

CLASSIFICAÇÃO DE UNIDADES MICROCLIMÁTICAS NO PERÍODO DE RESFRIAMENTO NOTURNO NA ÁREA INTRAURBANA DE CURITIBA, PARANÁ

Classification of microclimate units in the night cooling period in the intra-urban area of Curitiba, Paraná

Clasificación de unidades microclimáticas en el período de enfriamiento nocturno en la área intraurbana de Curitiba, Paraná

Luciana Leal
Engenheira Florestal

luciana_paisagem@yahoo.com.br

Daniela Biondi
Depto Ciências Florestais – UFPR
dbiondi@ufpr.br

Antonio Carlos Batista
Depto Ciências Florestais – UFPR
batistaufpr@ufpr.br

Resumo

A cidade de Curitiba tem aspectos interessantes e características bem definidas para estudos de clima urbano, devido aos diferentes usos do solo, ordenados pelo zoneamento que estabelece parâmetros de ocupação e distribuição irregular da vegetação. Esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência do zoneamento do uso do solo e da presença de vegetação na formação de microclimas diferenciados na área intraurbana desta cidade. Para isto foram estabelecidos 44 pontos de monitoramento distribuídos em quatro transectos na malha urbana, por meio da instalação de miniabrigos meteorológicos com registradores modelo Hobo® para coleta de dados de temperatura do ar em períodos correspondentes às quatro estações do ano. Para a classificação de “unidades microclimáticas” foram selecionados os dados correspondentes a madrugada, parte do dia que reúne as melhores horas para caracterizar as ilhas de calor urbano. Por meio da análise multivariada, realizando a correlação de dados (correlação de *Pearson*) e a análise de agrupamento (*Cluster*), foram identificadas cinco unidades microclimáticas na área intraurbana de Curitiba, relacionadas à densidade de construção e a presença de florestas urbanas.

Palavras-chave: Campo térmico. Florestas urbanas. Microclima urbano. Temperatura do ar.

Abstract

The city of Curitiba presents interesting aspects and defined characteristic for the study of urban climate due to the different land uses determined by the zoning regulations and irregular distribution of the vegetation. This research aimed to evaluate the influence of the zoning of land use and the presence of the vegetation in

the formation of differentiated microclimate in the intra-urban area of this city. For this had been established 44 monitoring points distributed in four transectos the urban mesh, with the installation of meteorological mini-shields with Hobo® loggers, with collection of data in corresponding periods to the four seasons. For the classification of “microclimate units” were selected the data of the period of the dawn, cited had been selected as the best hours to characterize the urban heat islands. By multivaried analysis, carrying through the correlation of data (correlation of Pearson) and the cluster analysis, five microclimate units had been related to in the intra-urban area of Curitiba the construction density and presence of urban forestry.

Key-words: Air temperature. Thermal field. Urban forestry. Urban microclimate.

Resumen

La ciudad de Curitiba tiene aspectos interesantes y características bien definidas para los estudios del clima urbano, debido a diferentes usos del suelo, ordenados por la zonificación con establecimiento de parámetros de ocupación y la distribución irregular de la vegetación. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar la influencia de la zonificación del uso del suelo y la presencia de vegetación en la formación de microclimas distintos en la zona intraurbana de la ciudad. Para esto se establecieron 44 puntos de control distribuidos en cuatro transectos en el tejido urbano, a través de la instalación de miniabrigos meteorológicos con registradores modelo Hobo® para la recolección de datos de temperatura del aire durante los períodos correspondientes a las cuatro estaciones del año. Para la clasificación de las "unidades microclimáticas" fueron seleccionados los datos correspondientes al amanecer del día que recoge las mejores horas para caracterizar las islas de calor urbanas. En el análisis multivariada, con la realización de la correlación de datos (correlación de Pearson) y análisis de conglomerados (cluster), cinco unidades fueron identificadas en la área intraurbana de Curitiba, en relación a la densidad de construcciones y la presencia de los bosques urbanos.

Palabras-clave: Campo térmico. Bosques urbanos. Microclima urbano. Temperatura del aire.

INTRODUÇÃO

As cidades são geradoras de um clima próprio, resultante da interferência de todos os fatores que se processam sobre a camada de limite urbano e que agem no sentido de alterar o clima em escala local (AMORIM, 2010). Conforme Grimmond et al. (2010), dentro da cidade, bairros com usos e coberturas do solo similares, geram distintos climas locais, em função da morfologia urbana, materiais, quantidade de vegetação e atividades humanas.

O clima urbano é resultante da interação entre processos naturais e atividades humanas. A urbanização altera o ambiente natural e a qualidade de vida na cidade mediante supressão da vegetação nativa, impermeabilização do solo, adensamento populacional e de construções, emissão de poluentes, entre outros, afetando as condições climáticas locais e gerando um clima particular. Assim, o espaço construído, aliado às atividades humanas, promove uma alteração do campo térmico natural que tende a formar “ilhas de calor” e/ou “ilhas de frescor” ao longo do tecido urbano (SCHMITZ; MENDONÇA, 2011). Isto já foi verificado

em alguns trabalhos realizados na cidade de Curitiba, capital do estado do Paraná (DUMKE, 2007; MENDONÇA; DUBREUIL, 2005, ROSSI; KRUGER, 2005, YOUNG; ROCHA, 2006).

A cidade de Curitiba tem aspectos interessantes e características bem definidas para estudos de clima urbano, em virtude dos diferentes usos do solo, ordenados pelo zoneamento que estabelece parâmetros de ocupação, e pela quantidade e distribuição irregular de vegetação em sua área intraurbana.

Atualmente os empreendimentos imobiliários e as iniciativas empresariais ou comunitárias se submetem às disposições urbanísticas de Ocupação e Uso do Solo, regidas pelo zoneamento em vigor (Lei Municipal n° 9800/2000 e decretos complementares), com configuração que inclui Zona Central, Zonas Residenciais, Zonas de Serviço, Zonas Industriais, Setores de Interesse Sócio-econômico, Setores Especiais de Interesse Ambiental, dentre outros usos do solo (IPPUC, 2012a).

Como características do uso do solo de Curitiba destacam-se ainda a localização dos setores estruturais e a verticalização. Segundo Pereira (2001), a implantação dos eixos estruturais interferiu fortemente na dinâmica de ocupação do espaço da cidade, com indução de um alto adensamento ao longo dos eixos, mediante oferta de novas alternativas de habitação, comércio de médio porte e prestação de serviços básicos e implementação das obras físicas de grande porte para garantir infra-estrutura e transportes à população.

Dados da Prefeitura Municipal de Curitiba (2011) apontam que o total de áreas verdes é de 113 milhões m², com índice de 64,5 m²/habitante. Os espaços verdes públicos incluem 22 parques, 16 bosques, 31 núcleos ambientais, três jardins ambientais, 55 largos, 16 eixos de animação, 451 jardinetes, 454 praças e quatro reservas particulares do patrimônio natural municipal (IPPUC, 2012a).

