

ANÁLISE DA VARIÇÃO DE TEMPERATURAS LOCAIS EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DE OCUPAÇÃO DO SOLO EM CURITIBA

Analysis of local temperature variation as a function of land use patterns in Curitiba

Francine A. ROSSI¹
Eduardo L. KRÜGER²

RESUMO

O processo de urbanização das cidades acarreta alterações na atmosfera urbana que, direta ou indiretamente, favorecem a formação de microclimas diferenciados em diferentes localidades da cidade, podendo gerar condições básicas de conforto diversas. O desenvolvimento de análises bioclimáticas quanto ao clima urbano deve ter como finalidade última o estabelecimento de propostas concretas para um planejamento urbano climaticamente orientado. Neste sentido, este artigo apresenta inicialmente um breve histórico do planejamento urbano de Curitiba e um resumo do conjunto de estudos realizados pelos autores dentro do assunto abordado (clima urbano), apresentando-se metodologia, resultados e discussões. Finalmente, são tiradas algumas conclusões sobre a pesquisa realizada, apontando-se alguns caminhos para sua continuidade.

Palavras-chave:

Clima urbano, planejamento urbano, conforto em espaços abertos, monitoramento térmico.

ABSTRACT

The urbanization process in cities brings several alterations to the urban boundary layer, that directly or indirectly may lead to the formation of different microclimates in different regions of the city, causing diverse comfort conditions. The development of bioclimatic analysis regarding urban climate must have as a final goal the establishment of concrete proposals for a climate oriented urban planning. This paper presents a brief history of Curitiba's urban planning and a summary of the set of studies carried out by the authors on urban climate, including methodology, results and discussions. Finally, some conclusions are drawn and further research topics are suggested.

Key-words:

Urban climate, urban planning, comfort in outdoor spaces, thermal monitoring.

¹ Arquiteta, Mestre pelo PPGTE / Cefet-PR, e-mail: aidie@zipmail.com.br

² Engenheiro Civil, Prof. Dr. Programa de Pós-Graduação em Tecnologia (PPGTE) / Departamento de Construção Civil, Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (Cefet-PR), Av. Sete de Setembro, 3165, CEP. 80230-901, Curitiba – PR, e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

INTRODUÇÃO

As alterações climáticas produzidas pelas atividades humanas são conhecidas desde as civilizações grega e romana. Entretanto, os primeiros estudos sistemáticos sobre o assunto foram realizados por Luke Howard e Emilien Renou, em cidades na Inglaterra e França, respectivamente. Estes estudos datam do início do século XIX e utilizavam dados de estações meteorológicas para diagnosticar o efeito da urbanização no clima da cidade. A região central de Londres mostrou ser 2,2°C mais quente que seus arredores e Paris 1°C (BRANDÃO, 1996). No século XX, Hann denomina a diferença de temperatura entre o centro da cidade e seu entorno como sendo *Stadttemperatur*, Gordon Manley designa o mesmo fenômeno como *ilha de calor* (GARCÍA, 1992).

No Brasil, estudos sobre a distribuição da temperatura do ar nas cidades começaram a ser desenvolvidos no final da década de 70. Um dos primeiros estudos foi realizado na cidade de Porto Alegre, diagnosticando a formação de ilhas de calor na cidade com uma intensidade média de 5°C (DANNI, 1987). O estudo feito na cidade de São Paulo, em 1985, também aponta para a formação de ilha de calor, com intensidade de 10°C (LOMBARDO, 1985). Na década de 90, outros estudos foram realizados nas cidades do Rio de Janeiro (BRANDÃO, 1996), Londrina (MENDONÇA, 1994), Fortaleza (SANTANA, 1997), Belo Horizonte (CARLO; ASSIS, 1999), dentre outras.

O processo de urbanização das cidades, com seu acelerado crescimento populacional, acarreta alterações na atmosfera urbana. Estas alterações ocorrem em função de atividades antropogênicas, tais como emissão de poluentes, atividades industriais intensas, supressão da vegetação nativa, adensamento populacional, dentre outros fatores. Estas ações, direta ou indiretamente, favorecem a formação de microclimas diferenciados em diferentes regiões da cidade, ocorrendo assim o fenômeno denominado ilha de calor. Este clima específico gerado nas cidades é designado clima urbano.

Assim, o clima urbano é definido pelo somatório dos fluxos horizontais e verticais de energia e matéria, os horizontais compostos pelos centros de ação, massas de ar, frentes e ventos locais e os verticais compostos pelo conjunto de fatores: radiação solar, albedo, balanço energético e transmissividade atmosférica. Oke (1978) define o clima urbano como sendo o resultado das modificações causadas pelo processo de urbanização na superfície terrestre e das características atmosféricas de um determinado local e Monteiro (2003, p.19) diz que “o clima urbano é um

sistema que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização”.

Desta forma, fica evidente que a urbanização exerce influência direta no clima da cidade. Além da influência do homem sobre o clima, o clima também influencia o homem. Há várias maneiras pelas quais o clima exerce influência sobre o ser humano: “o essencial para a vida da humanidade no planeta é especialmente o ar, a água, o alimento, o vestuário e o abrigo, que são todos dependentes das condições meteorológicas ou do tempo que lhe é inerente” (AYOADE, 2003, p. 289). O clima influencia o homem em diversos fatores, como na saúde, no conforto, na fisiologia, nas emoções, no comportamento humano, no desempenho das atividades diárias, devendo-se enfatizar que a influência climática pode ser tanto positiva quanto negativa. Logicamente, o impacto global de tais condições haverá de afetar a economia, a vida social e a qualidade de vida de todos quantos sejam por elas atingidos.

A definição do clima ideal, segundo Mayer (1990), está relacionada à qualidade do ar, bem como ao complexo térmico existente em determinada região. O desenvolvimento de análises bioclimáticas quanto ao clima urbano deve ter como finalidade última o estabelecimento de propostas concretas para um planejamento urbano climaticamente orientado. A relação entre o clima local e o consumo de energia é discutida em Santamouris (1997). A partir dos resultados de um estudo de campo que consistiu em obter dados de temperatura e umidade do ar para 20 pontos em Atenas, calculou-se a carga térmica de resfriamento para um prédio comercial padrão. Em função da localização, se dentro ou fora do centro de Atenas, esta carga se reduz pela metade: o microclima influenciando diretamente o consumo de energia nas edificações. Além desse fator, a investigação do grau de conforto em ambientes externos é de enorme vantagem para aqueles profissionais que exercem suas atividades ao ar livre (LOIS; LABAKI, 2001), bem como àqueles que ali desenvolvem atividades de lazer.

