

ELABORAÇÃO DE MAPAS CLIMÁTICOS URBANOS: VARIÁVEIS E RESULTADOS PRELIMINARES PARA BELO HORIZONTE, MG

Eleonora S. de Assis¹; Lutz Katzschner²; Natália Carolina S. Nascentes Marra³, Daniel de Oliveira Amaral³, Mirelli Borges Medeiros³, Beatriz Maria F. Silva³, Natália Fernandes Ribeiro³, Karina Zuquim⁴, Camila Araújo de Sirqueira Souza⁵

(1) D.Sc., Professora do Dep. Tecnologia da Arquitetura e do Urbanismo, Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura (EAUFMG), rua Paraíba, 697, Belo Horizonte – MG, 30130-140,

Tel.: (31)3409-8873, eleonorasad@yahoo.com.br

(2) D.Sc., Professor da Faculdade de Arquitetura, Planejamento Urbano e da Paisagem, Universidade de Kassel, Alemanha, katzschn@uni-kassel.de

(3) Mestrandos do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (EAUFMG)

(4) Arquiteta e Urbanista, Curso de Especialização em Sustentabilidade do Ambiente Construído (EAUFMG)

(5) M.Sc. em Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável (EAUFMG)

RESUMO

Diante da crise ambiental e das mudanças climáticas, o planejamento e gestão das cidades precisa de novos conceitos e ferramentas para a mitigação e/ou adaptação aos efeitos adversos resultantes desses processos. O objetivo deste trabalho foi desenvolver procedimentos simplificados para as classificações e cálculo de variáveis que compõem o mapa de análise do clima urbano, a partir da metodologia alemã. A cidade de Belo Horizonte, MG, foi tomada como caso de estudo. Os dados quantitativos referem-se a informações sobre o clima local (temperatura e umidade do ar, velocidade e direção de vento) e sobre a superfície urbana (topografia, densidade construída e índice de área aberta de diferentes tecidos urbanos). Os dados qualitativos dizem respeito às classificações de uso e ocupação do solo e rugosidade dos tecidos urbanos que serão bases para o cálculo de alguns dos parâmetros da superfície urbana. Estes dados foram organizados em mapas e tabelas para averiguar a coerência das classificações simplificadas adotadas. Considera-se que esta abordagem preliminar pode ser vantajosa, usando o conhecimento local dos técnicos e ferramentas simples para uma primeira e mais rápida aproximação ao problema.

Palavras-chave: mapa climático urbano, morfologia urbana, variáveis urbanas – cálculo simplificado.

ABSTRACT

The environmental crisis and climate change have led the planning and management of cities to develop new concepts and tools for mitigation and /or adaptation to the adverse effects of these processes. The objective of this paper was the development of simple procedures for classification and calculation of variables needed to make the urban climatic analysis map taking as reference the German methodology. The city of Belo Horizonte, MG, was used as case study. Quantitative data refers to information about the local climate (temperature and humidity, wind speed and direction) and on urban surface (topography, built density and openness index of different types of urban fabric). Qualitative data relate to the land use and occupation classes as well as of roughness that will be the basis for the calculation of some of the parameters of the urban surface. These data were organized in thematic maps and tables to generate preliminary information for analysis and test the consistency of adopted classifications. This preliminary approach may be considered advantageous since its uses the knowledge of the local by the technicians and simple tools in order to form a quick overview of the problem.

Keywords: urban climatic map, urban morphology, urban variables – simplified calculation.

1. INTRODUÇÃO

O crescimento da população no último século não tem precedentes na história humana, sendo que mais da metade dela concentra-se atualmente nas cidades. As cidades mais populosas estão em países

subdesenvolvidos ou em desenvolvimento da Ásia, África e América Latina, o que impõe muitas pressões sobre o ambiente natural nestas regiões, especialmente a da urbanização sem planejamento. Na América do Sul, as projeções de crescimento populacional nas 10 maiores regiões metropolitanas mostram que não há perspectiva de estabilização ou queda do crescimento na próxima década. No Brasil, apesar da tendência à desconcentração demográfica observada desde a década de 1980, ainda se observa um forte processo de metropolização (CUNHA, 2003).

Mudanças no clima local com efeitos adversos que podem se estender para além dos limites da cidade são alguns dos impactos provocados por esta urbanização sem controle. As estruturas urbanas e as atividades que nelas se desenvolvem provocam alterações no balanço energético local e na qualidade do ar, levando à formação do que se convencionou chamar de “clima urbano”, ou seja, um sistema de escala mesoclimática que abrange o clima de um dado espaço terrestre e sua urbanização (MONTEIRO, 2003). Na atualidade, já está bem assentado que tais mudanças têm grande influência sobre o conforto térmico, a saúde e a segurança da população urbana, uma vez que são agentes para a poluição do ar, a formação de ilhas de calor urbanas e para a alteração do ritmo local das chuvas. Assim, tem havido um esforço do meio técnico-científico para desenvolver novos conceitos e métodos para integrar a informação sobre o clima no processo de planejamento e desenho urbanos.

O conceito de “clima urbano ideal” (MAYER, 1989; KATZSCHNER, 1999), busca dar um caráter operacional, do ponto de vista do planejamento urbano, às abordagens descritivas do clima urbano. É definido como uma situação na escala da camada do dossel urbano (UCL – *urban canopy layer*) com uma alta variação das condições termo-higrométricas no tempo e espaço, mantendo, porém, boa qualidade do ar e conforto térmico, considerando a população aclimatada. Para atingir tais condições, é preciso basicamente lidar com estratégias de sombreamento, ventilação e desempenho térmico de materiais na escala urbana, buscando considerar as informações sobre o clima local no planejamento da cidade como um todo ou de recintos urbanos, como um bairro, praças ou outras unidades de vizinhança.

