



## APLICAÇÃO DE MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO PARA ANALISAR PAINÉIS DE VEDAÇÃO EM MADEIRA

**Thalita Giglio M.Sc; Miriam Jerônimo Barbosa Dra.**

Departamento de Construção Civil – Universidade Estadual de Londrina - Brasil

e-mails: thalitag@uel.br – mjb@uel.br

### RESUMO

Este artigo apresenta uma análise do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira a partir da abordagem de diferentes métodos de avaliação. O objetivo é analisar a aplicabilidade de métodos brasileiros em um sistema construtivo alternativo. O método de pesquisa adotado baseia-se em simulações realizadas a partir da ferramenta COMFIE, a qual gera dados anuais de temperatura no interior do protótipo. Os dados foram analisados segundo método do projeto de norma brasileira de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002), e de um método alternativo proposto por Barbosa (1997). Além desta análise, fez-se uma avaliação segundo parâmetros definidos em métodos simplificados, como o da atual norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005a), e também do projeto de norma brasileira de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002a). Ao final, fez-se uma análise acerca da compatibilidade dos resultados oriundos da aplicação dos diferentes métodos. Deste estudo comprovou-se a baixa eficiência de painéis em madeira com apenas 2,2 cm de espessura, embora tenha sido considerado adequado pela norma brasileira de desempenho térmico. Divergências foram constatadas entre resultados obtidos da aplicação do projeto de norma de edificações de até cinco pavimentos. Esta divergência favoreceu a discussão de alguns aspectos definidos no método que podem ser revistos para uma melhor avaliação térmica de sistemas construtivos alternativos.

Palavras-chave: Painéis em madeira - Métodos de avaliação - Desempenho térmico – Simulações.

### ABSTRACT

This research presents a thermal performance evaluation of wood-based walls, through application of different methods. The objective is the assessment of Brazilian's methods applicability in alternative construction systems. The research method consists of thermal simulations with software COMFIE (PEUPORTIER e SOMMEREUX, 1991), which provide prototype's indoor temperature. Indoor temperatures were analyzed through application of Brazilian's design standard method for performance building (ABNT, 2002), and also through application of regional method according to Barbosa (1997). In addition to this analysis, it was applied simplified methods like Brazilian's thermal performance standard (ABNT, 2005a), and Brazilian's design standard method for performance building (ABNT, 2002a). Finally, through the results, it was evaluated the compatibility of the methods applied. The study reveals low thermal efficiency of wood-based walls with only 2,2 cm of thickness, although it were considered adequate by Brazilian's standard. Moreover, some divergences were confirmed by results of Brazilian's design standard method. Those divergences favor the discussion of some parameters that could be revised to better evaluation of alternatives systems constructive.

Keywords: Wood-based wall – Evaluation methods – Thermal performance - Simulation

## 1. INTRODUÇÃO

Ao longo dos anos, o desempenho térmico das habitações em madeira tem sido muito criticado e visto como inadequado ao clima tropical brasileiro. Vincula-se o conceito de que as habitações em madeira são desconfortáveis termicamente tanto no período de verão como de inverno, fato que se deve em parte ao desconhecimento das características térmicas do sistema construtivo em madeira. Neste contexto se inserem os painéis de vedação em madeira, os quais contribuem para o desempenho térmico do conjunto e necessitam de uma adequação climática otimizada para inserção em habitações de interesse social.

Para a avaliação do desempenho térmico de painéis de vedação em madeira, dispõem-se, atualmente, de dois textos normativos brasileiros. Um deles consiste na atual norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005; ABNT, 2005a), e o outro, refere-se ao projeto de norma brasileira de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002; ABNT, 2002a). Desde já, pode-se evidenciar uma contradição entre os dois métodos simplificados das normas. Enquanto a norma brasileira recomenda paredes leves e refletores para as regiões que pertencem à zona bioclimática 3, o projeto de norma expõe valores mínimos de capacidade térmica que atendem apenas às paredes de maior massa, deixando os sistemas construtivos leves, de baixa capacidade de armazenar calor, inadequados à zona bioclimática 3. Neste sentido, o projeto de norma direciona a avaliação de sistemas alternativos de baixa capacidade térmica para um método por desempenho, induzindo à uma avaliação mais detalhada acerca do seu desempenho térmico. Os painéis de vedação em madeira apresentam a característica de baixa capacidade térmica sendo necessário aplicar o método por desempenho para a avaliação pelo projeto de norma brasileira.

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste artigo é avaliar o desempenho térmico de painéis de vedação em madeira para o clima de Londrina, PR, a partir da aplicação de métodos brasileiros, buscando verificar a aplicabilidade desses métodos em relação a um sistema construtivo alternativo.

## 3. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DO DESEMPENHOO TÉRMICO

A norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005a), apresenta um procedimento simplificado para avaliação do desempenho térmico de componentes construtivos. O procedimento contém parâmetros para as propriedades térmicas de transmitância térmica, atraso térmico e fator de calor solar, além da proposição de estratégias bioclimáticas, sendo todos variáveis conforme a zona bioclimática em estudo. É um procedimento simplificado pois depende apenas do cálculo das propriedades térmicas de um componente construtivo isoladamente.

