

## **AMBIENTE TÉRMICO URBANO: VERTICALIZAÇÃO, ACESSO SOLAR E FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR**

**Camila Pereira Postigo(1); Léa Cristina Lucas de Souza(2)**

(1) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Departamento de Arquitetura Urbanismo e Paisagismo, Av. Luís Edimundo Carrijo Coube, 14-01,  
Vagem Limpa, Bauru – SP, (14)3103-6059.

[milarq\\_postigo@yahoo.com.br](mailto:milarq_postigo@yahoo.com.br)

(2) Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”  
Departamento de Arquitetura Urbanismo e Paisagismo, Av. Luís Edimundo Carrijo Coube, 14-01,  
Vagem Limpa, Bauru – SP, (14)3103-6059

[leacrit@faac.unesp.br](mailto:leacrit@faac.unesp.br)

### **RESUMO**

Visando produzir uma pequena contribuição para o estudo de ilhas de calor e desenvolvimento de ferramentas aplicáveis ao planejamento térmico urbano, neste trabalho é estudado o ambiente térmico de um bairro residencial na cidade de Bauru, SP. Foram coletados dados de temperaturas do ar em 40 pontos urbanos de referência no período de verão e levantados dados simultâneos das temperaturas de área periférica à cidade, obtidas pela estação meteorológica do IPMet- Instituto de Pesquisas Meteorológicas. Os dados foram armazenados em um Sistema de Informações Geográficas (SIG) e trabalhados para obtenção de características como: área edificada; volume construído e geometria urbana (Fator de Visão do Céu – FVC). O ambiente do SIG permitiu o desenvolvimento de mapas de temperatura, acesso solar, adensamento e verticalização de cada quadra. Mapas temporais das diferenças de temperatura do ar entre os pontos da área urbana e a área periférica foram elaborados. Todas essas informações foram cruzadas e, assim, feita uma análise do desenvolvimento das ilhas de calor e suas relações com a malha urbana. Os resultados indicaram a formação de ilhas de calor durante vários períodos do dia e evidenciam áreas cuja verticalização deve ser evitada.

### **ABSTRACT**

In order to give a contribution to the study of urban heat islands and the development of tools for urban thermal planning, we study in this work the thermal environment of a residential neighborhood in the city of Bauru, SP. Data of air temperatures in 40 urban points were collected in summer time. Meanwhile, air temperatures of a site located in the city outskirts were obtained through IPMet - Meteorological Research Institute. The datasets were stored in a Geographic Information System (GIS) and the following features were obtained: built-up area, built-up volume and urban geometry (Sky View Factor - SVF). The GIS environment allowed the development of maps of temperatures, solar access, occupation and buildings height of each neighborhood block. We have created several temporal maps of air temperature differences between the urban area and the site at the urban fringe. All these data were cross-examined, allowing an analysis of the urban heat island development and their relationship with the urban fabric. The results pointed out the urban heat island development

during several periods of the day and they also highlighted areas where verticalization should be avoided.

## 1. INTRODUÇÃO

A criação de arquiteturas que sejam compatíveis com as necessidades térmicas do ser humano é uma medida fundamental diante do quadro energético brasileiro. A bioclimatologia de ambientes não se faz necessária apenas na escala da edificação como também na urbana. A falta de conforto térmico nessas áreas, além de influir diretamente nas edificações, desincentiva o uso de espaços públicos e acarreta problemas ambientais, afetando o clima e temperaturas regionais.

As superfícies urbanas são compostas de materiais de construção, que em geral apresentam uma capacidade térmica elevada. Isso acarreta o aquecimento em graus mais elevados do que de um solo natural, assim como um atraso no seu resfriamento, resultando no desenvolvimento das ilhas de calor. Em países de clima quente, como o Brasil, as ilhas de calor são um problema, pois podem intensificar a demanda de energia para resfriamento dos ambientes. Geralmente, a manifestação da ilha de calor ocorre com maior intensidade nos centros mais adensados das cidades, devido a maior verticalização e ao pouco espaço entre as edificações.

Dentre as várias causas da ilha de calor, a geometria urbana é apontada como uma das principais, pois pode alterar o balanço de energia, uma vez que dificulta ainda a perda de calor para a atmosfera e a passagem do vento, diminuindo a velocidade do ar e modificando sua direção.

