

ESCALAS DE ANÁLISE URBANA E SEUS DIFERENTES EFEITOS TÉRMICOS

L. C. L. Souza, C. M. Nakata e L. M. Marques

RESUMO

A preocupação cada vez maior com o ambiente térmico urbano e a revelação de resultados muitas vezes contraditórios com a literatura levam à necessidade de serem melhores definidos parâmetros de análise e procedimentos. Um dos problemas enfrentados na comparação de resultados térmicos é a diferença entre as escalas de medições adotadas, que podem apontar para diferentes diretrizes. Este trabalho tem por objetivo estudar a influência térmica da configuração urbana em diferentes alturas em relação ao solo urbano, tomando-se como referência de altura três escalas. A metodologia baseou-se nas etapas de: levantamento térmico e caracterização da configuração urbana; simulação térmica; comparação entre dados reais e dados simulados; análise de dados nas diversas escalas. Os resultados revelaram diferenças térmicas significativas entre as escalas do pedestre, da altura média das edificações e do topo das edificações.

1 INTRODUÇÃO

A preocupação cada vez maior com o ambiente térmico urbano e os resultados muitas vezes contraditórios entre literatura e os dados de campo levam à necessidade de serem melhores definidos, parâmetros de análise e procedimentos. Lindberg (2006) aponta que a contradição pode estar no fato de existirem poucos dados de base. Stewart e Oke (2006) fazem uma reflexão sobre as abordagens metodológicas no estudo do clima urbano e destacam a complexidade do estudo climático e a necessidade de ser adotada uma visão unificada do fenômeno sob diversos pontos de vista e conhecimentos.

Um dos problemas enfrentados na comparação de resultados térmicos é a diferença entre as escalas de medições adotadas, seja para o desenho urbano, seja para o planejamento urbano, que podem apontar para diferentes diretrizes.

Na busca por um melhor entendimento das interações entre o clima e a cidade, pesquisadores desenvolvem modelos que encontram suas bases em fatores meteorológicos ou em características genéricas da estrutura urbana (KARATASOU *et al.*, 2006). Um dos modelos computacionais atualmente aplicados para o entendimento do clima urbano é o ENVI-met, desenvolvido na Alemanha por Michael Bruse. O ENVI-met é um modelo tridimensional de clima urbano, que simula as relações entre a estrutura urbana e o ambiente. Uma aplicação deste modelo pode ser verificada em vários estudos, como aquele realizado por Katzschner *et al.* (2007) ou ainda por Huttner *et al.* (2008).

A pesquisa aqui apresentada propõe a utilização daquele modelo como instrumento de simulação de uma área residencial, procurando identificar as diferentes influências entre

três escalas distintas: a escala do pedestre (a 1,80 m), a escala da altura média de edificações (15 m) e a escala do topo das edificações (a 30 m).

2 METODOLOGIA

Para a elaboração desse estudo a metodologia baseou-se em quatro etapas principais:

- i. levantamento térmico e caracterização da configuração urbana;
- ii. simulação térmica;
- iii. comparação entre dados reais e dados simulados;
- iv. análise de dados nas diversas escalas.

O levantamento de dados térmicos foi realizado por meio da instalação de equipamentos tipo data-logger, na escala do pedestre, em cinco pontos de referência de um bairro residencial em Bauru-SP, Vila Cidade Universitária, conforme mostra a figura 1. Foram coletados dados de temperatura para um mesmo dia, com característica de tempo estável. Esse bairro caracteriza-se por estar em processo de verticalização, apresentando edificações variadas do tipo térrea, sobrado e prédios residenciais.



Fig. 1 Localização dos cinco pontos de estudo no fragmento urbano

A caracterização da configuração urbana baseou-se na análise de imagens, fotos aéreas, plantas cadastrais e visitas in loco, determinando-se a orientação e largura de vias, as dimensões e altura das edificações e localização de arbóreas nas calçadas.

