



AVALIAÇÃO DO EFEITO DAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS LOCAIS NOS GRAUS DE CONFORTO E NO CONSUMO DE ENERGIA EM EDIFICAÇÕES

Eduardo L. Krüger (1); Lucimeire P. de Lima (2)

(1) Programa de Pós-Graduação em Tecnologia - Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná, PPGTE/CEFET-PR, Avenida Sete de Setembro, 3165 Curitiba - PR

CEP 80.230-901 Tel.: (41) 310-4723 Fax 41 310 -4712, e-mail: krueger@ppgte.cefetpr.br

(2) Mestranda do PPGTE/CEFET-PR, email: lucimeirepl@hotmail.com

RESUMO

Este artigo procura avaliar o efeito de diferentes condições climáticas dentro de um perímetro urbano, no caso a cidade de Curitiba, para a obtenção de conforto térmico e, conseqüentemente, quanto ao gasto de energia elétrica com mecanismos de resfriamento ou aquecimento das construções. Utiliza um método de cálculo bastante simples, que pode ser útil para o projeto de edificações termicamente confortáveis, em diferentes climas. O uso deste método, com dados de localidades diferentes numa mesma cidade, que tiveram suas características urbanas estudadas, pode auxiliar na proposição de diretrizes urbanísticas mais adequadas a um clima urbano mais ameno. Baseia-se em dois conjuntos de medições independentes que foram relacionados no estudo. O primeiro, feito em 5 localidades, em diferentes bairros de Curitiba e o segundo medido em três tipologias construtivas.

ABSTRACT

The purpose of this paper is to evaluate the effect of different climatic conditions within an urban array in the city of Curitiba, on thermal comfort levels and consequently on the energy consumption for the artificial climatization of buildings. A simplified method is used for such evaluation, which can prove to be useful for planning comfortable dwellings under different climatic conditions. The results, which take into account climatic conditions of different regions of the city as input data for the calculations, may help the proposition of urban directives, which are more adequate to a better urban climate. The input data are based on two independent monitoring data sets, which were considered in this study. The first, regarding temperature data of 5 regions of the city and the second, related to 3 different monitored buildings.

1. INTRODUÇÃO

As temperaturas em áreas urbanas densamente construídas geralmente são mais altas que nas áreas rurais; fenômeno conhecido como ilha de calor. Esta elevação de temperatura nas áreas urbanas tem sérios impactos nas demandas de eletricidade para o condicionamento de construções e na ocorrência de inversões térmicas. A intensidade da ilha de calor é principalmente determinada através do balanço térmico de uma região urbana e, em algumas situações, pode resultar no aumento de até 10°C (SANTAMOURIS, 1997, p.15).

O objetivo deste artigo é avaliar o impacto do clima urbano na carga de climatização necessária para desempenho de funções em níveis de conforto térmico em três tipologias de edifícios, através de método de cálculo proposto por Dornelles e Roriz (2003). Foram usados resultados de monitoramento térmico realizado por Rossi (2004) para 5 localidades de Curitiba, nos meses de junho e julho de 2002; e medições

da temperatura interna de três tipologias de habitação popular localizadas na Vila Tecnológica de Curitiba, coletadas por Dumke (2002).

A partir destes dois conjuntos de dados, de clima urbano e de temperaturas internas de tipologias construtivas, pôde-se relacionar a forma urbana ao consumo de energia em determinada localidade. A intenção foi submeter as tipologias construtivas, das quais já se tinha informações quanto a sua inércia, a diferentes micro-climas, estimando as temperaturas internas que seriam registradas nestas tipologias caso fossem submetidas a essas novas condições. A partir das temperaturas estimadas, o próximo passo foi o cálculo da quantidade de energia necessária para a climatização dos ambientes.

