

APLICAÇÃO DE ÍNDICES E PARÂMETROS PARA IDENTIFICAÇÃO DE LOCAIS PROPÍCIOS A FORMAÇÃO DE ILHAS DE CALOR, CASO DE SÃO CARLOS-SP, BRASIL.

J. A. Azevedo; L. C. L. Souza

RESUMO

O objetivo deste estudo é avaliar a influência de alguns índices da morfologia urbana na formação de ilhas de calor na cidade de São Carlos-SP, Brasil. Para tal a metodologia adotada teve como etapas: inventário, revisão bibliográfica e trabalho de campo. Para o trabalho de campo, foram definidos 3 pontos de controle e então realizada uma coleta de dados de campo para obtenção de dados referentes a alturas e áreas. Esses dados foram inseridos em um SIG e calculados índices morfológicos tais como taxa de ocupação, índice de aproveitamento, altura média das quadras e o fator de visão do céu. Foram realizadas medidas de temperatura do ar nos pontos selecionados, registradas em data-loggers de hora em hora. Pode-se observar que existe a ocorrência de ilha de calor em dois pontos, e que esta varia linearmente com a altura média das quadras e índice de aproveitamento.

1 INTRODUÇÃO

As cidades apresentam condições climáticas muito diferenciadas das áreas circunvizinhas, fato que está segundo diversos autores como Monteiro (1976), Lombardo (1985) e Mendonça *et. al.* (2003), relacionado à intensidade de urbanização, expressa em termos de espaço físico construído, que altera significativamente o clima.

Para expressar tal fato, Landsberg (1981) mostrou algumas diferenças significativas dos dados climáticos no ambiente urbano e rural, permitindo uma visualização das alterações dos parâmetros físicos produzidos pela ação humana. Essas alterações variam de cidade para cidade, em virtude da intensidade de uso do solo, do processo de crescimento urbano e das características geocológicas do local.

A temperatura urbana é um dos principais fatores a sofrer influência das modificações ocorridas nas cidades, sendo afetada pelo balanço de radiação. A radiação solar incidente nas superfícies urbanas é absorvida e transformada em calor sensível. Essa radiação atinge telhados, paredes e solo, elevando as temperaturas dessas superfícies, que também passam a emitir calor por radiação de ondas longas. Esta pode ser bloqueada nas camadas baixas da cidade, devido à verticalização, levando a um balanço de radiação positivo e consequentemente a formação da ilha de calor.

O objetivo deste estudo é avaliar a influência do fator de visão do céu, taxa de ocupação, índice de aproveitamento e altura média das quadras, na formação de ilhas de calor na cidade de São Carlos-SP, Brasil, tendo como finalidade o planejamento climático da cidade.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Ilhas de Calor

Segundo Barbirato *et. al.* (2007), das modificações climáticas produzidas pela cidade, a mais evidente e estudada é a ilha de calor, fenômeno próprio das cidades, resultantes do processo de urbanização e características peculiares ao meio urbano. Ocorre especialmente em noites claras, de 2 a 5 horas, após o por do sol, quando as cidades apresentam temperaturas maiores que o meio rural ou menos urbanizado, que a rodeia. Durante o dia, para condições de céu nublado e chuva, a ilha é mais fraca. O local de seu maior desenvolvimento coincide, com frequência, com o centro das cidades, onde as construções formam um conjunto mais densificado. Ainda citando Oke (1981), esse esclarece que o balanço total de radiação entre a área urbana e rural, é uma das principais causas da ilha de calor, em virtude da baixa taxa de resfriamento durante a noite.

Para Oke (1981), a formação da ilha de calor é resultado de vários aspectos da urbanização. São eles: a poluição do ar, que gera um aumento da radiação de ondas longas emitidas pela atmosfera, o calor antropogênico (desprendido no processo de combustão); as superfícies impermeáveis (aumento do calor sensível); as propriedades térmicas das superfícies (aumento da admitância térmica das superfícies e materiais construtivos, aumentando o calor acumulado durante o dia e desprendido durante a noite); e a geometria das superfícies, que causam o aumento da absorção de ondas longas, devido à retenção entre as edificações, à diminuição da perda de calor por turbulência causada pela estagnação entre as edificações e à diminuição da perda da radiação por ondas longas do espaço entre edificações, através da redução da área de céu visível.

No que se refere às ilhas térmicas, em especial, as ilhas de calor urbanas, Lombardo (1985), afirmou que estas correspondem a uma área na qual a temperatura da superfície é mais elevada que as áreas circunvizinhas, o que propicia o surgimento de circulação local.