Para a simulação térmica foi aplicado o modelo ENVI-met. Este modelo requer um tempo de iteração para que as curvas de temperatura possam se estabilizar e aproximem-se dos valores reais. Assim, para cada um dos cinco pontos, foi feita a comparação dos resultados de dados reais e dados simulados a partir da análise da curva de iteração que apresentou melhor desempenho. O desempenho da curva foi estabelecido pelo critério de aderência à curva de temperatura real, dada em função da média diária das diferenças térmicas

horárias. Para cada um dos pontos simulados foram gerados gráficos de análise como aquele exemplificado na Figura 2 e na tabela 1.

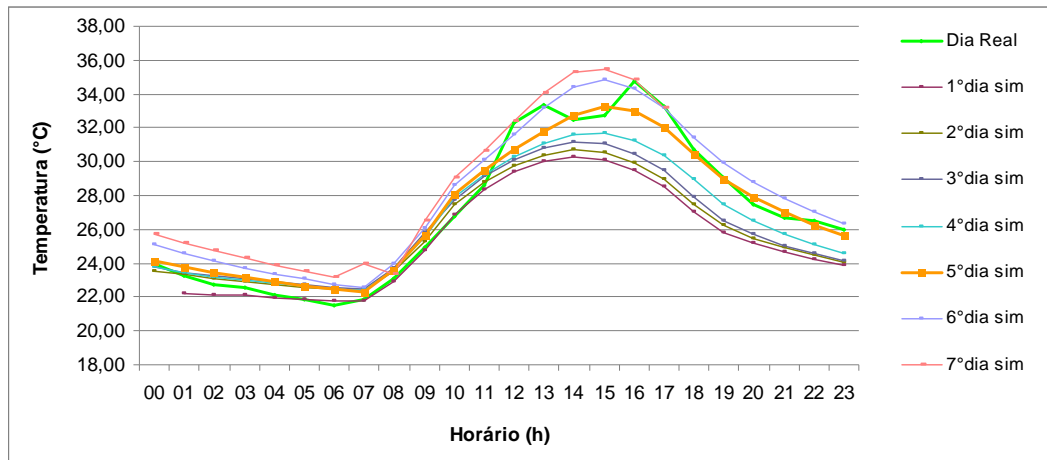


Fig. 2 Comparação das curvas de iteração em relação à curva de temperatura real para o ponto 4

Tabela 1 Médias diárias das diferenças térmicas horárias entre temperatura real e a simulada para o ponto 4

Médias diárias das diferenças em cada hora	°C
1° dia simulado – dia real	- 1,59
2° dia simulado – dia real	- 1,15
3° dia simulado – dia real	- 0,89
4° dia simulado – dia real	- 0,58
5° dia simulado – dia real	0,12
6° dia simulado – dia real	0,91
7° dia simulado – dia real	1,27

Seguindo este mesmo critério para cada ponto, foram adotadas como curvas de análise: a 5ª curva de iteração para os pontos 1 e 4; e a 6ª curva de iteração para os pontos 2, 3 e 5. A análise das temperaturas simuladas foram feitas para três alturas a partir do solo urbano, tomando-se como referências de altura:

- i. a escala do pedestre (a 1,80 m);
- ii. a escala média da altura das edificações (15 m para o caso de estudo);
- iii. e a escala do topo das edificações (30 m para o caso de estudo).

Foram realizados mapas do ambiente térmico para toda a área, desenvolvidos com base na 5ª curva do ponto 2. Dentre os cinco pontos de referência, este foi o que apresentou a menor diferença térmica entre dados reais e simulados. Para isso os mapas foram elaborados através da interface de leitura Leonardo, que é ativada através do próprio software Envi-met.

Para análise das diferenças térmicas encontradas nas três alturas, foram considerados os seguintes horários: 7h, horário de ocorrência da temperatura mínima; 15h, horário de ocorrência de temperatura máxima; 23h, horário de ocorrência de ilha de calor noturna (provocada pela troca de calor por ondas longas e a partir do qual ocorre uma estabilização da temperatura, conforme constatado por Souza et al (2009) para o mesmo bairro).