2. MEDIÇÕES DE TEMPERATURA EM LOCALIDADES DE CURITIBA

Foram realizados monitoramentos de temperatura externa em 5 localidades da cidade de Curitiba entre 20 de junho e 18 de julho de 2002, num total de 29 dias. O equipamento utilizado constitui-se de aparelhos do tipo *data loggers* HOBO, instalados a 10 m de altura, nas fachadas Sul de edificações padrão (ROSSI, 2004). Neste artigo foram utilizados os dados de 6 localidades monitoradas, situadas nos bairros: Cajuru, Fazendinha, Portão, São Brás e São Lourenço, de características de uso e ocupação do solo diversas.

3. CARACTERÍSTICAS DOS BAIRROS

A caracterização dos bairros foi feita de duas formas: uma análise qualitativa e uma análise quantitativa. A análise quantitativa foi feita através da obtenção de porcentagens dos tipos de ocupação do entorno de cada ponto monitorado, através da análise de fotos aéreas, dos anos de 1999 e 2000. As fotos foram georeferenciadas através do *software* ArcGis, ficando com escala e orientação corretas e vetorizadas utilizando o *software* AutoCad (para calcular as áreas de cada tipo de ocupação). Estabeleceu-se cinco tipos de ocupação: área de água (piscinas, rios, córregos e lagos), área construída, área livre (gramados, plantações e terra), área pavimentada (área impermeabilizada) e área verde (matas e bosques). Estas áreas foram quantificadas em metros quadrados e em porcentagens, num raio de influência de aproximadamente 125m, o que corresponde a uma área de 49.000 m² (ROSSI, 2004). A instalação do equipamento a 10 m de altura foi por medida de segurança, já que as medições foram feitas externamente e em locais públicos.

A análise qualitativa baseou-se na observação da ocupação do entorno imediato de cada ponto de medição no momento de instalação dos aparelhos, levando em consideração a densidade e a tipologia das construções, o tipo de pavimentação e a existência de arborização nas vias e a intensidade do tráfego de automóveis.

A tabela 1 mostra resumidamente algumas características qualitativas e quantitativas das 3 localidades monitoradas por Rossi.

Tabela 1 - Características das localidades monitoradas por Rossi (2004)

Localidades	Ocupação	Altitude (m)	% área construída	% área verde	% área pavim.	% área livre
Cajuru	Baixa	923	24,51	0	24,17	51,32
Fazendinha	Média	923	25,76	6,49	43,33	24,42
Portão	Alta	932	22,23	11,1	31,2	35,47
São Brás	Média	990	24,56	10,2	12,98	52,26
São Lourenço	Baixa	993	13,2	17,49	26,88	42,43

4. MEDIÇÕES NA VILA TECNOLÓGICA

A Vila Tecnológica de Curitiba possui 120 casas de diferentes sistemas construtivos, sendo 100 ocupadas por famílias de baixa renda e 20 destinadas à visitação pública. Foi a primeira a ser construída no Brasil, em 1994, fazendo parte de um programa nacional que visava atender à demanda de moradia, com maior qualidade e menor custo (DUMKE, 2002).

Foram feitas medições de temperatura e umidade relativa no inverno e no verão, de 15 em 15 minutos; sendo monitoradas 591 horas (cerca de 24 dias) entre 9 de julho e 3 de agosto de 2000 e 690 horas (29 dias aproximadamente) entre 12 de dezembro de 2000 e 10 de janeiro de 2001. Utilizaram-se sensores do tipo HOBO-TEMP E HOBO-RH-TEMP (*Data Loggers* da *Onset Computer Corporation*), instalados a uma altura de 2,20m do piso, num ponto central das moradias.

Além das medições em 18 diferentes sistemas construtivos, foram realizadas medições de temperatura externa, através de dois sensores instalados sob o beiral de uma das habitações, na fachada sudeste, devidamente protegidos da radiação solar através de recobrimento com papel alumínio.

