



AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UMA RESIDÊNCIA ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DO PROGRAMA DE SIMULAÇÃO ARQUITROP: DIFICULDADES ENCONTRADAS

O Moraes; L C Labaki

Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP

Faculdade de Engenharia Civil – Departamento de Construção Civil

Caixa Postal 6021 - CEP 13083-970 - Campinas/SP - Brasil

E-mail: lucila@fec.unicamp.br

RESUMO Este trabalho apresenta as dificuldades surgidas na avaliação do desempenho térmico de uma residência de dois pavimentos, localizada na região central da cidade de Campinas, SP, com a utilização do programa de simulação ARQUITROP e as soluções adotadas para superá-las.

ABSTRACT This work shows the difficulties in evaluating the thermal performance of a two-story building, located in the center of Campinas, SP, through the Simulation Computer Program ARQUITROP and presents the solutions used to solve them.

1 Introdução

Este trabalho teve como meta à avaliação do desempenho térmico de uma residência na região central de Campinas, SP, através de método experimental e simulação computacional. Esta residência é uma edificação de dois pavimentos, construída junto ao alinhamento de uma rua estreita de um lote também estreito (4,70m x 26,40m). Na avaliação foram utilizados o Voto Médio Estimado (Método de Fanger) e o programa de simulação ARQUITROP (Roriz e Basso, 1990). Os resultados obtidos foram comparados entre si.

Foram realizadas medições "in loco" das temperaturas externas (bulbo seco, bulbo úmido) e internas (bulbo seco, bulbo úmido e temperatura de globo), além da velocidade do ar interno. Essas medições foram feitas em dois períodos: verão e inverno.

2 Características Climáticas e Recomendações para a região de Campinas

Para a região de Campinas, S.P., foram adotados os dados meteorológicos de temperatura, umidade relativa e velocidade do vento do Setor de Climatologia Agrícola do IAC – Instituto Agrônomo de Campinas, do período de 1983 a 1997. As recomendações arquitetônicas a partir dos dados climáticos para a região da cidade de Campinas, SP, foram obtidas através das Tabelas de Mahoney (Koenigsberger et al. 1977). As recomendações são: as edificações devem orientar-se no eixo leste-oeste, ficando voltadas para o norte ou sul as fachadas de maiores dimensões, para reduzir a exposição ao sol. As edificações devem ser separadas para permitir a entrada do vento; devem também estar em uma única fila, com as janelas nas paredes norte e sul para assegurar o movimento do ar através de ampla ventilação cruzada, as aberturas devem ser de tamanho médio, entre 20 e 40 % da área da parede. As aberturas devem ter proteção para evitar a radiação solar e a chuva. As paredes internas e externas devem ser pesadas. O telhado deve ser leve, bem isolado e com uma transmitância térmica não inferior a $0,8 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$. A residência avaliada, cuja planta baixa é apresentada na figura 1, obedece às recomendações de Mahoney.

