

ANÁLISE COMPARATIVA DE CONFORTO TÉRMICO ENTRE UM PROTÓTIPO DE MADEIRA E OUTRO DE ALVENARIA, INSERIDOS NO CLIMA DE SÃO CARLOS - SP

Silvana Aparecida Alves (1); Akemi Ino (2)

(1) Universidade Estadual Paulista/ UNESP / Bauru
Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação
Departamento de Arquitetura, Urbanismo e Planejamento
(2) Escola de Engenharia de São Carlos /USP
Departamento. de Arquitetura e Urbanismo
Av. Engº Luis Edmundo Corrijo Coube, s/nº
Fone:(0xx14) 221-6059
e-mail: silvana.mail@faac.unesp.br

RESUMO

Este trabalho apresenta a avaliação do desempenho térmico de um protótipo de edificação de madeira, composto por painéis sanduíche com chapa de compensado, frente às condicionantes climáticas da cidade de São Carlos (SP), onde o protótipo está inserido. Efetuou-se, simultaneamente, medições em um protótipo de edificação de alvenaria, pretendendo-se estabelecer uma comparação entre os dois sistemas de vedação, por ser o sistema em alvenaria, tradicionalmente, o mais empregado em todo o país. Para avaliar o desempenho térmico dos protótipos aplicou-se o Método de Fanger.

ABSTRACT

This work presents a wood building prototype thermal performance evaluation, composed by "sandwich" panels with plywood boards, over the climatic features of the city of São Carlos, where the prototype is located. It was accomplished simultaneously, measurements in a masonry building prototype as intended to establish a comparison between both closing systems, due to be traditionally the masonry systems the most employed all over the country. In order to evaluate the wood and masonry prototypes thermal performance, the Fanger method was applied.

1. INTRODUÇÃO

A tentativa de buscar soluções para suprir o grande déficit habitacional, tem propiciado o aparecimento de novos sistemas construtivos, alternativos. Entretanto pouca é a preocupação com a qualidade do ambiente construído, e especialmente do ponto de vista do conforto térmico. Isto está vinculado à maneira como estes materiais são empregados, e a ausência de critérios projetuais, a fim de adaptar os novos sistemas construtivos às condicionantes climáticas a que estão submetidos.

Diante deste fato, o presente trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho térmico de dois sistemas de paredes diferentes, um deles é o sistema construtivo de madeira, desenvolvido por INO (1992), cujo sistema estrutural é composto por pilares roliços de Eucalipto Citriodora, e o sistema de vedação é formado por painéis sanduíches estruturados por sarrafos (2,50 x 5,00cm), e chapa de madeira compensada (1,00 cm) pregadas nas faces interiores e exteriores dos painéis e o outro é o sistema tradicional de alvenaria de tijolo de barro cozido, por ser o mais empregado em todo o país.

Para ambos os sistemas de vedação foram construídos protótipos na escala 1:1, no campo experimental da EESC/USP da cidade de São Carlos - SP. Os protótipos apresentam áreas iguais (2,40m x 2,80m), as mesmas características de implantação em uma área plana.

O protótipo de madeira é cercado nas faces Leste, Norte e Oeste por um extenso gramado, na face Sul à 3m de distância esta implantado o protótipo de alvenaria. Já o protótipo de alvenaria é cercado por grama nas faces Leste, Sul e Oeste e na face Norte localiza-se o protótipo de madeira, entre eles há uma faixa de grama. Possuem mesmo posicionamento das aberturas, uma porta de 0,80 x 2,10m colocada na parede da face Leste, e uma janela de 0,60 x 1,50m direcionada para a face Norte. A cobertura é de telha de barro tipo “francesa”, sem forro, e inclinação de uma água com pé-direito de 2,50m na parte mais baixa e 3,00m na parte mais alta. O piso é de concreto com 7cm de espessura. A pintura é de tinta látex na cor branca.



