



## **ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE TEMPERATURA DO AR E ELEMENTOS DA ESTRUTURA URBANA, NA CIDADE DE SÃO CARLOS - SP**

**Maria Solange Gurgel de Castro Fontes**

Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho

Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Paisagismo

NUCAM – Núcleo de Conforto Ambiental

Av. Engenheiro Luis Edmundo Carrijo Coube, S/N

Bauru/SP, CEP 17033-000

e- mail: [sgfontes@bauru.unesp.br](mailto:sgfontes@bauru.unesp.br)

**Arthur Mattos** (aposentado)

Universidade de São Paulo

Departamento de Hidráulica e Saneamento – EESC

Av. Dr. Carlos Botelho, 1465

São Carlos/SP, CEP 13560 - 970

*RESUMO Este trabalho analisa as variações de temperatura do ar e sua correlação com alguns parâmetros da estrutura urbana, que são indicadores de uso e ocupação do solo, e com a altitude de cada ponto de medição. A pesquisa foi desenvolvida na cidade de São Carlos – SP, utilizando o método de medições móveis, nos períodos de inverno e verão, com o fim de criar subsídios para uso em planejamento urbano. Os resultados mostram a influência da topografia nas maiores variações climáticas, especialmente em dias com céu limpo e ar calmo.*

*ABSTRACT This work investigates the air temperature variations and its correlation with some parameters of the urban structures. The research was developed during the winter and summer periods to create microclimatic data to be used in future urban planning in the city of São Carlos – SP. The temperature measures were determined by automobile-mounted thermistors. The results shows that the highest temperature variation are directly influenced by topography in days with clean sky and calm air.*

## **1 Introdução**

Os problemas climáticos causados pela urbanização podem gerar conseqüências graves, como a degradação da qualidade climatológica do ambiente urbano. Contudo, os mesmos podem ser resolvidos, se considerações ecológicas e sociais forem levadas em conta no exercício do planejamento urbano. Segundo BITAN (1992), o termo qualidade climática do ambiente urbano significa o uso correto dos elementos climatológicos e sua integração em diferentes níveis de planejamento e construção, contribuindo assim para melhorar os microclimas dos espaços internos e externos.

Assim, o estudo do clima de uma cidade, comprometido com o processo de urbanização e com a qualidade climática requer, inicialmente, o conhecimento sobre o sítio onde a cidade está assentada, pois além de ser o meio natural que serve de suporte para a cidade, interage com a mesma, configurando diferentes comportamentos na atmosfera.

Características do sítio urbano, tais como topografia e morfologia (vales, encostas, topo de planalto e outras), presença de vegetação e cursos d'água, determinam e dão origem a microclimas diferenciados no espaço urbano. Vale ressaltar que características de natureza antrópica, que compõem a forma física urbana, também podem contribuir para variações climáticas significativas no espaço urbano.

O conhecimento dos fatores climáticos locais e das diversas relações que ocorrem dentro das cidades são fundamentais para subsidiar o planejamento urbano, visando amenizar os impactos ambientais, assim como o controle climático e a melhoria da qualidade de vida urbana.

Tendo em vista estas considerações, este trabalho objetiva analisar as variações de temperatura do ar e sua correlação com alguns parâmetros da estrutura urbana, que são indicadores de uso e ocupação do solo, e com a altitude em diversos pontos na cidade de São Carlos – SP, para o fim de gerar informações para uso em planejamento urbano.

Essa cidade encontra-se em grande expansão e o seu traçado urbano tem ultrapassado todas as barreiras físicas que contiveram seu crescimento em determinados momentos. Em relação as condições ambientais, destaca-se a ocupação desordenada das áreas de Fundo de Vale, induzida a partir da criação de um anel viário, contornando os córregos que cortam a cidade. Essas regiões são sensíveis à ocupação urbana, especialmente por possuírem características climáticas peculiares (FONTES, 1998).

