vários estudos já demonstraram que uma maior relação H/W nos *canyons* urbanos dificulta a irradiação noturna do calor acumulado, mas resulta em menores temperaturas durante o dia por causa do sombreamento provocado pelos edifícios. Já a vegetação tem menor taxa de aquecimento durante o dia e maior taxa de resfriamento à noite, se comparada aos materiais correntes de construção e demais superfícies urbanas.

## 8 CONSIDERAÇÕES FINAIS E CONCLUSÕES

Sem a pretensão de mudar o paradigma, e sim, com a intenção de acrescentar à teoria existente, partiu-se de um princípio largamente aceito pela comunidade científica de que há uma correlação entre microclimas urbanos e condições de uso e ocupação do solo. O que a tese fez pela primeira vez foi comprovar uma correlação numérica entre a temperatura do ar e alguns parâmetros de uso e ocupação do solo para sete pontos do espaço construído, que são representativos do seu entorno, usando variáveis de planejamento que podem ser regulamentadas pela legislação municipal, e em três faixas de horário, mostrando a existência de fenômenos climáticos urbanos diferenciados para o período diurno e noturno, que muitas vezes nos levam a recomendações contraditórias.

O estabelecimento dessa correlação já havia sido tentado por Sampaio (1981), cujo objetivo era sistematizar metodologicamente um caminho que permitisse aferir e explicitar possíveis correlações entre as variáveis uso do solo e as ilhas de calor para o caso de Salvador, verificando a existência da correlação e determinando o grau de associação entre as variáveis. Nessa mesma linha, Taha (1988) determinou a correlação entre a temperatura do ar no período noturno e o fator de visão de céu para São Francisco, Califórnia. Esta tese acrescenta novas correlações, trabalhando com variáveis familiares ao planejamento urbano e com três faixas de horário, mostrando a diferença dos fenômenos climáticos diurnos e noturnos.

Foi dado mais um passo na tentativa de transformar dados de microclimas urbanos em critérios de ocupação aplicáveis ao planejamento. A metodologia proposta se mostrou confiável, mas agora é necessário um amplo trabalho de repetição do modelo em outras regiões, revendo o método utilizado para as medições, utilizando instrumentos mais adequados a um maior número de unidades observacionais, a fim de uniformizar medidas nos futuros trabalhos para possibilitar comparações. Tendo em vista os sete casos estudados, parece viável a repetição do modelo para outras cidades em regiões tropicais continentais. Embora as soluções específicas não possam ser transferidas de imediato para outros locais, o conceito é sempre aplicável; a chave é a compreensão do processo.

De maneira geral, o meio ambiente urbano vem sendo gerenciado sobre uma base pouco sistemática, e vem tratando a economia sem reparar os problemas sociais ou do meio ambiente; como consequência, as soluções têm sido simplistas e fragmentadas. Nos anos 90 a sociedade começou a reconhecer que a sustentabilidade ambiental global ou local será determinada em grande parte pelas nossas cidades, e só há bem pouco tempo redescobrimos o valor da vegetação, da topografia, da água na criação de ambientes benéficos para o

homem; então começamos a medir algo que já se sabia por tentativa e erro (Hough, 1998). O pesquisador deve cumprir seu papel na gestão espacial urbana e, para que seja possível intervir na legislação, é preciso produzir conhecimento imediatamente utilizável, produzindo diretrizes práticas para a atividade profissional. Sob a pressão da ocupação, é preciso encontrar a melhor relação entre condições ambientais e o adensamento para pagar a infra-estrutura instalada. Os critérios são locais, e a diversidade de situações é muito grande. Os resultados são localizados; quando quantificados, só valem para os casos estudados, mas o procedimento é aplicável a outros lugares. Para dar continuidade ao estudo, a correlação entre as variáveis envolvidas deve ser testada em outras áreas urbanas e com maior número de unidades observacionais, com representatividade estatística para que se possa chegar à equação pretendida.

