



AVALIAÇÃO DO EFEITO DA VENTILAÇÃO NOS ESPAÇOS URBANOS ABERTOS ATRAVÉS DE SIMULAÇÕES E MEDIÇÕES EXPERIMENTAIS

Cristiane Dacanal (1); Claudia C. Pezzuto (2); Lucila Labaki (3); Edson Matsumoto (4)

(1) (3) (4) Departamento de Arquitetura e Construção – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – Universidade Estadual de Campinas, Brasil – e-mail: cris_arquiteta@yahoo.com.br;

lucila@fec.com.br; edmatsu@widesoft.com.br

(2) Faculdade de Engenharia Civil – CEATEC – Pontifícia Universidade Católica de Campinas, Brasil
– e-mail: claudiapez@yahoo.com.br

RESUMO

A presente pesquisa utiliza-se da simulação computacional como ferramenta de análise e suporte a avaliação do clima urbano. Para as simulações foi utilizado o ENVI-met, programa de modelagem microclimática tridimensional, desenvolvido na Alemanha, que simula as interações entre ambientes e climas, representando uma ferramenta promissora. Para estudo de caso foi escolhido um bairro na cidade de Campinas – SP, Brasil, com edificações predominantemente residenciais, topografia plana, e uma área verde significativa (bosque). O objetivo do trabalho é comparar os dados de saída da simulação do programa ENV-met às variáveis climáticas monitoradas e verificar a influência da ventilação urbana na distribuição da temperatura do ar. Para tanto, foram monitorados a velocidade e direção do vento, em um ponto na altura aproximada de 10m, e a temperatura do ar, em cinco pontos distribuídos na malha urbana, através de data-loggers instalados a uma altura aproximada de 1,50m. A comparação entre os dados reais com os dados simulados possibilitou as seguintes observações: o software simulou uma temperatura mais baixa na região de entrada dos ventos predominantes; as áreas de arborização densa apresentaram-se permeáveis aos ventos, como era esperado, de modo que a temperatura do ar no entorno imediato, a barlavento das áreas verdes, é amenizada; com relação ao comportamento da temperatura potencial simulada e da temperatura do ar monitorada verificou-se uma boa aproximação dos dados, no entanto, ocorreu uma diferença em relação à amplitude térmica diária - enquanto o modelo indicou uma amplitude térmica média dos pontos simulados analisados de 7,3 °C, os dados reais indicaram uma amplitude térmica média de 9,5 °C.

Palavras-chave: simulação computacional, clima urbano, ENVI-met

1 INTRODUÇÃO

As diferentes condições da atmosfera, que caracterizam o clima regional, produzem efeitos sobre os elementos construídos, solo e vegetação. As observações do comportamento higrotérmico, do balanço de radiação, e da dinâmica dos ventos na microescala urbana, retratam, portanto, a interação entre as superfícies e o mesoclima (BRUSE E FLEER, 1998; MONTEIRO, 1976). Assim, delimitando-se as condições da camada limite urbana e tendo em mãos um mapeamento tridimensional dos elementos e materiais presentes na cidade, é possível prever microclimas urbanos.

O clima urbano é caracterizado pelo aumento da temperatura e diminuição da umidade do ar, redução da velocidade dos ventos, alterações na qualidade do ar devido à concentração de poluentes, e pelo aumento da pluviosidade (GIVONI, 1998; MONTEIRO, 1976). Os ventos regionais sofrem alterações no meio urbano, em decorrência da rugosidade causada pela presença de elementos construídos, arborização e pela concentração de partículas no ar, alterando sua densidade. Há uma redução de 20 a 30% na velocidade dos ventos na área urbana e um aumento de 50 a 100% nas turbulências.

A rugosidade urbana é consequência da razão entre a altura (H) e o distanciamento (W) dos elementos construídos, e pode ser relacionada ao fator de visão do céu (FVC) de uma área. Serve de parâmetro para avaliar as alterações na velocidade e fluxos dos ventos, incidência de radiação solar, formação de ilhas de calor e consequentemente do conforto térmico do pedestre (JOHANSSON, 2005; ALI-TOUTERT; MAYER, 2007). Sabe-se que quanto maior a rugosidade de uma área urbana, menor a velocidade do vento próximo ao solo; já em áreas abertas, pouco edificadas, a velocidade dos ventos é pouco alterada em relação aos campos abertos. As áreas complexas, com tipologias variadas e topografia acidentada, aumentam a formação de turbulências e de zonas de recirculação de ar (DAVENPORT et al , 2000). Atuando sobre a vegetação, verifica-se que a velocidade dos ventos diminui ao redor e dentro da copa de árvores, dos arbustos e tufos de gramíneas. Em árvores isoladas ou agrupamentos, a velocidade dos ventos é maior na altura dos troncos, baixa na altura da copa, formando uma zona de baixa pressão na parte de posterior (LARCHER, 2004).