Uma outra aplicação da pesquisa de conforto em áreas externas é no projeto arquitetônico e em avaliações bioclimáticas. O objetivo das primeiras cartas bioclimáticas, a primeira delas desenvolvida por Olgyay (1963), era avaliar o clima externo para, por meio de suas características, identificar as medidas de condicionamento passivo a serem aplicadas no ambiente construído. Na carta bioclimática de Olgyay, dados físicos característicos do clima, como temperatura e umidade do ar, temperatura média radiante, velocidade do vento, radiação solar e taxa de evaporação, são associados à sensação humana de conforto. A análise bioclimática é procedida da seguinte forma (GIVONI, 1976):

1. compilação de dados climáticos locais;
2. tabulação desses dados de forma anual;
3. plotagem dos dados na carta bioclimática; e,
4. planejamento de fatores de desenho, de forma a compensar as desvantagens do clima vigente.

Parte-se de uma situação básica (o clima local), para, a partir desta, traçar-se soluções de condicionamento passivo. Assim, alterações significativas do clima vigente que resultem em microclimas diferenciados podem gerar condições básicas de conforto diversas, podendo exigir até mesmo a aplicação de condicionamento artificial (relação com o consumo de energia) ou causando maior ou menor grau de desconforto nos habitantes do local.

Dentre os efeitos diretos da alteração climática está o desconforto térmico e, em conseqüência, a redução do desempenho humano em todas as suas atividades diárias. Como efeito indireto, tem-se o aumento do consumo de energia em climatização artificial. Ao se planejar levando em consideração os aspectos climáticos de um dado lugar, estes efeitos podem ser reduzidos. Desta forma, o clima é um fator determinante para o ser humano e, sendo por este modificado, deveria ser levado em consideração no que diz respeito ao planejamento urbano.

O presente artigo apresenta como objetivo geral analisar a influência da ocupação do solo na variação de temperatura em Curitiba. Para tal (1) analisou-se o clima local; (2) determinou-se a variação de temperatura em diferentes localidades; (3) verificou-se a ocupação do solo nas localidades; e (4) verificou-se a influência da ocupação do solo na variação de temperatura nas localidades.

Este artigo foi organizado nas seguintes subseções: apresenta-se inicialmente um breve histórico do planejamento urbano de Curitiba; em seguida, um resumo do conjunto de estudos realizados pelos autores dentro do assunto abordado (clima urbano), apresentando-se metodologia, resultados e discussões; e, finalmente, algumas conclusões sobre a pesquisa realizada, apontando alguns caminhos para sua continuidade.

PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA

A Região Metropolitana de Curitiba (RMC) possui 2.768.394 habitantes, sendo a população da cidade de Curitiba 1.587.315 de habitantes (IBGE, 2000), ocupando

a 13ª posição no ranking de crescimento populacional em relação às demais Regiões Metropolitanas brasileiras. Segundo o IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (MANFREDINI, 2004), até 2012 a RMC poderá ultrapassar Curitiba em número de habitantes, se as taxas de crescimento anual forem mantidas, podendo este crescimento afetar a qualidade de vida na cidade, em razão da integração física, econômica e social entre elas.

Curitiba teve seu primeiro núcleo implantado no início do século XVII, por meio da exploração de ouro e outros minerais. As primeiras preocupações de controle de uso do solo aparecem em torno de 1853. Em 1855, o Plano Taulois transformou o traçado urbano, tornando os cruzamentos ortogonais e o desenho urbano retilíneo, já havendo a preocupação com o tráfego na área central da cidade. Nesta época, Curitiba cresceu em número de habitantes devido à grande quantidade de imigrantes que passaram a ocupar sobretudo áreas periféricas da cidade. Em decorrência deste crescimento, Curitiba começou a apresentar graves problemas sociais e de infra-estrutura. Foi então criado, em 1895, o Código de Posturas de Curitiba, que corresponde atualmente à Lei Orgânica e ao Plano Diretor, tendo como objetivo principal o calçamento das vias centrais (IPPUC, 2004).

No século XX, as preocupações com o uso e ocupação do solo aumentaram, a ocupação da cidade foi readequada e as questões de saneamento começaram a ser resolvida. Na década de 30, Curitiba é influenciada pelas idéias européias de urbanização e hierarquiza a cidade em 3 zonas de acordo com o uso e a ocupação (IPPUC, 2004). Em 1941, o primeiro plano urbanístico da cidade teve início, o plano Agache, que via a cidade como um fato unicamente físico, sem levar em conta o fator social. O plano não foi implementado em sua totalidade. "Uma das conseqüências da não-implementação do plano foi o fato que a ocupação do solo se processou de forma desordenada, acarretando o comprometimento inadequado de várias áreas" (IPPUC, s.d., p.10).

A ordenação no processo de desenvolvimento da cidade começou em 1965, com a criação da COHAB-CT - Companhia de Habitação Popular de Curitiba; do IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2004) e, com o novo plano diretor, o plano Serete, que tinha como objetivos ordenar a circulação, ordenar a ocupação do solo por meio de um zoneamento adequado e a preservação do centro histórico, dentre outros (IPPUC, 2004).

Na década de 80, deu-se início em Curitiba ao processo de periferização. Porém, a ocupação desordenada acarretou problemas socioambientais, tais como aqueles advindos da ocupação de áreas de

mananciais e de fundo de vale. As primeiras tentativas de controle do desenvolvimento urbano da RMC ocorreram com o Plano de Desenvolvimento Integrado (PDI), em 1978, mas fatores como a falta de integração entre o planejamento urbano da cidade, o da região metropolitana e as prefeituras limitaram a ação efetiva do plano (IPPUC, 2004).

A década de 90 foi marcada por discussões sobre as questões ambientais. Em 2000, foi aprovada a nova legislação de zoneamento e uso do solo de Curitiba. O objetivo principal desta reformulação é a adequação da cidade à metropolização, dando continuidade ao processo de planejamento urbano (IPPUC, 2004). Esta reformulação da legislação está sustentada pelas três bases do Plano Diretor de 1966, ou seja, sistema viário, transporte coletivo e uso do solo.

Conforme verificado nesse breve resumo, desde seus primórdios, o planejamento urbano de Curitiba mostrou-se preocupado seja com as questões ambientais, sociais e culturais, seja com as econômicas. Desde o plano preliminar, estas questões foram pensadas e diretrizes foram traçadas para que os objetivos fossem atingidos. Analisando-se o desenvolvimento histórico do planejamento urbano da cidade, apesar da imagem de Curitiba estar associada a uma cidade modelo, principalmente nas questões ambientais, outros aspectos, entre eles os relacionados a alterações climáticas, ainda não foram abordados de forma incisiva no planejamento urbano e pela legislação vigente.

ANÁLISE DA RELAÇÃO ENTRE OCUPAÇÃO DO SOLO E TEMPERATURA DO AR EM CURITIBA

A pesquisa realizada por Rossi (2004), cujos resultados são apresentados sumariamente aqui, teve como objetivo geral analisar a influência da ocupação do solo na variação da temperatura em diferentes localidades de Curitiba.