O Mapa Climático Urbano (UCMap) foi, assim, pensado como uma ferramenta bidimensional para organizar a informação sobre os fatores atmosféricos e geográficos do clima numa plataforma interdisciplinar de colaboração entre climatologistas e planejadores (REN *et al*, 2011). A metodologia para a elaboração de mapas climáticos urbanos vem sendo desenvolvida na Alemanha desde os anos 1970, tendo sido consolidada nas normas VDI-3585, partes 1 (2008a) e 2 (2011) e VDI-3787, partes 1 (1997) e 2 (2008b). O UCMap tem dois componentes principais: o mapa de análise do clima urbano (UC-AnMap) e o mapa de recomendações de planejamento climático urbano (UC-ReMap). O primeiro deles integra espacialmente as informações sobre variáveis atmosféricas do clima (em geral temperatura, umidade e vento) e as informações sobre a topografia, uso do solo, vegetação e massas d’água existentes, bem como planos de urbanização, para subsidiar as análises de conforto térmico e efeitos locais de vento. O segundo integra recomendações práticas e estratégias de projeto para o planejamento da cidade, de modo a promover melhorias na ventilação urbana para a qualidade do ar e no conforto térmico de seus habitantes.

No Brasil há pouca experiência em utilizar dados climáticos urbanos no planejamento de cidades. A maior parte dos trabalhos que tratam do assunto não utiliza a metodologia alemã (TARIFA e ARMANI, 2000; ASSIS *et al*, 2007; BARROS e LOMBARDO, 2013; PRATA-SHIMOMURA, 2014). As cidades de Salvador, BA (NERY *et al*, 2006) e João Pessoa, PB (SOUZA, 2010; RIBEIRO, BRAZ e SILVA, 2013) foram as primeiras onde se desenvolveram estudos para a elaboração do UC-AnMap, integrando informações existentes através da aplicação de um sistema de informações geográficas (SIG).

Apesar da normalização disponível e do fato de que, atualmente, cerca de 18 países já estejam elaborando mapas climáticos urbanos (REN *et al*, 2011), há pouca informação na literatura sobre a maneira de calcular as variáveis envolvidas. Além disso, há diferenças significativas entre as cidades, o que influencia no número e tipo de parâmetros que são considerados, bem como na maneira como podem ser considerados, devido ao grau de informação disponível em cada lugar. Na prática, observa-se que cada país ou cidade adapta os parâmetros e os procedimentos para a determinação deles, havendo certa variação no nível de sofisticação técnica e detalhamento do UCMap – o que também não impede o seu aprimoramento local ao longo do tempo (CHINA, s/d; KATZSCHNER, 1999).

2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é apresentar procedimentos simplificados para a determinação de variáveis que são utilizadas na elaboração de mapas climáticos urbanos nas escalas entre 1:5.000 e 1:25.000 (local), abrangendo, portanto, um município (cidade) ou suas partes. Aborda-se especificamente variáveis urbanas para o mapa de análise do clima urbano (UC-AnMap), tomando como caso de estudo a cidade de Belo Horizonte, MG.

3. METODOLOGIA

O procedimento para a elaboração do UCMMap integra uma série de variáveis, o que pode ser feito à mão ou, mais modernamente, através de um SIG. A figura 1 apresenta um esquema do procedimento. Algumas das informações estão mais facilmente disponíveis nos municípios brasileiros, tais como a topografia, o uso do solo e a densidade de ocupação (a partir dos dados de população por setor censitário). Outros dados têm que ser levantados e organizados para o cálculo de variáveis morfológicas ou de padrões de vento e variações termo-higrométricas locais, que na escala da UCL guardam estreita relação com as estruturas urbanas.

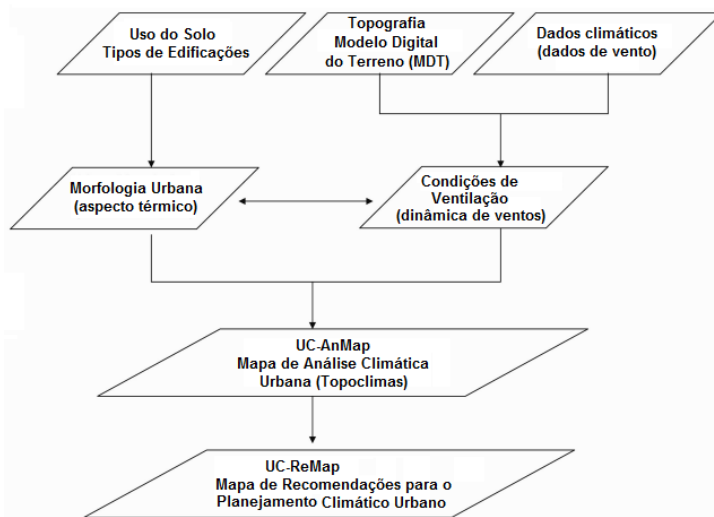


Figura 1 – Esquema de elaboração do UCMMap.

Apesar da disponibilidade relativamente grande de dados e de produtos satelitais que poderiam auxiliar bastante no planejamento de modo geral e, mais especificamente, no planejamento urbano dos municípios no Brasil, boa parte deles tem dificuldade em processar informações através de SIGs. Um claro exemplo disso é o relativo baixo uso que vêm tendo os Sistemas Nacionais de Indicadores Urbanos (SNIU), de Informações das Cidades (SNIC), entre outros.

Entretanto, o corpo técnico desses municípios tem, em geral, um bom conhecimento sobre as condições geográficas e urbanas locais. Tal experiência poderia ser aproveitada num contexto de mapeamento preliminar de variáveis, como

proposto neste trabalho. Partindo da premissa de que é possível usar ferramentas mais simples para a classificação das estruturas urbanas e para o cálculo de seus parâmetros, neste trabalho utilizou-se:

- Uma amostragem de tecidos urbanos identificados com base na experiência dos autores, que pode ser tomada como representativa da cidade e, portanto, generalizável, em vez de desenvolver uma classificação automática para todo o município;
- Uma ferramenta CAD para lidar com o mapa vetorial da cidade, registrando o número de pavimentos das edificações em cada área amostral, a partir da contagem realizada usando ferramentas do Google©.