O projeto de norma de desempenho de edificações de até cinco pavimentos (ABNT, 2002 e ABNT, 2002a) apresenta dois métodos de avaliação do desempenho térmico, um simplificado e outro por desempenho. O método simplificado apresenta parâmetros de capacidade térmica e transmitância térmica, com valores diferentes dos estabelecidos pela norma brasileira de desempenho térmico. O método por desempenho considera a resposta térmica global de uma edificação com exposição dinâmica à um clima específico. Neste método, evidencia-se a necessidade de obtenção de dados de temperatura interna horários, ou pelo procedimento de medição ou por simulações. No caso das simulações, recomenda-se, para a zona bioclimática 3, a configuração da edificação sem carga térmica interna, o que inclui equipamentos, iluminação e pessoas. Além desta condição, é sugerida a configuração de 1 ren/h (renovação de volume de ar por hora) tanto para a condição de verão como para de inverno. A avaliação consiste na verificação da temperatura máxima do dia típico de verão e da mínima do dia típico de inverno, e classifica a edificação com desempenho mínimo, intermediário ou superior. Os parâmetros de temperatura da norma seguem os critérios do método desenvolvido pelo IPT (AKUTSU; VITTORINO E PEDROSO, 1995), baseados na norma ISO 7730 que por sua vez está fundamentada nos experimentos de Fanger, com pessoas aclimatadas ao clima frio.

Além dos métodos normativos, diferentes métodos alternativos podem ser abordados para avaliação térmica de sistemas construtivos. Para a cidade de Londrina, tem-se o método das horas de conforto desenvolvido por Barbosa (1997) para aplicação em habitações de interesse social. O método utiliza a zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento, com intervalo de temperatura de conforto entre 18°C e 29°C e, consiste na verificação da quantidade de horas de desconforto obtidas para um ano inteiro, tanto pelo frio como pelo calor. Como requisito, o método apresenta o parâmetro de 1000 horas de desconforto como limite máximo para que uma habitação de interesse social apresente desempenho térmico satisfatório.

#### 4. MÉTODO DE PESQUISA

O método de pesquisa adotado foi conduzido por uma análise do comportamento térmico dos painéis de vedação isoladamente e também segundo a resposta térmica global de uma edificação, exposta ao clima de Londrina. Neste caso, adotou-se o procedimento por simulação térmica através da ferramenta francesa COMFIE (PEUPORTIER e SOMMEREUX, 1991), versão 3.4.

Para a análise dos painéis de vedação isoladamente, foram considerados os métodos simplificados da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005a) e do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002a). Os cálculos das propriedades térmicas foram efetuados segundo procedimento da norma brasileira de desempenho térmico, parte 2. (ABNT, 2005).

Para a análise dos painéis de vedação por desempenho, adotou-se o método do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002) além do método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997). As simulações foram realizadas em um protótipo habitacional de interesse social, fixando uma condição de cobertura, carga térmica interna, ocupação, ventilação e clima, variando apenas as composições de painéis adotadas.

##### 4.1 Definição dos Painéis de Vedação para Avaliação Térmica

Um dos fatores que contribui para o baixo desempenho térmico das habitações em madeira é o emprego de fechamentos com apenas 2,2 cm de espessura, sendo este o sistema de parede em madeira mais empregado na região sul do país. Na pesquisa de Bogo (2003) foi realizada uma análise térmica de painéis de pouca espessura identificando-os como inadequados à maioria das regiões brasileiras. Sendo assim, foram selecionadas três composições de painéis de vedação que apresentam acréscimo de espessura e de resistência térmica, de forma a compensar a baixa capacidade térmica do sistema.