Iniciou-se o trabalho com um pré-estudo realizado em 2002 (KRÜGER; ROSSI, 2002), envolvendo cinco localidades em Curitiba. Nesse pré-estudo, os dados utilizados foram obtidos em diferentes períodos compreendidos entre julho de 2000 e março de 2002, por ocasião do desenvolvimento de diferentes avaliações bioclimáticas em edificações (medições externas). Deste modo, a amostra estudada foi aleatória e não simultânea. Para a avaliação, foram utilizados dois pontos de referência: as estações do Simepar – Sistema Meteorológico do Paraná. Concluiu-se que, embora os dados tenham sido coletados em períodos distintos, havia uma certa consistência nos resultados obtidos.

Este fato foi confirmado pelos resultados obtidos a partir das duas referências adotadas que, embora distantes entre si (9 km), mostraram um mesmo padrão em termos de variação média de temperatura para cada localidade. A partir deste resultado, o monitoramento simultâneo em diferentes localidades com base em uma estação de referência pareceu ser válido.

Em geral, as pesquisas realizadas no campo da climatologia urbana utilizam o método do transecto móvel para a coleta de dados climáticos, ou a coleta de dados fixos nas 3 horas de base (9h, 15h e 21h). Normalmente a coleta de dados é realizada a 1,50 m do solo, ou seja, na camada intra-urbana. Na pesquisa realizada, foi utilizada a coleta de dados de temperatura e umidade relativa do ar de maneira simultânea, por 24 horas e durante 29 dias consecutivos, em 14 localidades da cidade. Os meses escolhidos para essa coleta foram os de junho e julho, ou seja, durante o inverno, pois esta é a época de maior desconforto térmico na cidade e quando ocorrem com maior probabilidade dias de céu claro. A metodologia constou de três etapas principais:

- Monitoramento da temperatura e umidade relativa do ar;
- Obtenção dos percentuais de ocupação nas localidades monitoradas;
- Análise da variação de temperatura em função da ocupação do solo.

A escolha da construção onde foi colocado o equipamento de medição ocorreu partindo-se de alguns princípios, tais como: a) padronização da construção onde seria implantado o equipamento, ou seja, edificações de características semelhantes; b) facilidade de acesso, possibilitando o controle dos equipamentos; e c) segurança. Desta forma, escolheu-se o Farol do Saber (Figura 1), construção existente em diversos bairros da cidade que apresenta as mesmas características construtivas e a mesma planta baixa. Os Faróis estão localizados sempre ao lado de uma escola municipal ou de uma praça e neles funcionam biblioteca e postos de internet.

Após a escolha da construção, foram selecionadas 14 localidades (Figura 3). A coleta de dados foi realizada em dois anos devido ao número de equipamentos disponíveis para a realização do monitoramento. Desta forma, sete pontos foram monitorados no período de junho/julho de 2002 e os outros sete no mesmo período (junho/julho) de 2003. Para o período de inverno no Paraná, o regime de chuvas ocorre devido aos sistemas frontais, sendo registrado o menor volume de chuvas de todo o ano (SIMEPAR, 2003). Em 2002, ocorreram seis sistemas frontais (SF), que mantiveram as temperaturas mínimas abaixo de

FIGURA 1: FOTO DE UM FAROL DO SABER



FIGURA 2: DETALHE DO HOBO NO FAROL

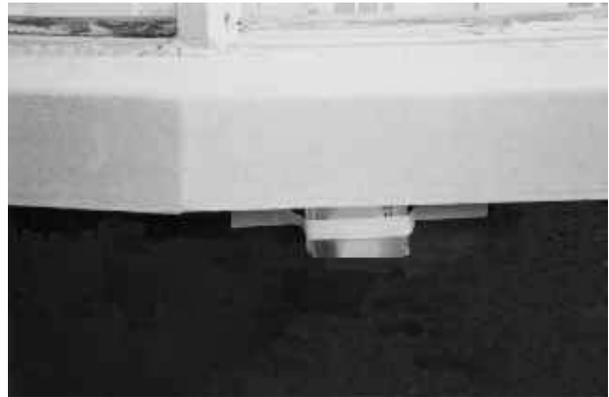


FIGURA 3: MAPA DAS LOCALIDADES MONITORADAS



10°C. Em 2003, seis SF ocorreram em junho e sete SF em julho. Dois dos sistemas de julho provocaram chuvas intensas, vento forte e granizo em Curitiba (CPTEC, 2003).

Os aparelhos foram colocados nos Faróis, tomando-se como orientação a fachada Sul da construção. Optou-se pela instalação do equipamento na torre do Farol, a uma altura de aproximadamente 10 metros do solo (Figura 2). Adicionalmente, revestiu-se o sensor com uma folha de alumínio, de forma que fossem reduzidos os ganhos de radiação de onda longa (calor).

O monitoramento ocorreu durante o período de 20 de junho a 18 de julho, em 2002, e para o período de 27 de junho a 25 de julho, em 2003, sendo no total 29 dias de monitoramento contínuo em cada ano. Para tal, foram utilizados *dataloggers* do tipo HOBO H8 RH/Temp, que atendem uma faixa de temperatura de - 20 a 70°C e de umidade relativa de 25 a 95%. Os aparelhos foram programados para medir a temperatura e umidade relativa a cada 15min, sendo os dados coletados integrados para uma hora. Os resultados foram então estatisticamente tratados em planilhas Excel.

Adotou-se como ponto de referência a estação climatológica do Sistema Meteorológico do Paraná – Simepar/UFPR.

ANÁLISE DO ANO CLIMÁTICO DE REFERÊNCIA (TRY) PARA CURITIBA

A análise do clima local foi realizada com base na atualização do ano climático de referência. Para tanto, foram utilizados a metodologia da ASHRAE e os dados do ano climático de referência obtido por Goulart et al. (1998).

A atualização do ano climático de referência (ROSSI; KRÜGER, 2003), quanto a temperaturas e umidades do ar, para Curitiba foi feita com base nos dados de 1998 a 2002. A metodologia trabalha com os dados mensais de temperatura de cada ano e a seleção do ano climático de referência é feita eliminando-se os meses que apresentam as maiores e as menores médias mensais.

Desta forma, o ano climático de referência para o período analisado foi o ano de 1999. A análise do clima local foi feita comparativamente entre os anos de 1969, obtido por Goulart, e 1999. Ao se comparar as temperaturas médias mínimas e máximas de cada ano, notou-se um aumento das temperaturas médias, porém este aumento foi mais significativo para a média das mínimas com variação média de 1,3°C enquanto que, para a média das máximas, a variação média foi de 0,9°C.

Deste modo, a análise das temperaturas médias dos dois anos climáticos de referência (TRY), mostra que houve um aumento da temperatura de aproximadamente 0,6°C no período de 30 anos em Curitiba.

ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA TEMPERATURA NAS LOCALIDADES MONITORADAS

RESULTADOS OBTIDOS EM 2002

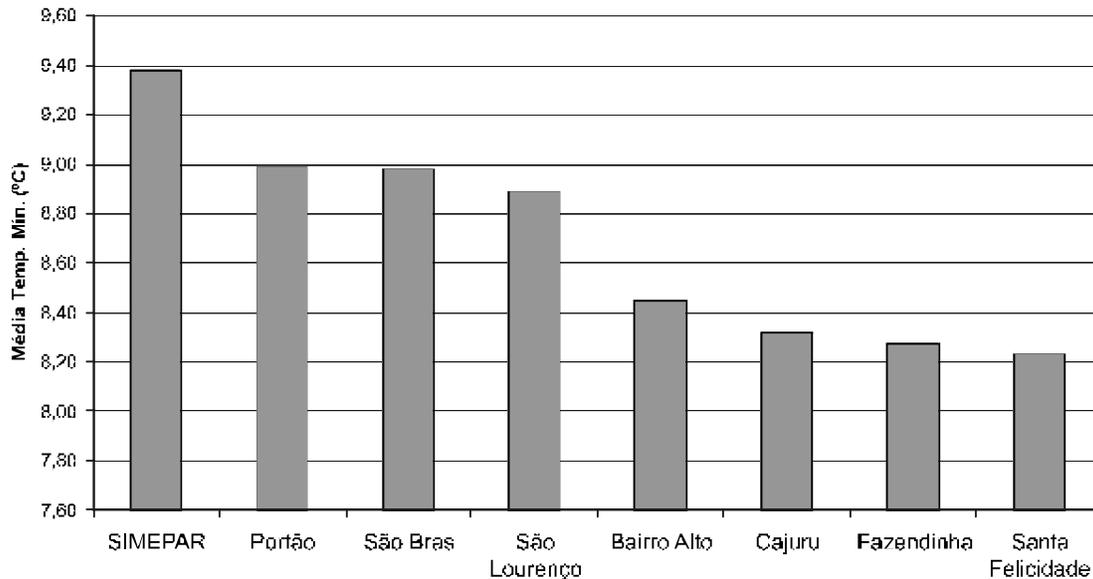
Em 2002, a coleta de dados, em sete localidades, ocorreu no período de 20 de junho a 18 de julho, perfazendo um total de 29 dias de monitoramento. Fez-se a análise das médias das temperaturas mínimas de todo o período (Figura 4) e da ocupação no entorno de cada ponto monitorado. Concluiu-se que o uso e a ocupação do solo influenciam de maneira considerável a variação da temperatura, alterando o clima urbano. Tomando-se o bairro Portão como exemplo, onde se registrou a mais alta temperatura mínima ambiente, verificou-se tráfego intenso (principalmente transporte coletivo), grande quantidade de área pavimentada, pouca arborização e ocupação intensa do entorno. Ao se analisar a localidade de mais baixas médias da temperatura mínima – Cajuru – e comparar a mesma com parâmetros de uso e ocupação do solo, também se confirmou a influência desses parâmetros no clima local, visto que esta região apresenta muitas vias sem pavimentação e arborizadas, pouco tráfego e baixa densidade de ocupação.

RESULTADOS OBTIDOS EM 2003 E COMPARAÇÕES

Para o ano de 2003, foram monitoradas outras sete localidades, no período de 27 de junho a 25 de julho, perfazendo 29 dias de coleta de dados. Foi feita também a análise das médias das temperaturas mínimas e da ocupação do entorno de cada localidade monitorada, bem como avaliada a influência da ocupação na variação das temperaturas mínimas. Ao se analisar os dados obtidos, observou-se mais uma vez que o padrão de aumento de temperatura tem forte ligação com o uso e a ocupação do solo. Nos dois anos monitorados, as localidades que apresentaram médias mais baixas são bairros que não estão totalmente ocupados, apresentando muita área livre ou com vegetação.

A verificação numérica dessa análise qualitativa (relação temperatura local com o entorno) foi realizada por meio de análise da correlação existente entre

FIGURA 4: MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÍNIMAS PARA CADA PONTO MONITORADO EM 2002



temperatura local e Delta T (diferença entre as médias das temperaturas de cada localidade e as médias das temperaturas do ponto de referência) e porcentagens de área ocupada, descrita a seguir.

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE OCUPAÇÃO DO SOLO E TEMPERATURA MEDIDA EM CADA LOCALIDADE

Apenas a título de exemplo, apresenta-se a forma como foi procedida a análise de ocupação do solo para cada ponto, para duas localidades (Figura 5). Para cada localidade monitorada, foram obtidas as fotos aéreas correspondentes, em escala 1:8000 e realizado o georeferenciamento das mesmas no *software ArcGis*. Estabeleceu-se três áreas de influência ao redor de cada Farol do Saber para análise da ocupação urbana, a saber: 1km², 49.000m² e 10.000m², o que corresponde aos respectivos raios de 565m, 125m e 56m.

Em seguida, foram quantificadas cinco categorias de ocupação do solo em cada uma das fotos. Este procedimento foi realizado no *AutoCad* e as categorias selecionadas para quantificação foram: áreas verdes (matas e bosques), áreas construídas e pavimentadas (áreas impermeabilizadas), áreas livres (gramados, plantações e terra batida) e áreas de água (piscinas, rios, córregos e lagos). Após a vetorização de cada categoria em *AutoCad*, os arquivos foram tratados por meio do *software ArcView*, onde foram

quantificadas as respectivas áreas e porcentagens de cada localidade.

Os percentuais foram utilizados na comparação entre as médias das temperaturas mínimas de cada localidade e suas características de uso e ocupação do solo (Tabela 1 / Figura 6).

A Figura 6 parece indicar uma relação entre percentual de área livre e Delta T (grande diferença de temperatura mínima a partir da base de referência SIMEPAR). No entanto, os demais percentuais, principalmente os de área de vegetação (Área Verde) não apresentaram relação direta com o aumento do Delta T.

A análise das correlações individuais foi realizada entre seis variáveis explicativas, ou seja, as cinco categorias de ocupação do solo mais a altitude e uma variável a ser explicada, as médias das temperaturas e os Delta Ts. Os R-quadrados indicam quanto a variável influencia, no caso, a variação de temperatura. Quanto mais próxima do valor 1 mais forte a correlação. Nota-se que as correlações individuais, para a variação da temperatura, são baixas. A variável área verde é a que apresenta uma correlação mais alta.

Ao analisar a Tabela 2, que mostra essas correlações para as localidades monitoradas em 2003, nota-se que as correlações são de um modo geral baixas. Verifica-se que, especialmente para a porcentagem de áreas verdes, há uma inversão do que se poderia teoricamente esperar: a relação entre área vegetada e o aumento da temperatura local é direta e não inversa.