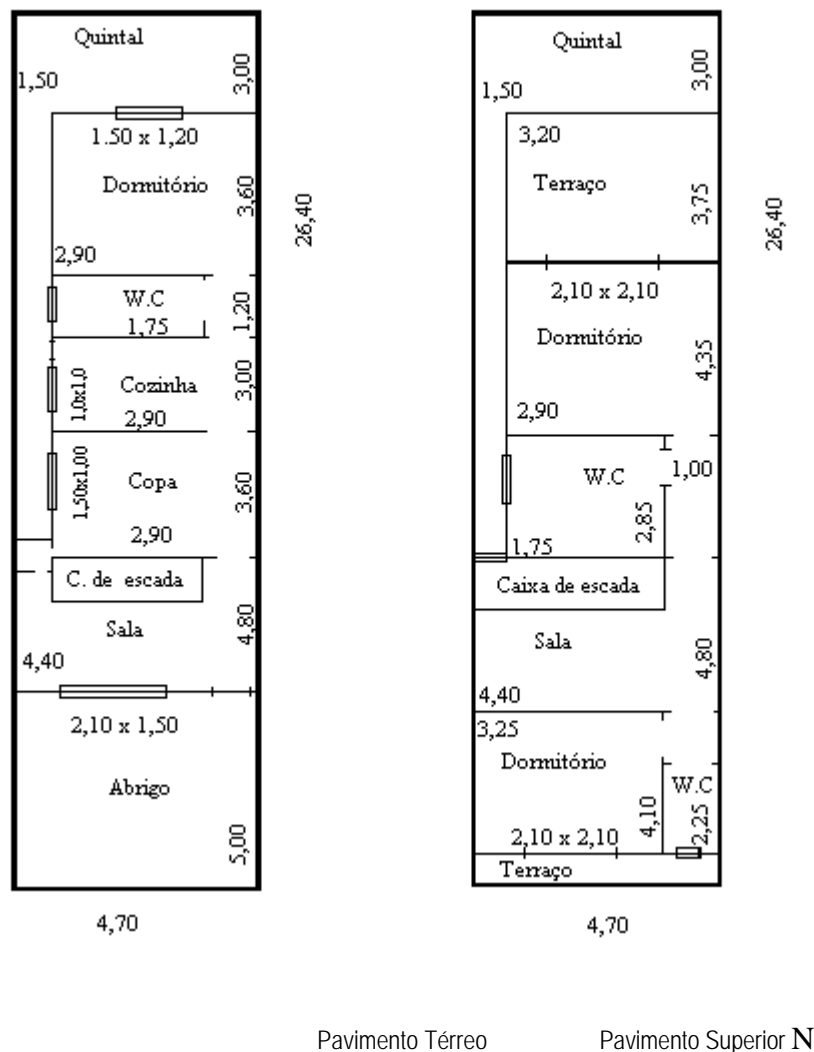


Fig. 1 Planta Baixa sem escala

3 CARACTERIZAÇÃO DA EDIFICAÇÃO

A residência, com 2,80 m de pé direito possui no pavimento inferior o abrigo (coberto), sala de estar, lavabo, copa, cozinha, W.C e um dormitório, perfazendo um total de 90 m² de área construída. No pavimento superior possui um terraço (coberto), um dormitório suite, sala de estar, banheiro, dormitório social e um terraço (sem cobertura), totalizando 76,20 m² de área construída. A disposição dos ambientes, as dimensões e aberturas são conforme o projeto apresentado na figura 1. O telhado da residência foi executado em madeira e com cobertura de telhas de barro; os forros e as lajes de piso do pavimento superior são de laje pré-moldada. As paredes internas e externas foram executadas em tijolos maciços comuns de barro com espessura de 15 cm. As paredes foram revestidas com massa fina em ambas as faces; os forros também foram revestidos com massa fina. A cozinha, lavabo e banheiros têm suas paredes revestidas de azulejo do piso até a altura do teto; os pisos foram executados em material cerâmico, com exceção dos dormitórios, cujo piso é de tacos de madeira. As janelas possuem caixilho metálico (ferro) com vidros do tipo canelado com 3mm de espessura e não possuem proteção solar; as portas de entrada, da cozinha e as de acesso dos dormitórios aos terraços possuem caixilho metálico (ferro) com vidros canelados de 3mm de espessura, estando sem proteção solar durante a medição das temperaturas.