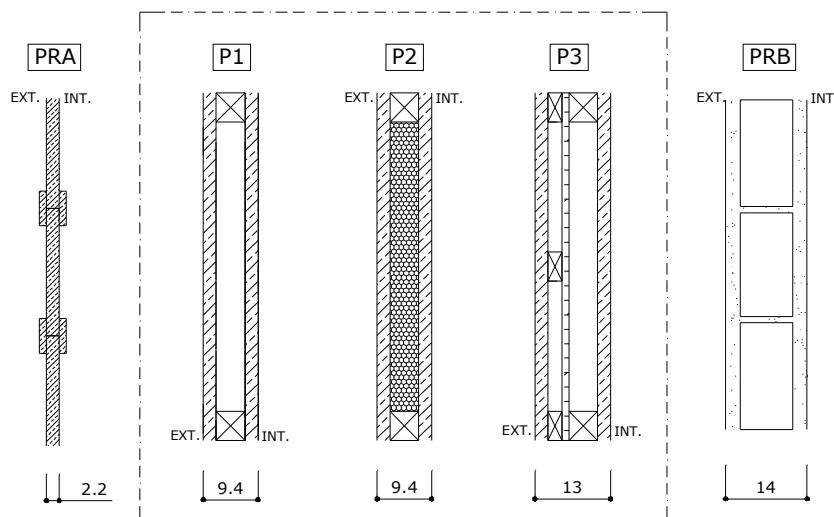


Figura 1 – Composições dos painéis e parede avaliados

Definidos como painéis P1, P2 e P3, todos apresentam câmara de ar entre os fechamentos (fig.1). O painel P1 é composto por duplo fechamento (interno e externo) e uma câmara de ar de 5 cm, não ventilada. O painel P2 apresenta o acréscimo de lã de vidro preenchendo a câmara de ar, e o painel P3, sem o acréscimo de isolante térmico em sua composição, possui uma segunda câmara de ar não ventilada, com inserção de uma chapa de OSB (oriented strand board) entre as câmaras.

Os painéis selecionados para avaliação foram comparados com duas paredes referenciais, a PRA (parede referencial A) e a PRB (parede referencial B). A PRA representa uma parede de baixo desempenho térmico (já comprovado por diversos estudos), formada por apenas tábua de madeira de pinus (ssp) de 2,2 cm de espessura. A PRB representa uma parede de bom desempenho térmico, formada por tijolos cerâmicos e reboco, sendo este um sistema construtivo já consolidado no país e na região em estudo. A figura 1 apresenta as composições de painéis de vedação avaliadas nesta pesquisa.

## 4.2 Procedimento para Determinação das Propriedades Térmicas dos Painéis

As propriedades térmicas dos painéis foram calculadas conforme procedimento definido na parte 2 da norma brasileira de desempenho térmico (ABNT, 2005). Para a aplicação dos procedimentos de cálculo, preocupou-se com a presença de montantes e travessas existentes na estrutura dos painéis de vedação, e sua influência no desempenho térmico do conjunto. Assim, foi considerado um módulo de 60 cm de largura e 60 cm de altura (correspondente ao espaçamento médio entre montantes), composto por um montante de 5 cm x 5 cm x 60 cm (alt.) e uma travessa de 5 cm x 5 cm x 55 cm, para cada uma das três variações de painéis. Quanto à parede referencial A (PRA), foi considerada a presença de mata-junta tanto na face externa como na interna da parede. Para a parede referencial B (PRB), os cálculos foram definidos em relação a um módulo padrão composto por um tijolo de seis furos, reboco externo e interno e argamassa de assentamento na face superior e lateral.

Em relação às propriedades térmicas da madeira de pinus (ssp), adotaram-se os valores de 0,15 W/(m.K) para condutividade térmica, com densidade correspondente a 500 kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 1,34 kJ/(kg.K). Para a lã de vidro inserida em P2 adotou-se condutividade térmica de 0,045 W/(m.K), densidade de 100 kg/m<sup>3</sup>, e calor específico de 0,70 kJ /kg.K. Para o derivado de madeira OSB inserido no painel P3, adotou-se condutividade térmica de 0,14 W/(m.K), densidade de 650 kg/m<sup>3</sup> e calor específico de 230 kJ /kg.K, a partir de sua classificação com aglomerado de partículas de madeira. Todos esses valores assim como a resistência térmica da câmara de ar de alta emissividade, estão de acordo com o especificado pela norma de desempenho térmico. (ABNT, 2005).

## 4.3 Configurações e Procedimentos para Simulações

A escolha pelo processo de simulação se deu devido à praticidade para avaliação de várias composições de parede, o que por monitoramento, seria necessária a construção de um protótipo para cada variação, além de maior disponibilidade de tempo e de recursos financeiros. As simulações foram realizadas por meio da ferramenta francesa COMFIE (PEUPORTIER e SOMMEREUX, 1991). A ferramenta fornece dados horários anuais de temperatura no interior de um protótipo. Estes dados puderam ser avaliados a partir do método por desempenho do projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002) e do método das horas de conforto (BARBOSA, 1997). Foi utilizado o arquivo do ano climático de referência (TRY) para Londrina, correspondente ao ano de 1996, montado no formato do COMFIE. Totalizam-se 8736 dados horários para as variáveis envolvidas.

As variações de configurações foram simuladas para todas as condições de fechamento vertical sendo eles o P1, P2, P3, PRA e PRB. Embora todos estes fechamentos tivessem sido simulados com pintura exterior e interior na cor branca (absortividade = 0,3 e emissividade = 0,9) procurando fixar uma única condição de cor, foi introduzido também, o painel com pintura da cor natural da madeira de pinus (absortividade média de 0,5 e emissividade de 0,9) comumente empregado nas habitações em madeira.