O uso do parâmetro a *densidade construída*, representado neste estudo pelas variáveis taxa de ocupação e coeficiente de aproveitamento, pareceu conveniente pela coerência dos resultados encontrados com os fenômenos de aquecimento urbano. Estudos complementares, tais como os feitos por sobrevôos com câmeras infravermelhas a fim de se determinar a influência dos materiais no aquecimento urbano, seriam de grande utilidade, detectando pontos de maior aquecimento na cidade e ajudando a explicar fenômenos ainda não totalmente compreendidos pela ciência. São necessários novos estudos simulando a substituição dos pavimentos e das coberturas por materiais mais claros, a exemplo do que vem sendo feito nas cidades norte-americanas.

As últimas medições do balanço de energia em áreas densamente ocupadas (Oke et al., 1999) demonstraram que não se pode aplicar as mesmas relações já encontradas em áreas menos urbanizadas, pois as variáveis parecem interagir de maneira bem mais complexa. Nos estudos aplicados ao planejamento urbano talvez se devesse considerar a variável umidade, o que torna o problema muito mais complexo.

As questões relacionadas à ventilação urbana ainda são controversas; por causa da complexidade dos fenômenos de escoamento não se pode generalizar resultados, e os últimos estudos nos trazem ainda mais dúvidas. A hipótese de haver compatibilidade entre verticalização, alta densidade ocupacional e manutenção da ventilação em áreas urbanas continua em questão, e necessita de novos estudos para ser comprovada. A possibilidade de se criar oásis urbanos, com microclimas melhores do que nas condições naturais também. Na prática, estas duas possibilidades já vêm sendo relatadas por diversos autores.

Em pesquisas futuras seria interessante aplicar os instrumentos desenvolvidos para se chegar às diretrizes de caráter urbanístico em valores mais ou menos absolutos, para cada região climática, e talvez responder às perguntas mais freqüentes dos planejadores e urbanistas, tais como: qual a proporção ideal e melhor distribuição de áreas verdes e superfícies d'água no espaço construído?

É melhor ou pior para a cidade, se houver uma elevação na altura dos prédios? É melhor construir em altura com maiores recuos ou horizontalmente, com maior taxa de ocupação? As simulações de Bittecourt et al. (1997 e 2000) já apontaram um caminho para Maceió, que agora deve ser testado em outras cidades litorâneas. Com o modelo de Assis (2000), torna-se viável a simulação em modelos reduzidos de diferentes configurações para adensamento e altura em cidades tropicais continentais, respeitando as restrições do modelo.

Neste estudo foi dado um novo passo, mas se abriram outras questões, em maior número do que as que foram resolvidas. Para possibilitar o prosseguimento dos estudos é de fundamental importância a colaboração entre equipes de climatologia urbana e planejamento; sem perspectiva interdisciplinar, nada feito; arquitetos e planejadores têm que se preparar para um diálogo permanente com climatologias e vice-versa.

As secretarias de planejamento das administrações municipais devem disponibilizar informações urbanísticas digitalizadas da cidade, de forma a facilitar a atualização cartográfica e de ser compatível com *softwares* de uso corrente, fornecendo informações sobre a ocupação urbana. A obtenção desses dados *in loco* é estressante e demorada, e nem sempre eficiente.

Outra necessidade é a disponibilidade de instrumentos automáticos para a obtenção de leituras ao longo de 24 horas, reduzindo a necessidade de pessoal capacitado para a leitura, a construção de abrigos tradicionais, etc., e instrumentos portáteis digitais de resposta rápida para possibilitar a medição, fazendo o percurso a pé ou em veículos. Para multiplicar o número de unidades observacionais (e assim talvez chegar a uma modelagem matemática de fácil aplicação ao planejamento), o aparato analógico, que depende de um leitor treinado em cada ponto simultaneamente, e o levantamento de rua das variáveis urbanísticas fica praticamente inviável.

As conquistas do século 19 nas reformas sanitárias foram importantes e inspiradoras, mas não conseguiram resolver os problemas urbanos do final do século 20 (Ataide, [s.d.]). Os problemas de hoje requerem novas soluções, muito mais abrangentes.