São Carlos, hoje, também revela um grande potencial de verticalização, nas áreas centrais que contribui para o aumento de superfícies impermeáveis. Do ponto de vista do conforto térmico, este aspecto colabora para o aumento da temperatura urbana, especialmente durante o processo de resfriamento noturno. Além disso, a maior quantidade de áreas impermeáveis também contribui para o aumento do escoamento superficial, agravando casos de enchentes nos córregos, no período das chuvas.

## **2 Caracterização da Área de Estudo**

A cidade de São Carlos está situada na região central do Estado de São Paulo, a 230 Km da capital, e possui as seguintes coordenadas: 21° 30'S e 22° 30'S de latitude, 47°

30'O e 48° 30'O de longitude e 850 m acima do nível do mar. Trata-se de uma cidade de porte médio, com uma população estimada de 158.139 habitantes em 1991, de acordo com a FIBGE (1993). Parte dessa população deve-se à condição de pólo de atração exercida pela cidade, em função da presença de universidades como a USP (Universidade de São Paulo) e UFSCar (Universidade Federal de São Carlos), e de indústrias de alta tecnologia.

De acordo com as Normais climatológicas do período de 1961 até 1990, o mês de fevereiro apresenta a temperatura média mais elevada (21,9 °C) e o de julho, a mais baixa (16 °C). As maiores amplitudes térmicas são indicadas no período de inverno. Em relação a umidade do ar, o período de dezembro a março indica maiores valores para essa variável climática. Enquanto que o período de junho a outubro revela valores mais baixos. Estes fatos caracterizam o clima de São Carlos em duas estações bem definidas: um verão quente e úmido e um inverno frio e seco.

### **3 Materiais e Métodos**

A pesquisa de campo foi realizada durante uma semana no período de inverno e outra no verão (julho/96 e janeiro/97) e teve como objetivo coletar dados de temperatura (9, 15 e 21h) em amostras diversificadas do espaço urbano, na cidade de São Carlos – SP, procurando refletir situações típicas da área de estudo. Assim, foram identificados parâmetros relacionados ao uso e ocupação do solo, para caracterizar o meio urbano em torno dos pontos de observação, a partir de levantamento de campo e análise de mapas de setores e quadras. A altitude de cada ponto também foi levantada, com auxílio do GPS (Global Positioning System).

Na coleta de dados de temperatura, foi empregado o método de medidas móveis, utilizando um termômetro digital com 2 sensores de temperatura (1 para bulbo seco e outro para bulbo úmido), acoplados a um veículo, a uma altura aproximada de 1,5 m do solo. Medições fixas, através de registros contínuos de temperatura e umidade em termo-higrógrafos, instalados em abrigo localizado no centro urbano, também foram utilizadas com objetivo de validar os resultados feitos por medidas móveis.

Para o estudo da correlação entre a temperatura do ar e parâmetros da estrutura urbana, foi realizada uma série de regressões lineares, no sentido de identificar as relações causa e efeito, fundamentais para subsidiar o planejamento urbano. Para isso, foram utilizados os dados de temperatura média do ar e temperatura noturna (as 21 horas).

#### **3.1 Elementos da Estrutura Urbana**

São apresentados na tabela 1 os parâmetros referentes a estrutura urbana, como o uso do solo, altura dos edifícios e a porcentagem de edificação e vegetação das quadras próximas aos locais de medição e as altitudes de cada ponto. As medidas de campo, ao longo de uma rota de 8 km, foram feitas em regiões de fundo de vale (1<sup>o</sup> ao 10<sup>o</sup> ponto) e em áreas centrais (11<sup>o</sup> ao 14<sup>o</sup> ponto) .

A partir dessa tabela, verifica-se que entre os pontos localizados em áreas de fundo de vale, o 1<sup>o</sup> ponto e o 9<sup>o</sup> apresentam uma maior densidade de construção, pois a porcentagem de lotes ocupados com edificação é de 87,6 e 94,5%, respectivamente. Os pontos 6 e 7 mostram as maiores porcentagens de vegetação e indicam as menores altitudes, juntamente com o ponto 8.