Escolheu-se três sistemas construtivos diferentes para a aplicação do método proposto neste artigo: Andrade Gutierrez, Batistella e COHAB-PA. A primeira e a última apresentaram respectivamente o melhor e o pior desempenho térmico em termos de porcentagens de horas na zona de conforto para o período de inverno, na comparação com as demais moradias monitoradas por Dumke (2002). A escolha do sistema Batistella se deve ao material utilizado nas paredes ser diverso dos utilizados nas outras duas, conforme mostra a tabela 2.

Tabela 2 -Características das tipologias monitoradas por Dumke (2002)

Características	Andrade Gutierrez	Battistella	COHAB - PA
Material paredes	Blocos solo-cimento	Painéis verticais de madeira	Blocos cerâmicos sem argamassa
Espessura paredes	11 cm	1,5 cm	10,5 cm e 11,3 cm (fachada Nordeste)
Área total	36,60 m ²	36,40 m ²	31 m ²
Transmitância paredes	3,18 W/m ² °C	3,82 W/m ² °C	2,55 W/m ² °C
Transmitância coberturas (perdas)	2,80 W/m ² °C	3,75 W/m ² °C	3,75 W/m ² °C
Área ventilação (total)	5,4 m ²	5,9 m ²	4,6 m ²
Fluxo de ar	0,33 m ³ /s	0,30 m ³ /s	0,26 m ³ /s

O primeiro sistema é construído em alvenaria de blocos vazados de solo-cimento intertravados e encaixados, sem argamassa de assentamento e sem revestimento. Apenas externamente foi aplicado um impermeabilizante, verniz 100% acrílico, ficando as paredes na cor natural dos tijolos (terracota). As esquadrias são metálicas, pintadas de azul escuro, de abrir, com vidro de 3 mm, voltadas para as faces Sudeste, Sudoeste e Noroeste. As janelas do banheiro e da cozinha são basculantes, voltadas para Sudeste. Há duas portas externas de chapas dobradas, nas fachadas Noroeste e Sudeste. Piso de cimento alisado e queimado nas áreas molhadas sobre contrapiso de concreto simples de 5 cm de espessura. O ático não é ventilado, com forro de lambril de Pinho e telhas cerâmicas (francesas).

O segundo é formado de módulos e componentes de madeira de reflorestamento com tratamento em autoclave, da espécie *Pinnus taeda*, com cores externas camurça e bege. Possui janelas de madeira e do tipo guilhotina, com vidro simples (3mm), voltadas para as faces Sudeste e Nordeste, exceto a janela do banheiro, que é basculante e voltada para Noroeste. As portas externas são de madeira maciça e voltadas para Noroeste e Sudoeste. O piso é de cimento alisado sobre contra-piso de concreto. Possui forro de placas de madeira maciça reconstituída, ático ventilado e é coberto por telhas de fibrocimento 5mm, cor cinza.

O último caracteriza-se pelo uso de blocos cerâmicos intertravados, sem a utilização de argamassa de assentamento. As paredes são constituídas de tijolos cerâmicos vazados (20 x 20 x 10cm) com furos no sentido vertical, apoiadas em pilares localizados nos cantos da casa. Existe uma cinta de amarração de concreto de 10 x 15cm sobre a última fiada de tijolos. Foi aplicado reboco interno e na fachada Nordeste. Possui uma janela de abrir de madeira, em duas folhas, coberta pela varanda e com pouca área de vidro.

As outras aberturas são basculantes, de perfis de ferro e estão localizadas nas fachadas Sudeste e Sudoeste. O piso é cerâmico assentado sobre camada impermeável de concreto ciclópico. Forro de lambril de Pinho de 1cm, com tesouras de madeira. O ático é ventilado, possui altura média de 83cm com ventilação de 10cm, em toda extensão e a cobertura é de telhas cerâmicas em sua cor natural.

5. MÉTODO DE PREDIÇÃO DE CONSUMO DE ENERGIA

O primeiro passo deste estudo foi encontrar os dias representativos de cada uma das sete localidades de Curitiba, medidas por Rossi. Isto foi feito através da análise das temperaturas mínimas diárias medidas, à procura dos dias em que se verificava as maiores correlações entre mínimas em cada ponto e padrões de ocupação. Foram escolhidos os dias 7, 8 e 9 de julho, que apresentavam as seguintes condições sinóticas: FPA, Pat e Pat (FPA - Frente Polar Atlântica, Pat - Massa Polar Atlântica Tropicalizada) a partir dos quais foram obtidos os dias médios das temperaturas externas.