Os fluxos turbulentos aceleram as trocas de calor por advecção entre as superfícies e o ar. Dessa forma, em áreas abertas ou acima das coberturas, as trocas térmicas ocorrem de maneira mais acelerada, enquanto os ambientes enclausurados retardam este processo, conservando por mais tempo a temperatura e obstruindo o ganho ou perda de radiação (GUSTAVSSON et al, 1995; KARLSSON, 2000).

O software ENVI-met, utilizado no presente trabalho, simula as interações entre as superfícies urbanas, vegetação e atmosfera, a partir de modelos de simulação dos fluxos de ar, turbulências, perfis de temperatura e umidade e fluxos de radiação. Para as interações entre as plantas e a atmosfera, utilizam-se modelos de cálculos da evapotranspiração e do comportamento aerodinâmico do vento nas folhas e na região dos troncos. O software também prevê os fluxos de radiação entre as superfícies (paredes, telhados, pisos, solos e vegetação), a partir da temperatura superficial e da emissividade de cada material (BRUSE E FLEER, 1998).

No estudo realizado por Bruse e Fleer (1998) são demonstradas as potencialidades da modelagem computacional na simulação do clima urbano, apresentando o ENVI-met. Os autores demonstram que o software considera as interações entre os fluxos de ar e as trocas térmicas, sendo que a simulação da temperatura do ar considera os fluxos radiativos entre as superfícies e as trocas térmicas por advecção. Em um estudo de caso, apresentado no trabalho citado, verificou-se que as turbulências e sombras de vento são ocasionadas pela presença de edifícios e de vegetação. Ocorre uma aceleração da velocidade dos ventos na altura dos troncos, e redução no interior das copas, que depende da densidade de área foliar.

Silveira e Assis (2006) apresentam um estudo das condições de ventilação na cidade de Belo Horizonte, Brasil, utilizando o ENVI-Met. Os dados de saída do programa foram comparados com os das estações meteorológicas locais. Os resultados permitiram uma melhor compreensão sobre os caminhos espaciais do fluxo de vento, ou seja, as influências dos edifícios e desenho urbano. A partir de análises apontaram a importância da necessidade de planejamento dos edifícios a fim de melhorar as condições de ventilação natural.

Ali-Toutert e Mayer (2007) utilizaram o ENVI-met para a simulação do microclima e relação com o conforto térmico humano em cânions urbanos com diferentes razões entre a altura e distanciamento entre as edificações, presença ou não de arborização, e diversas orientações geográficas. Os resultados mostram que apesar das variações nos cânions considerados apresentarem um impacto moderado na temperatura do ar, elas influenciam largamente na sensação e estresse térmicos, devido às alterações na radiação incidente. Áreas com baixo fator de visão do céu ou com arborização, favorecem o conforto térmico no verão, em decorrência de maior sombreamento. Assim, alterações no desenho urbano como a inserção de vegetação ou a implantação de ruas-galeria, podem solucionar situações em que ocorre desconforto térmico por excesso de radiação.

Yu e Hien (2006) compararam o clima de três cenários simulados pelo ENVI-met, de uma região de Singapura. As alterações são a presença de um parque com arborização densa (cenário real), a extinção do parque, e a substituição do parque por edifícios. Os resultados demonstram que o parque produz um efeito de resfriamento nas vizinhanças, durante o dia e a noite. Sua extinção ou substituição por novas edificações provocam o aquecimento do local (aumento da temperatura do ar em 2,3°C) e dos arredores (aumento em 3,6 °C). O resfriamento do ar das áreas construídas tem relação com a direção dos ventos, com a tipologia e altura dos edifícios, e com a densidade de área foliar dos parques.

2 OBJETIVO

O objetivo do presente trabalho é avaliar o efeito da ventilação urbana na distribuição da temperatura do ar em uma região central na cidade de Campinas, SP, Brasil, a partir de simulações computacionais realizadas no software ENVI-met e comparadas com dados reais coletados em campo.

3 METODOLOGIA

3.1 Área de Estudo

O presente estudo foi realizado na cidade de Campinas, SP. O município está situado a sudoeste do Estado de São Paulo, na latitude 22°53'20" Sul e longitude 47°04'40" Oeste, com altitude média de 680 metros, ocupando uma área total de 796,40 Km², com perímetro urbano 388,90 Km². Campinas possui um clima tropical de altitude, com verão quente e úmido e inverno ameno e quase seco (CAMPINAS, 2006). De acordo com Barbano et. al. (2003) a direção predominante do vento para a localidade de Campinas é sudeste, com freqüência média mensal de 34,0%. O período de calmaria gira em torno de 38,7%, e as demais direções apresentam freqüências médias mensais menos relevantes.