**Tab.1 Características morfológicas das quadras próximas aos pontos de observações móveis, com identificação das altitudes.**

Pontos de Medição	Altitud. (m)	Uso do solo (%)				Altura (%)				Ocupação do solo (%)		
		Re	Co	Mi	Out	Te	2pa	< 5pa	> 5pa	Edif	Veg	Out
1	812,2	46,9	29,4	2,2	21,5	62,7	36,2	1,1	0	87,6	5,0	7,4
2	818,0	62,2	-	-	37,8	41,6	22,3	36,1	-	25,5	35,3	39,2
3	808,1	-	-	-	100	12,5	12,5	-	-	25,0	65,0	10,0
4	803,4	25,0	-	-	75,0	65,0	25,0	8,3	1,7	40,5	53,9	5,6
5	798,4	100	-	-	-	62,5	37,5	-	-	28,3	66,7	5,0
6	787,9	100	-	-	-	44,4	55,6	-	-	15,4	84,6	-
7	782,9	-	-	-	100	100	-	-	-	3,1	96,9	-
8	786,8	-	5,0	-	95,0	5,0	95,0	-	-	20,0	50,0	30,0
9	798,6	74,5	12,7	5,4	7,4	59,6	38,5	-	1,9	94,5	0,8	4,7
10	804,3	3,3	56,3	10,6	29,8	62,1	26,2	11,7	-	72,2	12,5	15,3
11	823,5	-	-	-	100	1,6	-	98,4	-	20,0	42,0	38,0
12	840,0	10,4	25,0	4,2	60,4	45,8	25,0	25,0	4,2	60,0	7,5	32,5
13	857,2	20,0	17,5	7,5	55,0	38,9	58,3	-	2,8	67,7	9,3	25,0
14	857,0	71,9	17,6	3,2	7,3	84,4	7,3	3,9	4,4	97,4	-	2,6

Re - Residencial

Co - Comercial

Mi - Mista

Out - Outros

Te - casas térreas

2Pa - Edificações menores que dois pavimentos

<5Pa -Edificações menores ou iguais a 5 pav. >5pa - Edificações maiores que 5 pav.

Edif - edificação Veg. – Vegetação

Os pontos 11 à 14 estão localizados na área central, em porções mais altas do relevo na Av. São Carlos. Entre esses, o ponto 14 (vertente norte) indica a maior porcentagem de edificação e menor porcentagem de vegetação. De acordo com a pesquisa de campo, no período de inverno, esse ponto registrou as mais altas temperaturas, durante o processo de resfriamento noturno. O ponto 14 revela ainda uma predominância para o uso residencial do solo (71,9%), em que 84,45% das

construções são térreas, 7,3% possuem 2 pavimentos, 3,9% são menores ou iguais a 5 pavimentos e 4,4 % têm mais de 5 pavimentos.

#### **4 Análise da Correlação entre Temperatura do Ar e Elementos Urbanos**

Os dados de temperatura do ar, nos diversos pontos de observação, mostraram uma elevação desta variável climática ao longo das áreas centrais (Av. São Carlos), no período da manhã e noite. Além disso, no processo de resfriamento noturno, as menores temperaturas foram registradas em locais com menores porcentagens de lotes ocupados com edificações, maiores porcentagens de vegetação e menores altitudes, ou seja, nas áreas de fundo de vale (1<sup>o</sup> ao 10<sup>o</sup> ponto de observação).

Entre as análises de regressão realizadas, para as temperaturas médias do ar e noturnas com os parâmetros físicos, as melhores correlações observadas foram com a altitude, especialmente em dias com tempo bom, sem ventos e nebulosidade, característica mais evidenciada no período de inverno. Correlações menores foram observadas entre os valores de temperatura e as porcentagens de vegetação e edificação. Contudo, apesar da limitação dos resultados, esses indicam tendências do aumento dessa variável climática com a redução da vegetação e o aumento da quantidade de edificação.