Nesse artigo a obstrução da abóbada celeste causada pela geometria urbana é estudada através do Fator de Visão do Céu (FVC). Dentre muitos estudiosos como Arnfield (1990), Oke (1981), Barring et al (1985), Chapman et al (2005), Souza (1996), é apontada a tendência de que quanto menor o valor de FVC, maior a formação de ilhas de calor. Normalmente os estudos de ilha de calor mostram resultados em um momento específico no tempo, mas muito ainda deve ser estudado quanto ao seu desenvolvimento e decaimento durante todo o dia, buscando-se a aplicação direta dessas informações ao planejamento urbano.

Visando obter informações que possam ser diretamente aplicadas ao planejamento térmico urbano, esse artigo estuda a formação de ilhas de calor em um bairro residencial na cidade de Bauru, SP, estudando suas relações com as características gerais daquele bairro. Considera-se para isso não só o desenvolvimento da ilha de calor noturna, mas todo o ambiente térmico diário a que a região está submetida.

## 2. ÁREA DE ESTUDO E METODOLOGIA

A área de estudo localiza-se em Bauru-SP, cidade situada entre as latitudes de 22°15' e 22°25'Sul, longitude 49°00' e 49°10' Oeste, com altitudes entre 500 e 630m e ventos dominantes de leste e sudeste. Nela selecionou-se o bairro Vila Universitária, uma área predominantemente residencial, caracterizada por alto índice de verticalização, segundo (PEDROTTI, 2005), variando de construções de até 18 andares, a casas térreas e terrenos baldios. É uma área relativamente plana e seus limites são o Bauru Shopping, a Avenida Nações Unidas, a Avenida Otávio Pinheiro Brizola e a USP (Figura 1).

Para desenvolvimento do trabalho, foram feitas coletas de dados de temperatura do ar e de superfície no verão (entre os meses de janeiro e março/2006), através da determinação de 40 pontos de referência. Os pontos foram distribuídos o mais uniformemente possível e de forma a caracterizarem a diversidade de valores de FVC encontrados no bairro, mantendo-se ainda uma distância mínima de 100m entre eles. Termômetros HOBOTM H8 Pro/Temp/External Temp H08-031-08, foram instalados na superfície sul de postes de luz naqueles pontos, mantidos sob condições de sombra. A temperatura da área rural foi obtida através da estação meteorológica do IPMet - Instituto de Pesquisa Meteorológicas. Os dados horários foram descarregados em computador através de software específico do equipamento utilizado.

Foram obtidas as temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como amplitudes térmicas, tanto de superfície, quanto do ar. Os dados foram armazenados, criando-se um banco de dados em um Sistema

de Informações Geográficas (SIG) - o software ArcView GIS. Para cada ponto de referência foram geradas trajetórias solares através da extensão 3DSkyView (desenvolvida por Souza et al, 2003), o que permitiu o cálculo do tempo de insolação em cada ponto. Utilizando-se do potencial dos SIG, os dados térmicos foram posteriormente cruzados com os dados de FVC de cada ponto de medição e seu acesso solar. O banco de dados possibilitou ainda, que fossem estabelecidos o adensamento e a verticalização de cada quadra, através do cálculo do volume edificado e da quantidade de área construída.



Figura 01: Foto aérea com localizações  
Fonte PEDROTTI, 2005.

Mapas temáticos foram desenvolvidos, através da interpolação de dados e, assim, possibilitada uma análise do ambiente térmico daquele bairro.

### 3. RESULTADOS E ANÁLISES

Para cada um dos 40 pontos de medição foi determinado o FVC e estabelecidas suas classes(Figura 2).