3.1. Caracterização de tecidos urbanos

Stewart e Oke (2010) observaram que um dos aspectos mais fracos da literatura sobre o clima urbano é a descrição dos tipos de tecido urbano. Há falhas em informar sobre seus descritores quantitativos ou nem sequer se oferece qualquer tipo de descrição sobre os diferentes recintos urbanos e/ou rurais do entorno da cidade. Por outro lado, os sistemas tradicionais de classificação são muito genéricos ou não se aplicam bem à representação de topoclimas ou “zonas climáticas urbanas” (áreas com morfologia superficial homogênea, que criam uma distinta condição microclimática). Muitos autores vêm propondo ou buscando harmonizar sistemas de classificação topoclimática urbana (KATZSCHNER, 1999; STEWART; OKE, 2010; etc.). Estes sistemas têm sido denominados de “tipos de estrutura urbana” (*urban structure types – UST*) e são caracterizados pela forma e densidade de construção.

Para fins desse trabalho, considerando que o município de Belo Horizonte está praticamente todo urbanizado, foram identificados quatro topoclimas principais (figura 3). Além desses, foram também utilizadas as classes de vegetação, água e zonas industriais.

3.1.1. Caracterização das áreas amostrais

Os descritores básicos dos topoclimas urbanos são, do ponto de vista das superfícies:

1. Rugosidade (*roughness*): é descrita através do *comprimento de rugosidade* (z_0) e do *deslocamento do plano zero* (z_d). z_0 estima a altura vertical local a partir da qual o perfil logarítmico do vento se reconstitui, ou seja, onde a velocidade horizontal do vento tende a zero (figura 2). Embora existam vários métodos anemométricos e morfométricos para a estimativa de z_0 , neste trabalho adotou-se os dados da Tabela 1, com base em Wieringa (1992) e Hansen (1993).

2. Volume construído (*building volume*, m^3): o volume construído acima do nível do terreno (BV)

numa dada área amostral é:

$$BV = \sum_{S=1}^{n_1} S_i \times N_i \times \bar{h} \quad \text{Eq. 1}$$

onde: S_i é a área de projeção de cada edificação sobre o plano horizontal; N_i é o número de pavimentos de cada edificação, contados usando o Google Earth© com a sua camada 3D ativada; $\bar{h} = 3,6\text{m}$ é a altura média entre lajes de edificações residenciais e comerciais no Brasil.

A densidade de volume construído (BVD, em %) foi calculada tendo como referência a região da cidade com maior valor de BV. Esta variável serve como indicador da carga térmica local.

3. Índice de área aberta (*openness*, %): com a notação OP, é a razão entre a área edificada e a não edificada (incluindo pátios, quintais, ruas e passeios). Esta variável é indicadora da capacidade local de ventilação.

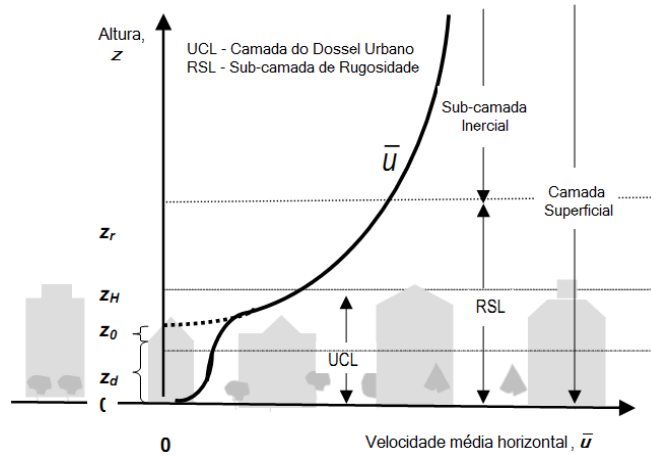


Figura 2 – Perfil vertical genérico de velocidade do vento em áreas densamente construídas mostrando as sub-camadas da Camada Superficial. As variáveis de altura são: z_H – altura média dos elementos de rugosidade; z_r – altura da camada de mistura; z_0 – comprimento de rugosidade e z_d – comprimento do deslocamento do plano zero. Fonte: adaptado de Oke (2006)