FIGURA 5: OCUPAÇÃO DO SOLO DE SANTA FELICIDADE E SANTA QUITÉRIA (ÁREA DE INFLUÊNCIA DE 1KM²)

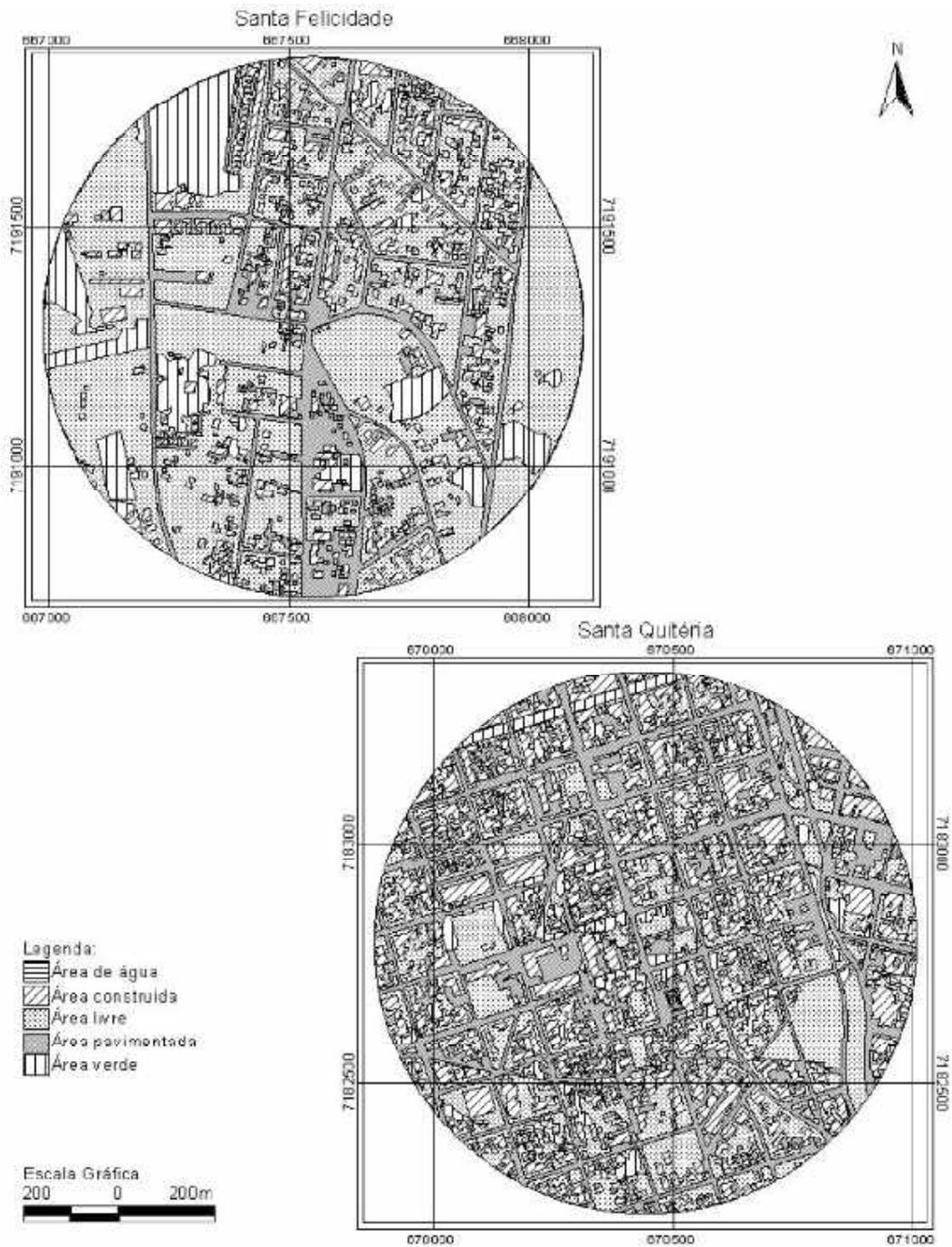


TABELA 1: PORCENTAGENS DE OCUPAÇÃO DO SOLO, PARA A ÁREA DE 1KM², EM SEIS LOCALIDADES DE CURITIBA

	Cajuru	Fazendinha	Santa Felicidade	Mercês	Santa Quitéria	Xaxim
Área Água	0,00	0,58	0,10	0,09	0,01	0,52
Área Construída	32,95	20,60	13,84	19,84	27,88	26,29
Área Livre	42,70	45,31	60,34	44,57	39,13	38,24
Área Pavimentada	22,91	26,02	13,82	20,79	25,69	32,48
Área Verde	1,44	7,49	11,90	14,72	7,29	2,47
Delta T	-1,07	-1,10	-1,15	-0,43	-0,51	-1,19

FIGURA 6 - COMPARAÇÃO ENTRE OS DELTA TS MÍNIMOS DE CADA LOCAL E CARACTERÍSTICAS DE OCUPAÇÃO DO SOLO PARA ÁREA DE 1KM²

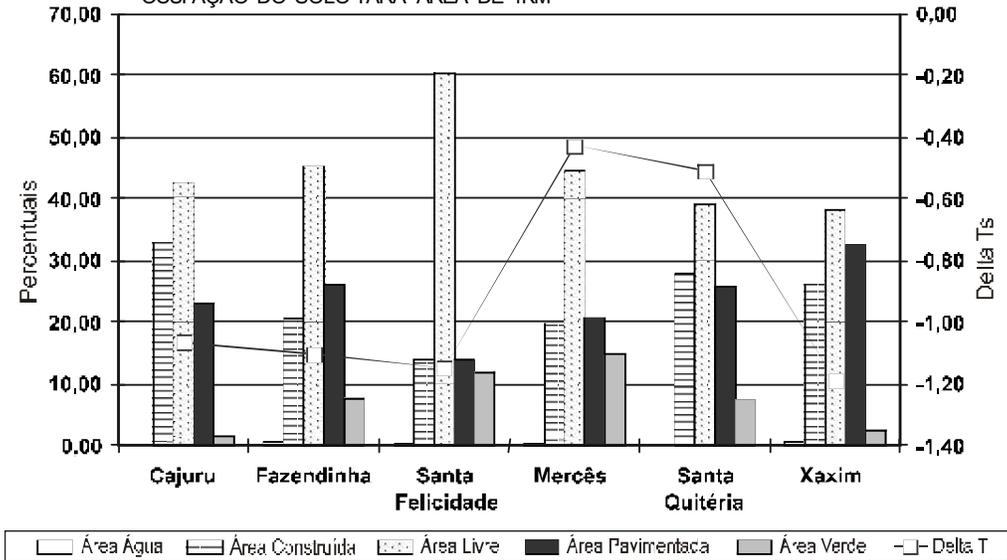


TABELA 2 - CORRELAÇÕES ENCONTRADAS ENTRE PORCENTAGENS DE OCUPAÇÃO DO SOLO E A MÉDIA DAS TEMPERATURAS MÉDIAS, MÍNIMAS E MÁXIMAS MEDIDAS EM CADA PONTO