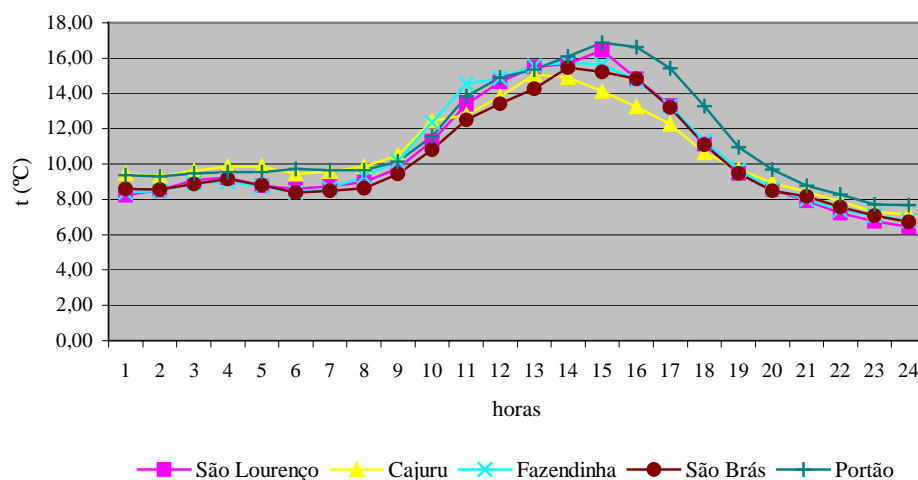


Figura 1 - Dias médios para as 5 localidades

O mesmo procedimento foi feito para calcular os dias médios para os três sistemas construtivos em estudo, tanto para as temperaturas externas, quanto para as temperaturas internas. Neste caso, escolheu-se dias estáveis, em que se verificava um padrão semelhante da evolução diária das temperaturas.

A partir do método proposto por Dornelles e Roriz (2003) é possível obter uma relação entre as temperaturas internas e externas, que expressa o grau de amortecimento dos materiais constituintes dos edifícios. O primeiro passo é calcular o fator de variação da temperatura interna em cada hora. Com este fator é possível estimar as temperaturas internas se a edificação fosse submetida ao novo clima. A seguir as equações utilizadas neste procedimento:

$$FTIh = (TIh - TEmin) / Aext \quad (\text{adimensional}) \quad [\text{Eq. 1}]$$

$$TICH = TEmin' + FTIh \times Aext' \quad (^\circ \text{C}) \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde:

h = hora do dia (entre 0 e 24)

FTIh = Fator de variação da temperatura interna na hora “h” (adimensional)

TIh = Temperatura interna na hora “h” (° C)

TEmin = Média das temperaturas mínimas externas (° C)

Aext = Amplitude média das temperaturas externas = TEmax - TEmin (° C)

TICH = Temperatura interna corrigida (hora “h”) (° C)

$T_{emin}' =$ Média das temperaturas mínimas externas do clima novo ($^{\circ}C$)

$A_{ext}' =$ Amplitude média das temperaturas externas do clima novo ($^{\circ}C$)

Com a estimativa das temperaturas dos sistemas construtivos para os climas estudados por Rossi, pôde-se avaliar a quantidade de energia necessária para a obtenção de conforto através do somatório dos graus que excedem ou estão aquém da faixa de temperatura confortável para o ser humano. Foram considerados os limites de temperaturas indicados por Givoni (1998), faixa de temperaturas de conforto térmico para países em desenvolvimento, sendo o limite superior $29^{\circ}C$ e o inferior $18^{\circ}C$.