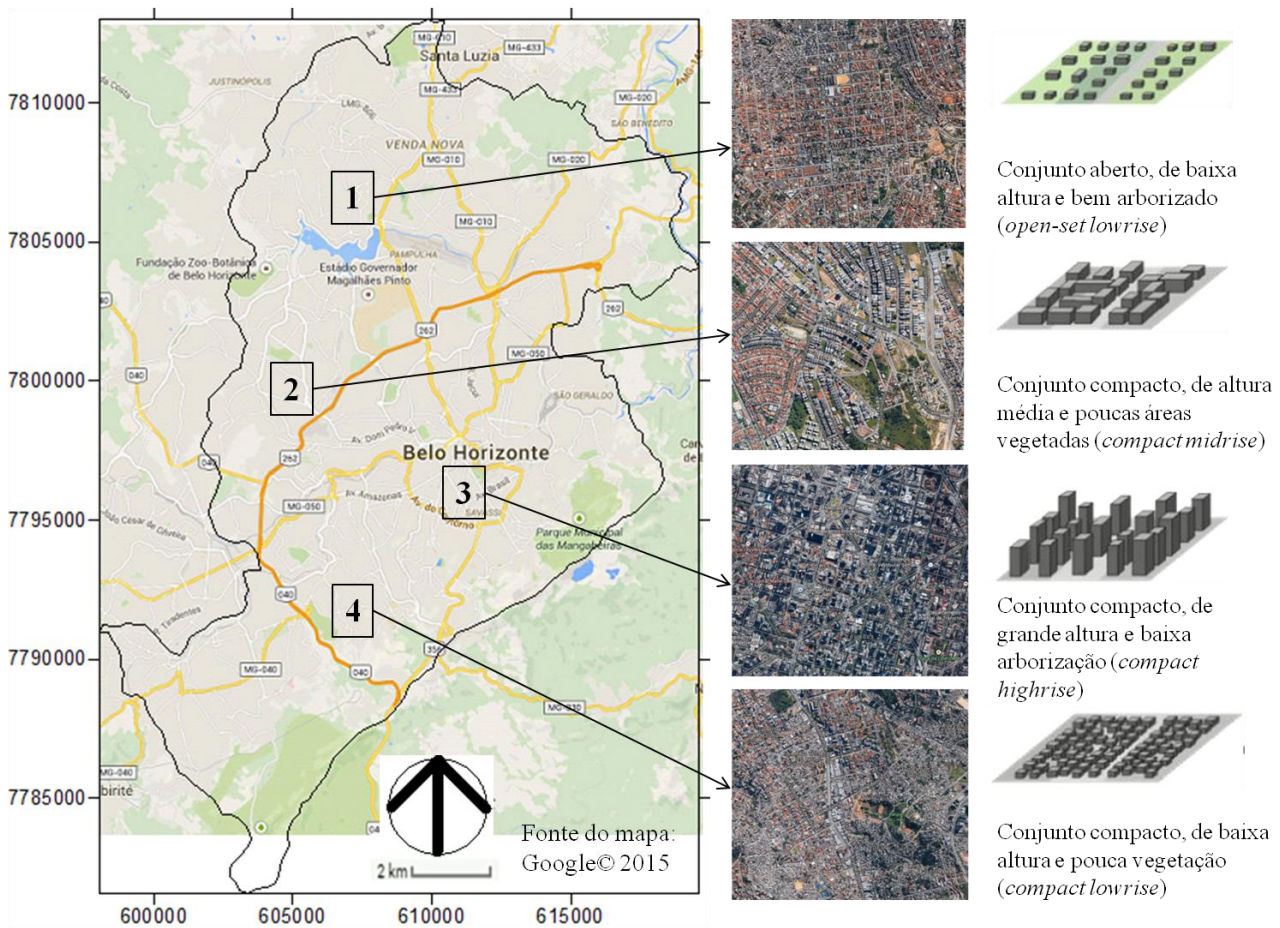


Figura 3 – Áreas amostrais de topoclimas de Belo Horizonte. UST conforme Stewart e Oke (2010).

3.1.2. Classificação preliminar para definição do número de amostras de cada topoclima

Para a generalização dos resultados dos descritores BV e OP, foram tomadas amostras de cada um dos quatro topoclimas, a partir de uma classificação preliminar de todo o município usando o descritor *comprimento de rugosidade* (z_0).

Para esta classificação, foi feita uma avaliação visual usando o Google Maps© com a sua camada

Terra ativada e um mapa vetorial do município com os bairros demarcados, em escala 1:24.000. Em cada bairro da cidade, foram observadas as texturas do tecido urbano. Cada uma delas foi relacionada a uma rugosidade com base na Tabela 1 e nas classes topoclimáticas utilizadas. Depois disso, o mapa final de rugosidade foi elaborado num SIG, fundindo as áreas dos bairros com a mesma classe de z_0 .

A partir do número de ocorrências de cada classe, foi definido o número de amostras a ser extraído de cada uma. A seleção das áreas para a retirada das amostras levou em conta a sua distribuição regular sobre a região de cada classe.

Tabela 1 – Comprimentos de rugosidade (z_0) para diversos tipos de superfícies

z_0 (m)	Tipo de superfície
0,0002	Água calma, áreas pavimentadas planas
0,005	Áreas planas, praias, campos nevados, pântanos
0,03	Áreas gramadas, campos, tundra, pistas de aeroportos
0,1	Áreas cultivadas com plantas baixas e arbustos isolados
0,25 – 0,3	Áreas cultivadas com plantas altas ou de alturas variadas, vinhedos, árvores esparsas e sebes; parques urbanos
0,4 – 0,5	Áreas cultivadas misturadas a recortes florestais; terrenos acidentados; edificações esparsas de baixa altura
0,6	Áreas urbanas com edificações de baixa altura
0,8 – 1,0	Áreas urbanas com edifícios de altura média
1,6	Áreas urbanas densas com edifícios altos; zonas industriais
2,0	Áreas urbanas densas com edifícios altos e sem afastamentos

3.2. Levantamento e medição de dados climáticos locais

No contexto de uma análise preliminar, os dados climáticos podem ser coletados durante o período de apenas 1 dia, em três momentos: antes do nascer do sol, no momento mais quente do dia e após o por do sol. É desejável que as condições atmosféricas sejam de céu claro e ventos leves, onde melhor se observa a formação de ilhas de calor urbanas, mas também em outras condições típicas de tempo na região. Os dados a serem levantados e/ou medidos são temperatura e umidade do ar, velocidade e direção de vento, em vários pontos da superfície.

Para verificar as condições atmosféricas, imagens do satélite GOES-13 na data e horários da coleta de dados foram pesquisadas no Banco de Dados de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). A figura 4 mostra as condições de nebulosidade alta no dia em que ocorreu o trabalho de campo, 27 de setembro de 2014. De acordo com a análise sinótica deste dia, um sistema frontal avançava sobre a região, produzindo áreas de instabilidade atmosférica, porém não choveu na cidade. Durante a aproximação desse tipo de sistema, é comum o desenvolvimento de áreas de baixa pressão que induzem a uma mudança na direção dos ventos, que nesse dia variaram de NE para NO e O. Embora seja uma ocorrência típica de meia estação, não corresponde à situação de tempo estável. Em etapas posteriores, os trabalhos de campo deverão ocorrer em outros períodos representativos de diferentes estações do ano, naqueles mesmos três momentos.



Figura 4 – Condições de nebulosidade no dia do trabalho de campo. O ponto vermelho corresponde à localização de Belo Horizonte. Em (A) às 5:30; (B) às 13:00 e (C) às 19:00 de 27/09/2014. Fonte das imagens:

<http://satellite.cptec.inpe.br/acervo/goes.formulario.logic>

3.2.1. Medição de dados climáticos em campo

As medições foram realizadas nas quatro áreas da figura 3, em 27 de setembro de 2014, às 05:30, às 13:00 e às 19:00. Para cada local, são definidos três pontos de medição, próximos entre si e livres de interferências como trânsito, esquinas, entre outras. Observou-se também a estrutura urbana de cada área para a seleção do local de medição: características de ocupação do solo, gabarito e tipologia das edificações, áreas verdes,

fluxo de veículos, atividades (comerciais, industriais e residenciais) e níveis de poluição. Desse modo, o local de medição deve representar bem o topoclíma de cada área amostral.