A escolha do protótipo adotado para simulações foi feita considerando um projeto de simplicidade formal e eficiência do sistema de ventilação e iluminação natural. Adotou-se como base, o projeto do

protótipo construído no campus da Universidade Estadual de Londrina, com área interna de 42,9 m<sup>2</sup>. Na simulação, as paredes originais em blocos cerâmicos foram substituídas pelos painéis em madeira. Para a definição da composição da cobertura, adotou-se uma solução compatível ao sistema leve em madeira. Tendo em vista que na pesquisa de Alves e Ino (2001) não foi possível atingir todos os objetivos em relação à pesquisa com painéis devido à ineficiência da cobertura do protótipo, buscou-se adotar uma composição bem isolada e protegida para as simulações, composta por forro de madeira de pinus (ssp), câmara de ar não ventilada de 45 cm, manta de alumínio, outra pequena câmara de ar seguindo a espessura das ripas, e telha cerâmica com pintura branca.

Para aplicação do método das horas de conforto (BARBOSA, 1997), foi considerado um esquema de ocupação que ocorre normalmente numa habitação de interesse social em uso, baseado na pesquisa da autora. As simulações foram realizadas com fontes internas de calor. Para a condição de verão o protótipo foi simulado com 10 ren/h (valor médio para uma habitação de interesse social, considerando as portas também abertas). Todas as aberturas foram configuradas com dispositivo de sombreamento simulando cortinas e protegendo desta forma, o ambiente interno contra a radiação solar direta (recurso bem utilizado pela população). Para a condição de inverno adotou-se 1 ren/h e aberturas sem dispositivos de sombreamento. Os dados horários de um ano inteiro resultantes das simulações realizadas para a configuração de verão, e que ficaram acima de 29°C, foram somados resultando na quantidade de horas de desconforto pelo calor. Já os dados horários de um ano inteiro resultantes das simulações realizadas para a configuração de inverno, e que ficaram abaixo de 18°C, foram somados resultando na quantidade de horas de desconforto pelo frio.

## 5. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

### 5.1 Resultados obtidos a partir da aplicação de métodos simplificados

Inicialmente foram aplicados os métodos simplificados presentes nos dois textos normativos brasileiros. Segundo a norma de desempenho térmico (ABNT, 2005a), todos os painéis e paredes avaliados são considerados adequados à zona bioclimática 3, inclusive a parede PRA, com apenas 2,2 cm de espessura (tabela 1). Já, com a aplicação do método simplificado do projeto de norma (ABNT, 2002a), tem-se a inadequação de todos os painéis em madeira devido à baixa capacidade térmica (tabela 2).

**Tabela 1- Resultado da avaliação dos painéis e parede segundo NBR 15220 (ABNT, 2005a)**

Tipologia de Painel	Valores obtidos	Transmitância Térmica	Atraso Térmico $\phi \leq 4,3$ horas	Fator de Calor Solar FCS $\leq 4,0$ %
		$U \leq 3,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$		
<b>PRA</b> - tábua	$U = 2,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 1,1$ horas FCS = 3,5 %	A	A	A
<b>P1</b> - tábua + câmara de ar 5 cm + tábua	$U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 2,4$ horas FCS = 1,9 %	A	A	A
<b>P2</b> - tábua + lâ de vidro 5 cm + tábua	$U = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 3,7$ horas FCS = 0,9 %	A	A	A
<b>P3</b> - tábua + câmara de ar 5 cm +OSB + câmara de ar 2,4 cm + tábua	$U = 1,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 3,7$ horas FCS = 1,3 %	A	A	A
<b>PRB</b> - tijolo cerâmico + reboco	$U = 2,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $\phi = 3,6$ horas FCS = 2,9 %	A	A	A

I - Desempenho Inadequado

A - Desempenho adequado

**Tabela 2- Resultado da avaliação dos painéis e parede segundo projeto de norma (ABNT, 2002a)**

Tipologia de Painel	Valores Obtidos	Transmitância Térmica	Capacidade Térmica
		$U \leq 3,7$ (p/ $\alpha < 0,6$ )	$C_T \geq 130$
PRA - tábua	$U = 2,93 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $C_T = 17 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
P1 -tábua + câmara de ar 5 cm + tábua	$U = 1,55 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $C_T = 33 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
P2 - tábua + lã de vidro + tábua	$U = 0,75 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $C_T^* = 20 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
P3 - tábua + câmara de ar 5 cm + OSB + câmara de ar 2,4 cm + tábua	$U = 1,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $C_T = 51 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	I
PRB - tijolo cerâmico + reboco	$U = 2,38 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ $C_T = 160 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	A	A

**I - Desempenho Inadequado**

**A - Desempenho adequado**

\*  $C_T$  de P2 foi recalculado para atender aos requisitos do projeto de norma devido a existência de isolante térmico com valor de condutividade térmica menor do que  $0,065 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$  e resistência térmica maior do que  $0,5 \text{ (m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ . Assim, o cálculo da capacidade térmica foi realizado desprezando-se o fechamento em tábua de pinus (ssp) voltado para o ambiente externo, posicionado a partir do isolante térmico.