Figura 01. Protótipos e Abrigo

O abrigo que registrava as condições do ar externo foi confeccionado em madeira de cedro e peroba, pintado com tinta látex branca, fechado nas laterais por venezianas e base de madeira compensada com furos de 3cm de diâmetro, para facilitar a ventilação e representar as condições ambientais externas.

2. METODOLOGIA - COLETA DE DADOS

Para avaliação do desempenho térmico dos protótipos foram realizadas medições “in loco”, abrangendo as três situações do protótipo de madeira. Na primeira situação apresentava a vedação formada por painéis sanduíches com ar confinado. Na segunda situação a camada intermediária dos painéis foi preenchida com material isolante térmico - isopor. Na terceira situação manteve-se o isolante térmico e colocou-se o forro horizontal em lambril de pinus com 10cm de espessura, formando um ático não ventilado. As aberturas, portas e janelas, forma mantida fechadas impedindo a ventilação no interior dos protótipos.

Na fase experimental foram registradas as: temperatura e umidade relativa do ar nas 24 horas, com aparelhos Termohigrógrafos, colocados nos protótipos e no abrigo, temperatura radiante média, obtida através do termômetro de globo instalado em cada um dos protótipos, e temperatura de máxima e mínima, com um termômetro digital. As medições foram realizadas no interior dos protótipos e no abrigo, que registrava as condições do ar externo, durante as estações de verão e inverno, compreendendo para cada uma das três situações do protótipo de madeira. Acompanhou-se a leitura dos aparelhos, a observação das condições de céu.

Para a avaliação do desempenho térmico dos protótipos aplicou-se o Método de Fanger, que determina os níveis de conforto ou desconforto térmico sentido pelos indivíduos. Para fazer esta determinação levou-se em consideração as seguintes variáveis: 1) Relativas ao Ambiente: temperatura do ar; umidade relativa do ar; velocidade relativa do ar (velocidade do ar em relação ao indivíduo); temperatura radiante média do ambiente. 2) Relativas ao Indivíduo: resistência térmica da vestimenta trajada pelo indivíduo; nível do metabolismo do indivíduo (produção de energia em função da atividade).

A combinação destas variáveis estabelece três condições básicas para a obtenção de conforto térmico: a 1ª é a existência de equilíbrio na troca de calor; a 2ª deve considerar as trocas térmicas entre a pele, a roupa e o meio circundante, e a 3ª as variáveis fisiológicas que intervêm no processo (temperatura da pele e transpiração). Portanto para determinar se o ambiente oferece conforto térmico leva-se em consideração as variáveis do ambiente, o nível de atuação do sistema termorregulador de acordo com a atividade exercida pelo indivíduo – Metabolismo: M (W/m^2), e a resistência térmica da roupa (Clo).

A metodologia adotada para a escolha do período das medições fundamentou-se no levantamento dos dados climáticos da cidade de São Carlos, de onde constatou-se que as características do clima se

enquadra na zona “Cwa”, segundo TOLENTINO (1967) conforme a classificação de KÖEPPEN (1918), “C” indica que o mês mais frio (junho) apresenta temperaturas entre 3°C e 18°C, “w” com o subgrupo “a” que a temperatura do mês mais quente (janeiro) é maior que 22°C, esta sigla defini, também, clima úmido macrotérmico subtropical, que conforme o índice de precipitação caracteriza o verão como estação quente e úmida e inverno frio e seco. O período de inverno é a estação que apresenta maiores amplitudes térmicas, que reforça a necessidade de materiais com alta capacidade térmica ou isolantes térmicos A direção dos ventos dominantes é de NE e SE, podendo alcançar velocidades de 3,5m/s e 4m/s respectivamente. Diante destas diferenças faz-se necessário à análise das duas estações, como aparece discriminado no quadro 01.