A instrumentação utilizada em campo foi:

- a) Para medição de temperatura e umidade do ar: termo-higrômetro Instrutherm HT 260. Este aparelho mede a umidade do ar numa escala de 0 ~ 100%, com uma precisão de $\pm 3\%$ e a temperatura de -20°C a 60°C , com uma precisão de $\pm 2,5^{\circ}\text{C}$.
- b) Para medição da velocidade e direção do vento: a direção foi observada com auxílio de uma bússola, usando uma linha fina presa a uma vareta; a intensidade do vento foi estimada empiricamente, usando a Escala de Beaufort.

Foram registrados, em cada horário de coleta de dados e em cada um dos três pontos de cada local de medição, as temperaturas e umidades relativas máximas e mínimas durante 1 minuto, a altura de 1,5m do chão. O resultado final de temperatura e umidade horários do ar em cada local foi dado pela média dos dados coletados. O mesmo foi feito para a velocidade do ar e para a direção foi observada a mais frequente (moda) em cada local.

3.2.2. Levantamento de dados climáticos de estações medidoras locais

Belo Horizonte pode ser considerada uma cidade atípica do ponto de vista do monitoramento climático no país, pois possui em seu município sete estações meteorológicas operadas por órgãos públicos federais ou estaduais que dão acesso a seus dados, sendo quatro delas automáticas. Além das quatro áreas com pontos medidos, foram então coletados os dados destas estações meteorológicas no mesmo dia e horários das medições de campo.

Nas estações, os dados de velocidade do vento são medidos a 10m de altura, enquanto que em campo, foram medidos a 2m de altura. É necessário, portanto, estimar o valor dos dados de campo para 10m de altura, o que pode ser feito usando a chamada lei de potência (equação 2).

$$v_{(h)} = v_{ref} (h/h_{ref})^{\alpha} \quad \text{Eq. 2}$$

onde $v_{(h)}$ é a velocidade média do vento a uma dada altura; v_{ref} é a velocidade média do vento a altura conhecida; h é a altura onde se estima $v_{(h)}$; h_{ref} é a altura onde ocorre v_{ref} ; α é o chamado coeficiente de camada limite, que varia em função do comprimento de rugosidade da superfície. Para áreas mais rugosas e/ou urbanizadas o valor de α varia entre 0,25 a 0,40, de acordo com a revisão de Roballo e Fisch (2008).

3.2.3. Representação dos dados climáticos

Os dados medidos e levantados são georreferenciados e usados na elaboração de cartogramas usando o programa Surfer®, versão 8. Este programa é um SIG mais simples, capaz de interpolar os dados através de métodos geoestatísticos. No caso dos dados climáticos utilizados, a krigagem (*kriging*), um método linear de predição desenvolvido no começo dos anos 1960, é considerada como o melhor método de interpolação espacial.

3.2.4. Outras variáveis envolvidas

Além das variáveis apresentadas, outros dados são necessários para a elaboração final do UC-AnMap, tais como topografia do município, uso do solo e densidade de ocupação. Estas informações são mais comumente encontradas nos municípios, muito embora nem sempre estejam facilmente disponíveis em formatos adequados.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a elaboração do mapa de classificação de rugosidade (figura 5) de acordo com o item 3.1.2, cada bairro da cidade foi classificado de acordo com z_0 . A Tabela 2 mostra o número de ocorrências (bairros ou partes de bairros, quando a malha urbana não era homogênea) em cada classe. Com base nessas ocorrências, foi calculada uma amostragem exploratória de cerca de 20% das áreas classificadas como topoclímas decorrentes de tipos de estruturas urbanas (UST), como indicados na figura 3.

Cada amostra foi feita com diâmetro de 300m (figura 6), a menos dos locais onde foi extraída apenas uma amostra, onde o diâmetro da área foi dobrado (600m). O mapa base utilizado para a retirada de amostras foi o Cadastro Técnico Municipal, feito pela PRODABEL (Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte) a partir de levantamento aerofotogramétrico, em 01 de junho de 2011, na

escala 1:2.000, projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), *datum* vertical: Imbituba (SC) e *datum* horizontal: SAD 69, fuso 23 (MC -45°). Tendo em vista a data do levantamento, cada área amostral foi atualizada através de inspeção visual usando o Google Earth©.

Tabela 2 - Classes de tipos de estruturas urbanas e levantamento de dados para sua descrição no município de Belo Horizonte

Classe	Descrição	z_0 (m)	No. unidades	No. amostras
1	Área urbana densa de baixa altura (<i>topoclima 4</i>)	0,6	33	11
2	Área urbana densa, de baixa altura, mas com espaços livres (<i>topoclima 1</i>)	0,4	11	2
3	Área urbana de altura média (<i>topoclima 2</i>)	1,0	5	1
4	Área urbana densa com edifícios altos com afastamentos (<i>topoclima 3</i>)	1,6	9	2
5	Área urbana densa com edifícios altos sem afastamentos (<i>topoclima 3-variação</i>)	2,0	1	1
6	Áreas industriais	1,6		
7	Parques arborizados	0,3		
8	Áreas gramadas e com arbustos esparsos	0,2		
9	Água, solo exposto	0,0002		

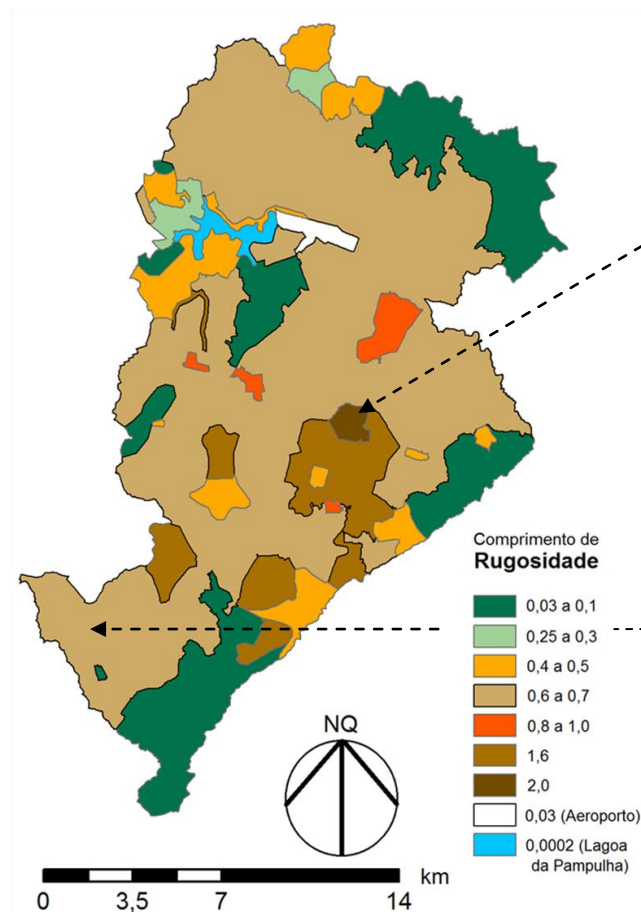


Figura 5 – Mapa de classificação de rugosidade de Belo Horizonte. Fonte: elaborado pelos autores.