Para a coleta de dados climáticos e simulação computacional do microclima foi delimitado um recorte urbano (figura 1), com dimensões de 420 x 420 metros (figura 2). A área de estudo compreende um fragmento de um bairro residencial, onde predominam edificações de 1 a 2 pavimentos (figura 3), topografia relativamente plana, e uma área verde significativa em seu interior (figura 4).



Figura 1- Localização da área urbana simulada e da estação meteorológica urbana do IAC

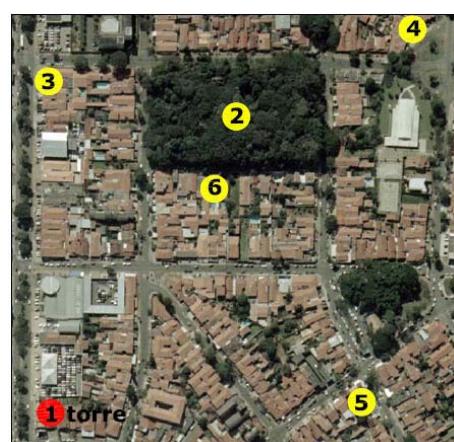


Figura 2 - Área de estudos e localização dos pontos monitorados e simulados (receptores)



Figura 3 - Característica predominante das edificações no bairro de estudos: residencial e de baixo gabarito, com ocorrência pontual de comércios e serviços



Figura 4 - Detalhe da área de estudo. Bosque dos Italianos – ponto 2

3.2 Instrumentos de medição

Para as análises foram coletados registros contínuos de temperatura do ar, através de data-loggers instalados a uma altura aproximada de 1,50m, em cinco pontos de medições (pontos 2 a 6 mostrados na figura 2), tendo em vista o número de instrumentos disponíveis. A localização dos mesmos foi feita considerando-se a melhor distribuição no recorte urbano avaliado, buscando-se uma diversidade de situações em decorrência da complexidade da área urbana e da representatividade dos usos e ocupações do solo. Assim, os pontos foram localizados no interior do bosque, defronte ao bosque, próximo a um corredor comercial, próximo de uma praça de menor porte, e próximo a uma rotatória. Todos os pontos, contudo, foram instalados à sombra, em varandas localizadas nos quintais de residências (figura 5).

Em um sexto ponto (ponto 1 da figura 2) também foram monitoradas a velocidade e direção dos ventos e a temperatura do ar, na altura de 10m em relação ao solo. Este ponto de coleta localizou-se em uma torre de telecomunicação (figura 6). Além destes pontos, também foram obtidos dados de uma estação automática localizada do Instituto Agronômico de Campinas (IAC) (figura 1). Os monitoramentos foram realizados no período de inverno, de 5 a 8 de agosto de 2009.



Figura 5 - Tripé com data-logger de temperatura do ar - ponto 6



Figura 6 - Local de fixação do anemômetro e data-logger para a coleta de temperatura do ar – ponto 1

3.3 Modelagem da área de estudo e dados de entrada no ENVI-Met

O mapeamento da área no programa ENVI-Met foi feito em uma malha (*grid*) de 2m x 2m x 2m e para as simulações foi utilizada a versão 250x250x30. As variáveis de entrada foram: velocidade do vento a 10 m (m/s), direção do vento (sudeste), rugosidade, temperatura potencial (K), umidade específica a 2500 m (g água / kg ar) e umidade relativa a 2 m (%), conforme consta na Tabela 1.

A rugosidade foi calculada a partir de cálculos sugeridos por Mortensen et al., (1993), onde se considera a altura dos obstáculos, a área da fachada exposta ao vento e a área total de construção. Para o cálculo da temperatura potencial foram utilizados dados de radiossondagem do Aeroporto do Campo de Marte, SP, distante 115 km da área de pesquisa, disponibilizados pela Universidade de Wyoming (UNIVERSIDADE DE WYOMING, 2010). Estes dados do Aeroporto do Campo de Marte foram utilizados devido à inexistência de monitoramento de radiossondagem em Campinas, sendo este o mais próximo. Calculou-se a média dos dados do horário das 12:00h, referentes ao período de medição, para servir de entrada inicial no programa ENV-Met. O cálculo da temperatura potencial foi feito através do programa PsicroEXCEL, desenvolvido pelo Prof Dr. João Roberto Gomes de Faria (UNESP – Bauru). As rotinas para o cálculo da temperatura potencial, utilizadas no programa, foram extraídas de Occhipinti (1989).