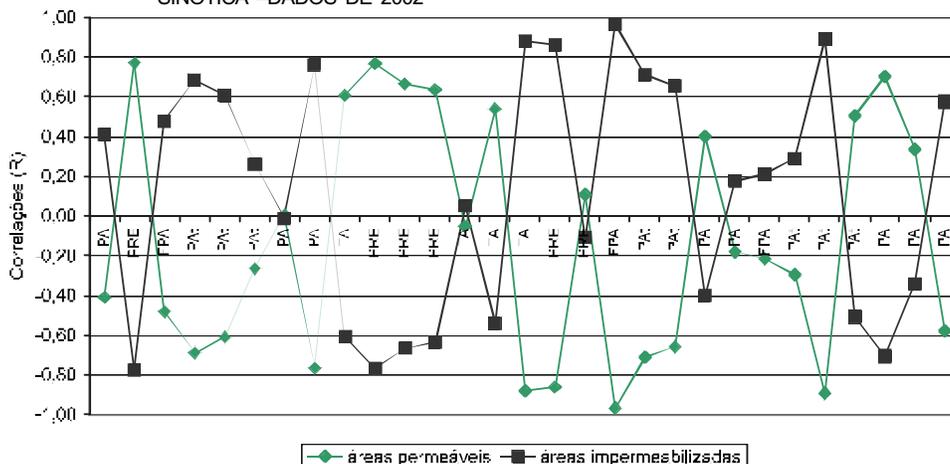
	1km²		49.000m²		10.000m²		
	Eq. da reta	R2	Eq. da reta	R2	Eq. da reta	R2	
T média	Água	y=-0,06x+1,0051	0,057	y=0,0585x-0,7313	0,015	y=0,0156x-0,1946	0,012
	Construída	y=-3,2477x+75,134	0,164	y=-4,2217x+90,796	0,225	y=-0,6343x+28,732	0,003
	Livre	y=-3,2415x-16,259	0,036	y=-2,1584x+62,439	0,023	y=-3,8102x-20,715	0,041
	Pavimentada	y=-7,476x+144,07	0,144	y=-7,1815x+141,33	0,460	y=-6,5365x+134,94	0,210
	Verde	y=7,5421x-103,95	0,618	y=13,503x-193,84	0,828	y=3,345x-42,764	0,272
	Altitude	y=11,465x+776	0,157	y=11,465x+776	0,157	y=11,465x+776	0,157
T mínima	Água	y=-0,0804x+0,8891	0,098	y=-0,0018x+0,1683	0,000	y=0,0002x+0,039	0,000
	Construída	y=-3,7107x+62,555	0,204	y=-2,1637x+48,36	0,056	y=2,2094x-2,4981	0,030
	Livre	y=1,8817x+14,162	0,011	y=-5,203x+80,917	0,125	y=-0,4243x+40,894	0,001
	Pavimentada	y=-6,4938x+95,028	0,103	y=-5,7258x+89,203	0,278	y=-4,9899x+85,319	0,117
	Verde	y=8,4032x-72,635	0,731	y=13,094x-118,65	0,742	y=3,2046x-23,754	0,238
	Altitude	y=15,319x+798,64	0,267	y=15,319x+798,64	0,267	y=15,319x+798,64	0,267
T máxima	Água	y=0,0048x-0,0059	0,001	y=0,0461x-0,878	0,017	y=0,0095x-0,1702	0,008
	Construída	y=-0,7654x+143,152	0,016	y=-4,6235x+129,75	0,484	y=-3,0937x+87,822	0,112
	Livre	y=2,957x-33,005	0,053	y=1,3937x-1,0315	0,017	y=6,6797x-111,5	0,224
	Pavimentada	y=-5,3437x+149,93	0,132	y=-6,1328x+169,15	0,601	y=-6,4288x+179,05	0,364
	Verde	y=3,1473x-60,074	0,193	y=9,3162x-196,98	0,707	y=2,8333x-55,204	0,350
	Altitude	y=-0,91x+969,05	0,002	y=-0,91x+969,05	0,002	y=-0,91x+969,05	0,002

TABELA 3- CONDIÇÕES SINÓTICAS VERIFICADAS PARA CADA DIA DE MONITORAMENTO

2002				2003			
20/06/2002	PA	05/07/2002	PRE	27/06/2003	PA	12/07/2003	PA
21/06/2002	PRE	06/07/2002	PRE	28/06/2003	TA	13/07/2003	PA
22/06/2002	FPA	07/07/2002	FPA	29/06/2003	TA	14/07/2003	TA
23/06/2002	PA	08/07/2002	PA	30/06/2003	PA	15/07/2003	PRE
24/06/2002	PA	09/07/2002	PA	01/07/2003	PA	16/07/2003	FPA
25/06/2002	PA	10/07/2002	PA	02/07/2003	PRE	17/07/2003	PA
26/06/2002	PA	11/07/2002	PA	03/07/2003	PA	18/07/2003	TA
27/06/2002	PA	12/07/2002	FPA	04/07/2003	PA	19/07/2003	TA
28/06/2002	TA	13/07/2002	PA	05/07/2003	PRE	20/07/2003	TA
29/06/2002	PRE	14/07/2002	PA	06/07/2003	FPA	21/07/2003	PRE
30/06/2002	PRE	15/07/2002	PA	07/07/2003	FPA	22/07/2003	FPA
01/07/2002	PRE	16/07/2002	PA	08/07/2003	PRE	23/07/2003	TA
02/07/2002	TA	17/07/2002	PA	09/07/2003	FPA	24/07/2003	TA
03/07/2002	TA	18/07/2002	PA	10/07/2003	POS	25/07/2003	TA
04/07/2002	TA			11/07/2003	PA		

NOTA: MASSA TROPICAL ATLÂNTICA (TA); MASSA POLAR ATLÂNTICA (PA); FRENTE POLAR ATLÂNTICA (FPA); MASSA POLAR ATLÂNTICA TROPICALIZADA (PAT); FRENTE POLAR ATLÂNTICA (FPA); PRÉ-FRONTAL (PRE); PÓS-FRONTAL (POS).