Por fim, para cruzamento das informações térmicas com o traçado urbano, foram verificadas as orientações dos eixos de implantação das vias e levado em conta o índice de aproveitamento (IA) médio das quadras da área de estudo como parâmetros urbanos de análise. O cálculo do IA para cada quadra foi realizado através da Equação 1:

$$IA = \frac{(H_{\text{médiaquadra}} * A_{\text{construída}})}{A_{\text{totalquadra}}} \quad (1)$$

Onde:

IA é o índice de aproveitamento médio da quadra

H_{médioquadra} é altura média da quadra em m

A_{construída} é a área construída da quadra em m²

A_{totalquadra} é a área total da quadra em m²

Nesse caso, cada um dos pontos de referência apresenta como características de eixo de orientação da via e de IA os valores identificados na Tabela 2. Para cálculo do IA nos respectivos pontos foram tomados as médias dos IA das quadras que delimitam o campo de visão do pontos de referência.

Tabela 2 – Orientação das vias e Índice de Aproveitamento Médio (IA) nos pontos de referência

Ponto de referência	Orientação da Via	Índice de Aproveitamento
1	NE-SO	3
2	SE-NO	11
3	L-O	9
4	SE-NO	3
5	SE-NO	10

3 RESULTADOS

Os resultados das diferenças térmicas encontradas para as três alturas estudadas em cada um dos pontos simulados são apresentados nas figuras 3 a 7. Os mapas térmicos da área resultantes da simulação para as três alturas podem ser observados nas figuras 8.