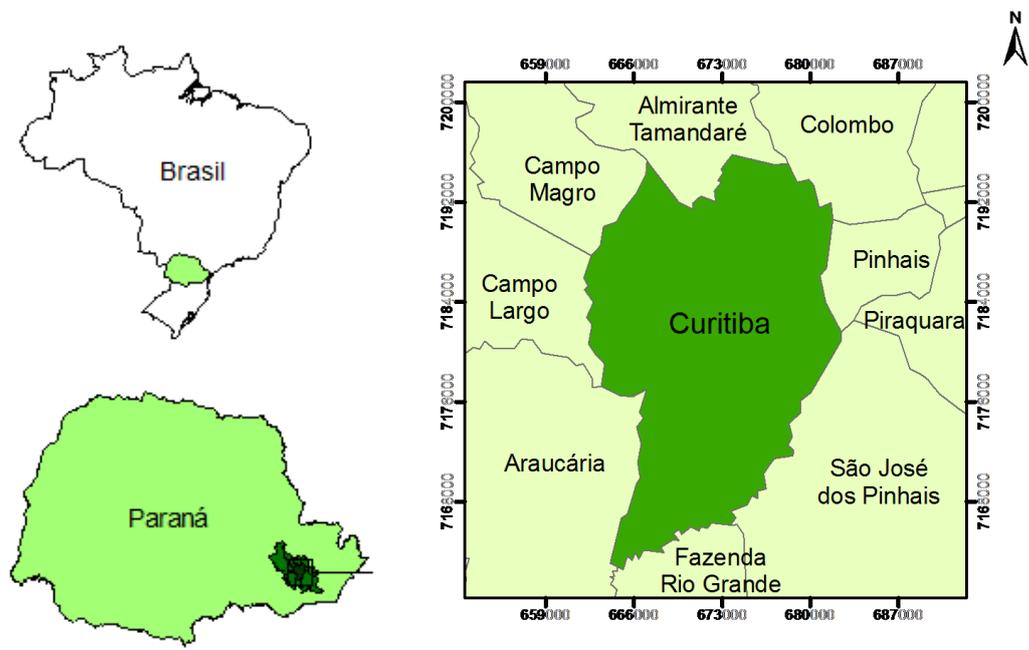
Curitiba é destaque nacional pela quantidade de vegetação urbana, porém esta é distribuída irregularmente pelo município. Vieira e Biondi (2008) descrevem que a cobertura vegetal foi substituída pela urbanização em função do processo de crescimento da cidade e aumento populacional, apesar das políticas de preservação e controle ambiental. Há carência de vegetação em determinadas áreas, justamente naquelas em que a ocupação urbana se faz mais presente.

De modo a entender como estas características peculiares influenciam o campo térmico, esta pesquisa teve como objetivo avaliar a influência do zoneamento do uso do solo e da presença de vegetação na formação de microclimas na área intraurbana de Curitiba.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo – Cidade de Curitiba

Esta pesquisa foi realizada na cidade de Curitiba, localizada na região sul do Brasil (Figura 1) e fundada em 1693, ocupando o espaço geográfico de 432,17 km² de área, na latitude 25°25'40''S e longitude 49°16'23''W (Marco Zero na Praça Tiradentes). O município é composto de 75 bairros (Figura 2).



Sistema de Projeção Cartográfica – UTM (Datum - SAD 69 Fuso 22 S)

Figura 1 - Localização geográfica do município de Curitiba - PR
 Fonte: Elaborado pelos autores

BAIRROS

- 01-CENTRO
- 02-SÃO FRANCISCO
- 03-CENTRO CÍVICO
- 04-ALTO DA GLÓRIA
- 05-ALTO DA RUA XV
- 06-CRISTO REI
- 07-JARDIM BOTÂNICO
- 08-REBOUÇAS
- 09-ÁGUA VERDE
- 10-BATEL
- 11-BIGORRILHO
- 12-MERCÊS
- 13-BOM RETIRO
- 14-AHÚ
- 15-JUVEVÉ
- 16-CABRAL
- 17-HUGO LANGE
- 18-JARDIM SOCIAL
- 19-TARUMÁ
- 20-CAPÃO DA IMBUIA
- 21-CAJURU
- 22-JARDIM DAS AMÉRICAS
- 23-GUABIROTUBA
- 24-PRADO VELHO
- 25-PAROLIN
- 26-GUAÍRA
- 27-PORTÃO
- 28-VILA IZABEL
- 29-SEMINÁRIO
- 30-CAMPINA DO SIQUEIRA
- 31-VISTA ALEGRE
- 32-PILARZINHO
- 33-SÃO LOURENÇO
- 34-BOA VISTA
- 35-BACACHERI
- 36-BAIRRO ALTO
- 37-UBERABA
- 38-HAUER
- 39-FANNY
- 40-LINDÓIA
- 41-NOVO MUNDO
- 42-FAZENDINHA
- 43-SANTA QUITÉRIA
- 44-CAMPO COMPRIDO
- 45-MOSSUNGUÊ
- 46-SANTO INÁCIO
- 47-CASCATINHA
- 48-SÃO JOÃO
- 49-TABOÃO
- 50-ABRANCHES
- 51-CACHOEIRA
- 52-BARREIRINHA
- 53-SANTA CÂNDIDA
- 54-TINGUI
- 55-ATUBA
- 56-BOQUEIRÃO
- 57-XAXIM
- 58-CAPÃO RASO
- 59-ORLEANS
- 60-SÃO BRAZ
- 61-BUTIATUVINHA
- 62-LAMENHA PEQUENA
- 63-SANTA FELICIDADE
- 64-ALTO BOQUEIRÃO
- 65-SÍTIO CERCADO
- 66-PINHEIRINHO
- 67-SÃO MIGUEL
- 68-AUGUSTA
- 69-RIVIERA
- 70-CAXIMBA
- 71-CAMPO DE SANTANA
- 72-GANCHINHO
- 73-UMBARÁ
- 74-TATUQUARA
- 75-CIDADE INDUSTRIAL