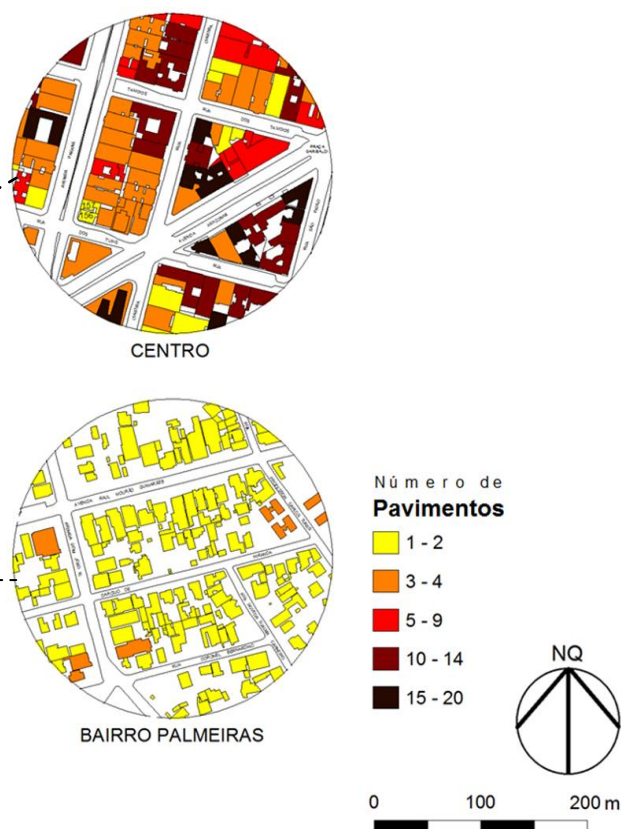


Figura 6 – Exemplos de amostras em cada classe topoclimática. Acima, no bairro Centro (topoclima 3-variação) abaixo no bairro Palmeiras (topoclima 4). Fonte: elaborado pelos autores.

Usando um programa CAD, as áreas de cada edificação dentro de cada amostra foram calculadas. O número de pavimentos de cada edificação foi estimado, como já dito, com o auxílio do Google Earth© com a camada 3D ativada. A partir desses dados foram calculados os descritores BV e OP, usando uma planilha eletrônica. Para esse cálculo todas as áreas amostradas foram normalizadas para o diâmetro de 300m. A Tabela 3 mostra o resultado.

Observa-se nesta tabela que as áreas densas e verticalizadas têm menor OP, porém áreas densamente construídas de baixa altura, com pequenos ou sem afastamentos entre as edificações e sem áreas livres também registram baixo OP. Estas áreas estão mais sujeitas a condições ruins de ventilação urbana.

Conjugados aos valores mais altos de BVD (classes 4 e 5), que indicam as áreas com maior capacidade de acumular calor, permitem identificar as regiões potencialmente mais aquecidas da cidade, onde seriam necessárias medidas de mitigação da ilha de calor.

Tabela 3 – Classes de tipos de estruturas urbanas e valor dos descritores no município de Belo Horizonte

Classe	Descrição	z_0 (m)	BV (m^3)	BVD (%)	OP (%)
1	Área urbana densa de baixa altura	0,6	157.062,78	20,57	61,56
2	Área urbana densa, de baixa altura, mas com espaços livres	0,4	36.084,49	4,73	90,30
3	Área urbana de altura média	1,0	49.706,10	6,51	89,93
4	Área urbana densa com edifícios altos com afastamentos	1,6	731.629,60	95,80	57,17
5	Área urbana densa com edifícios altos sem afastamentos	2,0	569.726,10	74,60	54,70
6	Áreas industriais	1,6			
7	Parques arborizados	0,3	0,00	0,00	
8	Áreas gramadas e com arbustos esparsos	0,2	0,00	0,00	
9	Água, solo exposto	0,0002	0,00	0,00	

Legenda: z_0 : comprimento de rugosidade; BV: volume construído; BVD: densidade de volume construído (em relação ao maior volume calculado de 763.691 m^3); OP: índice de área aberta.

Os dados climáticos coletados em campo e levantados nas estações existentes foram organizados em tabelas para interpolação no programa Surfer© (item 3.2.3), cujos resultados são apresentados nos cartogramas da figura 7. Como esperado, observa-se que as menores temperaturas ocorreram nas áreas mais elevadas da Serra do Curral, no limite sudeste do município. As maiores temperaturas de manhã e à noite ocorreram no centro urbano denso e verticalizado.

Já com relação aos ventos ocorreram diferenças de velocidade e direção entre os períodos da manhã, tarde e noite. As maiores velocidades ocorreram a noroeste, devido à inversão da direção de ventos no sítio de Belo Horizonte com a entrada da frente fria. A velocidade do vento foi também mais alta a noroeste do município. À tarde ocorreram as menores velocidades, devido ao efeito convectivo pelo aquecimento. Em todos os períodos observa-se a influência da topografia do sítio local sobre o fluxo, que é canalizado pelos vales. Na área do centro da cidade percebe-se uma perturbação maior na direção dos ventos, que pode ser explicada em parte pela barreira formada pelas colinas a centro-oeste e talvez pela maior rugosidade superficial do centro urbano.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A elaboração do UCMap requer a integração de um grande volume de dados e muito tempo de processamento e análise das informações. Os resultados encontrados devem, portanto, ser considerados como uma primeira aproximação.