Quadro 01 - Períodos de leituras realizadas segundo as três situações.

| 1a Etapa VERÃO | período | situação |
|------------------|---------------------|--------------------|
| | 25/01/94 à 07/02/94 | (1) Ar confinado |
| | 19/02/94 à 25/02/94 | (2) Isopor |
| | 09/03/94 à 15/03/94 | (3) Isopor + Forro |
| 2a Etapa INVERNO | período | situação |
| | 06/06/95 à 26/06/95 | (1) Ar confinado |
| | 30/06/95 à 27/07/95 | (2) Isopor |
| | 01/08/95 à 23/08/95 | (3) Isopor + Forro |

3. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os dados coletados nas medições “in loco” foram apresentados na forma de planilhas e gráficos.

A análise destes resultados foi feita em três formas, nas duas estações do ano:

- 1) comparação das respostas térmicas apresentadas pelos protótipos frente às condições climáticas do ar externo a que estão submetidos;
- 2) verificação do desempenho dos protótipos aplicando o Método de Fanger e obtendo-se os índices de satisfação térmica para cada horário do dia;
- 3) comparação entre as três situações do protótipo de madeira, verificando se houve melhoria ou não, do ponto de vista térmico.

3.1. Apresentação Parcial dos Resultados na Forma de Gráficos para o Período de Verão – Situação I – Ar Confinado

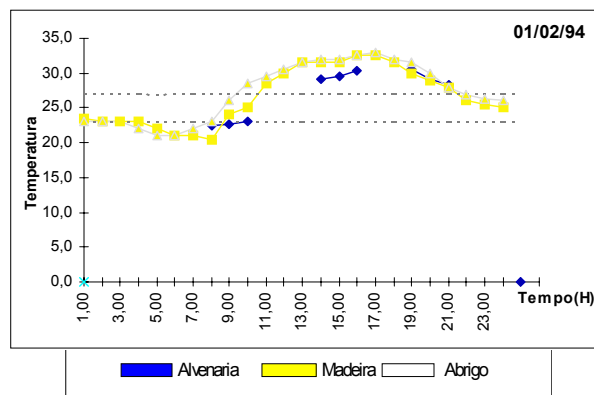


Gráfico 1 - Temperaturas registradas para Situação I - Ar Confinado –VERÃO

3.2. Análise dos Resultados de Verão - Nas Situações I (Ar Confinado); II (Isopor) E III (Isopor + Forro)

Com base nos resultados observa-se que a temperatura no protótipo de madeira na situação I (ar confinado), acompanha a variação da temperatura do ar externo com máxima de 35°C, e muitas vezes as curvas traçadas por estas temperaturas se sobrepõem nos gráficos, confirmando a baixa inércia térmica deste sistema de vedação. Muitas vezes chega-se atingir os picos de máxima, dentro do protótipo de madeira, antes mesmo de ocorrer o pico do ar externo.

Ao colocar o isopor, na situação II, o protótipo de madeira apresenta-se ainda mais quente do que anteriormente, isto permitiu concluir que o painel ficou mais isolante, e por isso mesmo passou a reter mais o calor transmitido pela cobertura ao longo do dia. A noite continuou perdendo calor rapidamente, pelas frestas das telhas, e se igualando ao ar externo à medida que este sofria redução.

Na situação III (isopor +forro), esta hipótese da perda do calor pelas frestas das telhas, é confirmada ao constatar que a diferença da temperatura registrada no interior do protótipo em relação à temperatura do ar externo aumentou continuando a ser maior no protótipo, nos horários mais quentes do dia (ar externo com temperatura máxima de 29°C), e permanecendo mais quente durante a noite e madrugada, também, indicando que o painel sanduíche com isopor é mais isolante do que, simplesmente, com ar confinado.