Tabela 1: Variáveis de entrada no programa ENVI-Met

Variável	
Velocidade do vento [m/s] a 10m (Dado da Estação Meteorologia IAC)	3,36
Direção do vento [0:N..90:E..180:S..270:W.] (Barbano et al., 2003)	135
Rugosidade	0,5
Temperatura Potencial Inicial [K] (calculada, utilizando dados do Campo de Marte)	307
Umidade específica a 2500 m [g água/kg ar] (Dado do Campo de Marte)	4,2
Umidade relativa a 2m [%] (Dado da Estação Meteorologia IAC)	60

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Digitalização da área urbana e horários de simulação

A área urbana digitalizada é apresentada na figura 7. Para as análises serão apresentados os resultados de simulação nos horários das 6:00h e 12:00h, pois se aproximam dos horários de temperatura do ar mínima e máxima.

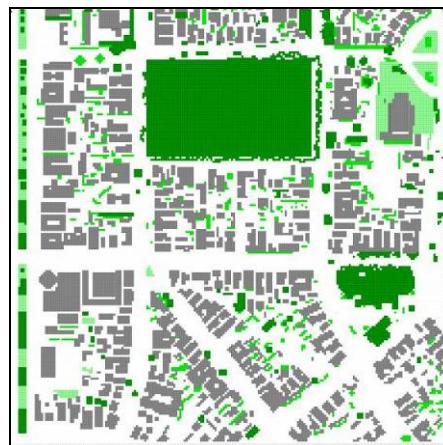


Figura 7 - Digitalização da área urbana no ENVI-met Eddi V.3.1.0

4.2 Ação dos fluxos de vento na distribuição de temperatura do ar

O ENVI-Met considera os ventos predominantes na distribuição de temperatura e umidade do ar para simulação do clima urbano. A velocidade e direção dos ventos, a temperatura potencial e a umidade relativa do ar resultante, são estimadas a partir das características físicas de edificações, vegetação e pisos. As superfícies de maior aquecimento são os pisos asfálticos e as áreas de maior resfriamento são as vegetações arbóreas estratificadas. Notam-se variações no comportamento térmico da área urbana entre os horários simulados, sendo que às 12:00h ocorre menor influência dos ventos e a prevalência das características térmicas dos materiais no microclima.

Observadas estas interações, verifica-se que a área urbana simulada apresentou uma variação na

temperatura potencial de 2.3 °C, às 6:00h (figura 8), e de 2 °C às 12:00h (figura 9). As áreas com arborização densa, mapeadas no ENVI-met como *Tree 20 meters, distinct crown layer*, constituem as regiões de menor temperatura (21,6 °C às 6:00h; 28,2 °C às 12:00h). Estas áreas verdes influenciam nos gradientes de temperatura do ar dos quarteirões mais próximos, sob a influência do vento, sendo este fenômeno mais evidente às 6:00h, quando as superfícies ainda não sofreram aquecimento.

No horário das 6:00h, a área urbana da porção sudoeste do quadrante analisado apresenta as maiores temperaturas, pois não estão sob a influência do ar mais frio proveniente das áreas verdes, ao contrário das quadras localizadas na porção nordeste. Já às 12:00h, horário em que as superfícies estão aquecidas, o microclima característico das áreas verdes não produz efeito sobre as quadras ao redor.

Também às 12:00h, verifica-se que o ar sobre as ruas apresenta as maiores temperaturas (29 °C a 30 °C), ocorrendo diferenças em decorrência da orientação dos eixos viários em relação aos ventos predominantes. Sobre as vias a favor dos ventos e próximas das áreas verdes o ar possui temperatura 1 °C mais baixa que as vias orientadas perpendicularmente ao vento e sob influência das edificações. A arborização viária, como a do canteiro central da avenida que delimita a área simulada à esquerda, não apresentou influência na temperatura potencial simulada.