FIGURA 7 - CORRELAÇÕES ENCONTRADAS ENTRE PORCENTAGENS DE ÁREAS PERMEÁVEIS E IMPERMEABILIZADAS E AS MÍNIMAS DIÁRIAS EM CADA PONTO, POR CONDIÇÃO SINÓTICA –DADOS DE 2002



ANÁLISE DAS CONDIÇÕES SINÓTICAS DE CADA DIA DE MONITORAMENTO

Considerando as baixas correlações encontradas entre temperatura local e padrões de ocupação do solo ao redor de cada ponto monitorado, partiu-se para uma análise particular de diferentes situações:

- Determinação das médias horárias, criando-se um “dia médio”, e identificação da hora em que se verificavam as maiores diferenças entre as temperaturas de ponto

a ponto (cálculo realizado a partir do desvio padrão obtido para a média de cada hora), calculando-se a correlação entre aquelas temperaturas locais e os padrões de ocupação ao redor de cada ponto;

- Agrupamento por períodos do dia: à noite, englobando as horas monitoradas, quando não havia incidência solar, e no período diurno, calculando-se as correlações por períodos, e;

FIGURA 8 - CORRELAÇÃO ENCONTRADA ENTRE PORCENTAGEM DE ÁREAS IMPERMEABILIZADAS E AS MÍNIMAS DIÁRIAS EM CADA PONTO, CONDIÇÃO SINÓTICA PA (26/06/2002)

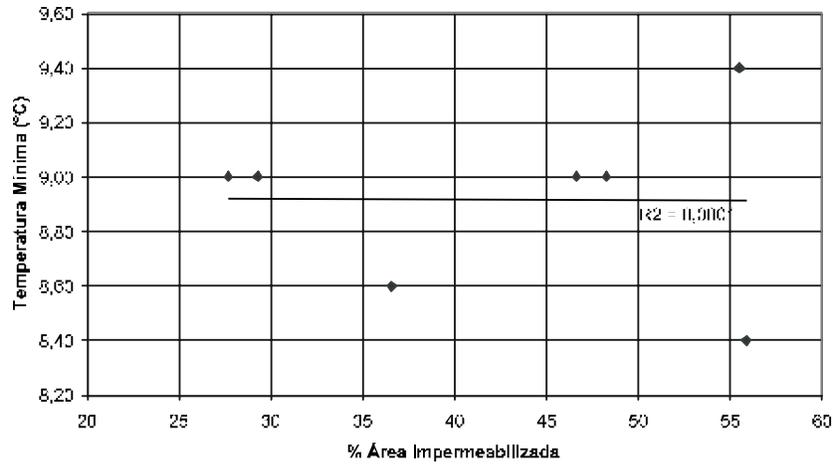
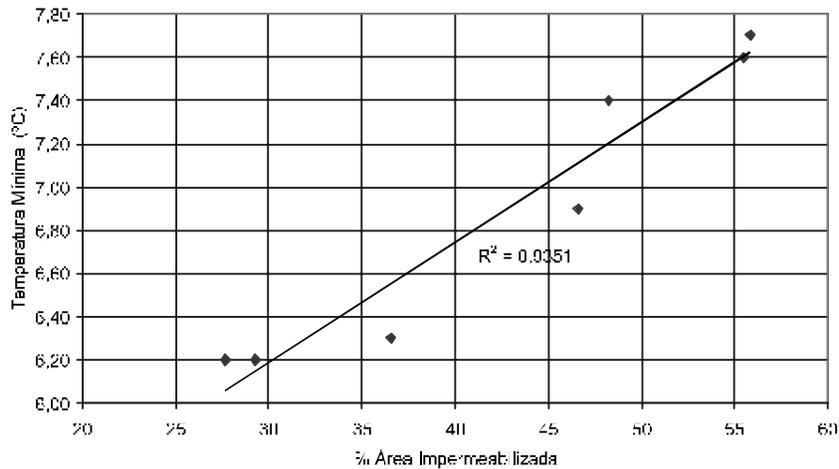


FIGURA 9 - CORRELAÇÃO ENCONTRADA ENTRE PORCENTAGEM DE ÁREAS IMPERMEABILIZADAS E AS MÍNIMAS DIÁRIAS EM CADA PONTO, CONDIÇÃO SINÓTICA FPA (07/07/2002)



- Análise das condições sinóticas de cada dia de monitoramento, calculando-se as correlações para cada dia monitorado e contrastando as correlações encontradas com a condição verificada para cada dia.

Enquanto que, para as duas análises realizadas para o dia médio e períodos do dia, os resultados foram pouco significativos, a análise correlacional para cada condição sinótica existente mostrou valores variáveis para cada dia. As condições observadas foram as constantes da Tabela 3.

Tomando-se um dos anos monitorados como exemplo (2002), o gráfico das correlações para áreas permeáveis (área de água, área verde e área livre) e

impermeabilizadas (área pavimentada e construída) mostra diferentes valores encontrados para cada dia para as correlações com as temperaturas locais, em função dos sistemas atmosféricos atuantes (Figura 7).

No gráfico, pode-se primeiramente notar o rebatimento (esperado) das duas possibilidades de ocupação do solo. Além disso, verifica-se que o valor da correlação entre temperatura local e área impermeabilizada pode tanto ser nulo (caso da condição PA no dia 26/06/2002) como próximo de 1 (condição FPA, em 07/07/2002), ou até mesmo inverso, sendo as correlações resultantes para o fim do período em grande parte influenciadas por essas oscilações. Uma análise correlacional por tipo de ocupação do solo para essas

duas situações extremas poderia trazer diferentes resultados, que levariam a diferentes conclusões. Tomando-se, por exemplo, a porcentagem de áreas impermeabilizadas versus a temperatura mínima em cada ponto, teríamos os gráficos da Figura 8 e da Figura 9.

CONCLUSÕES DA PESQUISA REALIZADA

A pesquisa realizada investigou a influência da ocupação do solo na variação de temperatura em diferentes localidades da cidade de Curitiba. A análise da atualização do ano climático mostrou que houve um aquecimento de 0,6°C no período de 30 anos em Curitiba. Este aquecimento é significativo e indica que a urbanização e as atividades antrópicas podem ajudar a incrementar a temperatura local.

A análise de regressão linear simples, para as temperaturas e os Delta Ts, apontou correlações individuais fracas, em alguns casos praticamente nulas.

As análises comparativas realizadas para cada área de influência mostraram que nem sempre a relação entre porcentagens de ocupação e variação da temperatura ocorre de forma esperada e direta. De modo geral, concluiu-se que algumas localidades apresentaram relações entre a variação de temperatura e as porcentagens de ocupação inversas ao que seria esperado. Outro ponto a ser evidenciado é o fato de algumas localidades apresentarem porcentagens de áreas permeáveis e impermeabilizadas muito diferentes, apesar da diferença dos valores de temperaturas ter sido muito próxima. O contrário também foi verificado, isto é, algumas localidades apresentaram diferenças significativas nos valores de temperatura e tiveram porcentagens de ocupação muito próximas. Também se notou que em algumas localidades há um grande equilíbrio entre as áreas permeáveis e impermeabilizadas, mas apesar disto, apresentaram extremos de temperaturas.