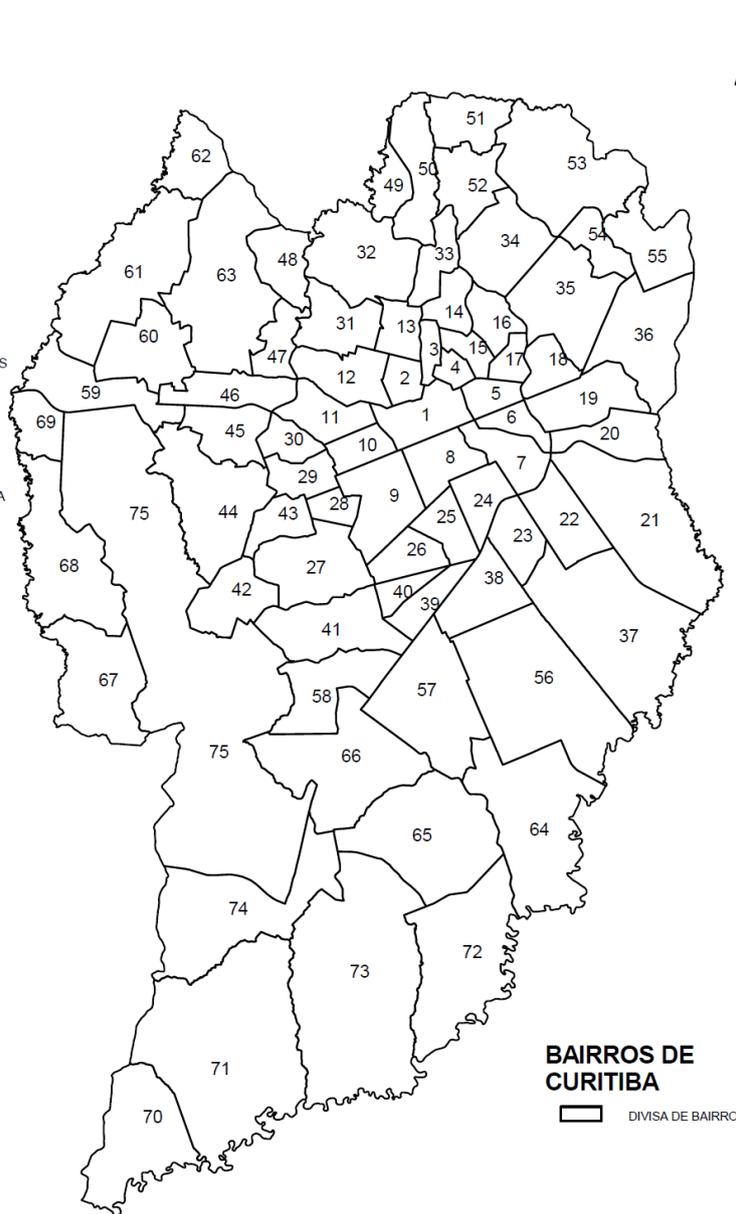


Figura 2 - Divisão dos bairros e regionais administrativas no município de Curitiba - PR
Fonte: IPPUC (2012c)

Procedimentos metodológicos

A variável meteorológica utilizada para classificar as unidades microclimáticas foi a temperatura do ar (°C), pois de acordo com Gomez, Gaja e Reig (1998), esta é a variável mais afetada e que melhor caracteriza o clima das cidades.

Os dados de temperatura do ar foram coletados com registradores modelo Hobo®, marca Onset, previamente aferidos e com precisão melhor que $\pm 0,4$. Estes registradores foram instalados em campo em miniabrigos meteorológicos, confeccionados em tubos de PVC, medindo 150 mm de comprimento e 100 mm de diâmetro, com aberturas nas laterais e revestidos externamente com papel alumínio (Figura 3).



Figura 3 - Detalhe do miniabrigo meteorológico confeccionado e do registrador Hobo®
Fonte: Elaborado pelos autores

Na malha urbana do município foram definidos 44 pontos de monitoramento em quatro transectos, cruzando um ponto central na Praça Tiradentes. Optou-se por um maior adensamento de pontos na área central da cidade, formando-se um anel ao redor do ponto central, similar ao padrão de distribuição utilizado por Kolokotroni et al. (2006) na cidade de Londres, Inglaterra.

Na escolha dos locais para a instalação dos miniabrigos meteorológicos foram considerados os critérios de padronização, fácil acesso e segurança durante os períodos de coleta de dados. Estes foram instalados nas hastes dos sinaleiros e placas de sinalização (semipórticos), o que atenderia aos critérios elencados, com a autorização da Urbanização de Curitiba S.A. - URBS para uso das estruturas urbanas de responsabilidade deste órgão.

Para locação dos pontos de monitoramento, inicialmente elaborou-se uma grade sob o mapa da cidade de Curitiba, em escala 1:20.000, localizando-os nos cruzamentos entre ruas. Em campo, os locais identificados no mapa foram checados e adequados de acordo com a presença de estruturas urbanas (sinaleiros e placas de sinalização) para a instalação dos miniabrigos meteorológicos. Na escolha dos pontos evitou-se estruturas muito próximas a árvores ou obstruções de construções, como prédios e paredes. Os pontos estabelecidos são apresentados no Quadro 1 e Figura 4.

Quadro 1. Localização dos pontos de monitoramento na cidade de Curitiba e respectiva classe de zoneamento do uso do solo.

Nº	Localização	ZON	Nº	Localização	ZON
P1	Praça Tiradentes (Centro)	SH	P23	R. Dep. Néo Martins c/ R. Benjamim Antonio Ansai (Fanny)	SE-BR116 ZR-3
P2	R. Visconde de Nacar c/ R. Emiliano Pernetta (Centro)	ZC	P24	R. Francisco Derosso c/ R. Cel. Luiz José dos Santos (Xaxim)	ZR-2
P3	R. André de Barros c/ R. Barão do Rio Branco (Centro)	ZC	P25	R. Odemir Silveira c/ R. Omar Raymundo Piecheth (Xaxim)	ZR-2
P4	R. Luis Leão c/ R. Conselheiro Araújo (Centro)	ZR-4 ZC	P26	R. Isaac Ferreira da Cruz c/ R. Levy Buqueira (Sítio Cercado)	SE-LE
P5	R. Inácio Lustosa c/ R. João Manoel (São Francisco)	ZR-4 ZR-3	P27	R. Tijucas do Sul n° 1859 (Sítio Cercado)	SEHIS
P6	Av. Ver. Toaldo Túlio c/ Av. Três Marias (São Braz)	ZR-PC ZR-2	P28	R. Nicola Pelanda n° 4921 (Umbará)	ZR-OC
P7	R. Prof. Pedro Viriato Parigot de Souza c/ R. Rosa Kaint Nadolny (Santo Inácio)	SE-NC ZT-NC	P29	R. Fredolin Wolf c/ R. Saturnino de Miranda (Lamenha Pequena)	ZR-2 ZR-3
P8	R. Cândido Hartmann c/ R. Padre Ladislau Kula (Santo Inácio)	ZR-1 ZR-2	P30	R. José Valle n° 1180 (São João)	ZR-SF
P9	R. Euclides da Cunha c/ R. Padre Agostinho (Bigorrihlo)	ZR-3 SE	P31	R. Jacarezinho c/ R. Solimões (Vista Alegre)	ZR-2
P10	R. Fernando Moreira c/ R. Desembargador Motta (Mercês)	ZR-4	P32	R. Guabirota c/ R. Imaculada Conceição (Prado Velho)	ZR-3 SE-E
P11	R. Ubaldino do Amaral c/ R. Visconde de Guarapuava (Alto da Rua XV)	ZR-4 SE	P33	Av. Comendador Franco c/ R. Santo Inácio de Loyola (Guabirota)	SE-CF ZR-2
P12	Av. Mal. Humberto de A. C. Branco c/ R. Vitor Ferreira do Amaral (Cristo Rei)	ZR-3 ZR-1	P34	R. Salgado Filho c/ R. João Antonio Prosdócimo (Jardim das Américas)	SE-CF ZR-3
P13	R. Vitor Ferreira do Amaral c/ Linha Verde (Tarumã)	SE-BR116 ZR-3	P35	R. Velci Bolívar Grando c/ R. Amauri Mauad Gueiros (Uberaba)	SEHIS
P14	R. Vitor Ferreira do Amaral c/ R. Brasília de Lara (Capão da Imbuia)	ZR-2 SEHIS	P36	R. Raul Pompéia c/ R. Ludovico Kaminski (CIC)	SEHIS
P15	Av. Anita Garibaldi c/ R. Rolando Salin Zappa Mansur (Cachoeira)	ZR-2 ZR-OC	P37	R. Raul Pompéia c/ R. João Debimski (Fazendinha)	ZUM ZR-2
P16	Av. Anita Garibaldi c/ R. FLávio Dallegrove (Barreirinha)	ZR-2	P38	R. Carlos Klemtz n° 310 (Portão)	CONEC-3 ZR-2
P17	R. João Gava c/ R. Antonio Krainiski (Abranches)	ZR-2	P39	R. Curupatis c/ R. Ulisses Vieira (Santa Quitéria)	ZR-3
P18	R. Mateus Leme n° 3238 (São Lourenço)	ZR-2	P40	Av. Sete de Setembro c/ R. Castro Alves (Batel)	ZR-4 SE
P19	R. Dep. Mário de Barros c/ R. Raul Viana (Centro Cívico)	ZE-CC	P41	R. Jaime Balão c/ R. Nossa Senhora da Luz (Hugo Lange)	ZR-3 ZR-1
P20	R. Brasília Itiberê c/ R. Brigadeiro Franco (Rebouças)	ZR-4 ZR-3	P42	Av. Prefeito Erasto Gaertner c/ R. Marcelino Nogueira (Bacacheri)	ZR-4 ZE-M
P21	Av. Presidente Kennedy c/ R. Minas Gerais (Guaíra)	ZR-3	P43	Av. Monteiro Tourinho c/ R. Max Rosemann (Tingui)	ZR-4 ZR-3
P22	R. Wenceslau Braz c/ R. Camilo Castelo Branco (Lindóia)	SE-WB	P44	R. Estrada das Olarias c/ R. Arnaldo W. Gaensli (Santa Cândida)	ZR-2