4 ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO

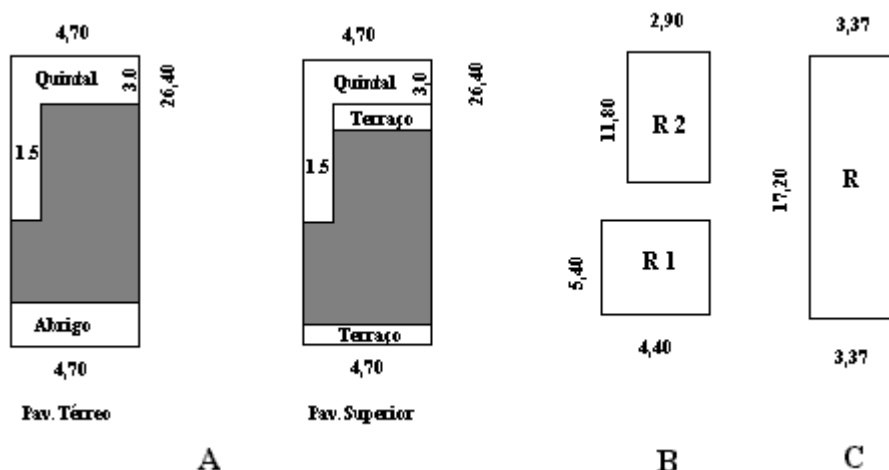
4.1 Método Experimental

Para efeito das medições, as janelas permaneceram fechadas, exceto as dos banheiros que ficaram abertas. Os ambientes analisados foram: o abrigo, a sala de estar e o dormitório no pavimento inferior; dormitório suite, a sala de estar e o dormitório social do pavimento superior. Os ambientes foram escolhidos por serem ambientes extremos da residência (sala de estar e dormitório no pavimento inferior; dormitório social e dormitório suite no pavimento superior) e também por serem contíguos (dormitório suite e sala de estar do pavimento superior). Os equipamentos utilizados nas medições foram o termômetro comum de mercúrio, o termômetro de globo de 117 mm de diâmetro e o anemômetro de fio quente TSI, modelo 8330. Os procedimentos utilizados nas medições da temperatura foram os preconizados pela Norma ISO 7726/1985. O intervalo de leitura entre uma medição e outra foi de 2 horas, com início às 6:00 horas e término às 22:00 horas. As vestimentas utilizadas no período de verão e inverno foram: roupa íntima curta, meias, calças leves de algodão, camisa de manga curta com colarinho aberto (0,7 clo); mesmo sendo inverno a temperatura ambiente se encontrava amena. Em relação à atividade, tanto no verão como no inverno, a pessoa se encontrava em pé e em repouso (taxa metabólica 93 W/m²).

4.2 Aplicação do programa de simulação ARQUITROP

Na aplicação do ARQUITROP, surgiu a primeira dificuldade: qual a maneira correta de se considerar o esquema da edificação para a aplicação do programa? O ARQUITROP considera a edificação retangular e, considerando apenas a área do ambiente interno da edificação. A residência analisada é formada de retângulos e foi edificada sem recuo frontal e tendo parte de sua alvenaria de fechamento na divisa lateral do lote (Fig. 2A).

Duas hipóteses foram adotadas para adaptar o esquema do ambiente interno do pavimento térreo para a aplicação do ARQUITROP. Na primeira, a residência foi dividida em dois retângulos R₁ e R₂ como mostra a Fig. 2B. No retângulo R₁ não se considerou a área do abrigo uma vez que, sendo sua frente totalmente aberta, o mesmo não se caracteriza como ambiente fechado para fins da avaliação térmica. O programa foi aplicado separadamente a cada um dos retângulos R₁ e R. Na segunda hipótese obteve-se uma nova largura fictícia, mantendo-se a área de (R₁+R₂) e a soma dos comprimentos de R₁ e R₂ (5,40 + 11,80 = 17,20) Fig. 2C.



A – esquema do pavimento térreo e superior da residência analisada sem considerar a espessura da parede;

B – primeira hipótese de divisão da residência analisada (já descontada as dimensões do abrigo);

C – segunda hipótese: esquema do pavimento térreo com uma nova largura fictícia, mantendo-se a área de (R₁ + R₂) e a soma dos comprimentos de R₁ e R₂ (5,40m + 11,80m = 17,20m).