A maior densidade de ocupação é um fato; temos que aprender a conviver bem com ela, e testar novas soluções, por exemplo, para sombrear ruas largas, inevitáveis nos eixos de escoamento de tráfego na cidade. A cidade compacta vem sendo pregada pelos ecourbanistas, por entidades como a Ecocity Builders, por Richard Register e seus seguidores, por Richard Rogers, em seu livro *Cities for a small planet*, etc. Precisamos testar diferentes padrões possíveis de ocupação urbana e admitir que, se por um determinado conjunto de fatores o padrão deve ser vertical, qual a melhor maneira de se conviver bem com ele? Se o padrão deve ser horizontal, idem. Se a rua deve ser larga para o escoamento do tráfego, qual a melhor forma de tratá-la? Se o volume de tráfego é pequeno, as ruas

podem ser estreitas; como tirar proveito disso? Há que se aprender com bons e maus exemplos: as motivações que estavam por trás, a estrutura institucional dentro da qual evoluíram e as estratégias de implementação empregadas. As administrações municipais têm obtido sucesso nos projetos envolvendo parcerias; o marketing ambiental que já alterou profundamente o estilo de administrar de grandes empresas também pode ser explorado por pequenos estabelecimentos comerciais, que poderiam receber algum tipo de selo verde na cidade, por contribuir para a melhoria ambiental da sua rua, do seu bairro, da sua vizinhança. Boas idéias foram arquivadas por falta de operacionalidade; isso mostra aos planejadores a necessidade de entendimento e principalmente de troca de idéias com o sistema político-institucional, para que bons projetos não tenham o mesmo fim.

---

**Denise Duarte**  
Doutora pela FAUUSP

## BIBLIOGRAFIA

- ASSIS, Eleonora Sad de. *Impacto da forma urbana na mudança climática: Método para previsão do comportamento térmico e melhoria de desempenho do ambiente urbano*. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- BITAN, Arieh, ASSIF, Shamaï. Climatic data analysis and its use and representation for planners. *Energy and buildings*, Netherlands, n. 7, p. 11-22, 1984.
- BUCKMINSTER FÜLLER. *The artifacts of R. Buckminster Fuller*. Londres: Nova York, Garland, v. 4: The geodesic revolution, part 2, 1960-1983, 1985.
- CUIABÁ. (Cidade) Prefeitura Municipal de Cuiabá. *Projeto Cura Cuiabá*. Cuiabá: [s.n.],[s.d.].
- DUARTE, Denise. *Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima tropical continental*. São Paulo, 2000. Tese (Doutorado) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo.
- \_\_\_\_\_. *Climate considerations in building and urban design*. Nova York: John Wiley & Sons, 1998.
- GIVONI, Baruch. *Urban design in different climates*. Geneva: WMO Technical Document, n. 346, 1989.
- HOUGH, Michael. *Naturaleza y ciudad*. Barcelona: Gustavo Gili, 1998.
- LOMBARDO, Magda. *Ilha de calor nas metrópoles*. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MONTEIRO, Carlos A. F. Adentrar a cidade para tomar-lhe a temperatura. *Geosul*, Florianópolis, n. 9, p. 61-79, 1990.
- NOVOS HOTÉIS NO ESTADO DO AMAZONAS. *ABA*, n.1, p.132-135, 1967/68.
- OKE, Tim R. et al. The energy balance of central Mexico City during the dry season. *Atmospheric environment*, v. 33, p. 3919-3930, 1999.
- ROGERS, Richard. *Cities for a small planet*. Londres: Faber and Faber, 1997.
- ROSENFELD, Arthur et al. Mitigation of urban heat islands: Materials, utility programs, updates. *Energy and buildings*, v. 22, p. 255-265, 1995.
- SERRA, Geraldo. *O espaço natural e a forma urbana*. São Paulo: Nobel, 1987.
- TAHA, Haider. *Night time air temperature and the sky-view factor: A case study in San Francisco, California*. Berkeley: Lawrence Berkeley Laboratory, LBL- 24009, 1988.
- YANNAS, Simos. Living with the city. Urban design and environmental sustainability. Environmentally friendly cities. *Proceedings of PLEA'98*. Lisboa: James and James, 1998, p. 41-48.