Legenda: ZON – classe de zoneamento do uso do solo; SH - Setor Especial Histórico; ZC - Zona Central; ZR-4 - Zonas Residenciais de média-alta densidade; ZR-3 - Zonas Residenciais de média densidade; ZR-PC - Zonas Residenciais com baixa densidade; ZR-2 - Zonas Residenciais com baixa densidade; SE-NC - Setor Especial da Nova Curitiba; ZT-NC - Zona de Transição do Setor Especial Nova Curitiba; ZR-1 - Zonas Residenciais com baixíssima densidade; SE – Setor Especial Estrutural; SE-BR116 - Setor Especial da BR-116; SEHIS - Setor Especial de Habitação de Interesse Social; ZR-OC – Zona Residencial de Ocupação Controlada; SE-CC - Setor Especial Centro Cívico; SE-WB - Setor Especial Av. Presidente Wenceslau Bráz; SE-LE – Setor Especial Linhão do Emprego; ZR-SF – Zona Residencial de Santa Felicidade; ZUM - Zonas de Uso Misto; CONEC - Setor Especial Conectoras; ZE-M: Zona Especial Militar.

Fonte: Elaborado pelos autores

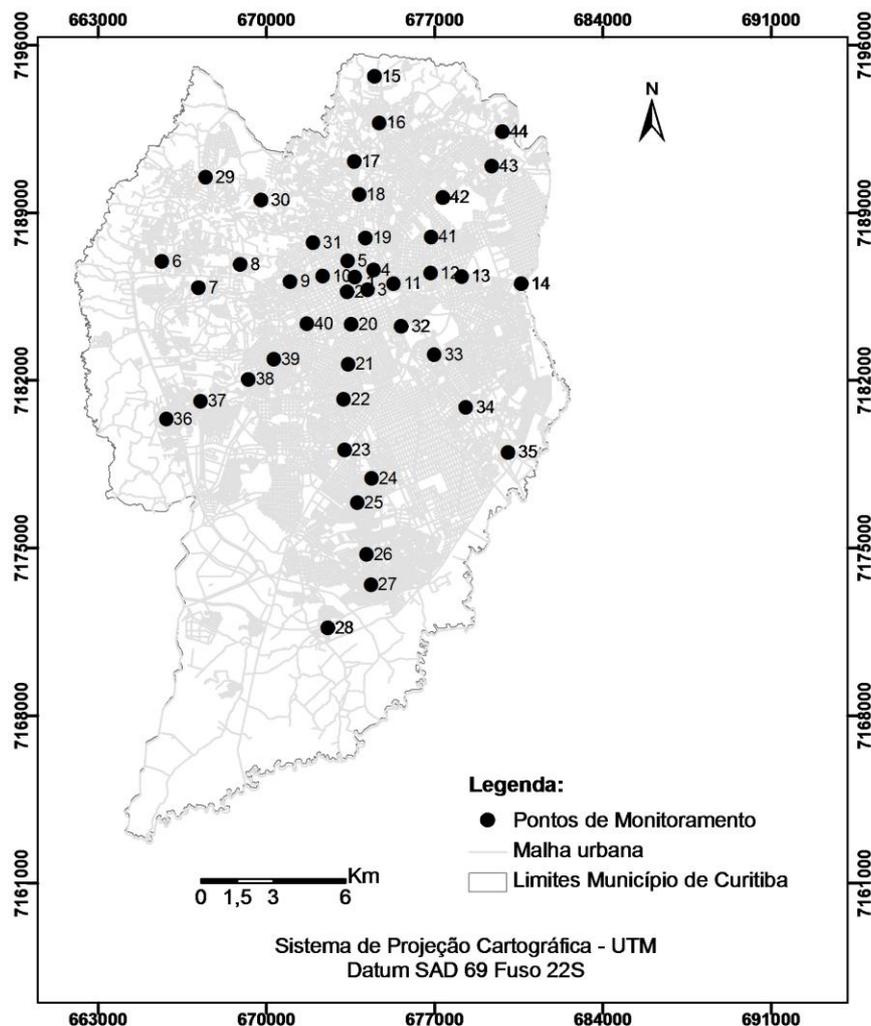


Figura 4 - Localização dos pontos de monitoramento na área intraurbana de Curitiba - PR
 Fonte: Elaborado pelos autores

A instalação dos equipamentos foi realizada no topo da haste dos sinaleiros ou placas de sinalização, a uma altura média de 4 m do solo. Segundo WMO (2008), há flexibilidade para coletar dados meteorológicos em áreas urbanas em alturas maiores (3 a 5 m) daquelas coletadas na altura padrão (1,25 a 2 m), sem necessidade de correção de dados, tendo maior cobertura “*footprints*” e localizando o sensor em área de difícil alcance, prevenindo danos por vandalismo. Também assegura maior diluição do calor de exaustão de veículos e reduz a contaminação pela poeira. Também nos levantamentos realizados por Mihalakakou et al. (2004) e Kolokotroni, Giannitsaris e Watkin (2006) os equipamentos foram instalados em alturas maiores do que o padrão recomendado.

Considerando que a magnitude das ilhas de calor varia com as estações do ano e com as condições sinóticas do tempo (HAMADA; OHTA, 2010) e é característica de Curitiba a grande variação meteorológica (MENDONÇA, 2001), os dados de temperatura foram coletados em quatro campanhas correspondentes a períodos característicos das quatro estações do ano (verão, outono, inverno e primavera), com duração de 22 dias e coleta contínua de dados em intervalos de 15 minutos (durante as 24 horas do dia), de modo a incluir episódios climáticos representativos para a análise.