Fig. 2 – Esquema da residência e das hipóteses adotadas para a aplicação do ARQUITROP (sem escala)

4.2.1 Análise dos resultados da Simulação aplicada em R₁, R₂ e R

O dia típico considerado foi 22 de julho; este foi o dia mais frio quando da realização da medição "in loco". No Quadro 1 é apresentada uma comparação entre os valores; volume, carga térmica e taxa de ganhos térmicos do ambiente analisado. O Quadro 2 apresenta o Consumo Mensal de Energia necessário para manter a temperatura entre 21,6 e 25,1°C fornecidos pelo programa para R₁, R₂ e R.

Quadro 1 Comparação da carga, do volume e da taxa de ganho térmico dos ambientes R₁, R₂ e R.

	R1	R2	R1 + R2	R
V (m ³)	66,5	95,8	162,3	162,3
q (W / °C)	322,4	450,1	772,5	722,7
Qsi (W)	801	653,8	1454,8	1337,4

Onde: q – carga térmica do ambiente; V – volume do ambiente; Qsi – taxa de ganho térmico do ambiente.

Quadro 2 Consumo mensal de energia para manter a temperatura no ambiente entre 21,6 e 25,1 °C.

	R1	R2	R1 + R2	R
Refrigeração (kWh)	80,7	36,1	116,8	97,8
Aquecimento (kWh)	527,5	930,1	1457,6	1368,6

Na análise das planilhas apresentadas nos Quadros 1 e 2, observa-se diferenças entre os valores obtidos considerando a residência dividida em duas partes (R₁ e R₂, Fig. 2B) e a residência como um todo (R, Fig. 2C). Estas diferenças talvez permitam uma possível explicação:

1 – na residência R₁ a fachada que se localiza na direção nordeste mede 4,40m; a residência R localizada na mesma direção nordeste recebe menos radiação solar; sua fachada mede 3,37m.

2 – na residência R₁ a fachada que se localiza na direção sudoeste também mede 4,40m, uma vez que o programa de simulação considera que os lados opostos da residência devem ser iguais. Na Fig. 2A verifica-se que a medida da fachada de R₁ voltada para a direção sudoeste deveria ser de 1,5m; entretanto o programa não aceita que uma fachada meça 4,40m e a outra 1,5m. Se as dimensões da fachada forem de 4,40m, haverá maior ganho térmico em R₁.

3 – na residência R₂ a fachada que se localiza na direção sudoeste mede 2,90m, recebendo menos radiação solar que a residência R, cuja fachada nessa direção mede 3,37m; a fachada de R₁ mede 4,40m metros e a fachada de R₂ mede 2,90m.

4 – a área total da residência R é exatamente igual à soma das áreas das residências R₁ e R₂, o comprimento (profundidade) de R é igual à soma dos comprimentos de R₁ e R₂. A única diferença entre elas são as larguras (fachadas); as de R medem 3,37m e as de R₁ 4,40m e as de R₂, 2,90m. Ao se aplicar o programa ARQUITROP em R tem-se um único bloco que receberá a radiação nas quatro fachadas; R₁ e R₂ também recebem individualmente radiação em suas fachadas, sendo que R₁ possui quatro fachadas e R₂ apenas três; este fato talvez possa explicar porquê a soma dos valores nas planilhas apresentadas nos Quadros 1 e 2 de R₁ e R₂ apresente diferenças em relação a R.