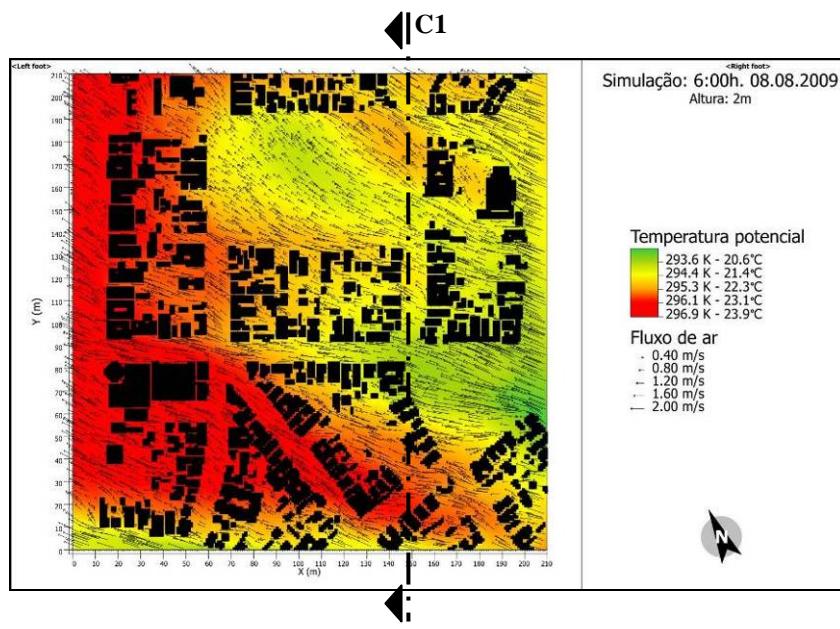


Figura 8 - Simulação da temperatura do ar e velocidade e direção dos ventos às 6:00h. Corte a 2m.

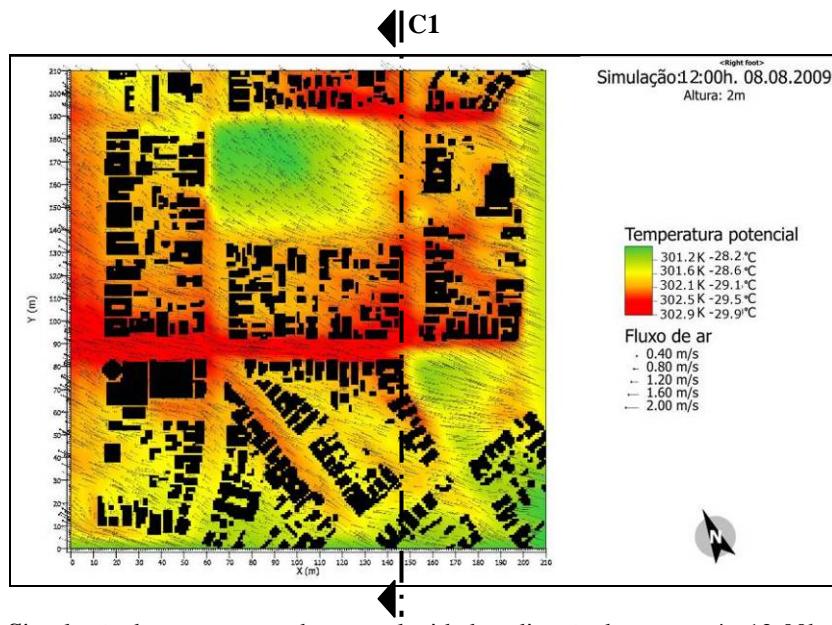


Figura 9 - Simulação da temperatura do ar e velocidade e direção dos ventos às 12:00h. Corte a 2m.

Observa-se, nos perfis verticais da área simulada, gradientes de temperatura do ar e de velocidade e direção dos ventos (figura 10 e 11). Próximo ao solo, na camada de rugosidade urbana, a temperatura é mais elevada e a velocidade de vento reduzida. A simulação indica zonas de sombras de vento causadas por edificações e pela vegetação, onde o microclima é influenciado pelos elementos mais próximos, apresentando-se mais aquecido, na presença de edificações, ou mais ameno, na presença de vegetação.

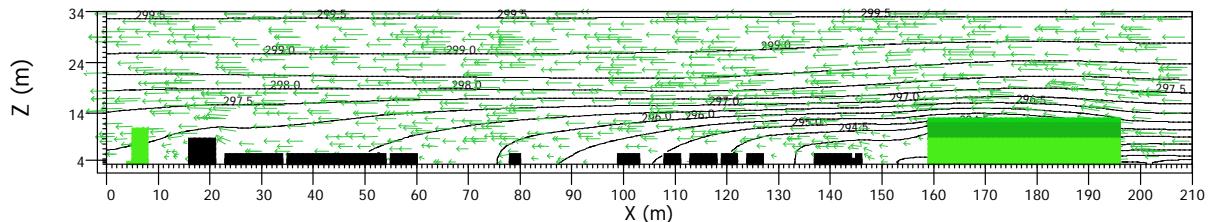


Figura 10 - Perfil de temperatura do ar e velocidade e direção dos ventos. Simulação às 6:00h. Corte X-Z, representado por “C1” nas figuras 8 e 9.