2.2 As escalas do clima urbano

Oke (2004) afirma a convenção de três escalas horizontais de interesse urbano, a microescala, a escala local e a mesoescala, além das três camadas verticais, já citadas, encontradas em áreas urbanas: a camada intra-urbana, ou a escala da cobertura urbana, a camada limite urbana e a subcamada de rugosidade.

Lombardo (1985) lembra que a camada intraurbana abrange principalmente o microclima (microescala) abrangendo do solo até, aproximadamente, o nível das coberturas das edificações (podendo desaparecer totalmente em grandes espaços abertos). A camada limite urbana equivale à escala mesoclimática, situando-se imediatamente acima da camada de cobertura urbana e com características influenciadas pela presença da cidade.

A camada intraurbana possui como principal unidade o canyon urbano, que se forma entre as edificações (refere-se ao volume de ar delimitado pelas paredes e o solo entre dois edifícios adjacentes, e as interreflexões produzidas nas superfícies que o compõe). Devido à existência deste, é que se torna necessário o estudo de fatores como orientação, relação entre larguras das vias e altura das edificações e os materiais de construções utilizados, com finalidade de aplicação no planejamento.

2.3 Índices e parâmetros urbanos que podem influir no clima urbano

Segundo Romero (2001) a concepção arquitetural do bioclimatismo está orientada pelo desenho urbano, sendo que, esta concepção é antes de tudo uma interação de vários elementos - climáticos, do lugar, de uma cultura - com a finalidade de criar ou recriar ambientes urbanos.

Segundo a mesma autora ainda, na arquitetura bioclimática, é o próprio ambiente construído que atua como mecanismo de controle das variáveis do meio, através de sua envolvente (paredes, pisos, coberturas), seu entorno (água, vegetação, sombras, terra) e, ainda, através do aproveitamento dos elementos e fatores do clima para melhor controle do vento e do sol.

Barbirato *et. al.* (2007) destaca a importância desta área para consideração dos processos climáticos oriundos do meio externo imediato na adequação climática das edificações, de modo a otimizar as condições de conforto térmico dos usuários e reduzir o consumo de energia através da utilização mais racional dos meios naturais de condicionamento.

Os principais fatores condicionantes do clima urbano, agindo como atributos bioclimatizantes da forma urbana, segundo Romero (2001) são: porosidade, rugosidade, áreas densamente construídas, tamanho da cidade, uso e ocupação do solo, orientação e largura das ruas, cobertura do solo e propriedades dos materiais urbanos, altura dos edifícios e efeitos da vegetação no clima urbano.

2.4 Taxa de Ocupação, Índice de Aproveitamento, Fator de Visão do Céu e Altura Média das Quadras

De acordo com Givoni (1998) a densidade das várias áreas construídas numa cidade afeta o clima local em cada uma das áreas urbanas. As edificações modificam principalmente as condições dos ventos, o balanço de radiação, e a temperatura do ar. Portanto, a fração de solo coberto por edifícios num determinado local é um fator relevante na avaliação do efeito da urbanização no clima.

A distância entre os edifícios, explica o autor, afeta as condições de ventilação externa e internamente. Sabe-se que o aumento na densidade da área construída reduz o fluxo de ar na área urbana, como resultado da maior rugosidade e conseqüente fricção próxima do solo.

No espaço densamente construído, a trajetória da radiação solar incidente nos edifícios é complexa. Uma parte significativa da entrada de radiação chega às coberturas acima do nível do solo, somente uma pequena parte chega ao solo. O tamanho dos edifícios, com pequena distância entre eles, faz com que a quantidade de radiação solar incidente nas ruas e em outras áreas abertas dos edifícios seja pequena. A radiação que incide nas fachadas dos edifícios é parcialmente refletida nas paredes dos edifícios vizinhos. No final desse processo, apenas uma pequena parte da radiação solar incidente nos edifícios é refletida para o céu, enquanto a maioria é absorvida pelas paredes das construções e, de acordo com a cor de cada edificação, pode ser emitida de volta ao céu no final da tarde ou à noite (Givoni, 1998).

Como a perda de calor por radiação é o fator principal do processo de resfriamento do solo e do ar que o circunda durante à noite, o resultado da insatisfatória descarga de radiação do espaço urbano abaixo do nível das coberturas é expresso primeiramente pelo lento resfriamento da área urbana durante a noite em comparação com a área rural. Portanto, quanto mais densa é a área construída menor é a taxa de resfriamento noturno, e essa é uma das maiores causas da formação das “ilhas de calor”.