Outro ponto interessante, porém em relação às condições sinóticas, é a variação da correlação entre cada categoria de ocupação e as temperaturas locais em função da condição sinótica observada em determinado dia. Notou-se que, em função do sistema atmosférico atuante, diferentes graus de correlação podem ocorrer para determinado tipo de ocupação do solo. E estas correlações podem ser fracas ou fortes, diretas ou indiretas (positivas ou negativas).

Em relação às limitações da pesquisa realizada, podem ser apontadas as quatro seguintes: (1) o não

monitoramento de outras variáveis, como velocidade e direção do vento, radiação solar, índices de poluição, rugosidade da superfície, desenho urbano etc.; (2) o posicionamento do equipamento a aproximadamente 10 metros do solo; (3) a falta de outros dados climáticos, visto que o HOBO só monitora temperatura e umidade relativa; e (4) a complexidade do processo de medição do clima urbano sob condições reais, sendo difícil ou até mesmo impossível “isolar” alguma variável, para que se avalie o efeito apenas desta no clima local.

Os resultados obtidos apontaram relações entre os diversos parâmetros considerados e a temperatura local, algo já inferido na análise qualitativa de cada região. A análise de relações multivariadas entre esses fatores poderia indicar melhores correlações e, assim, poder-se-ia desenvolver modelos matemáticos (e, a partir deles, instrumentos legais) que fornecessem para cada região percentuais ótimos de área verde, área construída, área pavimentada, área livre e área água. Entretanto, dificilmente o planejamento urbano influiria simultaneamente em todas as variáveis de ocupação do solo levantadas.

Sendo assim, sugere-se alguns temas para pesquisas futuras:

- Análise comparativa entre medições móveis (método dos transetos) e medições fixas, inclusive para as mesmas localidades monitoradas nesta pesquisa;
- Análise comparativa de medições fixas a 10 metros de altura, em relação ao solo, com medições fixas e/ou móveis a 1,50 metros do solo;
- Incorporação de outras variáveis locais, tais como: direção e velocidade do vento, radiação solar, índices de poluição, fator de visão do céu (*sky view factor*), dentre outros;
- Monitoramento das variáveis ambientais em outras épocas do ano, principalmente no verão;
- Análise aprofundada das correlações entre as categorias de ocupação do solo em função das condições sinóticas;
- Análise do impacto das temperaturas locais no consumo de energia nos edifícios climatizados e no grau de conforto térmico em moradias por meio de simulação computacional e/ou cálculos simplificados.

REFERÊNCIAS

- AYOADE, J. O. *Introdução à climatologia para os trópicos*. 9. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.
- BRANDÃO, A. M. P. M. *O clima urbano da cidade do Rio de Janeiro*. São Paulo, 1996. 362 f. Tese (Doutorado em geografia) – Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- CARLO, J. C.; ASSIS, E. S. Métodos climatológicos aplicados ao planejamento urbano – estudo de caso: Campus Pampulha UFMG. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 5., 1999, Fortaleza. *Anais...* Fortaleza: Antac, 1999.
- CPTEC. CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. *Climanálise*. Disponível em: <<http://www.cptec.inpe.br/products/climanalise/>> Acesso em: 02 nov. 2003.
- GARCÍA, M. del C. M. *Estudio del clima urbano de Barcelona: la isla de calor*. Barcelona, 1992. 193f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia Física e Análise geográfica Regional, Universidade de Barcelona.
- DANNI, I. M. *Aspectos temporo-espaciais da temperatura e da umidade relativa de Porto Alegre – RS em janeiro de 1982: uma contribuição ao estudo do clima urbano*. São Paulo, 1987. 129f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- GIVONI, B. *Man, climate and architecture*. Barking, Essex, England: Applied Science Publishers, 1976.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidade brasileiras. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1998.
- IBGE. *Censo 2000: resultado do universo*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2000/tabelabrasil111.shtm>> Acesso em: 21 jan. 2004.
- IPPUC. INSTITUTO DE PESQUISA E PLANEJAMENTO URBANO DE CURITIBA. *Cidade de Curitiba 1971/1983: inventário*. Curitiba: IPPUC, s.d.
- _____. *Curitiba em dados*. Curitiba: IPPUC, 2004.
- KRÜGER, E. L.; ROSSI, F. A. Distribuição de temperaturas externas em localidades da Região Metropolitana de Curitiba. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CLIMATOLOGIA GEOGRÁFICA, 5., 2002, Curitiba. *Anais...* Curitiba: UFPR, 2002. p. 354-363
- LOIS, E.; LABAKI, L. C. Conforto térmico em espaços externos: uma revisão. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 6., 2001, São Pedro/SP. *Anais...* São Pedro (SP): Antac, 2001.
- LOMBARDO, M. A. *Ilhas de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo*. São Paulo: Hucitec, 1985.
- MANFREDINI, A. População da RM de Curitiba deve superar capital em 2012. *Gazeta do Povo*, Curitiba, p. 3, 2 fev. 2004.
- MAYER, H. Die humanbiometeorologische Bewertung des Stadtklimas. In: VDI Bericht Umweltmeteorologie, Düsseldorf, 1990.
- MENDONÇA, F. de A. *O clima e o planejamento urbano de cidades de porte pequeno e médio*. São Paulo, 1994. 300f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- MONTEIRO, C. A. F. (Org.) et al. *Clima urbano*. São Paulo: Contexto, 2003.
- OKE, T. R. *Boundary layer climates*. London: Methuen & Co., 1978.
- OLGYAY, V. *Design with climate*. N. J.: Princeton University Press, 1963.
- ROSSI, F.; KRÜGER, E. L. Atualização do ano climático de referência para Curitiba. In: SEMANA DE TECNOLOGIA: TECNOLOGIA PARA QUÊ E PARA QUEM? 2., 2003, Curitiba. *Atas...* Curitiba: PPGTE/CEFET-PR, 2003. v. 1, p. 1-4.
- ROSSI, F. *Análise da influência da ocupação do solo na variação da temperatura em diferentes localidades da cidade de Curitiba*. Curitiba, 2004. 135 f. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-Graduação em Tecnologia) - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. Orientador: Eduardo Leite Krüger.
- SANTAMOURIS, M. Energy and indoor climate in urban environments – recent trends. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 4., 1997, Salvador. *Anais...* Salvador: Antac, 1997.
- SANTANA, A. M. S. *O desenho urbano e a climatologia em Fortaleza*. São Paulo, 1997. 200f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.
- SIMEPAR. Sistema Meteorológico do Paraná. *Resumo da previsão: previsão climática para o inverno/2003*. Disponível em: <www.simepar.br/tempo/capital/index.html> Acesso em: 02 de nov. 2003.