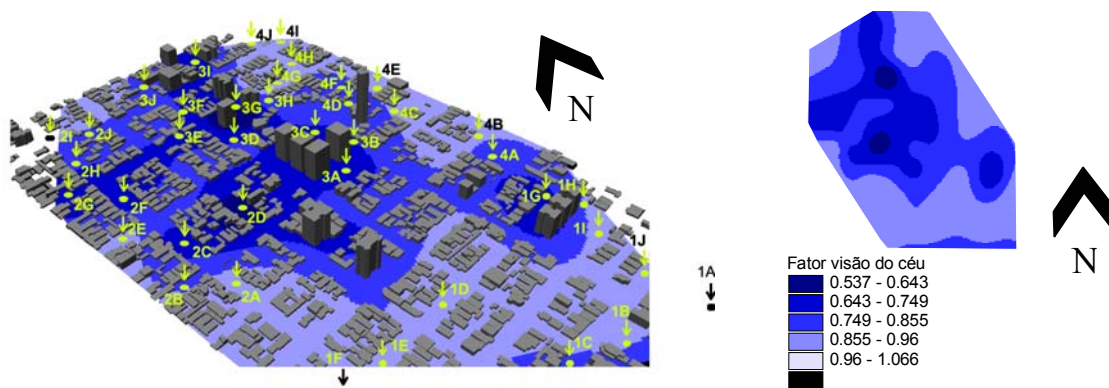


Figura 02: Classificação de FVCs de cada ponto na área de estudo.

Em geral, os pontos com maior obstrução causada por edifícios na área de estudo, ou seja, menor FVC, são os que apresentaram menor tempo de insolação diário e, portanto, menor carga de radiação incidente. Estes são ainda os que tiveram o maior volume construído no seu entorno. Mapas temáticos do volume construído e da área construída permitem visualizar a classe de adensamento de cada quadra da área de estudo (Figuras 3 e 4).

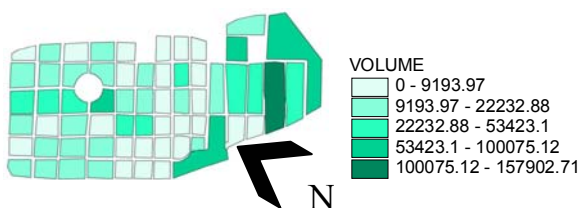


Figura 03: Mapa indicando as quadras que apresentam maiores e menores volumes construídos em m<sup>3</sup>.

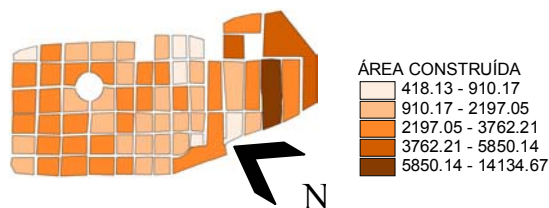
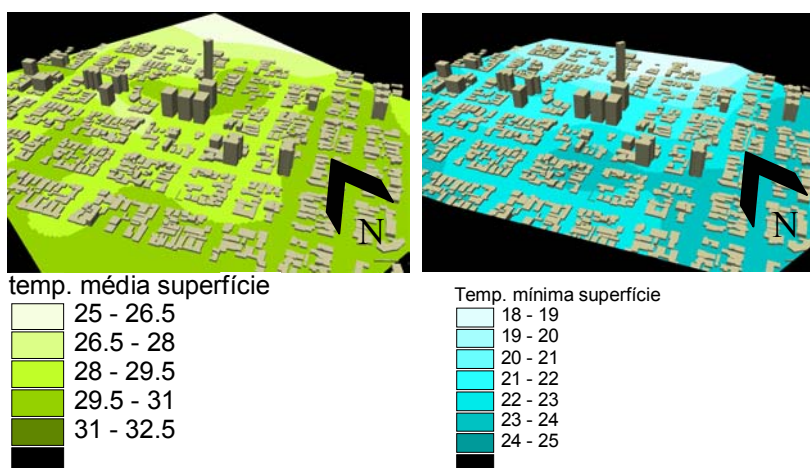


Figura 04: Mapa indicando as quadras que apresentam maiores e menores adensamentos por área construída em m<sup>2</sup>.

### 3.1 Temperaturas de Superfície.

As temperaturas de superfície têm um papel muito importante na contribuição para a formação das ilhas de calor, pois alteram a temperatura do ar, principalmente durante a noite, quando a carga térmica recebida durante todo o dia é devolvida ao ambiente, alterando a situação de resfriamento natural.



**Figura 05: Perspectiva mostrando manchas das temperaturas médias de superfície.**

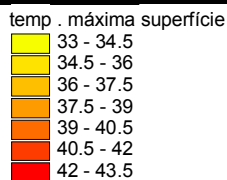
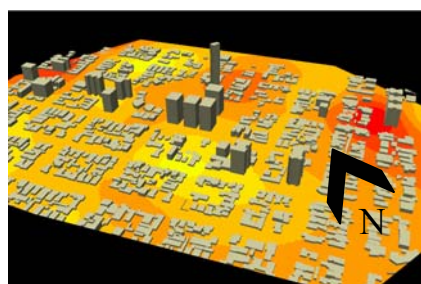
**Figura 06: Perspectiva indicando as manchas de classificação das temperaturas mínimas.**