##### **4.1 Relação entre Temperatura do Ar e Elementos da Estrutura Urbana**

A análise da regressão linear entre as temperaturas médias do ar e os valores de altitude, no período de inverno, permite evidenciar uma boa correlação ( $R=0,91$ ) entre esses parâmetros. A figura 1 apresenta os resultados obtidos nos dias 19 e 20/07/96, que indicaram os melhores coeficientes de correlação. Os gráficos mostram as retas de regressão entre os parâmetros utilizados, os coeficientes da reta (a e b) e seus coeficientes de correlação.

A partir dos gráficos, pode-se observar que pontos localizados em menores altitudes (780 a 800 m) revelam temperaturas mais baixas, enquanto que temperaturas mais elevadas são indicadas pelas maiores altitudes (840 a 857). Uma boa correlação também foi verificada entre os dados de temperatura noturna do ar (às 21h) e os valores de altitude, cujos coeficientes de correlação foi na ordem de 0,92. As melhores correlações entre estes parâmetros também foram observadas nos dias 19 e 20/07/96 (figura 2). No período de verão, observou-se uma correlação menor entre esses parâmetros, em comparação aos indicados no inverno, uma vez que o coeficiente de correlação foi na ordem de 0,8.

Estes resultados mostram a forte influência da topografia nas variações de temperatura do ar em condições de tempo bom, sem nebulosidade e ventos. Condições estas em que o ar mais frio e pesado deposita-se no fundo de vale, contribuindo para as grandes diferenças térmicas entre os vários locais de medição.

As análises de regressão entre temperatura média do ar e porcentagem de vegetação, nos períodos de inverno e verão, apresentaram coeficientes de correlações na ordem de 0,82 e 0,78, respectivamente. A figura 3 mostra gráficos dos dias 13 e 20/07/96, com as melhores correlações do período, que indicam uma relação inversa entre os dados. As correlações entre temperatura noturna (21 horas) em função da porcentagem de vegetação indicaram coeficientes de correlação na ordem de 0,80,

tanto no inverno como no verão. A figura 4 mostra os melhores resultados nesses dois períodos.

Alguns pontos mais distantes da reta contribuíram para diminuir essa relação, levando a crer que efeitos localizados podem ter influenciado para o desvio. Contudo, apesar da limitação dos resultados estes apontam tendências claras do aumento da temperatura em áreas com baixas porcentagens de vegetação.

Quando analisadas as correlações entre temperatura do ar (média e noturna) e a porcentagem de edificação, observou-se uma menor correlação para esses parâmetros, tanto no período de inverno, quanto no verão. Os melhores resultados apenas evidenciam tendências para o aumento da temperatura com o aumento da porcentagem de edificação, em condições de tempo bom, sem ventos, chuva e nebulosidade.

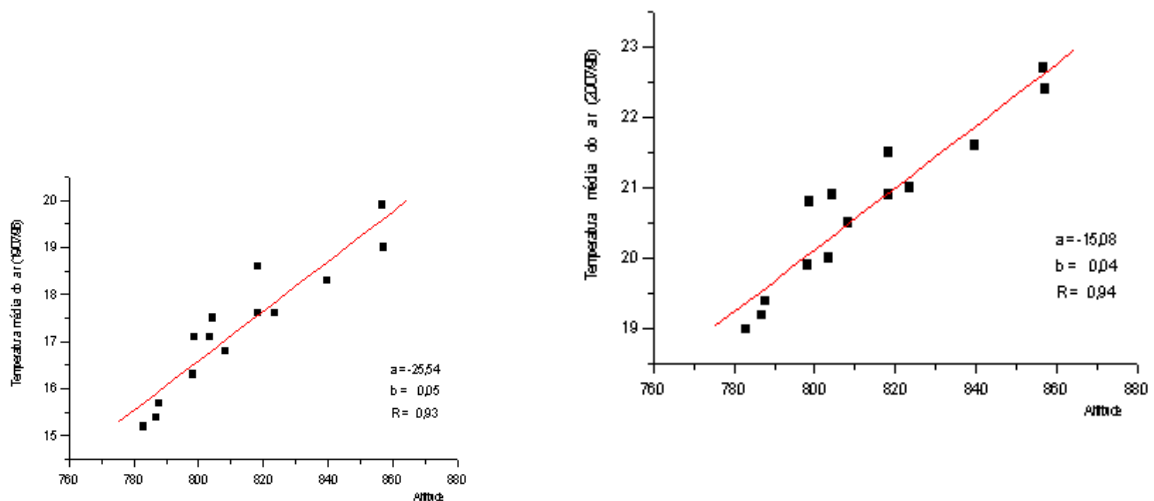


FIG.1 Gráficos da temperatura média do ar em função da altitude nos dias 19 e 20/07/96