Em termos gerais, uma forma de se obter uma aproximação da densidade urbana, como proposto por Sorano (2009), é através de índices urbanísticos usualmente empregados pelos órgãos públicos em aprovação de projetos, mas que normalmente não são associados ao comportamento térmico da cidade. Esta autora procurou estabelecer uma relação entre temperaturas e índices como: taxa de ocupação e índice de aproveitamento.

A taxa de ocupação representa a porcentagem do terreno que pode ser ocupada pela projeção da edificação, não dependendo diretamente do número de pavimentos. Já o índice de aproveitamento é um número que, multiplicado pela área do terreno, indica a quantidade máxima de metros quadrados que podem ser construídos, somadas as áreas de todos os pavimentos.

Givoni afirma que a intensidade da perda de radiação por ondas longas no período noturno, no qual se tem com maior frequência a formação de ilhas de calor, depende da porção do céu na qual ela é descarregada, ou seja, a fração do céu que a parede e a rua “vêem”, ou seja, o Sky View Factor (Fator de Visão do Céu).

Para Souza *et.al.* (2008) o fator de visão do céu representa uma estimativa da área visível do céu a partir de um ponto de observação na malha urbana, sendo definido como a razão entre a radiação total recebida por uma superfície plana e aquela recebida por todo o ambiente radiante. É, portanto, um parâmetro adimensional da quantidade do céu visível em um ponto. Desta forma a área resulta de limites impostos pelos elementos urbanos e suas interrelações. O fator de visão do céu é uma das principais causas da ilha de calor urbana, porque o resfriamento das superfícies terrestres é proporcional à área de céu visível a partir desta superfície.

Segundo Souza *et. al.* (2007), a grandeza do fator de visão do céu varia de 0 (nenhum visibilidade do céu) a 100 (100% de visibilidade do céu). Quanto maior a área visível, maior a parcela de luz natural disponível. Entretanto pode também representar um maior acesso solar, levando a uma maior recepção de energia térmica.

Sob condições urbanas a maior parte da abóbada celeste vista por uma superfície vertical está obstruída por outros edifícios. Desta forma, a troca de radiação por ondas longas entre as superfícies verticais não resulta numa significativa perda de calor. A maior parte da radiação emitida por paredes ou pelo solo em áreas densamente construídas é reabsorvida por outras paredes, conseqüentemente, a perda por radiação de ondas longas resulta apenas num pequeno resfriamento do espaço próximo ao nível do solo.

Logo, este fator por determinar qual o índice de perda de radiação, de acordo com o quanto densa é uma área, define mais um parâmetro a ser utilizado na determinação de locais com maior ou menor probabilidade para a formação de ilhas de calor em microescala.

3 ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa tem como área de estudo a cidade de São Carlos localizada no município de São Carlos, que se encontra no interior do estado de São Paulo, entre as coordenadas 47° 30' e 48° 30' Longitude Oeste, e 21° 30' e 22° 30' Latitude Sul.

O município possui população estimada em 218.080 habitantes (IBGE/2008), distribuídos em uma área total de 1.141 km², e é o 14^a maior município do interior do estado em número de residentes.

Está a uma altitude média de 856 metros e conta com um clima tropical de altitude Cwa, pela classificação de Köppen (1936) que determina um clima com verões quentes e invernos secos. Os ventos predominantes são nordeste, seguidos de ventos sudeste.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização do trabalho foram utilizados os seguintes materiais: ArcGIS 9.3, plataforma ArcView com a extensão 3DSkyView incorporada para determinar o fator de visão do céu, base cartográfica cadastral (Laboratório de Geoprocessamento do Departamento de Engenharia Civil – DeCIV/UFSCar), dados climáticos (Estação Automática do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada na área rural), e data loggers (HOBO® H8 Pro/Temp/External Temp H08-031-08 – UNESP Bauru).

Após partiu se para uma revisão bibliográfica a cerca do assunto estudado, seguindo para os procedimentos de campo.

Foram definidos 3 pontos de controle e então realizado uma coleta de campo, no dia 14/10/2009 para obtenção de dados referentes a alturas e áreas. Os 3 pontos foram escolhidos de forma que os 3 se encontrassem em uma mesma altitude e próximos (em uma mesma classe social e padrão de consumo) para assim não se ter nos resultados a influencia da topografia e do padrão de consumo nos resultados, e sim, exclusivamente das características da morfologia urbana.