Do ponto de vista metodológico, houve uma mudança no modo de calcular o parâmetro BVD em relação à literatura. Neste trabalho optou-se por amostrar a região mais densamente construída da cidade e tomá-la como referência (topoclima 3-variação). As áreas das amostras também foram ampliadas dos usuais 10.000 m^2 (100m x 100m) para 70.686 m^2 (áreas com diâmetro de 300m), buscando maior representatividade do tecido urbano (os quarteirões típicos de Belo Horizonte têm 120m x 120m, desse modo, a amostra usual na literatura ficaria praticamente restrita a uma quadra. Percebe-se que a amostra usual é mais adequada para a classificação por SIG, onde toda a superfície urbanizada está sendo considerada).

A abordagem preliminar na construção do UC-AnMap pode, assim, auxiliar nos seguintes aspectos:

- teste da coerência da atribuição de UST aos tecidos urbanos da cidade;
- adaptação dos procedimentos de cálculo dos descritores às informações localmente existentes e obtenção de valores aproximados para os tecidos urbanos da cidade;
- análise preliminar dos resultados dos dados climáticos com relação às estruturas urbanas e avaliação da coerência do sistema de classificação;
- avaliação dos recursos necessários (humanos e financeiros) para o trabalho.

Espera-se, no desenvolvimento posterior deste trabalho, gerar mais informações nos trabalhos de campo e produzir o mapa final de análise do clima urbano de Belo Horizonte com uma boa fundamentação e classificação bem estruturada a partir desta experiência preliminar, de modo a poder subsidiar adequadamente a próxima etapa do processo, que é a elaboração do UC-ReMap para a cidade.

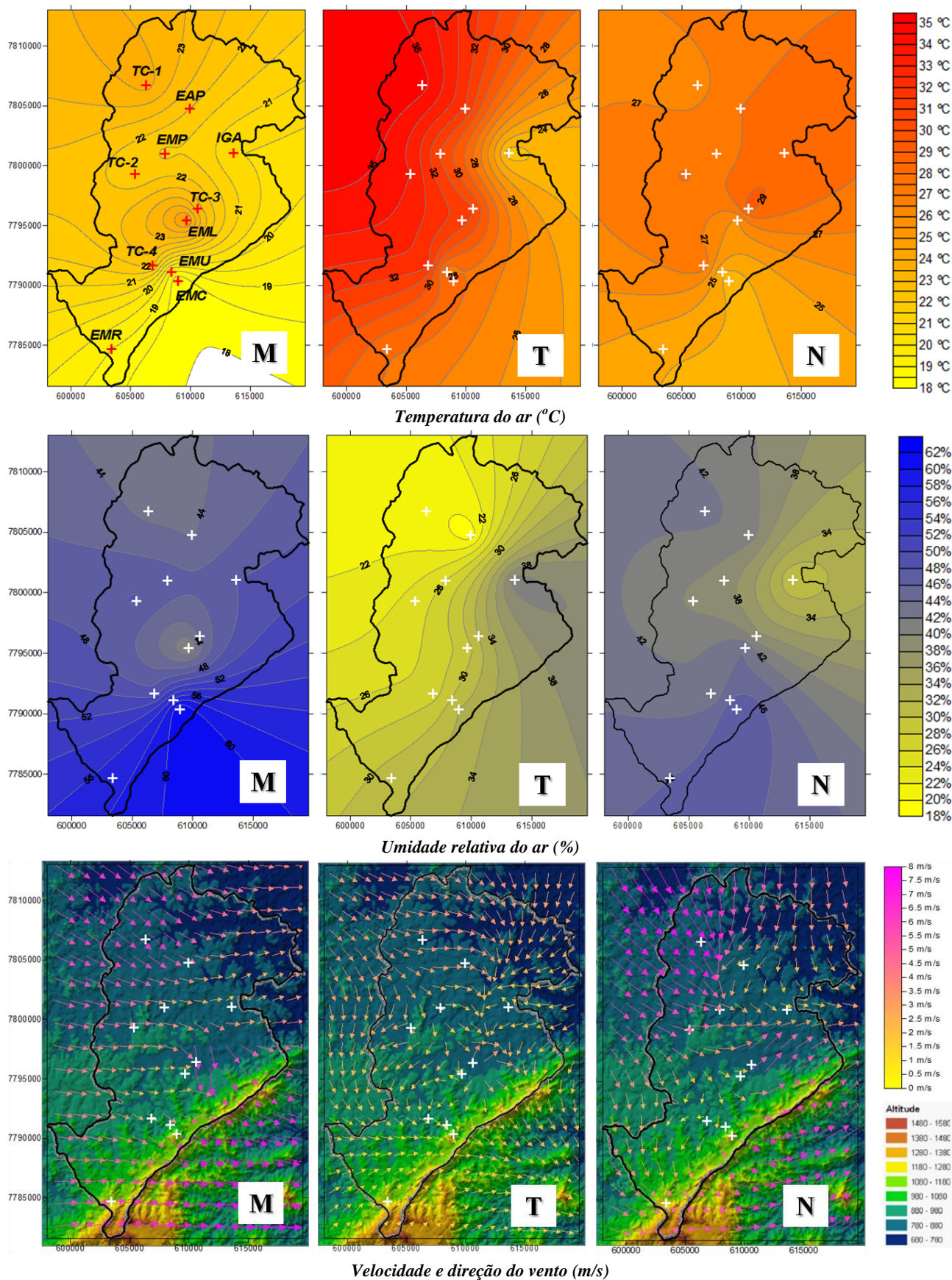


Figura 7 – Cartogramas de variação dos dados climáticos no dia do trabalho de campo. $TC(n)$ – pontos de trabalho de campo. M – período antes do nascer do sol (05:30); T – período mais quente do dia (13:00) e N – período depois do por do sol (19:00). **Nota:** nas estações convencionais (IGA; EAP e EML) os dados são dos horários-padrão de leitura (UTC 12, 18 e 24), que, no caso de Belo Horizonte, correspondem às 9:00, 15:00 e 21:00. As demais estações (EMP, EMU, EMC e EMR) são automáticas.