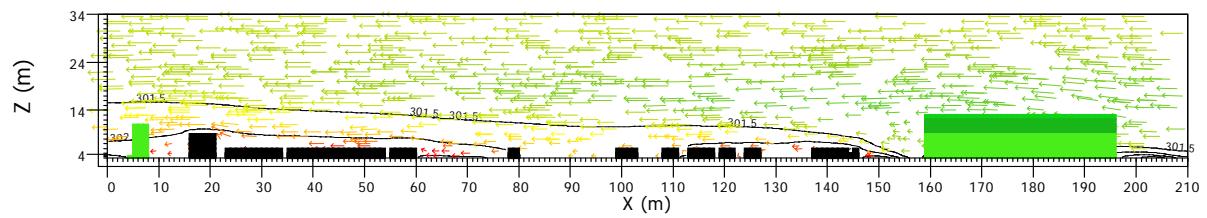


Figura 11 - Perfil de temperatura do ar e velocidade e direção dos ventos. Simulação às 12:00h. Corte X-Z a 150m, representado por “C1” nas figuras 8 e 9.

No perfil vertical, verifica-se que as áreas com vegetação são permeáveis aos ventos. A velocidade do ar na altura dos troncos das árvores no interior do bosque é de 2m/s e nas copas esta é reduzida para 0,8 m/s, devido ao aumento da rugosidade causado pela folhagem das plantas. Observam-se desvios dos ventos nas bordas das áreas verdes, direcionando o fluxo para cima e para as laterais, em direção às ruas. Por outro lado, forma-se uma zona de baixa pressão na zona posterior do agrupamento arbóreo. Nas quadras edificadas, a velocidade dos ventos também sofre alterações no perfil vertical; no interior das quadras, próximo ao solo, é cerca de 1m/s, já acima das coberturas, quando livre de interferências, a velocidade dos ventos alcança 4m/s.

4.3 Comparação entre os resultados simulados e medidos

Com a finalidade de verificar a fidelidade das simulações, foram localizados seis receptores (*receptors*) na área digitalizada no ENVI-met, nos mesmos locais dos pontos fixos de coleta de dados, permitindo a comparação dos dados obtidos *in loco* aos resultados simulados.

O modelo computacional estima a velocidade do ar considerando a velocidade e direção de entrada (*input*) e a rugosidade da área. Desse modo, ocorre uma variação em decorrência da presença de edificações ou vegetação. No entanto, o fluxo se mantém constante para cada ponto simulado, variando minimamente ao longo do dia, com um desvio padrão abaixo de 0,07, conforme apresentado na Tabela 2. Já os dados reais apresentam variações ao longo do dia, verificando-se que a velocidade dos ventos é mais elevada no período da tarde.

A comparação entre as médias dos dados indica que a simulação se aproxima dos valores reais obtidos. O Ponto 1, monitorado, apresenta velocidade mínima nula, máxima de 4,79 m/s e média de 2,80m/s. Já o Ponto 1 simulado apresentou uma velocidade média dos ventos igual a 2,65m/s. Apesar de estar localizado em área urbana, O Ponto 1 monitorado apresentou velocidades de vento mais altas que as obtidas na estação meteorológica do IAC. O Ponto 2 simulado apresentou velocidade de vento bem abaixo das demais localidades (média de 0,79 m/s), por localizar-se no interior de uma área verde.

Tabela 2 – Velocidade do vento [m/s]. Pontos simulados e pontos monitorados *in loco*. Altura de 10m.

Estatística descritiva		<i>N</i> = 24			
Pontos		Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
Ponto 1 simulado		2,64	2,66	2,65	0,01
Ponto 2 simulado (área verde)		0,75	0,87	0,79	0,03
Ponto 3 simulado		2,16	2,39	2,27	0,07
Ponto 4 simulado		3,41	3,45	3,43	0,01
Ponto 5 simulado		3,36	3,40	3,38	0,02
Ponto 6 simulado		2,68	2,77	2,72	0,03
Ponto 1 Torre (real)		0,00	4,79	2,80	1,32
Estação Meteorológica IAC		0,58	3,96	2,51	0,86

Também nota-se que os Pontos 4 e 5 simulados apresentaram uma velocidade de vento mais elevada, que pode ser atribuída à localização em relação à área mapeada. Esses dois pontos estão próximos à borda direita do mapeamento, onde incidem os ventos predominantes sudeste no recorte urbano simulado. Isso indica que há a possibilidade de erros, nas simulações pelo ENVI-met, próximos das regiões de “entrada de ventos”, alterando o comportamento térmico dessas áreas. Esta constatação pode ser observada nas figuras 8 e 9, que apresenta uma faixa de menor aquecimento no limite inferior e à direita da figura, que não corresponde à realidade quando se observa o entorno não mapeado. Portanto, para analisar um recorte urbano de interesse, é sempre necessário mapear um quadrante maior para servir de entrada no ENVI-met e omitir nas análises dos resultados as bordas em que ocorrem a entrada dos ventos predominantes.