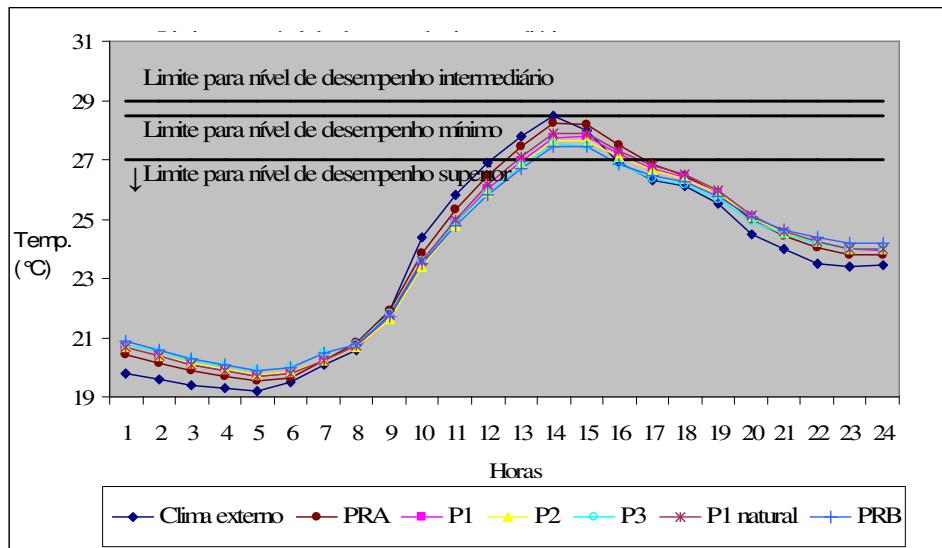
A partir dos resultados, evidencia-se a contradição entre as normas ao avaliar sistemas construtivos de baixa capacidade térmica e fica-se a dúvida se os painéis em madeira são adequados ou não à zona bioclimática 3. O projeto de norma especifica que na inadequação de um sistema ao método simplificado deve-se direcionar a avaliação para o método por desempenho, a partir de uma análise mais detalhada. Assim, as simulações permitiram realizar uma análise mais profunda acerca do desempenho térmico dos painéis quando submetidos à exposição dinâmica do clima.

## 5.2 Resultados obtidos a partir da aplicação de métodos por desempenho

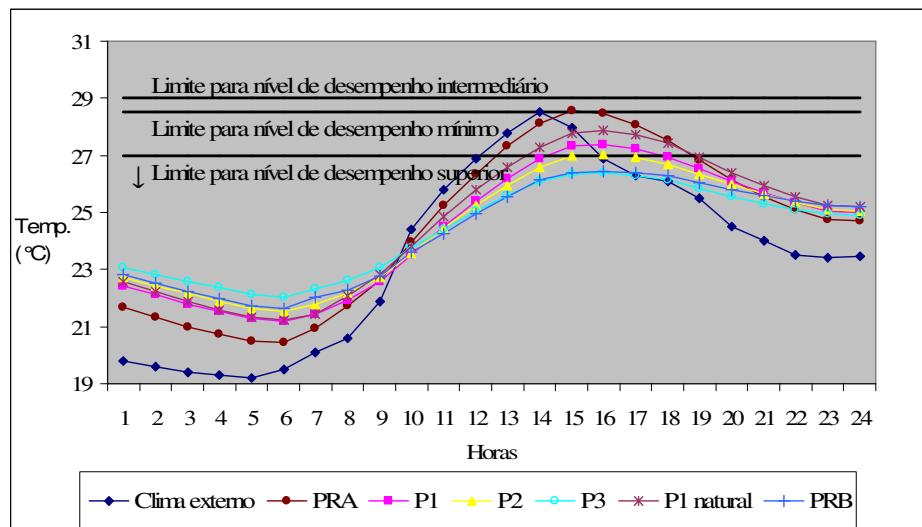
### 5.2.1 Método do projeto de norma de desempenho – Condição de verão

Para aplicação do método por desempenho do projeto de norma (ABNT, 2002), foram utilizados dados das simulações com 37 ren/h (máximo número de renovações de ar que ocorre por hora no protótipo adotado). Entretanto, foi observado que nesta situação, as constantes renovações que ocorriam no interior do protótipo dificultavam a análise das variações térmicas que ocorriam com os diferentes painéis aplicados (fig.2). Devido a esta situação, o protótipo foi simulado com apenas 1 ren/h para a condição de verão, assim como é recomendado pelo projeto de norma para edificações ainda em fase de projeto (fig. 3).

A partir da figura 3, podem ser observadas, mais nitidamente, as variações da temperatura simulada no interior do protótipo para o dia típico de verão em Londrina. O protótipo com a parede referencial A (PRA) apresenta a curva que mais acompanha as variações climáticas exteriores. A temperatura interna eleva-se rapidamente com o aumento da temperatura exterior e diminui na medida em que a temperatura do ar externo baixa, o que promove elevada amplitude térmica no interior do protótipo. Justamente no protótipo com PRA, atinge-se a temperatura interna mais alta do dia, com  $28,57^\circ\text{C}$ , e se assemelha à temperatura exterior de  $28,5^\circ\text{C}$ . O projeto de norma especifica que para a obtenção do nível de desempenho mínimo, a temperatura máxima no interior do protótipo deve ser menor do que a máxima exterior. Assim, o protótipo com PRA ficou no limite de desempenho mínimo.