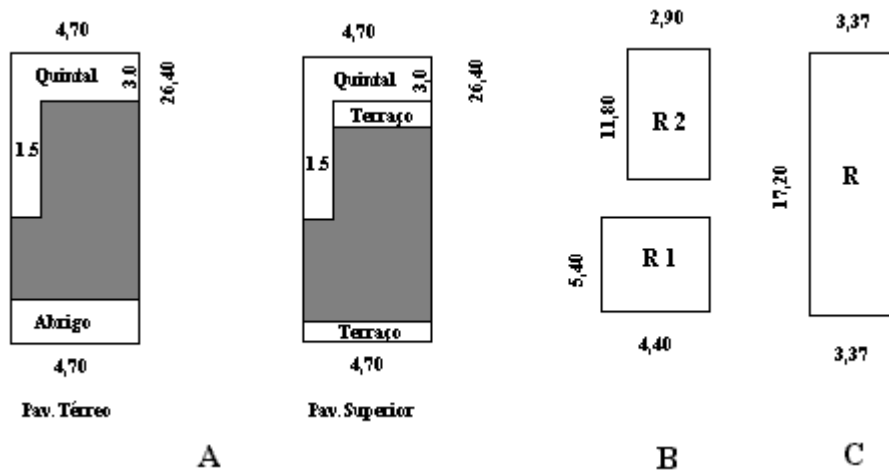
Devido a essas considerações adotou-se o esquema da Fig. 2C como sendo o esquema do pavimento térreo da residência. Como a residência analisada possui dois pavimentos o passo seguinte é a aplicação do ARQUITROP ao pavimento superior. Novamente surgiu a dúvida: qual deve ser o esquema do ambiente interno do pavimento superior? A dúvida surge porque o ARQUITROP em sua rotina de cálculo considera as dimensões do ambiente interno do pavimento térreo e superiores iguais. Entretanto, na Fig. 1 observa-se que o ambiente interno do pavimento superior é maior que o pavimento térreo e, isto ocorre porque o pavimento superior avança sobre o abrigo que, como foi visto anteriormente, não se constitui num ambiente fechado para fins de avaliação térmica.

Três novas hipóteses foram realizadas para a aplicação do programa no pavimento superior.

A primeira (Fig. 3A) foi a de se considerar as dimensões internas do pavimento superior iguais às dimensões do pavimento térreo da Fig. 2C.

A segunda hipótese (Fig. 3B) foi a de se determinar um novo comprimento fictício para o ambiente interno do pavimento superior, mantendo-se a largura de 3,37m (Fig. 2C).

A terceira hipótese foi a de se considerar o ambiente interno do pavimento térreo igual ao ambiente interno do pavimento superior obtido na segunda hipótese (Fig. 3B).



A – hipótese I – pav. superior cuja dimensões são iguais as dimensões do pavimento térreo determinado anteriormente (Fig. 2C);

B – hipótese II – pav superior com novo comprimento fictício mantendo-se a largura de 3,37 m

Fig. 3 Esquema do pavimento superior

5 Análise dos resultados do programa ARQUITROP aplicado ao pavimento superior considerando as Hipóteses I e II

O dia típico considerado foi 22 de julho; este foi o dia mais frio quando da realização da medição "in loco". No Quadro 3 é apresentada o volume, a carga térmica e a taxa de ganhos térmico e o Consumo Mensal de Energia necessários para manter a temperatura entre 21,6 e 25,1°C no ambiente analisado da residência, fornecidos pelo programa, considerando as hipóteses I e II.

Quadro 3 Volume, carga térmica (q), taxa de ganhos térmicos(Qsi) e consumo de energia da residência R considerando as hipóteses I e II

	A	Hipótese I	Hipótese II	B
Edificação de dois pavimentos	Cálculo do Pavimento Inferior Fig. 2C	Cálculo do Pav. Sup. supondo: Pav. Sup com dimensões Pav. Inferior	Cálculo do Pav. Sup. supondo: Pav. Sup.e Inf. com dimensões iguais	Cálculo do Pav. Inf. com dimensões do Pav. Superior
Dimensões (m)	3,37 x 17,20	3,37 x 17,20	3,37 x 18,52	3,37 x 18,52
Volume (m³)	162,3	162,3	174,8	174,8
q (W/°C)	722,7	837,8	1011,2	771,7
Qsi (W)	1337,4	2054,3	2155,8	1390,2
Refrigeração (kWh)	97,8	204,5	186,6	98,5
Aquecimento (kWh)	1368,6	1381,1	1791,7	1477,9

Na análise do Quadro 3 observa-se que os valores obtidos para o pavimento superior na hipótese II são maiores que os valores da hipótese I e isto é facilmente explicável, uma vez que as dimensões consideradas na hipótese I são menores que as da hipótese II. O mesmo fato ocorre quando se compara as colunas A e B do Quadro 3. Como o programa considera que o pavimento inferior e superior devem ter dimensões iguais, adotou-se o esquema da Fig. 3B (Hipótese II) como sendo o esquema da residência avaliada; esta escolha foi alicerçada no fato que o pavimento superior é maior que o inferior e alguns dos valores obtidos utilizando o esquema da Fig. 3B não foram muitos discrepantes.