Os dados obtidos em campo foram incorporados no ArcGIS 9.3, e então aplicados os cálculos de taxa de ocupação e índice de aproveitamento nos pontos de controle. Por fim foram inseridos na plataforma Arc View e acionada a extensão 3DSkyView para obtenção do fator de visão do céu.

Nos dias 16/10/2009 e 17/10/2009 foram realizadas medidas de temperatura nos pontos selecionados, na estação de primavera, registradas nos data loggers de hora em hora. Os pontos de controle escolhidos foram selecionados próximos uns dos outros (Figura 1), para evitar a interferência da topografia, que é tida na literatura como de importante relevância para o clima urbano. Simultaneamente, dados disponibilizados pela estação do INMET foram registrados como dados de referência da área externa ao ambiente urbano. Assim, foi possível comparar os dados rurais com os dados urbanos para a verificação da existência de ilhas de calor.

O motivo de se ter um reduzido número de pontos de controle e de dias de análise são pelo fato de se tratar de um estudo piloto, parte de uma dissertação que fará análise nos mesmo três pontos em 3 momentos distintos, durante 7 dias ininterruptos sem chuva.

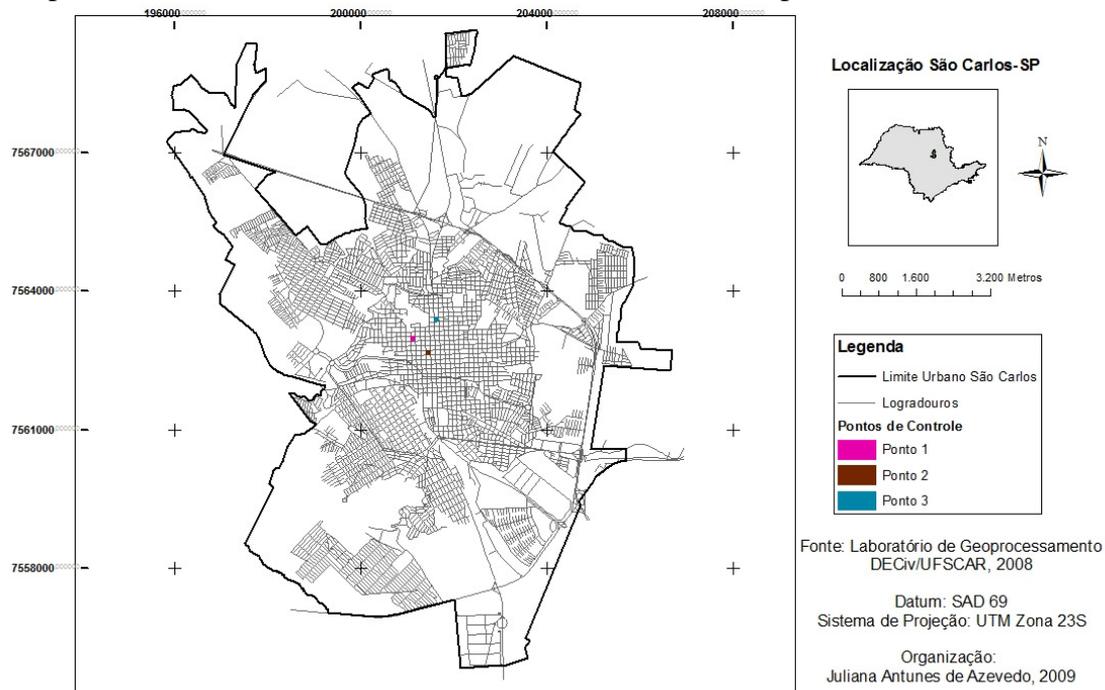


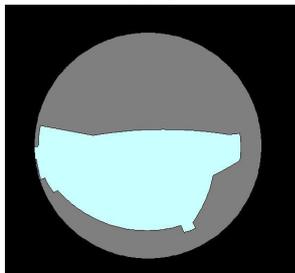
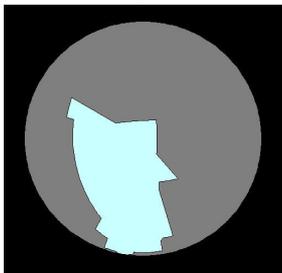
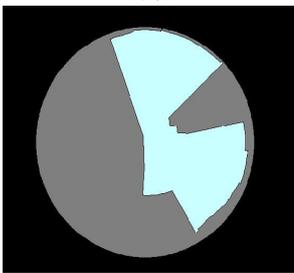
Figura 1. Localização pontos de controle

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos são apresentados na tabela 1, caracterizando cada um dos índices morfológicos estudados nos pontos de controle.