Para a classificação de unidades microclimáticas na área intraurbana de Curitiba foram utilizados somente os dados de temperatura média do ar coletados durante a madrugada (00h00 as 05h45min), o que corresponde a 528 leituras em cada período, devido este período do dia reunir as melhores horas para caracterizar as ilhas de calor urbano, segundo Huang et al. (2008).

Os dados meteorológicos coletados foram processados e analisados estatisticamente por meio da análise multivariada, utilizando o programa computacional *Statgraphics* 4.2, para a correlação de dados (correlação de *Pearson*) e a análise de agrupamento (*Cluster*).

De acordo com Mingoti (2005), a análise de agrupamentos, também conhecida como análise de *cluster*, tem por objetivo dividir os elementos da amostra, ou população, em grupos de forma que os elementos pertencentes a um mesmo grupo sejam similares entre si com respeito às variáveis (características) que neles foram medidas, e os elementos em grupos diferentes sejam heterogêneos em relação a estas mesmas características.

O número de classes ou grupos foi determinado pela escolha de um nível de semelhança, de modo a melhor representar a variabilidade microclimática presente na área intraurbana de Curitiba.

Para os pontos de monitoramento de cada classe definida foram observadas as características semelhantes quanto ao zoneamento de uso do solo e presença de vegetação, segundo dados e mapas do Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba (IPPUC, 2012a, 2012b, 2012c) e informações adicionais obtidas *in loco*.

Como área a ser caracterizada considerou-se o raio de 500 m de cada mini-abrigo meteorológico instalado, conforme recomendações de Oke (2007), de modo que não houve sobreposição das áreas de influência dos pontos avaliados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 são apresentados os resultados da análise de correlação de *Pearson* para os dados de temperatura média no período da madrugada. Os dados obtidos em cada estação do ano apresentaram correlação adequada (maior que 0,65) para serem utilizados na análise de agrupamento (*Cluster*).

Tabela 1 - Matriz de correlação entre os dados de temperatura média no período da madrugada nas quatro estações do ano

Variáveis	Verão	Outono	Inverno	Primavera
Verão	1			
Outono	0,87	1		
Inverno	0,72	0,84	1	
Primavera	0,86	0,69	0,65	1

Fonte: Elaborado pelos autores

Pela análise multivariada de agrupamento, os 44 pontos de monitoramento na área intraurbana de Curitiba foram divididos em cinco grupos (Figura 5), definidos como Unidades Microclimáticas, as quais são descritas na Tabela 2 e mostradas na Figura 6.

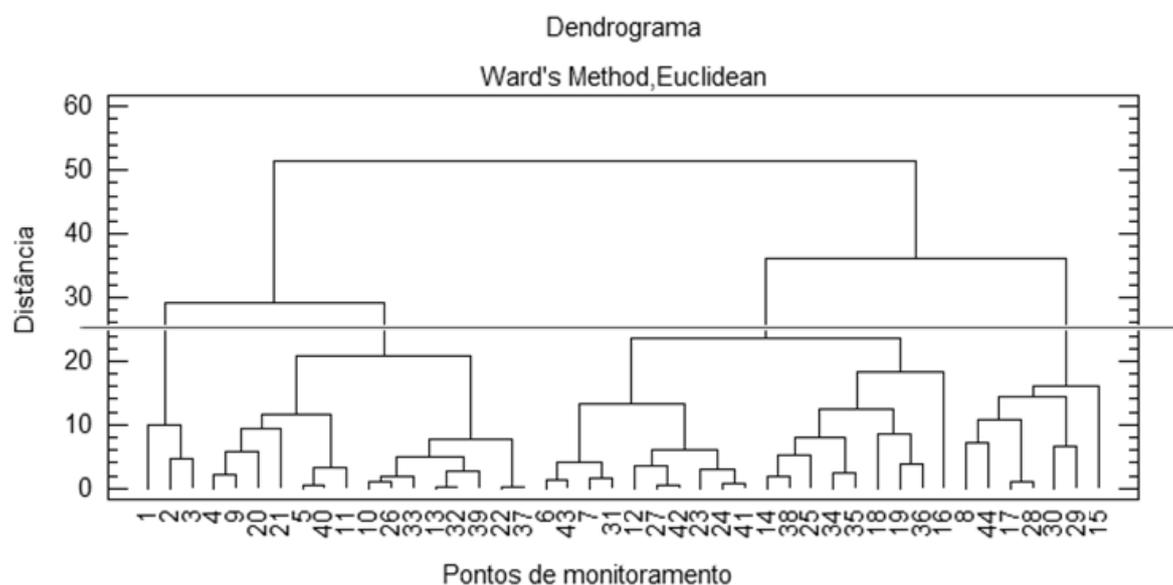


Figura 5 - Dendrograma elaborado para os dados de temperatura média do ar no período da madrugada
 Fonte: Elaborado pelos autores

Tabela 2 - Unidades microclimáticas identificadas na área intraurbana da cidade de Curitiba - PR e suas características

Unidades Microclimáticas	Pontos de Monitoramento	Temperatura Média do Ar* (Madrugada)	Características Comuns
Unidade Microclimática I	P1, P2, P3	Verão - 19,3 a 19,6°C Outono - 13,1 a 13,3°C Inverno - 12,2 a 12,4°C Primavera - 14,4 a 14,6°C	Inclui os pontos no centro tradicional (Zona Central – ZC e Setor Especial Histórico - SH), com grande número de edificações e concentração de atividades. Ausência de áreas permeáveis, com vegetação limitada as praças.
Unidade Microclimática II	P4, P5, P9, P10, P11, P13, P20, P21, P22, P26, P32, P33, P37, P39 e P40	Verão - 18,9 a 19,3°C Outono - 12,3 a 12,9°C Inverno - 11,4 a 11,9°C Primavera - 13,9 a 14,3°C	Inclui Zonas Residenciais de Média-alta Densidade (ZR-4) e Média Densidade (ZR-3) e áreas ao longo de eixos estruturais urbanos (Setor Especial Estrutural – SE). Incluiu a região centro-sul, bastante urbanizada e verticalizada, com os eixos estruturais de transporte e a alta densidade das edificações ao longo destes.
Unidade Microclimática III	P6, P7, P12, P23, P24, P27, P31, P41, P42 e P43	Verão - 18,8 a 19,0°C Outono - 11,6 a 12,4°C Inverno - 11,2 a 11,5°C Primavera - 13,4 a 13,8°C	Inclui Zonas Residenciais de Baixa Densidade (ZR-2), Baixíssima Densidade (ZR-1) e Setor Especial de Habitação de Interesse Social (SEHIS). Ausência de parques e bosques nas proximidades; vegetação pública limitada a praças e árvores de rua.
Unidade Microclimática IV	P14, P16, P18, P19, P25, P34, P35, P36 e P38	Verão - 18,6 a 18,8°C Outono - 11,5 a 12,4°C Inverno - 11,0 a 11,4°C Primavera - 13,8 a 14,6°C	Inclui zonas residenciais de baixa densidade (ZR-2) e Setor Especial de Habitação de Interesse Social (SEHIS). Nesta unidade estão os pontos P14, P35 e P36 nas áreas limítrofes onde há a continuidade da área urbana e os pontos P18 e P19 sob influência

Unidade
Microclimática V

P8, P15, P17, P28,
P29, P30 e P44

Verão - 18,0 a 18,6°C
Outono - 11,5 a 12,4°C
Inverno - 10,9 a 11,3°C
Primavera - 13,9 a 14,6°C

Inclui zonas residenciais de baixa a baixíssima densidade (ZR-2 e ZR-1) ou de ocupação controlada (ZR-OC). Nesta unidade estão os pontos das áreas limítrofes da cidade (P15, P28, P29 e P44) e áreas nas proximidades de parques urbanos (P8, P17 e P30).