**Figura 2 – Resultados de temperaturas simuladas para o dia típico de verão (19/12/96) de Londrina, com protótipo configurado sem fontes internas de calor e com 37 ren/h.**



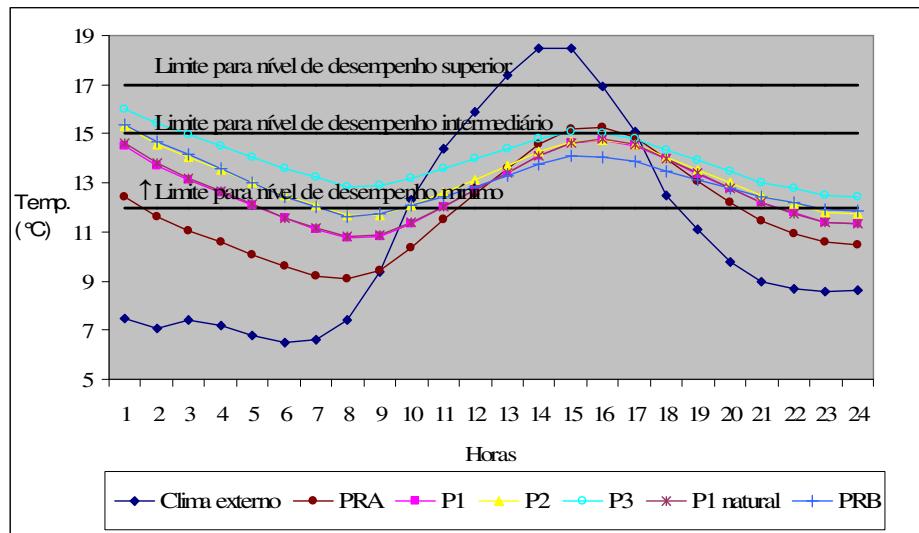
**Figura 3 – Resultados de temperaturas simuladas para o dia típico de verão (19/12/96) de Londrina, com protótipo configurado sem fontes internas de calor e com 1 ren/h.**

Para a obtenção do nível de desempenho intermediário, a temperatura interna não deve ser superior à 29°C. Nota-se que este valor é superior à temperatura tomada como base para obtenção do desempenho mínimo, situação que deveria ser o inverso e que por isso torna confusa a análise. O projeto de norma não especifica nada sobre o caso da temperatura exterior máxima ser menor do que a temperatura para obter desempenho intermediário. Mesmo assim, pode-se afirmar que todos os painéis e paredes simulados podem ser adequados ao nível de desempenho intermediário, pois não atingiram 29°C, inclusive o protótipo com PRA, o qual alcançou o pico da temperatura exterior.

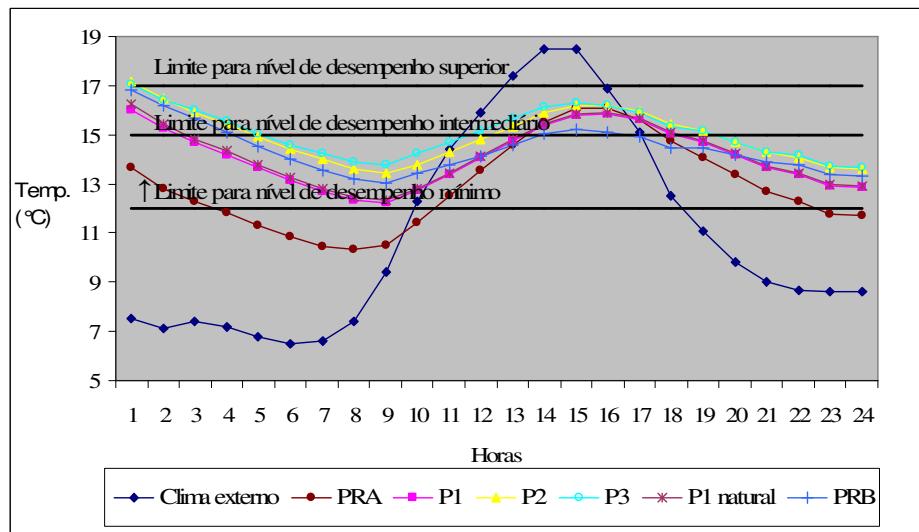
Já para a obtenção do nível de desempenho superior, a temperatura interior não deve exceder 27°C. Nesta situação tem-se o protótipo com P2 (com isolante térmico), com P3 (duas câmaras de ar), e com PRB (alvenaria de tijolos cerâmicos). A linearidade da curva do protótipo com estes três fechamentos também atesta o bom desempenho térmico deles e reforça a influência da transmitância e/ou da capacidade térmica no desempenho do conjunto. Nota-se que o protótipo com P3 assume comportamento térmico similar ao da parede de alvenaria de tijolos cerâmicos (PRB) para este dia de verão, chegando à uma temperatura máxima de 26,39°C e 26,43°C respectivamente.