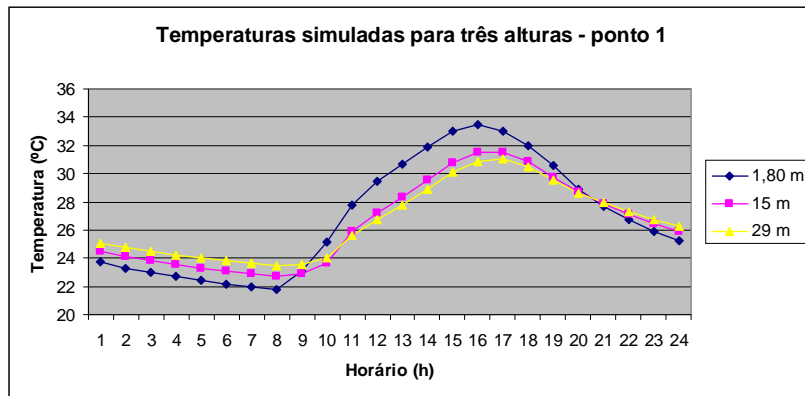


Fig. 3 Gráfico de curvas simuladas pelo ENVI-met para o ponto 1 nas três alturas

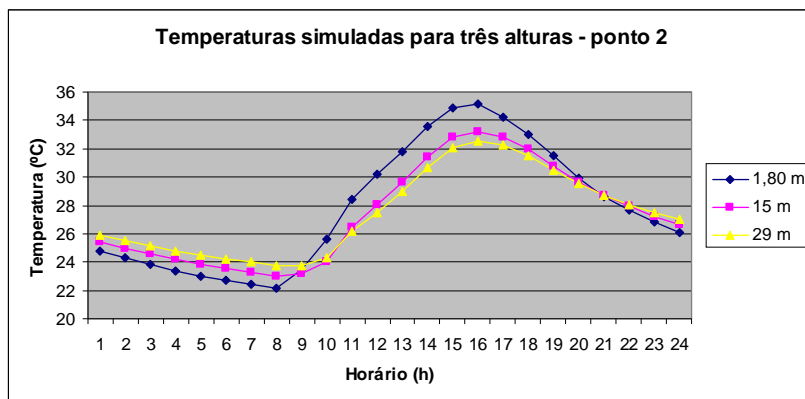


Fig. 4 Gráfico de curvas simuladas pelo ENVI-met para o ponto 2 nas três alturas

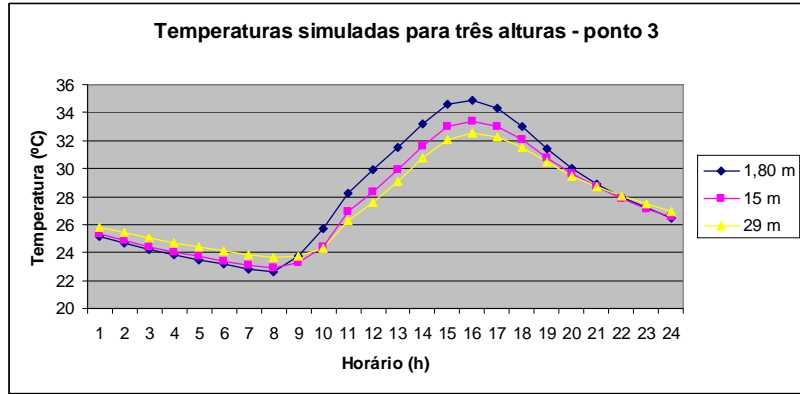


Fig. 5 Gráfico de curvas simuladas pelo ENVI-met para o ponto 3 nas três alturas

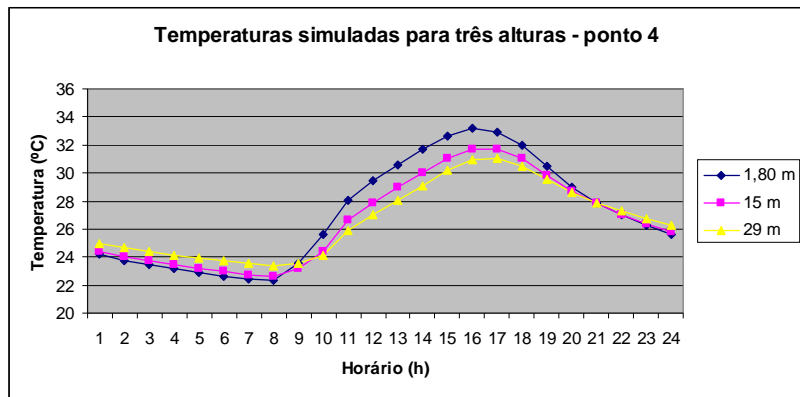


Fig. 6 Gráfico de curvas simuladas pelo ENVI-met para o ponto 4 nas três alturas

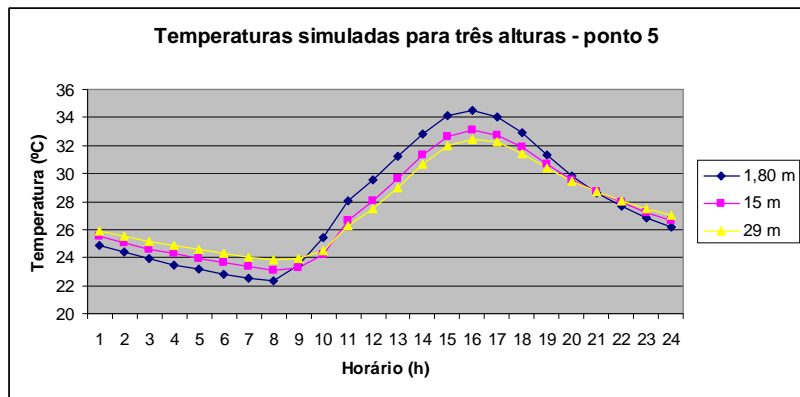


Fig. 7 Gráfico de curvas simuladas pelo ENVI-met para o ponto 5 nas três alturas

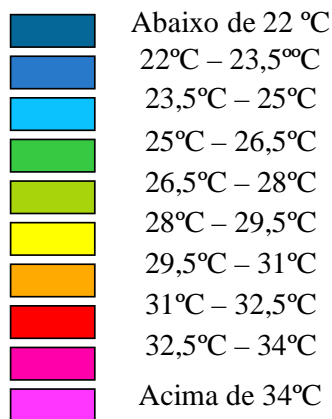
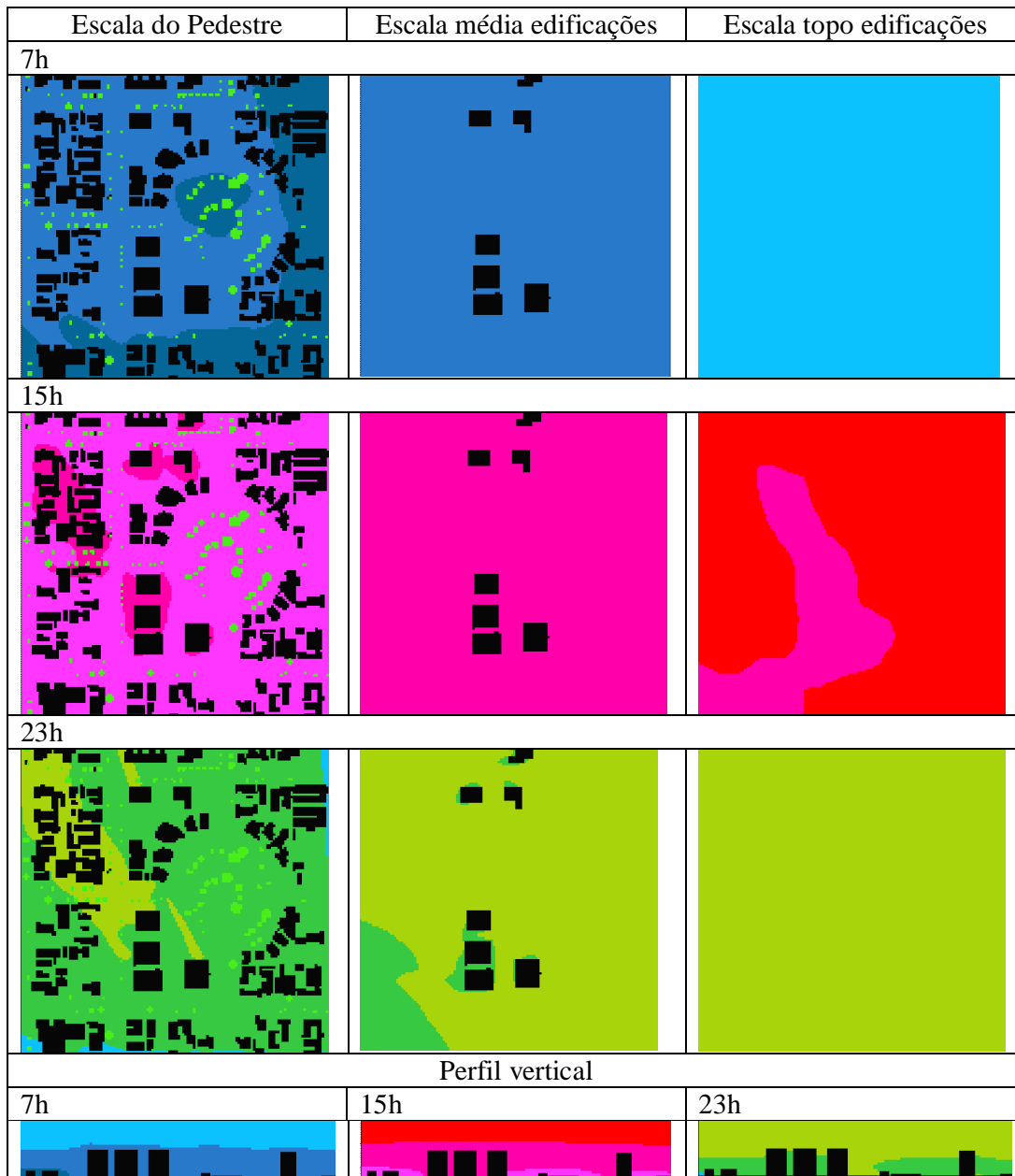


Figura 8 – Mapas térmicos da área de estudo para três escalas e horários

4 ANÁLISE E DISCUSSÕES

Dentre os pontos analisados, 1 e 4 tendem a apresentar menores temperaturas do ar, enquanto 3, 2 e 5 se assemelham em comportamento, apresentando maiores temperaturas. As temperaturas médias do ar nesses pontos obtiveram maiores valores para a escala do pedestre (1,80 m). Os valores mais baixos para as temperaturas médias do ar estão associados às escala média das alturas das edificações (nesse caso 15 m). Destaca-se, no entanto, que a diferença máxima encontrada para os valores médios diários de temperatura do ar entre a menor altura de 1,80 m e a altura de ocorrência das menores médias (15 m) foi de apenas 0,56°C. Para todas as escalas estudadas a temperatura média diária do ar alcançou magnitudes similares.