*Intervalo de valores da temperatura média para os pontos considerados na classe da unidade microclimática.

Fonte: Elaborado pelos autores

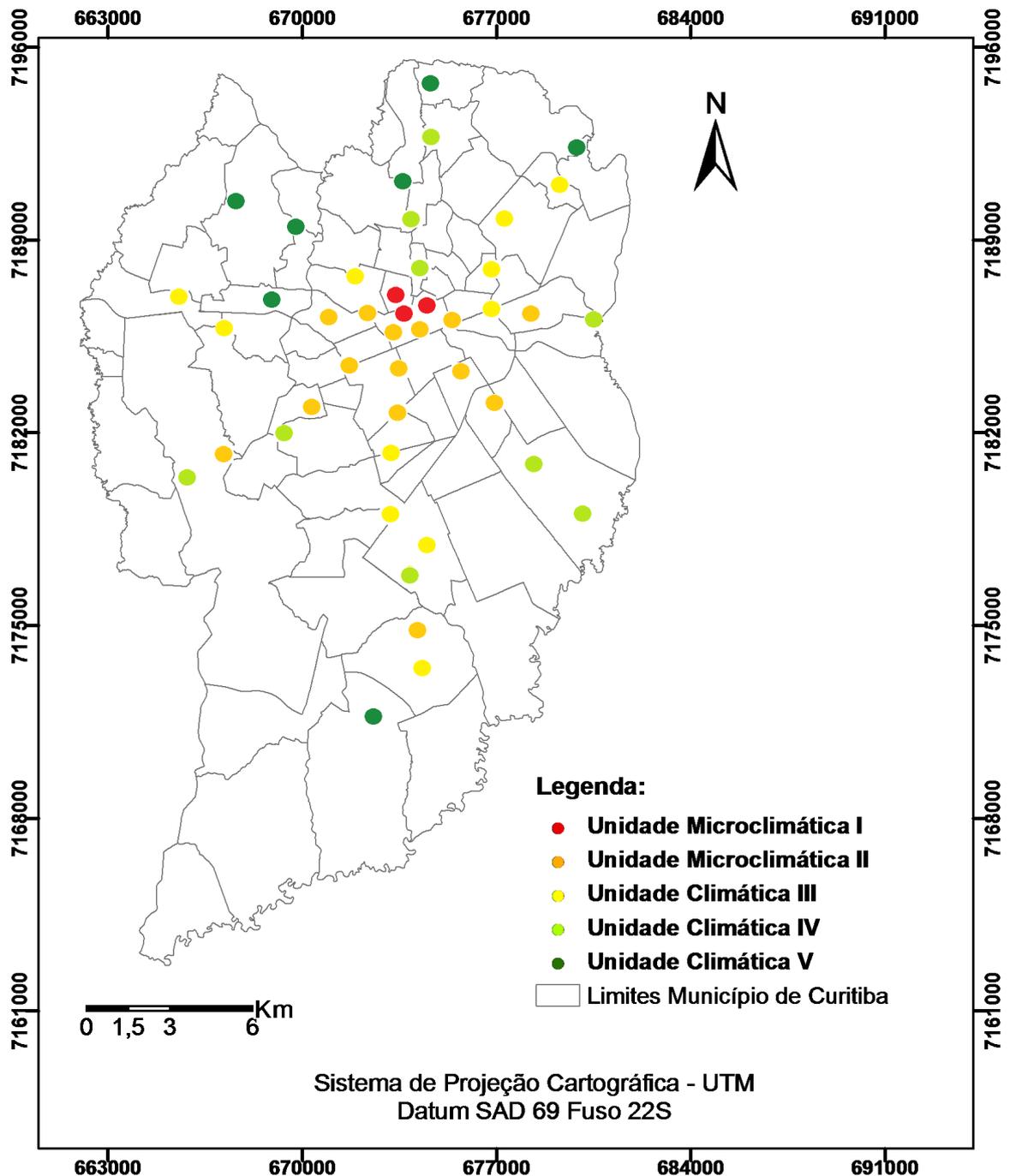


Figura 6 - Localização das unidades microclimáticas identificadas na área intraurbana da cidade de Curitiba - PR

Os resultados demonstram a formação de microclimas diferenciados na área intraurbana de Curitiba, com a alternância de áreas de maior e menor temperatura, também citada nos trabalhos de Mendonça e Dubreuil (2005) e Dumke (2007).

O zoneamento do uso do solo, com diferentes densidades de construção, e a distribuição irregular de florestas urbanas, que podem ser visualizados na Figura 7, utilizados para a descrição das unidades microclimáticas, explicam as temperaturas encontradas para cada classe.

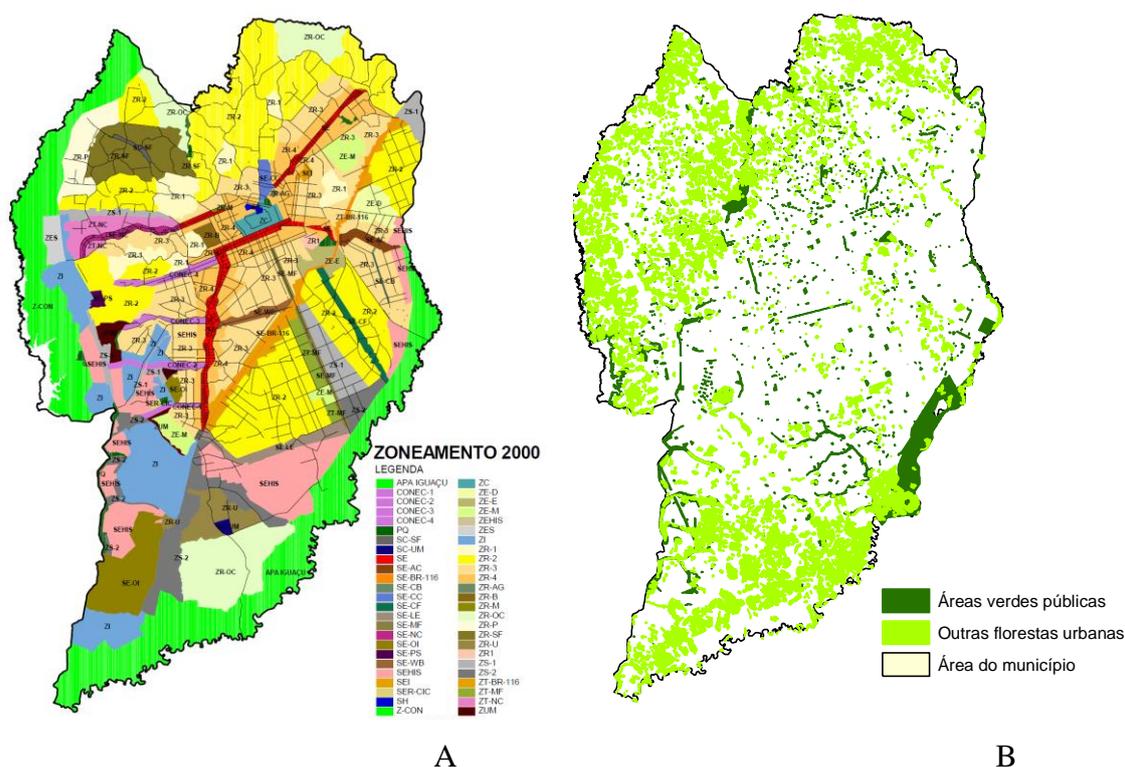


Figura 7 – Classes de zoneamento do uso do solo (A) e distribuição das florestas urbanas (B) na cidade de Curitiba - PR