Os pontos que apresentaram as médias mais baixas de temperaturas de superfície são, em geral, os que estão a nordeste da área de estudo, próximos a Av. Nações Unidas, e os que apresentaram temperaturas mais elevadas estão a sudoeste, próximos a Av. Otávio Pinheiro Brisola. É possível notar que a área a sudoeste do mapa, que recebe sol durante todo dia, caracteriza-se por ser pouco verticalizada, quase não oferecendo obstrução à insolação, portanto uma área que tende a apresentar temperaturas mais elevadas durante o dia (Figuras 5 e 6).

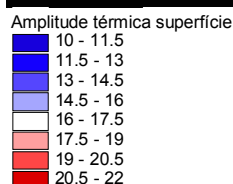
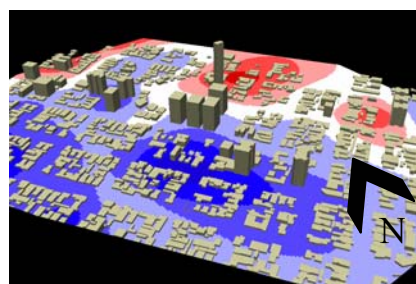
Para os dias estudados, as temperaturas mínimas de superfície ocorreram por volta das 6h da manhã, quando houve um resfriamento maior. O tempo que a superfície leva para perder calor é proporcional à área construída e ao volume edificado. Portanto, os pontos que apresentaram temperaturas de superfície mais elevadas entre as mínimas, são os que demoraram mais para perder a carga térmica recebida durante o dia e para os quais se observou também o maior desenvolvimento da ilha de calor no período noturno.

As temperaturas máximas de superfície tenderam a ocorrer nos pontos onde há uma verticalização menos intensa e área construída de valor mediano para a região de estudo. Isso porque o acesso solar é maior nestas regiões que não oferecem muita obstrução por parte das superfícies verticais. O radiação do sol de oeste no final da tarde acessa facilmente as regiões pouco verticalizadas e adensadas, gerando assim temperaturas mais elevadas naqueles horários.

É possível notar que, onde ocorreram as maiores temperaturas máximas de superfície, são também pontos nos quais se encontraram as maiores amplitudes térmicas que, pelo mesmo motivo da falta de obstrução, tem uma dissipação do calor mais rápida. Isso faz com que o mapa de máximas das superfícies assumam configuração semelhante àquela do mapa de amplitudes térmicas das superfícies (Figuras 7 e 8).



**Figura 07: Perspectiva mostrando manchas das temperaturas máximas de superfície.**



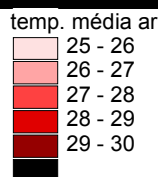
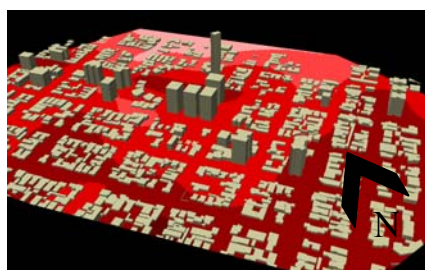
**Figura 08: Perspectiva mostrando manchas de amplitudes térmica de superfície.**

Como as superfícies são aquecidas durante o dia e apresentam uma inércia térmica elevada, estas permanecem ainda quentes, mesmo depois que o ar se torna mais frio após o pôr-do-sol.

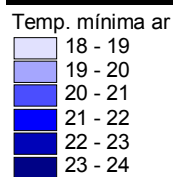
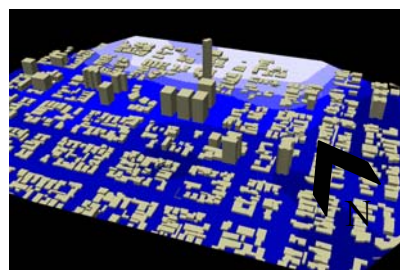
### 3.2 Temperatura do ar

A temperatura do ar é influenciada pelo calor devolvido ao ambiente pelas superfícies e por ação mais imediata do vento, tendo uma inércia térmica menor do que a dos materiais de construção.