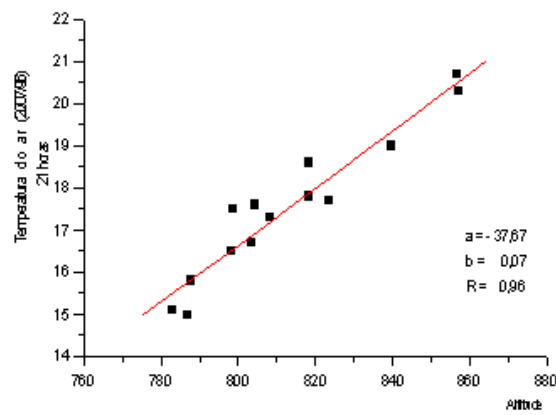
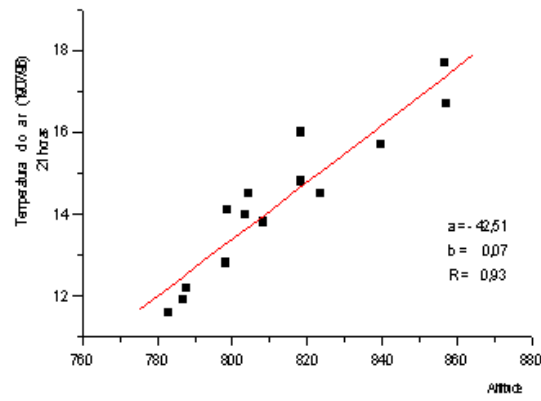


FIG.2 Gráficos da temperatura noturna do ar em função da altitude nos dias 19 e 20/07/96

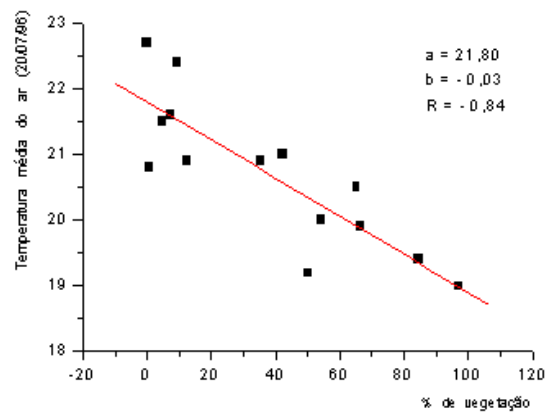
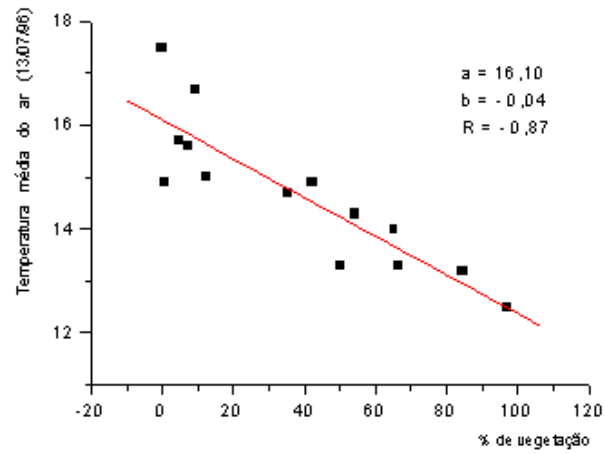
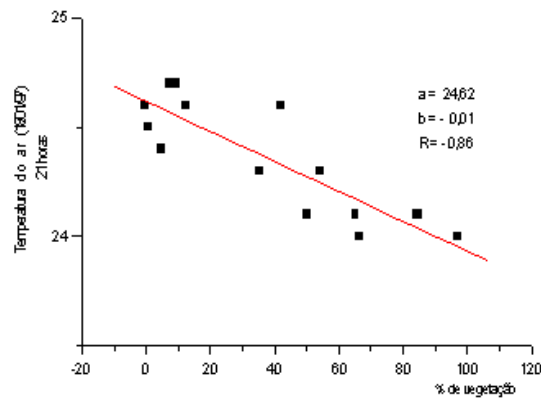
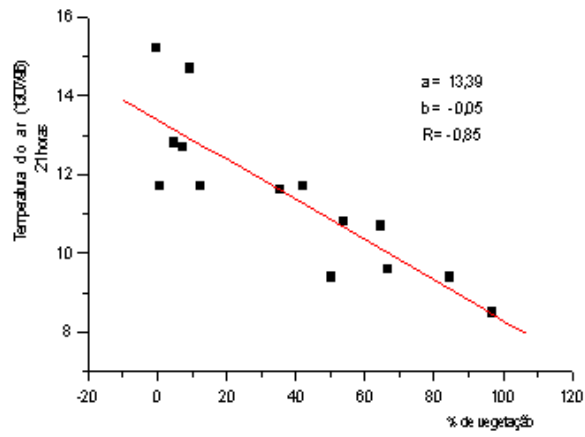