Fonte: IPPUC (2012c)

A Unidade Microclimática I localiza-se no centro tradicional (Zona Central – ZC e Setor Especial Histórico - SH), com grande número de edificações e concentração de atividades. A Unidade Microclimática II inclui Zonas Residenciais de Média-alta Densidade (ZR-4) e Média Densidade (ZR-3) e áreas ao longo de eixos estruturais urbanos (Setor Especial Estrutural – SE).

As Unidades Microclimáticas I e II, que são as áreas de maior temperatura, reúnem locais com pouca vegetação, conforme dados de IPPUC (2012a, 2012c). Estas áreas localizam-se na região central consolidada e na região centro-sul, também bastante urbanizada e verticalizada, com os eixos estruturais de transporte e a alta densidade das edificações ao longo destes. A verticalização de Curitiba, segundo Pilotto (2010), foi maior a partir do Centro no sentido oeste-sudoeste, especialmente nos bairros Batel, Água Verde e Bigorriho.

Destacaram-se também como regiões mais quentes na área intraurbana os pontos localizados nos bairros Tatumã (com grande circulação de veículos), Cidade Industrial de Curitiba (concentração de

atividades antrópicas e superfícies mineralizadas) e Sítio Cercado (grande densidade populacional e tamanho dos lotes reduzido).

O Instituto de Pesquisa de Planejamento Urbano de Curitiba – IPPUC, analisando os resultados do censo do IBGE 2010, cita que o bairro Centro continua a ser a área mais densa da cidade, fenômeno que se mantém desde a década de 1970. O segundo bairro mais denso, em 2010, é o Água Verde, seguido do Sítio Cercado. O órgão ressalta que o bairro Água Verde está localizado em uma ZR-4 (Zona Residencial Quatro), ou seja, área definida na Lei de Zoneamento e Uso do Solo como de média-alta densidade. Já o terceiro bairro mais denso – Sítio Cercado – é de ocupação recente (início dos anos 1990), resultado de ação direta do Poder Público Municipal com o empreendimento chamado Bairro Novo. Este bairro tem, predominantemente, uma ocupação horizontal e está localizado em área definida como SEHIS - Setor Especial de Habitação de Interesse Social destinada à regularização fundiária e/ou a programas habitacionais de interesse social. Na lista também está incluído o bairro Fazendinha (9º colocado), que tem um perfil de ocupação semelhante ao do Sítio Cercado. Os demais bairros de maior densidade em 2010 estão localizados em ZR-3 (Zona Residencial Três), áreas classificadas como de média densidade (IPPUC, 2012b).

Segundo Duarte e Serra (2003), as diferentes densidades de áreas construídas afetam os microclimas em uma região urbana. Akinbodea, Elodoyinb e Fashae (2008) verificaram que as maiores temperaturas em Akure, capital administrativa do estado de Ondo, Nigéria foram frequentemente associadas com alta densidade de residências.

Na cidade de Bauru - SP, as áreas mais densamente construídas, com alguns bairros residenciais e conjuntos habitacionais apresentaram maiores taxas de aquecimento e de resfriamento, em contraposição às áreas com expressiva quantidade de vegetação, como bosques e praças (FARIA; MENDES, 2004). Amorim (2005) verificou em estudo na cidade de Presidente Prudente – SP que a diminuição da densidade de construção produz um efeito pronunciado no que se refere à quebra de continuidade da distribuição das temperaturas mais elevadas.

A densidade de construção em cada classe de zoneamento está relacionada com o percentual de áreas permeáveis e impermeáveis em cada local e os espaços vazios com possibilidade de incluir vegetação nos terrenos. Em geral, as áreas não residenciais, incluindo espaços comerciais, industriais e a área central, possuem mais área pavimentada, menos superfícies gramadas e menos árvores do que as áreas residenciais. Conforme Hall, Handley e Ennos (2012), a cobertura vegetal difere entre diferentes tipos de morfologia urbana, sendo menor em áreas com alta densidade de residências, porém dentro destas áreas há uma grande variabilidade de quantidade de vegetação. Isto pode ser verificado na separação das unidades microclimáticas III e IV, ambas incluem pontos localizados em Zonas Residenciais de Baixa Densidade (ZR-2), porém na Unidade Microclimática III observa-se ausência de parques e bosques nas proximidades. A vegetação pública é limitada a praças e árvores de rua.

A Unidade Microclimática V, com as áreas de menor temperatura, inclui pontos nas zonas residenciais de baixa a baixíssima densidade (ZR-2 e ZR-1) e de ocupação controlada (ZR-OC). Estes pontos estão localizados em regiões com maior cobertura vegetal.

A influência direta das áreas verdes públicas foi constatada na classificação das unidades microclimáticas. Verifica-se que os pontos P18 (Rua Mateus Leme – São Lourenço) e P19 (Rua Deputado Mário de Barros com Raul Viana – Centro Cívico), classificados como Unidade Climática IV, estão próximos, respectivamente da Praça Manoel Scliar e do Bosque João Paulo II (Bosque do Papa), enquanto os pontos P8 (Rua Cândido Hartmann com Padre Ladislau Kula – Santo Inácio), P17 (Rua João Gava com Rua Antonio Krainiski - Abranches) e P30 (Rua José Valle – São João), que estão próximos, respectivamente, dos Parques Barigui, São Lourenço e Tingui, foram classificados como Unidade Climática V. Uma diferenciação entre os pontos é que, além da maior extensão dos últimos parques citados, a cobertura vegetal próxima aos pontos P18 e P19 está limitada aos espaços verdes públicos citados, enquanto que para os pontos P8, P17 e P30, há presença de outros remanescentes florestais próximos, permitidos pelo zoneamento do uso do solo nestas regiões, o que contribui para as menores temperaturas.

Verifica-se que os pontos de monitoramento localizados nos limites extremos dos transectos não foram todos classificados na mesma unidade microclimática (Figura 6). Isto é devido a influência do uso do solo na região metropolitana, pois enquanto nos pontos P15 (Av. Anita Garibaldi com Rua Rolando Salin Zappa Mansur – Bairro Cachoeira), P28 (Rua Nicola Pelanda – Umbará), P29 (Rua Fredolin Wolf com Rua Saturnino de Miranda – Lamenha Pequena) e P44 (Rua Estrada das Olarias – Santa Cândida), as áreas sequentes caracterizam-se como de baixa densidade de construção e com maior presença de vegetação, nos outros pontos há a continuidade da área urbanizada para além dos limites da área intraurbana de Curitiba, o que é principalmente verificado no ponto P14 (Rua Vitor Ferreira do Amaral com Rua Brasília de Lara – Capão da Imbuia), situado próximo a divisa com o município de Pinhais, e no ponto P35 (Rua Velci Bolívar Grando com Rua Amauri Mauad Gueiros – Uberaba), próximo à divisa com o município de São José dos Pinhais.