Os mapas das figuras 9 e 10 permitiram o cruzamento das informações, evidenciando que as menores temperaturas do ar médias diárias ocorreram perto da área mais aberta, menos rugosa, próximo à Av. Nações Unidas. Essa é voltada para nordeste e recebe o sol da manhã, apresentando uma boa dissipação do calor pelo vento dominante que é direcionado no sentido desta avenida (ventos de leste e sudeste, conforme mencionado anteriormente).



**Figura 09: Mapa de temperatura média do ar.**



**Figura 10: Mapa de temperatura mínima do ar.**

Considerando ainda as temperaturas médias diárias do ar, pode-se dizer que a área situada do lado oposto, apresenta temperaturas mais elevadas, recebendo sol durante toda a parte da manhã e também durante a tarde. É uma região que apresenta uma área construída adensada, mas, por outro lado é uma área menos verticalizada. Estas apresentam maior dissipação do calor e, portanto, temperaturas médias diárias (incluindo-se nessa média as temperaturas diurnas e noturnas) mais baixas do que regiões onde a verticalização mais intensa, ou seja, com baixo FVC, retêm mais calor na camada intra-urbana.

Na análise das temperaturas máximas do ar (Figuras 11), foi observado que o adensamento de edificações de tamanho médio e baixo correspondeu também a temperaturas do ar mais elevadas.



Provavelmente, porque não impediram a insolação direta em edificações mais altas, além de apresentarem alto grau de impermeabilização do solo, diminuindo a perda por evaporação.

Os mapas das Figuras 11 e 12 de temperaturas máximas do ar e superfície mostram que, próximo a Av. Nações Unidas, o ar se apresentou mais resfriado, enquanto as temperaturas de superfície não.

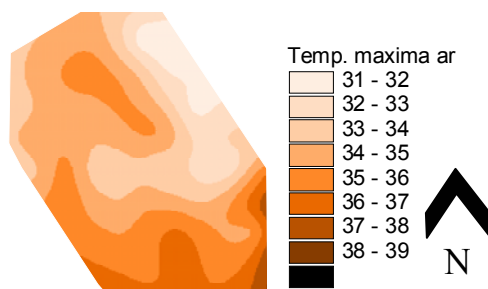


Figura 11: Mapa de temperaturas máximas do ar.

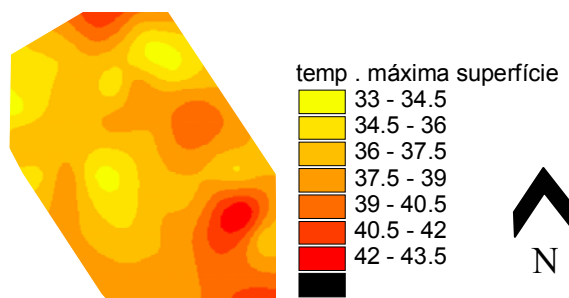


Figura 12: Mapa de temperaturas máximas de superfície.

Por não oferecer obstrução, tanto à insolação, como à ventilação, esta área se aquece e se resfria rapidamente. Mas, como as superfícies impermeáveis e de alta capacidade térmica demoram mais a se resfriar neste processo, notam-se manchas mais claras no mapa de temperaturas do ar que no mapa de temperaturas de superfície, apesar de terem sido registradas simultaneamente.

O mapa das 7h, indicado na Figura 13, ressalta este efeito. Naquele horário, o resfriamento se torna bastante intenso, porém é quando o sol começa a nascer. Por não apresentar muito bloqueio a insolação, a área se aqueceu rapidamente, mesmo com baixas alturas solares. E, por não se tratar de uma superfície natural, atingiram temperaturas muito maiores que a do campo. A Figura 13 mostra as amplitudes térmicas, indicando a área que mais se aqueceu e se resfriou durante o período da manhã.

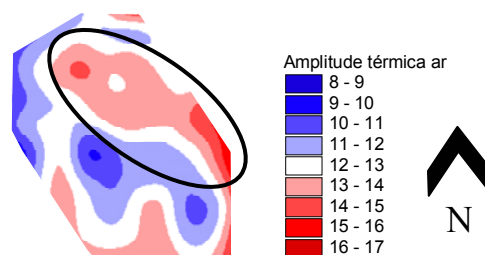


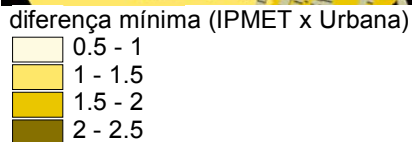
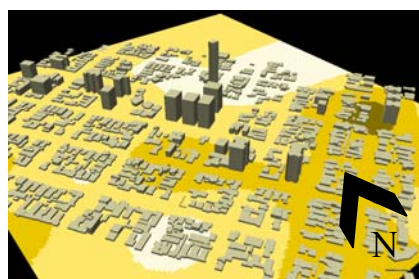
Figura 13: Amplitude térmica nos pontos de medição indicando área que apresenta maiores valores às 7h.