### 5.2.2 Método do projeto de norma de desempenho – Condições de inverno

Na figura 4, têm-se os resultados da avaliação por desempenho para o dia típico de inverno. Para obtenção do desempenho mínimo, a temperatura interna mínima deve ser superior à 12°C. Nesta situação, apenas o protótipo com o painel P3 atende ao requisito, com temperatura interna mínima de 12,44°C, obtida às 24:00 horas. Sua curva apresenta-se a mais linear entre todas, respondendo bem ao frio devido à baixa transmitância térmica do painel. Já o protótipo com os demais painéis e paredes atingem temperaturas mínimas inferiores ao nível permitido, dentre eles o protótipo com PRB, tomado como parâmetro de bom desempenho, o qual atinge temperatura mínima de 11,65°C às 8:00 horas. O protótipo com PRA, de alta transmitância térmica e baixa capacidade térmica atinge a menor temperatura neste dia com 9,07°C às 8:00 horas.



**Figura 4 - Resultados de temperaturas simuladas para o dia típico de inverno (12/07/96) de Londrina, com protótipo configurado sem fontes internas de calor e com 1 ren/h.**



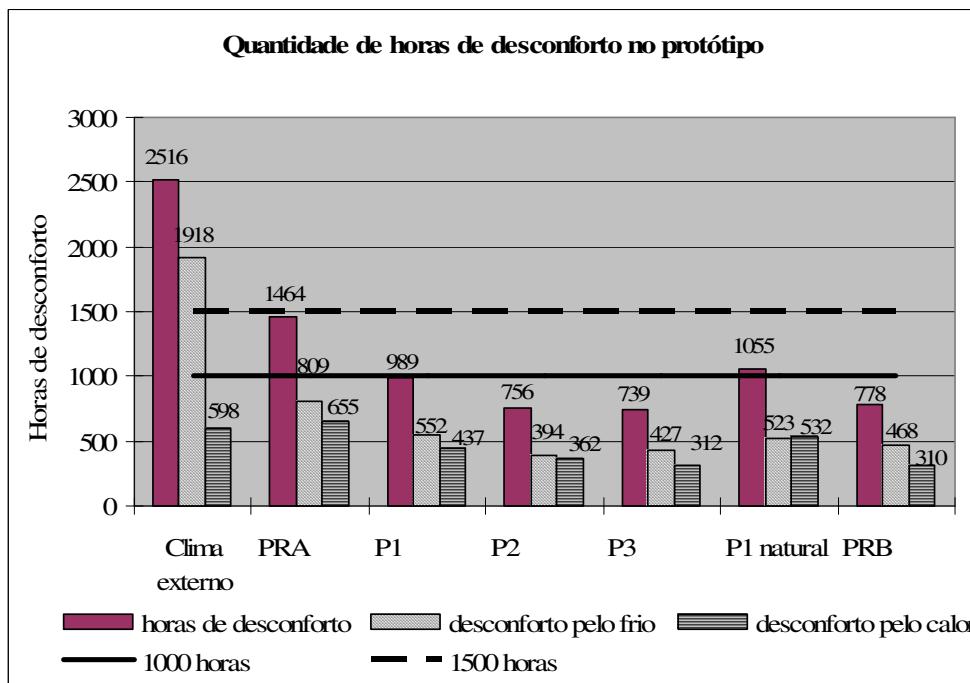
**Figura 5 - Resultados de temperaturas simuladas para o dia típico de inverno (12/07/96) de Londrina, com protótipo configurado com fontes internas de calor e com 1 ren/h.**

Considerando que nem mesmo o protótipo com PRB atingiu desempenho mínimo, fica-se a dúvida se as simulações configuradas sem fontes internas de calor são adequadas para se avaliar o desempenho térmico de sistemas construtivos para a zona bioclimática 3. O projeto de norma recomenda que somente as zonas 1 e 2 devem apresentar 1000 W de fontes internas de calor. Entretanto, foi realizada uma nova simulação adicionando fontes internas de calor, na qual ocasionou uma melhoria nas

condições térmicas no interior do protótipo (fig. 5). Neste caso, o protótipo com PRB, P2 e P3, atinge os melhores desempenhos influenciados pela baixa transmitância e/ou alta capacidade térmica do fechamento vertical. Respectivamente, eles assumem temperaturas mínimas de 13,05 °C às 9:00 horas, 13,45 °C às 9:00 horas e 13,69 °C às 24:00 horas. Os outros dois painéis, P1 e P1 natural, apresentaram mínima de 12,25 °C e 12,35 °C, respectivamente, às 9:00 horas. Apenas o protótipo com PRA não atende ao desempenho mínimo e vai de encontro com os resultados apresentados até aqui que demonstram baixo desempenho térmico no protótipo com este fechamento.