CONCLUSÕES

A análise de agrupamento, por estatística multivariada, comprovou a semelhança térmica entre as áreas de mesma morfologia urbana na área intraurbana de Curitiba. Os resultados mostraram que a densidade de construção e a distribuição da vegetação influenciam diretamente o comportamento térmico desta cidade.

Pela classificação das unidades microclimáticas conclui-se que as áreas de maior temperatura localizaram-se na área central e centro-sul e nos bairros com maior intensidade de ocupação e atividades antrópicas. As menores temperaturas foram encontradas nos pontos localizados em bairros residenciais e periféricos, como nas porções norte e noroeste do município e limite sul, que concentram a maior quantidade de áreas permeáveis e concentração de remanescentes florestais, além de se evidenciar o efeito do resfriamento das florestas urbanas presentes na área intraurbana de Curitiba.

AGRADECIMENTOS

À Fundação Araucária de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Paraná pelo financiamento dessa pesquisa.

À URBS - Urbanização de Curitiba S/A pela permissão da instalação dos miniabrigos meteorológicos nas estruturas urbanas.

REFERÊNCIAS

AKINBODEA, O. M.; ELUDOYINB, A. O.; FASHAE, O. A. Temperature and relative humidity distributions in a medium-size administrative town in southwest Nigeria. *Journal of Environmental Management*, Amsterdam, v. 87, p. 95–105, 2008.

AMORIM, M. C. C. T. Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP: episódios de inverno. *Geosul*, Florianópolis, v. 20, n. 39, p. 65-82, 2005.

AMORIM, M. C. C. T. Climatologia e gestão do espaço urbano. *Mercator*, Fortaleza, número especial, p. 71-90, 2010.

DUARTE, D. H. S.; SERRA, G. G. Padrões de ocupação do solo e microclimas urbanos na região de clima continental brasileira: correlações e proposta de um indicador. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 3, n. 2, p. 7-20, 2003.

DUMKE, E. M. S. *Clima urbano / conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC)*. 417 p. Tese (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

FARIA, J. R. G.; MENDES, J. F. G. Sobre o uso e ocupação do solo urbano e a temperatura do ar. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 4, n. 3, p. 7-17, 2004.

GOMEZ, F.; GAJO, E.; REIG, A. Vegetation and climatic changes in a city. *Ecological Engineering*, Oxford, v. 10, p. 355 - 360, 1998.

GRIMMOND, C.S.B.; ROTHB, M.; OKE, T.R.; et al. Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective). *Procedia Environmental Sciences*, v. 1, p. 247–274, 2010.

HALL, J.; HANDLEY, J. F.; ENNOS, A. R. The potential of tree planting to climate-proof high density residential areas in Manchester, UK. *Landscape and Urban Planning*, Amsterdam, v. 104, p. 410–417, 2012.

HAMADA, S.; OHTA, T. Seasonal variations in the cooling effect of urban green areas on surrounding urban areas. *Urban Forestry & Urban Greening*, Davis, n. 9, p. 15-24, 2010.

HUANG, L.; LI, J.; ZHAO, D.; ZHU, J. A fieldwork study on the diurnal changes of urban microclimate in four types of ground cover and urban heat island of Nanjing, China. *Building and Environment*, Oxford, v. 43, p. 7-17, 2008.

IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Curitiba em dados*. Disponível em: <http://ippucnet.ippuc.org.br/bancodedados/curitibaemdados/curitiba_em_dados_pesquisa.asp> Acesso em: 19 janeiro 2012 (a).

IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Censo 2010 - Análise dos bairros de Curitiba*. Disponível em: <<http://ippucnet.ippuc.org.br/ippucweb>> Acesso em: 23 fevereiro 2012 (b)

IPPUC - Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano de Curitiba. *Mapas*. Disponível em: <<http://ippucnet.ippuc.org.br/mapas.asp>> Acesso em: 10 julho 2012 (c).

KOLOKOTRONI, M.; GIANNITSARIS, I.; WATKIN, R. The effect of the London urban heat island on building summer cooling demand and night ventilation strategies. *Solar Energy*, Kidlington, v. 80, p. 383–392, 2006.

MENDONÇA, F. A. *Clima e criminalidade: ensaio analítico da correlação entre a temperatura do ar e a incidência de criminalidade urbana*. Curitiba: UFPR, 2001.

MENDONÇA, F. A.; DUBREUIL, V. Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (região metropolitana de Curitiba / PR). *Ra'ega*, Curitiba, n. 9, p. 25 - 35, 2005.

MINGOTI, S.A. *Análise de dados através de métodos de estatística multivariada: uma abordagem aplicada*. Belo Horizonte: UFMG, 2005. 297 p.

MIHALAKAKOU, G.; SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; CARTALIS, C.; TSANGRASSOULIS, A. Simulation of the Urban Heat Island Phenomenon in Mediterranean Climates. *Pure and Applied Geophysics*, v. 161, p. 429–451, 2004.

- OKE, T. R. Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites. In: BORREGO, C.; NORMAN, A. *Air pollution modeling and its application XVII*. New York: Springer, 2007. p. 615-631.
- PEREIRA, G. A natureza dos fatos urbanos: produção do espaço e degradação ambiental. *Desenvolvimento e Meio Ambiente*, Curitiba, n. 3, p. 33-51, 2001.
- PILOTTO, A. S. *Área metropolitana de Curitiba: um estudo a partir do espaço intraurbana*. 196 p. Dissertação (Mestrado em Planejamento Urbano Regional, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2010.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE CURITIBA. *Áreas Verdes*. 2011. Disponível em <<http://www.curitiba.pr.gov.br/publico/secretaria.aspx?idf=396&servico=26>> Acesso em: 10 junho 2011.
- ROSSI, F. A.; KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. *Raíza*, Curitiba, n. 10, p. 93-105, 2005.
- SCHMITZ, L. K.; MENDONÇA, F. Reestruturação urbana e conforto térmico: cenários de modelização em Curitiba - PR após a copa de 2014. *Revista Brasileira de Climatologia*, São Paulo, n. 7, v. 8, p. 61-81, 2011.
- VIEIRA, C. H. S. D.; BIONDI, D. Análise da dinâmica da cobertura vegetal de Curitiba, PR (de 1986 a 2004), utilizando imagens Landsat TM. *Árvore*, Viçosa, v. 32, n. 3, p. 479-487, 2008.
- WMO – World Meteorological Organization. *Guide to meteorological instruments and methods of observation*. 7.nd. Geneva: WMO, 2008. Disponível em: <http://www.wmo.int/pages/prog/www/IMOP/publications/CIMO-Guide/CIMO_Guide-7th_Edition-2008.html> Acesso em: 31 julho 2009.
- YOUNG, A. F.; ROCHA, J. V. Aplicação de índices relativos de vegetação e temperatura para análise das mudanças nos padrões de cobertura vegetal de Curitiba (PR). *Floresta e Ambiente*, Seropédica, v. 13, n. 1, p. 34 - 43, 2006.