As áreas em azul, são as que apresentaram menor amplitude diária. Isto significa que demoraram mais, tanto para se aquecerem, quanto para se resfriarem. É por esse último fato, que se configuraram como áreas de maior tendência ao desenvolvimento de ilha de calor noturna.

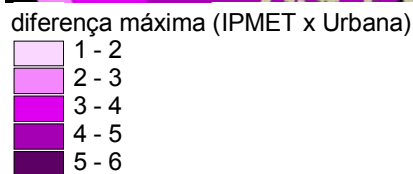
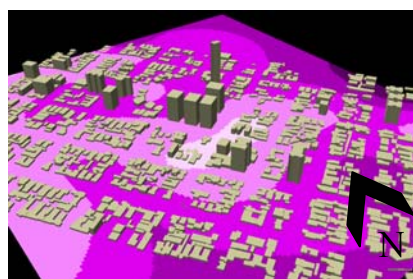
### 3.3 Desenvolvimento das ilhas de calor.

Os mapas temáticos desenvolvidos para as diferenças entre a temperatura do ar da área urbana e da área rural são apresentados nas figuras 14 e 15.

Durante o início da manhã, enquanto a verticalização, verificada pelo baixo valor de FVC, age como um bloqueio tanto à insolação, quanto também ao resfriamento, regiões mais ocupadas, com maiores áreas construídas, possuem mais superfícies a serem aquecidas. Verificou-se nas figuras 14 e 15 que as áreas mais densas aqueceram-se mais rapidamente do que aquelas próximas a pontos muito verticalizados.



**Figura 14: Diferença entre temperaturas mínimas do IPMET e área urbana.**



**Figura 15: Diferença entre temperaturas máximas do IPMET e área urbana.**

Foi somente a partir das 10h, quando o sol atingiu uma altura solar maior e maior acesso nas edificações, que as áreas mais adensadas e verticalizadas atingiram temperaturas mais elevadas.

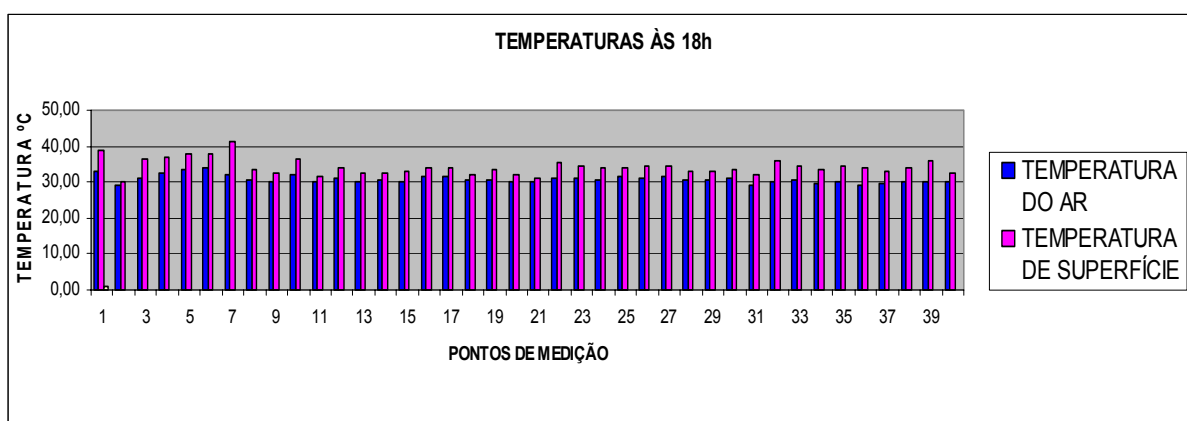
Pôde-se notar que a diferença de temperatura por volta das 12h na cidade não é tão grande em relação à zona rural. Nesse horário a temperatura no campo é também bastante elevada em função do sol que está com grande altitude solar. Nos pontos mais críticos a diferença é de 5°C.