A comparação entre os protótipos de madeira e alvenaria, tanto na situação I como na situação II, mostra que o comportamento térmico destes é muito semelhante, sendo a maior diferença encontrada ao analisar os gráficos, nos quais pode-se verificar que a inércia térmica da vedação em alvenaria proporcionava uma amplitude térmica diária menor do que a apresentada pela vedação em madeira, que devido a sua baixa inércia térmica apresentava picos mais elevados de temperatura máxima e picos mais baixos de temperatura mínima. Além disso, na edificação de madeira, geralmente os picos de temperatura ocorreram às 16horas, quase simultâneo com o pico do ar externo, enquanto que na alvenaria os picos aconteceram, entre 16horas e 19horas, apresentando maior atraso térmico.

Devido a facilidade de ganhar calor o protótipo de madeira apresenta-se mais desconfortável que o protótipo de alvenaria no período diurno, mas graças a baixa inércia térmica dos painéis de madeira e a facilidade de perder calor, este sistema oferece condições melhores de conforto ao longo da noite e principalmente na madrugada. Para a situação III não foi possível estabelecer a comparação porque não foi colocado forro no protótipo de alvenaria.

Segundo o Método de Fanger, o intervalo das temperaturas que promove a sensação térmica para a maioria das pessoas, no verão, está entre a faixa de **23°C a 27,2°C** quando se admite um valor de **Clo = 0,35**, que corresponde a uma situação de roupa leve para verão e Taxa Metabólica de **70w**, valor que simula uma atividade em pé relaxado. Para ALUCCI (1981) a temperatura interior recomendada para oferecer conforto térmico na região de São Carlos é de 26°C em casos de ventilação precária e de 27,5°C quando a ventilação for adequada.

Ao aplicar o Método de Fanger, netas condições, o protótipo de madeira nas situações I, II e II, apresentou estado de conforto à noite a partir das 19horas até as 10horas da manhã. À tarde o protótipo de madeira não proporcionou conforto térmico (do mesmo modo ocorreu com o protótipo de alvenaria), devido a envolvente de madeira não conseguir interpor-se entre os ambientes interno e externo, permitindo facilmente as trocas térmicas ocasionando diferenças insignificantes nas temperaturas interna e externa, principalmente para temperaturas superiores a 30°C no ar externo.