Calculou-se então, os somatórios de graus-hora considerando os limites de temperatura entre $18^{\circ}C$ e $29^{\circ}C$ como zona de conforto, conforme Givoni. A partir destes limites, somou-se as temperaturas horárias que ficaram aquém e além destes valores, obtendo os somatórios de graus-hora para aquecimento e resfriamento, respectivamente.

Também foi calculada a taxa global de trocas térmicas para as edificações dos três sistemas construtivos, constituída pela soma das trocas por condução e por convecção.

A taxa de trocas térmicas por condução é igual a soma dos produtos entre a transmitância térmica de cada parte da envoltória da edificação (paredes, janelas, coberturas etc.) multiplicada pelas áreas das mesmas. Foram utilizados os dados apresentados por Dumke (2002), que calculou valores de transmitâncias equivalentes para as paredes, levando em consideração suas diferentes partes constituintes (vidros, chapas metálicas, das portas, janelas...). Para a transmitância da cobertura, foram utilizados os cálculos para a situação de inverno, pois foi para esse período que os cálculos foram efetuados.

A taxa de trocas térmicas por ventilação foi calculada considerando um regime de ventilação por ação dos ventos, com a média de velocidade de ventos de $2,9$ m/s incidindo na fachada leste para o mês de julho, conforme referência de Goulart et al. (1998). Para simplificação, considerou-se a ventilação por uma única abertura e a área interna sem divisões, adotando o valor total das aberturas para esta abertura hipotética.

A partir do produto da velocidade do vento pelo cosseno do ângulo de incidência na fachada leste e das reduções na velocidade devido às características de rugosidade do terreno (considerou-se área rural, com baixa densidade de ocupação), determinou-se a velocidade corrigida do vento. O fluxo de ar em cada edificação foi obtido pela equação 4:

$$F = 0,025 \cdot A \cdot v \text{ (m}^3\text{/s)} \quad [\text{Eq.4}]$$

Sendo:

$F =$ fluxo de ar, em m^3/s

$A =$ área de abertura (m^2)

$v =$ velocidade do vento corrigida (m/s)

A taxa de trocas térmicas por convecção é dada pela equação 5:

$$q_v = 0,33 \cdot N \cdot V \text{ (W/}^{\circ}C) \quad [\text{Eq.5}]$$

Onde:

$q_v =$ taxa de trocas térmicas por convecção ($W/^{\circ}C$)

$N =$ número de trocas de ar por hora

$V =$ volume do ambiente (m^3)

Para calcular o número de trocas térmicas por hora, basta relacionar o fluxo de ar com o volume da edificação. Por fim, somou-se as trocas térmicas por condução e por convecção e obteve-se a taxa global de trocas térmicas, que multiplicada pelos graus-hora (GH) representa a energia de refrigeração ou de aquecimento necessária para se obter conforto nos ambientes estudados, como mostra a equação 6 (SZOKOLAY, 1987):

$$E_{\text{ref ou aquec}} = q \cdot GH \text{ (Wh/dia)} \quad [\text{Eq. 6}]$$

$E_{\text{ref ou aquec}}$ = energia de refrigeração ou aquecimento para obtenção de conforto (Wh/dia)

q = taxa global de trocas térmicas (W/°C)

GH = graus-hora (°Ch/dia)

Aplica-se a equação 6 sobre o calor necessário para obtenção de conforto térmico nas moradias, para cada uma das 5 localidades. A tabela 3 mostra os valores para a localidade São Lourenço, como exemplo:

Tabela 3 - Estimativas de energia necessária para estabelecer o conforto nas moradias, se estivessem localizadas no bairro São Lourenço.

Tipologia	Calor [°Ch/dia]	q [W/°C]	Energia para aquecimento [Wh/dia]	Área [m ²]	Energia para aquecimento [Wh/m ² .dia]
Andrade Gutierrez	139,63	414,62	57891,25	36,60	1581,73
Battistella	110,46	475,23	52493,80	36,40	1442,14
COHAB -PA	179,97	360,56	64889,43	31,00	1297,79

6. SISTEMAS CONSTRUTIVOS E LOCALIDADES

A figura 2, a seguir, mostra o gráfico das temperaturas internas na tipologia Andrade Gutierrez, obtidas pelo método descrito acima, se esta estivesse localizada em cada uma das localidades escolhidas.