Quanto à temperatura, o ENVI-met fornece resultados de temperatura potencial, que corresponde a um valor de referência para altitude zero. Portanto, é mais plausível comparar as amplitudes térmicas entre os resultados simulados e medidos, visto que as simulações indicam temperaturas potenciais mais elevadas do que as temperaturas do ar obtidas. A Tabela 3 apresenta os dados de temperatura do ar para os três dias simulados e medidos. A temperatura mínima ocorre por volta das 6:00h, a máxima às 14:00, e a média refere-se aos dados médios de 24 horas nos três dias monitorados ou simulados.

Tabela 3 – Temperatura potencial simulada [°C] e temperatura do ar medida *in loco* [°C]; dados médios do período analisado. Pontos simulados na altura de 2m e pontos reais monitorados a 1,5m.

Pontos	Temperatura média mínima	Temperatura média máxima	Temperatura média diária	Desvio padrão	Amplitude térmica
Ponto 2 sim. (área verde)	20,8	28,6	23,8	2,7	7,8
Ponto 3 simulado	22,7	29,5	25,3	2,3	6,7
Ponto 4 simulado	21,8	29,5	24,7	2,7	7,7
Ponto 5 simulado	22,3	28,8	24,9	2,2	6,5
Ponto 6 simulado	21,9	29,5	24,8	2,6	7,6
Ponto 2 real (área verde)	18,5	28,0	22,7	2,8	9,5
Ponto 3 real	19,6	28,7	23,1	2,6	9,1
Ponto 4 real	20,0	28,6	23,5	2,6	8,6
Ponto 5 real	18,7	28,4	22,9	2,9	9,6
Ponto 6 real	17,8	28,5	22,0	3,2	10,7

Comparando-se as amplitudes térmicas das simulações aos dados coletados, verifica-se que a maior diferença ocorreu para o Ponto 5 seguido pelo Ponto 6. O primeiro deve-se ao provável erro de

simulação em relação aos pontos próximos às bordas da imagem digitalizada, que coincidem com a direção dos ventos predominantes, na porção SE da área de estudo. O segundo deve-se à subestimação do potencial de resfriamento noturno causado pela presença da área verde adensada frontal ao Ponto 6. A menor diferença entre as amplitudes simuladas e medidas ocorreu no Ponto 4, que está próximo da borda onde incidem os ventos predominantes, mas apresentou menor erro.

A maior amplitude térmica obtida nas simulações ocorreu no Ponto 2 simulado, localizado no interior do bosque público, enquanto os dados reais indicam que a maior amplitude térmica ocorre no Ponto 6 real, localizado em uma quadra frontal ao bosque. A amplitude térmica diária do Ponto 6 é elevada visto que há um intenso resfriamento noturno causado pela presença da área verde, porém, durante o dia há um aquecimento causado pela incidência de radiação nas superfícies das construções. Observa-se também que, na realidade, o Ponto 6 apresenta temperatura mínima mais baixa que o Ponto 2, pois a perda de radiação noturna no interior de áreas com arborização densa e estratificada é dificultada pelas copas das árvores e baixo fator de visão do céu. Ao contrário, em áreas abertas, o resfriamento noturno é mais acelerado devido à desobstrução do céu.

5 CONCLUSÃO

Neste estudo, a comparação dos resultados simulados aos medidos possibilita a sugestão de melhorias que poderiam ser incorporadas no modelo ENVI-met, bem como à atenção do usuário na análise dos resultados da simulação:

- A incorporação da variável altitude no modelo, para a estimativa da temperatura do ar, visando caracterizar melhor a realidade, visto que o modelo simula somente a temperatura potencial (nível do mar);
- O software tende a simular uma temperatura mais baixa nas bordas que coincidem com a direção dos ventos predominantes, que no caso de Campinas está a sudeste da área analisada. Isso deve ser considerado nas análises a fim de evitar erros de interpretação em relação ao comportamento térmico nestas regiões;
- Observa-se que o comportamento da temperatura potencial, simulada, e da temperatura do ar, monitorada, se assemelham, no entanto, há uma diferença em relação à amplitude térmica diária. Enquanto o modelo indica uma amplitude térmica média dos pontos de 7,3 °C, os dados reais indicam uma amplitude térmica média de 9,5 °C;
- O comportamento térmico da vegetação arbórea e densa, disponível no modelo computacional, não representou a realidade observada. Estas áreas verdes apresentam, na realidade, maior estabilidade térmica diária, com grande potencial de resfriamento noturno das áreas adjacentes, mas apresentam-se mais aquecidas, à noite, do que as áreas construídas próximas;
- A direção dos ventos predominantes influencia no comportamento térmico urbano, observando-se regiões de sobreaquecimento nas sombras de ventos causadas por edificações, e o resfriamento das áreas construídas localizadas a barlavento em relação às áreas arborizadas mais significativas;

A interação entre os vários modelos matemáticos pelo ENVI-met, relacionados às variáveis climáticas, ao balanço de radiação e de água, supera a dificuldade em se resolver problemas complexos da climatologia urbana. Dessa maneira, o software apresenta uma ferramenta promissora para a avaliação do microclima urbano, em resposta às opções de configuração espacial que podem ser propostas. O modelo vem sendo utilizado e testado por pesquisadores de todo o mundo, na comparação de microclimas urbanos de cenários hipotéticos, bem como na avaliação do conforto térmico do pedestre. No entanto os resultados das simulações devem ser analisados com critério, considerando a complexidade do meio urbano, a inexistência, muitas vezes, de dados confiáveis para servir de entrada no programa, e as demais restrições apontadas neste trabalho.

6 REFERÊNCIAS

- ALI-TOUDERT, F; MAYER, H. Effects of asymmetry, galleries, overhanging façades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. **Solar Energy**, 81, 2007, p.742-754.
- BARBANO , M. T; BRUNINI , O; PINTO, H. S. Direção predominante do vento para a localidade de Campinas – SP. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 11, n. 1, 2003, p. 123-128.
- BRUSE, M; FLEER, H. Simulating surface-plant-air interactions inside urban environments with a three dimensional numerical model. **Environmental Modelling & Software**, 13, 1988, p.373-384.
- CAMPINAS, Plano Diretor 2006. Prefeitura Municipal de Campinas, 2006.
- DAVENPORT, A.G.; GRIMMOND, C.S.B; OKE, T.R; WIERINGA, J. Estimating the roughness of cities and sheltered country. Proceedings **12th Conference on Applied Climatology**, Asheville, NC, American Meteorological Society, Boston, 2000, p.96-99.
- GIVONI, B. **Climate considerations in building and urban design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- GUSTAVSSON, T., 1995: A study of air and road surface temperature during clear windy nights. **International Journal Climatology**, 15, p.919–932.
- JOHANSSON, E. *Infuence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco*. **Building and Environment**, article in press, may 2005.
- KARLSSON, M. Nocturnal air temperature variations between forest and open areas. **Journal of Applied Meteorology**. V. 39, June 2000, p. 851-862.
- LARCHER (2004). **Ecofisiologia Vegetal**. São Carlos, RiMa Artes e Textos.
- MONTEIRO, C.A.F. **Teoria e Clima Urbano**. Tese de livre docênciia. São Paulo: USP, IGEOG, 1976.
- MORTENSEN, N; LANDBERG, L; TROEN, I.; PETERSEN, E. **Wind Atlas Analysis and Application Program (WAsP)** (Vol. I and II). Roskilde. Dinamarca. Riso National Laboratory. 133p. 1993.
- OCCHIPINTI, A. G. Hidrometeorologia. In: RAMOS, F.; OCCHIPINTI, A. G.; VILA NOVA, N. A.; REICHARDT, K.; MAGALHÃES, P. C.; CLEARLY, R. **Engenharia hidrológica**. Rio de Janeiro: ABRH, Editora da UFRJ, 1989, p. 19-141.
- SILVEIRA, S. Q. da ; ASSIS, E. S . Urban ventilation in the city of Belo Horizonte, Brazil. In: **6th International Conference on Urban Climate**, 2006, Göteborg. Preprints of the VI International Conference on Urban Climate. Göteborg : Urban Climate Group; Dep. Geoscience; Göteborg University, 2006. v. 1. p. 647-650
- UNIVERSIDADE DE WYOMING . College of Engineering. Departamento of Atmospheric Science. Disponível em:<<http://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>> Acesso em 02 fev. 2010.
- YU, C; HIEN, W. N. Thermal benefits of city parks. **Energy and buildings**, 38, 2006, p. 105-120.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pelo financiamento desta pesquisa.