Quanto às temperaturas máximas do ar, enquanto seus maiores valores foram observados para a escala do pedestre, seus valores mais baixos estão associados à escala do topo das edificações (30 m acima do solo). Quando analisada a temperatura máxima do ar para os pontos de referência, observam-se diferenças mais significativas, chegando a 2,60°C a mais para a temperatura do ar na escala do pedestre, do que para a escala do topo das edificações. Para a altura média das edificações esse valor da diferença é cerca de 30% menor.

As temperaturas mínimas do ar nos pontos de referência são maiores para a escala do topo das edificações, enquanto seus valores mais baixos correspondem à escala do pedestre. Foram encontradas temperaturas mínimas de até 1,60°C a mais para o topo das edificações. Para a altura de 15 m esta diferença decai, podendo alcançar um valor cerca de 50 % mais baixo.

As maiores diferenças de temperaturas do ar entre as três escalas estudadas se concentra das 9h às 17h, correspondendo aos horários de maior incidência solar direta entre as edificações. Nos demais horários elas não apresentam diferenças significativas. Essa característica destaca a prioridade em serem evidenciados para o horário de incidência solar, os parâmetros urbanos que possam interagir para a melhoria da qualidade do ambiente térmico do pedestre e para o próprio desempenho térmico urbano.

Analisando-se ainda a amplitude térmica do ar, a comparação demonstra uma tendência de menor amplitude térmica à medida que se incrementa a altura do observador em relação ao solo. Para a escala média das edificações e a escala do topo das edificações foram encontradas em média, respectivamente, amplitudes térmicas de 20 e 30% menores do que aquelas encontradas para a escala do pedestre.

Quando analisados os mapas térmicos, a importância da distribuição espacial urbana para os padrões térmicos alcançados é ressaltada. Observam-se diferenças na distribuição térmica espacial para os diversos horários de análise. Às 7h na escala do pedestre, no início da incidência solar direta, a região de edifícios mais altos tende a apresentar temperaturas maiores. Destaca-se na região central da área de estudo, a existência de uma rotatória coberta por área de vegetação, para a qual as temperaturas do ar nesse horário são mais baixas do que o seu entorno. Às 15h, as temperaturas do ar para a escala do pedestre tendem a ser maiores em regiões com maior acesso solar e as regiões mais sombreadas pelos edifícios mais altos apresentam-se com menores temperaturas. Para o horário das 23h, nessa mesma escala, toda a área tende a se igualar em temperatura.

Através dos cortes em perfil observa-se que às 7h a temperatura acima do nível dos edifícios mais altos tende a se manter homogênea e com maiores valores, revelando o gradiente positivo de temperatura. A camada de ar imediatamente ao redor dos edifícios mais baixos demonstra o menor acúmulo de calor. Para às 15h esta situação se inverte e os locais de maior acesso solar, que correspondem às regiões com edifícios mais baixos, apresentam temperatura do ar mais alta e o gradiente de temperatura é negativo. Nota-se nesse perfil, mais uma vez, a homogeneidade acima da altura das edificações. Às 23h o perfil térmico permite evidenciar a condição de temperatura do ar mais alta apresentada pela escala do topo dos edifícios. Nesse horário o solo terrestre está perdendo calor por ondas longas e se resfriando. Há tendência de maiores temperaturas do ar do que as encontradas às 7h, representando acúmulo de calor.

Observando-se os mapas térmicos, a influência das orientações das vias é mais evidenciada na escala do pedestre às 7h, onde se desenvolvem campos térmicos mais heterogêneos. Especificamente nesse horário, a via orientada sob o eixo SO-NE (ponto de referência 1) apresentou menores médias de temperatura do ar. Considerando-se o comportamento diário nesta mesma escala do pedestre, esta orientação correspondeu às menores temperaturas mínimas do ar. O único ponto implantado sob o eixo L-O (ponto 3) apresentou maiores temperaturas médias e mínimas. Nas demais escalas os mapas não permitem a identificação de influência da orientação.

Por outro lado, apesar do pouco número de pontos de análise, o índice de aproveitamento indica ser um parâmetro de boa aderência de correlação com as características térmicas em todas as escalas. Em geral, para todas as escalas de análise, à medida que o IA aumentou, as temperaturas máximas e mínimas também tenderam a aumentar (Figura 9). No entanto, há que se destacar a necessidade de serem analisados mais pontos para que essa tendência possa ser confirmada.