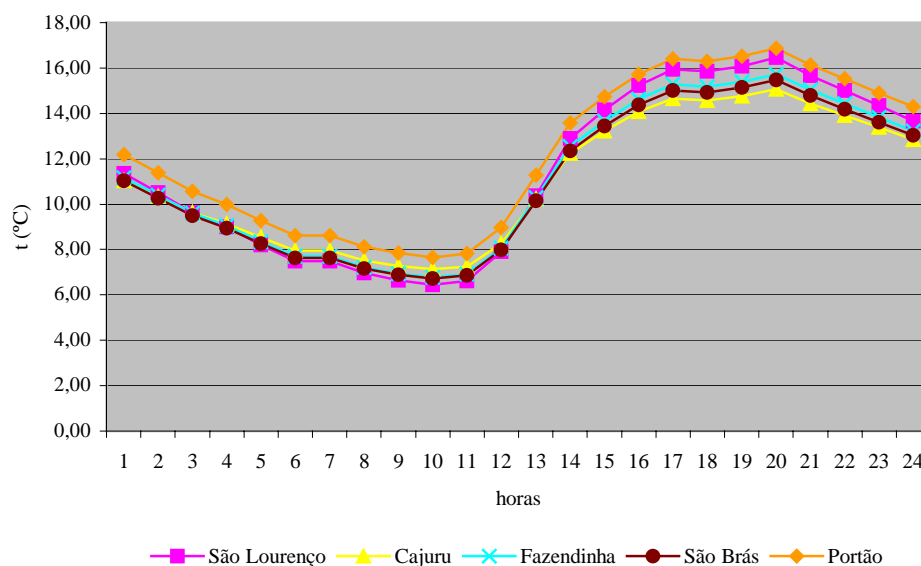


Figura 2 - Temperaturas internas estimadas para a tipologia Andrade Gutierrez

Pode-se observar que a localidade que apresentou as temperaturas mais altas foi o Portão. As menores temperaturas apareceram divididas entre as localidades: São Lourenço e Cajuru, padrão verificado também para as outras duas tipologias.

Observando a Tabela 1, relacionada com a Figura 2, destacam-se algumas características destas localidades. Em primeiro lugar, as altas porcentagens de área livre no Cajuru (51,32 %) e em São Lourenço (42,43%), que obtiveram baixas temperaturas. Vale notar que as áreas construídas de todas as localidades são bastante semelhantes, de 22% a 26%, única exceção é São Lourenço, com quase a metade (13,20%). Quanto às áreas pavimentadas, os maiores valores situaram-se na Fazendinha (43,33 %), seguida pelo Portão (31,20%), onde se obteve as maiores temperaturas. Observa-se também, que as altitudes dos bairros ficaram em três faixas: 923m para os bairros Cajuru e Fazendinha; 932m para Portão e 990 e 993 para São Brás e São Lourenço (de menores temperaturas).

7. CONSUMO DE ENERGIA E CARACTERÍSTICAS DOS BAIRROS

A Figura 3 mostra o consumo de energia, também exemplificado para a tipologia Andrade Gutierrez. Como esperado, as localidades que mais consomem energia são as que apresentaram as menores temperaturas e vice-versa.

Observaram-se diferenças por volta de 25 graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}/\text{dia}$) entre os locais onde mais se consumiu energia e os que menos consumiram. O sistema construtivo que mais consumiu energia foi o COHAB-PA, alcançando níveis de consumo maiores ou praticamente iguais a 180 graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}/\text{dia}$) para quatro localidades e quase 160 graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}/\text{dia}$) para a restante (Portão). O que menos consumiu energia foi o Batistella, com seus maiores níveis de consumo por volta de 120 graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}/\text{dia}$) e os menores, pouco abaixo de 100 graus-hora ($^{\circ}\text{Ch}/\text{dia}$).