5 Comparação entre o Conforto Térmico dos Ambientes, obtidos através do Método de Fanger e do Programa ARQUITROP

Nos Quadros 4 e 5 é apresentada a comparação entre os dois métodos utilizados para o período de verão (23 de fevereiro) dos pavimentos inferior e superior da residência considerando a hipótese II (Fig. 2B). A análise e determinação do Voto Médio Estimado foram feitas de quatro em quatro horas a partir da primeira medição da temperatura do ambiente.

QUADRO 4 Conforto Térmico do pavimento inferior do Voto Médio Estimado e do programa de simulação ARQUITROP (período de verão).

Hora	Voto Médio Estimado		ARQUITROP	
	temp. ambiente		temp. de simulação	
				Zona de Conforto de 23,5 a 27 ° C
6:00	25,5 ° C	Leve sensação de calor	23,6 ° C	dentro da zona de conforto
10:00	26,0 ° C	Leve sensação de calor	25,3 ° C	dentro da zona de conforto
14:00	26,5 ° C	Leve sensação de calor	28,6 ° C	acima da zona de conforto
18:00	26,3 ° C	Leve sensação de calor	27,7 ° C	acima da zona de conforto

QUADRO 5 Conforto Térmico do pavimento superior obtido através do Voto Médio Estimado e do programa de simulação ARQUITROP (período de verão).

Hora	Voto Médio Estimado		ARQUITROP	
	temp. ambiente		temp. de simulação	
				Zona de Conforto de 23,5 a 27 ° C
6:00	23,5 ° C	leve sensação de calor	23,4 ° C	dentro da zona de conforto
10:00	26,3 ° C	leve sensação de calor	25,2 ° C	dentro da zona de conforto
14:00	27,5 ° C	sensação de calor	29,7 ° C	acima da zona de conforto
18:00	27,8 ° C	sensação de calor	29,7 ° C	acima da zona de conforto

Uma análise comparativa dos dados apresentados nos Quadros 4 e 5 se torna difícil, devido a forma como esses valores foram obtidos. O Método de Fanger foi realizado com base na temperatura do dia considerado o mais quente de um universo de quinze dias de medições "in loco" e o programa ARQUITROP foi executado com base em uma série climática de um período de quinze anos.

6 Considerações finais

As hipóteses feitas permitiram a aplicação do programa na residência (Fig. 1), entretanto, surgem novas dúvidas: até que ponto as alterações realizadas estão corretas e, se os resultados obtidos podem ser considerados como sendo os valores fiéis da Avaliação do Desempenho térmico da residência. Talvez a realização de novas simulações em outras edificações possa fornecer novos dados que elucidem essas dúvidas.

7 Agradecimentos

Gostaríamos de agradecer aos autores a permissão para o uso do ARQUITROP.

8 Referência Bibliográfica

Fanger, P. O. (1970): Thermal Comfort Analysis and Application in Environmental Engineering Danish Technical Press, Compenhagem.

Koenigsberger , O. H. et al (1977): Viviendas y Edifícios en Zonas Cálidas y Tropicales, Paraninfo S/A, Madrid.

Norma ISO 7726 (1985): Thermal Environments – Instruments and Methods for Measuring Physical Quantities.

Roriz, M. ; Basso, A. (1990): Arqutrop versão 3.0, São Carlos, SP.

Roriz, M. (1991): Conforto Térmico e Economia de Energia de Energia em Edificações, U. F. de São Carlos, São Paulo.