As regiões voltadas a oeste, sol poente, sofreram mais acúmulo de calor diário. Isso já pôde ser notado a partir das 15h. Durante toda a tarde ocorreram as maiores temperaturas do ar e as diferenças térmicas entre o campo e a cidade se tornaram mais evidentes em todos os pontos.

Notou-se que as áreas que receberam sol no começo da manhã, resfriaram-se paulatinamente na parte da tarde, já que não havia o acesso solar neste período. Apesar de, a partir do pôr-do-sol, as temperaturas continuarem elevadas em relação à área rural, as diferenças apresentadas nessas áreas foram menores.

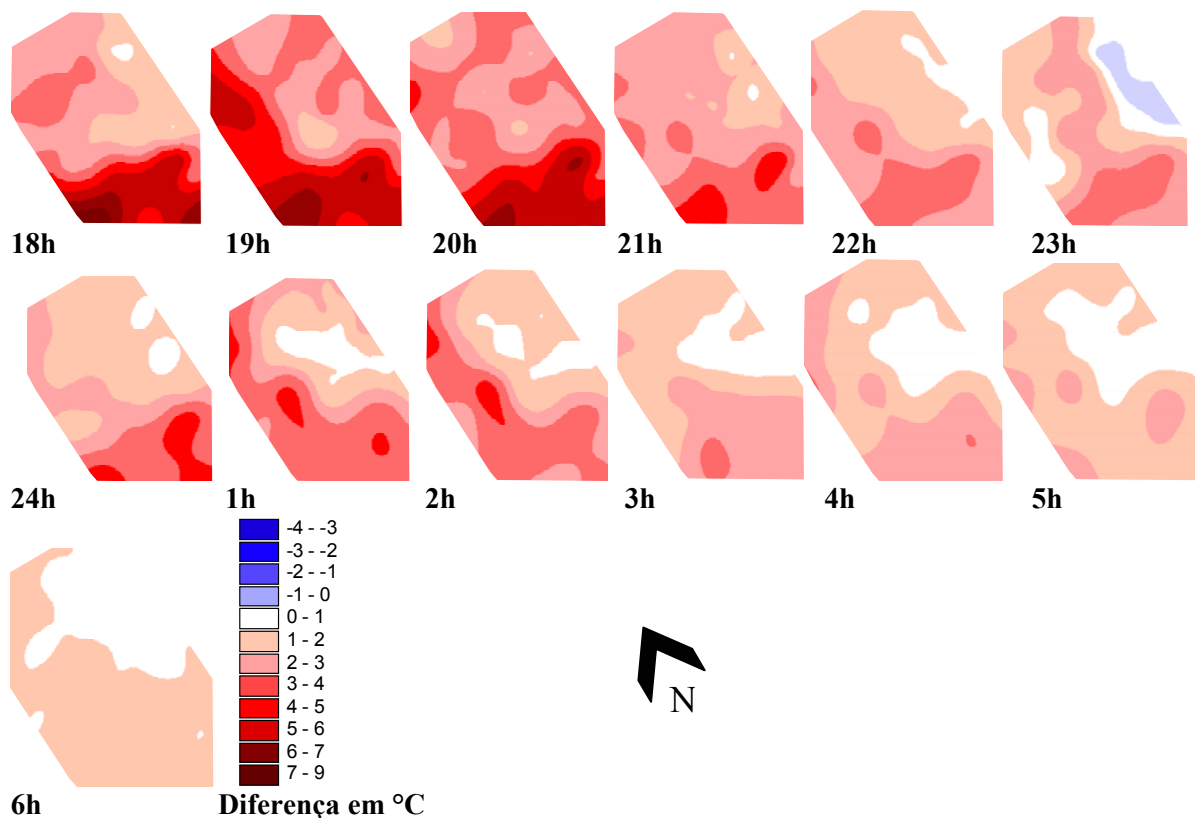
O armazenamento de calor pôde ser percebido na cidade, em cada ponto de medição, significativamente, até às 21h.

Ao pôr-do-sol, na figura 16, observa-se com o gráfico das 18h, que a temperatura do ar se encontra levemente mais baixa que as das superfícies. Porém, nos locais muito adensados e verticalizados, observa-se um tempo maior para haver a dissipação do calor.