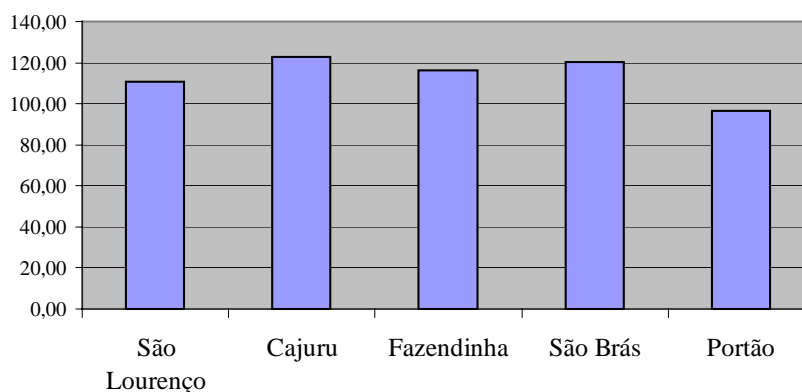


Figura 3 - Comparação energia de aquecimento - Andrade Gutierrez ($^{\circ}\text{Ch}/\text{dia}$)

8. CONCLUSÕES

Algumas observações podem ser feitas a partir dos resultados observados nos itens anteriores, a primeira é que a quantidade de área livre e de área construída parecem determinantes das diferenças de temperatura. São Lourenço, com menor quantidade de área construída obteve boa parte das menores temperaturas. Também parece haver relação entre as maiores áreas impermeabilizadas e as maiores temperaturas. As localidades mais altas também tenderam a ter menores temperaturas (São Lourenço e São Brás).

A quantidade de área livre relaciona-se à obtenção de menores temperaturas, pois tanto Cajuru quanto São Brás, com as maiores áreas livres, foram os locais que obtiveram as menores temperaturas. As maiores temperaturas também se encontraram nas maiores áreas pavimentadas.

O motivo do sistema construtivo COHAB-PA ter obtido os piores resultados em relação ao consumo de energia está relacionado ao fato deste se constituir de alvenaria de tijolos cerâmicos vazados e cobertura com câmara de ar muito ventilada, elementos muito mais adequados para climas quentes, como o do Pará. Na avaliação de desempenho térmico realizada por Dumke (2002), esse sistema obteve a maior

porcentagem de horas em desconforto por frio e a mais baixa temperatura mínima interna no período monitorado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- DORNELLES, K.; RORIZ, M. (2003) “Inércia térmica, conforto e consumo de energia em edificações na cidade de São Carlos, SP”, ENCAC - COTEDI, Curitiba.
- DUMKE, E. (2002) “Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da Vila Tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social”. Dissertação de mestrado, PPGTE CEFET PR (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia do Centro Federal de Tecnologia do Paraná).
- GIVONI, B. (1998) “Climate considerations in building and urban design”, John Wiley & Sons, New York.
- GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. (1998) “Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras”. Florianópolis: PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção / UFSC.
- ROSSI, F. (2004) “Análise da influência da ocupação do solo na variação da temperatura em diferentes localidades da cidade de Curitiba”. Dissertação de mestrado, PPGTE CEFET PR (Programa de Pós-Graduação em Tecnologia do Centro Federal de Tecnologia do Paraná).
- OKE, T. R. (1978) “Boundary layer climates”. London: Methuen & Co.
- SANTAMOURIS, M. (1997) “Energy and indoor climate in urban environments - recent trends”. Group Building Environmental Studies, Section Applied Physics, Physics Department, University of Athens, Building Physics 5, Panepistimioupolis, Athens, Greece.
- SZOKOLAY, S.V. (1987) “Thermal design of buildings”, RAIA Education Division. Camberra, Austrália.