3.3. Apresentação Parcial dos Resultados na Forma de Gráficos para o Período de Inverno – Situação I – Ar Confinado

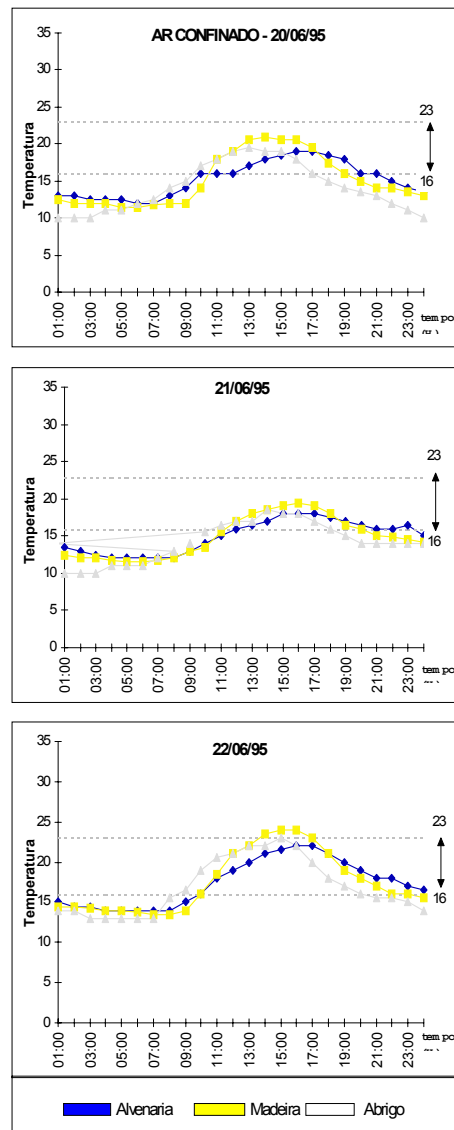


Gráfico 2 - Temperaturas registradas para Situação I - Ar Confinado -INVERNO

3.4. Análise dos Resultados de Inverno - Nas Situações I (Ar Confinado); II (Isopor) E III (Isopor + Forro)

Com a colocação do isopor, o protótipo de madeira em relação ao ar externo, apresentou comportamento térmico similar ao da situação I, com temperaturas internas menores na parte da manhã, e temperaturas maiores na parte da tarde, noite e madrugada, mantendo diferenças entre 1°C até 3°C. Nos dias 21/07 e 22/07 à tarde, quando a temperatura externa era abaixo de 15°C, no protótipo de madeira registrou-se uma diferença maior de 4°C e 5°C, respectivamente.

O fato do protótipo de madeira com isopor não apresentar grandes alterações em relação à situação I, se deve à perda de calor pelas frestas da cobertura entre as telhas, conforme observado no verão, no item 3.1. Diante de baixas temperaturas noturnas, as frestas permitiam a fuga do calor interno e a entrada do ar mais frio, atingindo-se rapidamente as temperaturas mínimas. Portanto, a parede em si com isopor, pode apresentar características mais isolantes desde que não hajam trocas térmicas pelas frestas.

Na situação III (isopor + forro) a temperatura no protótipo de madeira apresentou-se mais elevada do que no ar externo ao longo da madrugada, com diferenças que variam de 0,5°C até 5°C, e as diferenças maiores ocorreram nos momentos mais frios, como por exemplo: 12°C no ar externo e 17°C no interior do protótipo. À noite, o protótipo também conseguiu manter uma diferença de temperatura com o ar externo de até 6°C.

Através dos gráficos observa-se que as curvas de temperatura do protótipo de madeira acompanham a variação da temperatura do ar externo, porém consegue manter as temperaturas mais elevadas nos horários mais críticos (noite e madrugada) em que as temperaturas do ar externo são mais baixas, confirmando a característica de armazenar calor no seu interior, favorável para o período de inverno.

Para avaliar o desempenho térmico dos protótipos pelo Método de Fanger adotou-se $Clo=1,23$ e taxa metabólica $M=70w$. A taxa metabólica é a mesma utilizada no verão e corresponde a uma atividade em pé relaxado. O Clo foi aumentado e corresponde às seguintes roupas: peças íntimas (0,05), meia até o tornozelo (0,04), camisa de mangas longas em tecido pesado (0,29), calça em tecido pesado (0,44), jaqueta em tecido pesado (0,39) e sapato (0,04), total=1,23.

Pelo Método de Fanger, o intervalo das temperaturas que oferecem conforto térmico para a maioria das pessoas no inverno, está na faixa de 16°C a 23°C, adotando $Clo=1,23$ e Taxa Metabólica=70w. ALUCCI (1981) recomenda temperatura interna de 18°C para oferecer conforto térmico à região de São Carlos.

Nestas condições verifica-se, pelo método de Fanger, que os protótipos oferecem mesmo desempenho térmico na maioria das vezes, apesar das diferenças nas temperaturas, e no atraso térmico de um e de outro, ou seja, os momentos de conforto e desconforto ocorriam praticamente ao mesmo tempo tanto para o protótipo de madeira como também para o de alvenaria.

Ao aplicar o Método de Fanger no protótipo de madeira nas três situações detecta-se que nas Situações I e II o protótipo apresentou um desempenho satisfatório de manhã e em grande parte da madrugada, no entanto deixou de promover o conforto algumas vezes na parte da tarde, por apresentar temperaturas que excediam o limite de 23°C, indicado para o inverno. Isto para $Clo=1,23$, certamente com valor mais baixo o resultado poderia ser outro. É importante considerar que neste período foram registradas as temperaturas mais frias do ano, com mínima de 7°C e máxima de 26°C no ar externo e uma diferença que variava de 1°C até 5°C a mais no ar interior do protótipo, especialmente nas madrugadas. Na Situação III, o protótipo apresentou condições satisfatórias de conforto térmico, inclusive no período da tarde, tanto nos dias mais quentes (máxima de 28°C ar externo) como nas noites mais frias (mínima de 10°C, ar externo).