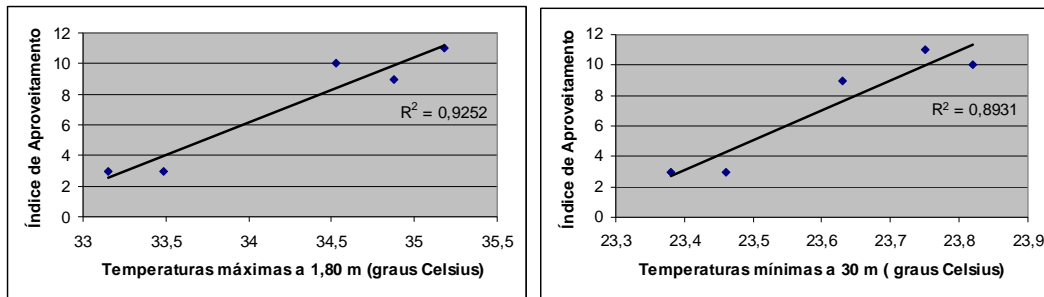


Figura 9 – Exemplo das tendências térmicas em relação ao IA de cada ponto de referência

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

As diferentes escalas analisadas revelam a necessidade de serem utilizadas ferramentas de planejamento urbano específicas para cada uma delas. Tanto os parâmetros térmicos como os urbanos, se generalizados, podem levar a distorções de análises. Um exemplo é a utilização das temperaturas médias do ar que para todas as escalas mostrou-se com padrões muito similares.

Outra consideração importante é que uma análise apenas pela escala do topo das edificações acaba por não permitir o detalhamento das influências do traçado urbano e eixo de vias sobre as características térmicas do pedestre. Nesse caso, a escala do pedestre revela-se com maior heterogeneidade térmica e melhor possibilidades de análise.

As escalas estudadas simultaneamente permitiram identificar o acúmulo de calor noturno nas camadas próximas ao topo das edificações e demonstrar que as temperaturas mínimas são mais alteradas nessa escala do que nas escalas da altura média das edificações e do pedestre. Por outro lado, as temperaturas máximas foram encontradas na escala do pedestre.

O índice de aproveitamento como parâmetro urbano de análise obteve boa correlação para os pontos de estudo e indica ser um aspecto a ser melhor explorado. As tendências encontradas com base nesse índice indicam que este é uma ferramenta promissora para as três escalas.

Por fim, o Envi-met como instrumento computacional de análise térmica urbana obteve bom desempenho, possibilitando uma análise complexa e ao mesmo tempo de fácil acesso.

6 REFERÊNCIAS

Huttner, S.; Bruse, M.; Dostal, P. (2008) Using ENVI-met to simulate the impact of global warming on the microclimate in central European cities. **Proceedings of the 5th Japanese-German Meeting on Urban Climatology**, Germany. (disponível em http://www.envi-met.com/documents/papers/Huttner_etal_2008.pdf)

Karatasou, S.; Santamouris, M.; Geros, V. Urban building climatology. In: *Environmental Design of Urban Buildings*. p.95-117. London, 2006.

Katzschner, L.; Mayer, H.; Drey, C.; Bruse, M. (2007). Strategies and concepts for thermal comfort discussions in urban planning to mitigate the impacts of climate extremes. In: **Proceedings of the 24th Conference on Passive and Low Energy Architecture**, Singapore.

Lindberg, F. (2006) Modelling the urban microclimate using local governmental 3-d raw data. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Urban Climate**. Göteborg, Suécia.



Paper final

Souza, L.C.L.; Tente, C.M.; Giunta, M.B.; Nakata, C.M. (2009) Fator de visão do céu e intensidades de ilhas de calor na escala do pedestre em uma fração urbana de Bauru – SP. In: **Anais do X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído**, Natal, Brasil.

Stewart, I., Oke, Tim. (2006) Methodological concerns surrounding the classification of urban and rural climate stations to define urban heat island magnitude. In: **Proceedings of the 6th International Conference on Urban Climate**. Göteborg, Suécia.