Fonte: elaborado pelos autores.

REFERÊNCIAS

- ASSIS, E. S.; RAMOS, J. G. L.; SOUZA, R. V. G.; CORNACCHIA, G. M. M. Aplicação de dados do clima urbano no desenvolvimento de planos diretores de cidades mineiras. In: ENCONTRO NACIONAL, 9º, ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 5º, DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2007, Ouro Preto. **Anais...** São Paulo: ANTAC/UFGM, 2007, p. 152-161.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. Zoneamento climático urbano da cidade do Recife: uma contribuição ao planejamento urbano. **GEOUSP – Espaço e Tempo**, n. 33, p. 187-197, 2013.
- BELO HORIZONTE, Prefeitura Municipal (PBH). Estatísticas e indicadores. Mapas Básicos. <http://portalpbh.pbh.gov.br/pbh/ecp/comunidade.do?app=estatisticaseindicadores>
- BOCHOW, M.; TAUBENBÖCK, H.; SEGL, K.; KAUFMANN, H. An automated and adaptable approach for characterizing and partitioning cities into urban structure types. In: GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING SYMPOSIUM (IGARSS), 25-30 July, Honolulu. **Proceedings...** Honolulu: IEEE International, 2010, p. 1796–1799.
- CHINA, The Hong Kong University for Science and Technology (CUHK). Urban Climatic Map and Standards for Wind Environment - Feasibility Study. Final Report. Planning Department, School of Architecture, CUHK, Hong Kong, s/d. Disponível em http://www.pland.gov.hk/pland_en/p_study/prog_s/ucmapweb/ucmap_project/content/reports/final_report.pdf, acesso em setembro de 2014.
- CUNHA, J. M. P. Redistribuição espacial da população – tendências e trajetória. **São Paulo em Perspectiva**, v. 17, n. 3-4, p. 218-233, 2003.
- HANSEN, F. V. Surface roughness lengths. Report. U.S. Army Research Laboratory, 1993. Disponível em <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a274550.pdf>, acesso em setembro de 2014.
- KATZSCHNER, L. Harmonization of climate function maps of Berlin, Leipzig and Kassel. Report on the Research Project Climate Impact in the City of Berlin. Berlin: the Federal Environment Agency, 1999. (em alemão)
- MAYER, H. Workshop on “Ideal Urban Climate”, 26 October 1988, Munich. **DMG-Mitteilungen**, v. 3, p. 52-54, 1989. (em alemão)
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano: um projeto e seus caminhos. In: Monteiro, C. A. F. e Mendonça, F. **Clima Urbano**. São Paulo: Contexto, 2003, p. 9-67.
- NERY, J.; FREIRE, T.; ANDRADE, T.; KATZSCHNER, L. Thermal comfort studies in a humid tropical city. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN CLIMATE, 6th, 2006, Göteborg. **Preprints...** Göteborg: IAUC/WMO/Göteborg University, 2006, p. 234-237.
- PRATA-SHIMOMURA, A. Dinâmica urbana e ordenamento territorial: mapa climático urbano e sua aplicação no planejamento. Relatório de Projeto de Pesquisa – FAPESP processo 11/13077-6. Campinas, Fac. Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, UNICAMP, 2014.
- REN, C.; NG, E. Y.; KATZSCHNER, L. Urban climatic map studies: a review. **Int. J. Climatol.**, v. 31, p. 2213–2233, 2011.
- RIBEIRO, C.; BRAZ, A.; SILVA, F. Mapa de análises climáticas de João Pessoa, PB. In: ENCONTRO NACIONAL, 12º, ENCONTRO LATINO-AMERICANO, 8º, DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2013, Brasília. **Anais...** Brasília: ANTAC/UnB, 2013, p. 365-374.
- ROBALLO, S. T.; FISCH, G. Escoamento atmosférico no Centro de Lançamento de Alcântara (CLA): parte 1 – aspectos observacionais. **Rev. Bras. Meteorol.**, v. 23, n. 4, p. 510-519, 2008.
- SOUZA, V. D. Mapa climático urbano da cidade de João Pessoa, PB. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo), Centro de Tecnologia, UFPB, João Pessoa, 2010.
- STEWART, I. D.; OKE, T. R. Thermal differentiation of local climate zones using temperature observations from urban and rural field sites. In: SYMPOSIUM ON URBAN ENVIRONMENT, 9th, August 2–6, Keystone. **Proceedings...** Keystone (USA): AMS, 2010. Disponível em https://ams.confex.com/ams/19Ag19BLT9Urban/techprogram/paper_173127.htm, acesso em setembro de 2014.
- TARIFA, J. R.; ARMANI, G. Unidades climáticas urbanas da cidade de São Paulo – 1ª aproximação. Relatório para a Prefeitura Municipal de São Paulo, Secretarias do Meio Ambiente e de Planejamento. Atlas Ambiental do Município de São Paulo. São Paulo, Dep. Geografia, Fac. Filosofia, Letras e Ciências Humanas, USP, 2000. Disponível em <http://atlasambiental.prefeitura.sp.gov.br/arquivos/AsUnidadesClimáticasUrbanas.pdf>, acesso em setembro de 2014.
- VDI – VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE. **VDI 3585-1**: Environmental meteorology - Methods and presentation of investigations relevant for planning urban climate. Berlin, 2008a.
- _____. **VDI 3585-2**: Environmental meteorology - Methods of urban and site-related ground-based climate measurements with mobile measurement systems. Berlin, 2011.
- _____. **VDI 3787-1**: Environmental meteorology - Climate and air pollution maps for cities and regions. Berlin, 1997.
- _____. **VDI 3787-2**: Environmental Meteorology - Methods for the human biometeorological evaluation of climate and air quality for urban and regional planning at regional level - Part 1: Climate. Berlin, 1998; 2008b.
- WIERINGA, J. Updating the Davenport roughness classification. **Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics**, v. 41-44, p. 357-368, 1992.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPEMIG pelo apoio aos mestrados e à vinda do prof. Dr. Lutz Katzschner como professor visitante junto ao Mestrado Interdisciplinar Ambiente Construído e Patrimônio Sustentável em 2014, através do projeto de pesquisa APQ-146-12.