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados apresentados no verão e no inverno, verifica-se que, tanto o sistema de vedação em madeira quanto o sistema de vedação em alvenaria requerem soluções de projeto, tais como aumento da metragem quadrada e do pé-direito, ALUCCI sugere que um ambiente possua 9m² e pé-direito de 3m, no mínimo para oferecer conforto térmico; uso de protetores solares na fachada oeste para redução da carga térmica transmitida por radiação solar; colocação de forro para reduzir o calor transmitido pela cobertura e ao mesmo tempo impedir a perda de calor pelas frestas das telhas nas noites de inverno, etc. Portanto, para adaptar uma edificação às condições climáticas da região, durante o verão é imprescindível a ventilação através das aberturas, e durante o inverno é fundamental a estanqueidade ao ar, independente do material utilizado.

Esta afirmação fica ainda mais clara ao analisar o caso do fechamento em painéis de madeira, nas três Situações I, II e III, quando pode-se verificar pelos resultados coletados “in loco” que com a colocação do forro (Situação III) o ambiente proporcionou desempenho térmico melhor durante o inverno, devido à estanqueidade. Analisando as três Situações no verão constata-se pelos resultados que a Situação III gerou uma condição mais desconfortável termicamente por ter ocasionado o acúmulo de calor, certamente se em alguns momentos das medições tivessem sido realizadas com a porta e janela abertas, promovendo a ventilação cruzada os resultados seriam de mais momentos de conforto do que foi realmente apresentado nesta estação do ano.

Quanto ao uso do método de Fanger foi importante para a comparação do desempenho térmico dos dois protótipos, permitindo verificar que o comportamento térmico de ambos são semelhantes, porém deve-se salientar que apesar dos momentos em que os protótipos ofereceram conforto por este método, para a maioria dos brasileiros seria necessário uma vestimenta mais pesada, no inverno, ou então, que houvesse uma fonte geradora de calor no interior dos ambientes. Isto se deve ao fato do método ter sido desenvolvido em trabalho de pesquisa com indivíduos acostumados a outro grau de aclimação.

5. BIBLIOGRAFIA

- AKUTSU, M. (1988): Avaliação do desempenho térmico de edificações: a necessidade de uma revisão normativa. Editora PINI, IPT, LIX (In: Tecnologia das Edificações), São Paulo, p.469-472.
- AKUTSU, M. & KANACIRO, C. (1993): Tratamento estatístico de dados climáticos para a definição dos períodos de verão e de inverno, Anais do II Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, Florianópolis /SC, p.185-191.
- ALLUCCI, M. P. (1981): Recomendações para adequação ao clima no Estado de São Paulo. 2v. (Dissertação de Mestrado em Arquitetura. Faculdade de Arquitetura - FAU/Universidade de São Paulo - USP), São Paulo.
- ALVES, S. A (1997): Recomendações de projeto para a casa de madeira, construída com painéis de compensado, visando atingir o conforto térmico no clima de São Carlos – SP, Orientador Profa. Dra. Akemi Ino, Dissertação de Mestrado em Arquitetura apresentada a EESC/ USP, São Carlos.
- FANGER, P.O. (1972): Thermal comfort analysis and applications in environmental engineering. S.L., McGraw-Hill Book.
- INO, A. Sistema modular em eucalipto roliço para habitação. São Paulo, 1992. (Tese de Doutorado. Escola Politécnica POLI/Universidade de São Paulo - USP)
- TOLENTINO, M. (1967): Estudo crítico sobre o clima da região de São Carlos. São Carlos, 78p.