Tabela 1 Dados obtidos em campo

	Ponto 1	Ponto 2	Ponto 3
Índice de Aproveitamento	0,92	1,64	2,34
Taxa de Ocupação	0,53	0,46	0,49
Altura Média (m)	5	10,63	16

	59%	45%	47%
Fator de Visão do Céu			
Média diária geral(°C):	21,43	22,02	22,79
Média INMET(°C)	21,10	21,10	21,10

No que se refere a ilha de calor, nota-se sua ocorrência mais significativa nos pontos 2 e 3, junto a intensidade de comportamento linear com o índice de aproveitamento e altura média da quadra. No ponto 1, obteve-se o menor índice de aproveitamento e altura média da quadra, assim como a menor variação de temperatura em relação a estação meteorológica do INMET, não se constatando a ocorrência da ilha de calor.

A taxa de ocupação não apresentou relações claras com a formação da ilha de calor, uma vez que para o local com maior taxa de ocupação não houve sua formação, contradizendo a literatura.

O fator de visão do céu variou apenas 2% entre os pontos 2 e 3, mas, variaram 12 e 14% em relação ao ponto 1, onde não ocorre a formação da ilha. Isto pode indicar que quanto maior o fator, menor a probabilidade de formação da ilha, confirmando a literatura. Um ponto observado, é que os três pontos apresentaram geometria do fator de visão do céu, consideravelmente diferentes entre si, o que pode também influenciar a ocorrência e intensidade da ilha de calor.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Para os pontos avaliados na cidade de São Carlos, pode-se observar que existe a ocorrência de ilha de calor e que esta varia linearmente com a altura média das quadras e índice de aproveitamento.

No que se refere à taxa de ocupação, os dados apresentaram-se pouco claros, sendo necessário um maior número de amostras para uma conclusão precisa, mas a priori os pontos estudados não mostraram que para a cidade de São Carlos uma relação com a taxa de ocupação.

Quanto ao fator de visão do céu foi indicado que, maior o fator de visão do céu, menor a probabilidade de ocorrência da ilha de calor, e quanto menor o fator de visão do céu maior a probabilidade de ocorrência da ilha de calor. Entretanto não se pode observar um comportamento linear (observar pontos 2 e 3), o que foi atribuído à geometria bastante diferente entre os fatores de visão do céu.

Conclui-se que para o planejamento e avaliação climática de São Carlos, os índices de aproveitamento e altura média das quadras apresentam dados promissores, que podem ser utilizados para fins práticos. No entanto, destaca-se que devem ser feitos novos estudos com maior número de amostras para a melhor compreensão da influência da taxa de ocupação e do fator de visão do céu.

7 AGRADECIMENTOS

Agradecemos a CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo financiamento da pesquisa, àqueles que disponibilizaram espaço em suas residências para a realização das medições em campo, e a todos que de alguma forma contribuíram de com a pesquisa. Agradecemos ainda ao CNPq e a FAPESP pelos auxílios concedidos na divulgação da pesquisa.



8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARBIRATO, G. M.; SOUZA, L. C. L.; TORRES, S. C. – **Clima e cidade: A abordagem climática como para estudos urbanos.** UFAL, Maceió, 2007.

GIVONI, B. – **Climate considerations in Buildings and urban Design.** John Wiley & Sons, Inc., 1998.

LANDSBERG, H. E. - **The urban climate.** Academic Press, New York, 1981.

LOMBARDO, M. A. – **A ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo.** Hucitec, São Paulo, 1985.

MENDONÇA, F.; MONTEIRO, C. A. F. - **Clima urbano.** Contexto, São Paulo, 2003.

MONTEIRO, C. A. F – **Teoria e Clima Urbano.** Tese de Doutorado. São Paulo: 1976.

OKE, T. R. – **Boundary Layer Climates.** London: Routledge, 1981.

OKE, T. R. – **Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites.** World Meteorological Organization (WMO) Report, 2004.

ROMERO, M. A. B. - **Arquitetura Bioclimática do Espaço Público** 1.ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2001.

SORANO, E. C. - **Ergonomia de quadras urbanas: condição térmica do pedestre.** Bauru: UNESP, 2009.

SOUZA, L. C. L.; YAMAGUTI, M. L. - **Orientation, Building Height and Sky View Factor as Energy Efficiency Design Parameters.** *PLEA*, Singapura, 2007.

SOUZA; L. C. L; NAKATA; C. M.; POSTIGO; C. P.; SORANO, E. C. – **Ambiente Térmico do Pedestre.** *PLURIS*, Santos, 2008.