Fig.3 Gráficos da temperatura média do ar em função da porcentagem de vegetação no dia 13 e 20/07/96





**Fig.4 Gráfico da temperatura noturna do ar em função da porcentagem de vegetação nos dias 13/07/96 e 18/01/97**

## 4 Conclusão

Os resultados apresentados mostram que entre os elementos da estrutura urbana que contribuíram para as maiores variações climáticas, as diferenças altimétricas desempenharam um papel fundamental, pois foram observadas correlações importantes entre as temperaturas e as altitudes de cada ponto, em dias com céu limpo e ar calmo. Correlações menores foram reveladas entre as porcentagens de vegetação e edificação com os valores de temperaturas. Contudo, essas indicaram tendências para o aumento da temperatura com uma menor porcentagem de vegetação e uma maior porcentagem de edificação.

Estas constatações evidenciam a importância da variação altimétrica na caracterização de diferenças térmicas significativas no ambiente urbano de São Carlos. Vale salientar, que as zonas de diferentes pressões no meio urbano contribuem para a movimentação do ar e conseqüentemente à amenização climática e diminuição do fenômeno ilha de calor.

Portanto, a forte presença de áreas de fundo de vale na cidade de São Carlos –SP, com grande quantidade de áreas com vegetação, deveriam ser preservadas da especulação imobiliária, com o fim de evitar prejuízos ao meio e a população em termos climáticos, assim como em casos de enchentes, uma vez que servem de drenagem à zona urbana.

## 5 Referências Bibliográficas

BITAN, A. ( 1992): The high climatic quality city of the future. Atmosphere Environmental, vol 26B, nº 3, pp. 313-329.

BRÜNDL, W. (1988). Climate function maps and planning. Energy and Buildings, nº 11, pp. 123-127.

FIBGE - FUNDAÇÃO INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (1993). Sinopse preliminar do censo demográfico de 1991 - Brasil. Rio de Janeiro , FIBGE.

FONTES, M.S.G.C. (1998): Efeito climático das áreas de fundo de vale no ambiente urbano: o caso de São Carlos – SP. São Carlos, 122p. Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HASENACK, H. & BECKE, V.L. (1986): Comparação entre dois métodos de medida móvel de temperatura em ambiente urbano. Geografia. 11 (22), pp.137-141.

YOSHINO, M. (1990/91): Development of urban climatology and problems today. Energy and Buildings, 15-16, pp.1-10

KATZSCHNER, L (1998): Designation of urban climate qualities and their implementation in the planning process In: PLEA INTERNATIONAL CONFERENCE "ENVIRONMENTALLY FRIENDLY CITIES", Lisboa/Portugal. Proceedings, pp.75-78.