### 5.2.3 Método das horas de desconforto

A avaliação do desempenho térmico dos painéis pelo método de horas de desconforto de Barbosa (1997) permitiu uma análise comparativa com os resultados obtidos pelo método do projeto de norma. Na figura 6 são apresentados os resultados, com base nos estudos de Givoni (1992) que define como zona de conforto o intervalo de temperatura que varia de 18 °C a 29 °C.



**Figura 6 - Horas de desconforto obtidas por simulação, com protótipo configurado com dispositivo de sombreamento nas aberturas, 10 ren/h no verão e 1 ren/h no inverno.**

A partir do protótipo configurado conforme a ocupação das habitações de interesse social, constata-se que os painéis P1, P2 e P3 são aptos termicamente, para introdução em habitações na cidade de Londrina, pois não ultrapassaram o limite de 1000 horas de desconforto. Entretanto, existem algumas limitações para que o protótipo apresente tais condições de desempenho. A cobertura do protótipo deve ser bem protegida (em torno de 1,5 W/m<sup>2</sup>.K), e as condições de ventilação devem promover 10 ren/h nos dias quentes. Nesta configuração o protótipo com P1 da cor natural da madeira ultrapassa o mínimo de 1000 horas de desconforto assim como PRA que chega quase à 1500 horas de desconforto.

## 6. CONCLUSÃO

Embora a norma brasileira de desempenho térmico aprove painéis em madeira de apenas 2,2 cm de espessura à zona bioclimática 3, as análises por desempenho demonstraram grandes oscilações climáticas no interior do protótipo com este fechamento, ocasionando grande amplitude térmica e picos de temperatura elevados. Assim, sugere-se uma reavaliação dos parâmetros especificados pela

norma para as propriedades térmicas, especificando por exemplo, valores mínimos para a propriedade de atraso térmico.

O projeto de norma de desempenho (ABNT, 2002) apresenta procedimentos e parâmetros conflitantes, tanto para avaliar o desempenho nas condições de verão (limite de temperatura máxima para desempenho mínimo foi menor do que o limite para desempenho intermediário neste artigo), como para as condições de inverno (ausência de fontes internas de calor ocasionou na não adequação térmica de um sistema de vedação já consolidado). Entretanto, a aplicação do método possibilitou que se visualizasse o comportamento das curvas de temperatura ao longo de um dia. Nesta visualização, atestou-se o bom desempenho dos painéis em madeira de baixa transmitância e da parede de tijolos cerâmicos de alta capacidade térmica.

O método das horas de desconforto (BARBOSA, 1997) apresentou resultados que foram de encontro com os desempenhos pré-definidos para PRA (baixo desempenho térmico) e PRB (bom desempenho térmico). A configuração do protótipo com as condições reais de uso tal como o emprego de fontes internas de calor e de dispositivos de sombreamento, contribuíram para obter resultados próximos da realidade.

Acredita-se que ferramentas mais atuais como o Energy Plus, podem contribuir para obtenção de resultados de simulação mais precisos. Adotando uma boa ferramenta de simulação, além de parâmetros únicos para avaliar tanto a condição de verão como de inverno numa única análise; como é proposto no método das horas de desconforto; pode-se obter resultados objetivos acerca do desempenho térmico de edificações.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, S.; INO, A. Análise Comparativa de Conforto Térmico entre um Protótipo de Madeira e Outro de Alvenaria, Inseridos no Clima de São Carlos – SP. In: Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído, 2001, São Pedro. **Anais do VI ENCAC**, 2001.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR15220 – 2 de 04/2005**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 2: Métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações.
- \_\_\_\_\_. **NBR15220 – 3 de 04/2005a**: Desempenho Térmico de Edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.
- \_\_\_\_\_. **Projeto 02:136.01-001:2002**: Desempenho de Edificações de até Cinco Pavimentos – Parte 1: Requisitos Gerais.
- \_\_\_\_\_. **Projeto 02:136.01-004:2002a**: Desempenho de Edificações de até Cinco Pavimentos – Parte 4: Fachadas e Paredes Internas.
- BARBOSA, M. J. **Uma Metodologia para Especificar e Avaliar o Desempenho Térmico em Edificações Residenciais Unifamiliares**. 1997. Tese de Doutoramento. Universidade federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- BOGO, A. Avaliação de Desemp. Térmico de Sist. Construt. de Paredes em Madeira em Hab. In: Encontro Nacional sobre Conf. no Ambiente Construído, Curitiba. **Anais do VII ENCAC**. 2003.
- GIVONI, B. Confort, Climate Analysis and Building Design Guidelines. In: **Energy and Building**, Vol. 18, July/1992, p. 11-23
- INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **Moderate Thermal Environments** – Determinations of PMV and PPD indices and specification of conditions for thermal comfort. 1984. (ISO 7730 – 1984).
- PEUPORTIER, B.; SOMMEREUX, I. COMFIE: a software for passive solar design. In: **Building Simulation**. Nice, França, 1991, p.521-527.