**Figura 16: Temperaturas de superfície e do ar às 18h para os 40 pontos.**

A partir das 18h, as diferenças entre temperaturas do ar rurais e urbanas são mais altas em pontos que estão próximos a edificações verticais, com baixo FVC. Na região próxima à Av. Nações Unidas, o resfriamento ocorreu de modo mais rápido que as demais, provavelmente porque o vento regional consegue penetrar mais facilmente, por se tratar de uma área um pouco menos rugosa.



**Figura 17: Desenvolvimento do fenômeno das ilhas de calor na Vila Universitária através de mapas de amplitude térmica entre campo e cidade.**

Quanto mais se aproxima o horário do nascer do sol (Figura 17), maior é a dissipação do calor e a temperatura chega, nos pontos mais críticos, no máximo a 3°C de diferença com o registrado na área rural. Houve inclusive registro de temperaturas mais baixas do que a rural no horário das 23h.

O período das 6h da manhã é caracterizado pelo maior resfriamento do dia. O mapa se tornou mais homogêneo e as temperaturas mais semelhantes àquelas do campo.

## 5. CONCLUSÃO

No geral, os resultados obtidos estão conforme o que se esperava em literatura e comprova não só a existência das ilhas de calor na Vila Universitária, causadas pela inércia térmica das superfícies e geometria urbana, como também toda sua evolução e decaimento no início do dia.

Por se tratar de um bairro da cidade de Bauru, que vem sofrendo um intenso processo de verticalização, os mapas desenvolvidos permitem estabelecer uma relação direta com o planejamento urbano. Através deles é possível identificar áreas para as quais a formação de ilhas de calor indica a necessidade de serem evitados, tanto o adensamento, quanto a verticalização.

Os resultados indicam que as áreas que apresentam maior efeito das ilhas de calor noturnas, são aquelas que retêm maior calor adquirido durante o dia, ou seja, as mais adensadas e verticalizadas. O FVC é um parâmetro muito importante a ser levado em conta neste tipo de análise, já que a obstrução ao céu influi muito na dissipação do calor e no tempo de insolação.

A modificação intensa de um ambiente natural altera completamente as trocas térmicas, gerando desconforto ao usuário. No caso da área de estudo os moradores, mesmo durante a noite, sofrem com temperaturas elevadas, tendo que utilizar meios artificiais de climatização, aumentando assim o consumo energético.

O estudo mostra que são necessárias medidas no sentido do desenvolvimento de políticas públicas e conscientização no que diz respeito à ocupação urbana, à alta impermeabilização do solo e verticalização excessiva, para que se atinja o bem estar da população, além de contribuir com o meio ambiente.



## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARNFIELD, A.J. (1990) *Street design and urban canyon solar access*. Energy and Buildings, 14, 117-131.
- LEME, F. T. (2005) *FASE B – Expansão da Coleta de Dados e Fator de Visão do Céu e Armazenamento*. Relatório final de pesquisa, Universidade Estadual Paulista, Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, Brasil.
- PEDROTTI, F. S. (2005) *FASE B – Expansão da Coleta de Dados de Consumo de Energia e Armazenamento*. Relatório final de pesquisa, Universidade Estadual Paulista, Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo, Brasil.
- OKE, T.R. (1981) *Canyon geometry and the nocturnal urban heat island: comparison of scale model and field observations*. Journal of Climatology, Vol.1, No.1-4, 237-254.
- BÄRRING, L.; MATTSSON, J.O.; LINDQVIST, S. (1985) *Canyon geometry, street temperatures and urban heat island in Malmö, Sweden*. Journal of Climatology, Vol. 5, 433-444.
- CHAPMAN, L; THORNES, J.E; BRADLEY, A.V. (2001) *Rapid determination of canyon geometry parameters for use in surface radiation budgets*. Theoretical and Applied Climatology, Vol. 69, 81-89. ([www.cert.bham.ac.uk/research/urgent/canyongeometry.pdf](http://www.cert.bham.ac.uk/research/urgent/canyongeometry.pdf))
- SOUZA, L.C.L.(1996) *Influência da geometria urbana na temperatura do ar ao nível do pedestre*. (Tese de Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Brasil.
- SOUZA, L. C. L.; RODRIGUES, D. S. ; MENDES, J. F. G. (2003) *Expandindo Um SIG-3D para Aplicação em Conforto Ambiental em Nível Urbano*. In: VII ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 7, Curitiba, Novembro 2003, Curitiba, COTEDI, 2003. CD