



## AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE PROTÓTIPO DE HABITAÇÃO SOCIAL DESENVOLVIDO PARA O ESTADO DE SANTA CATARINA

LAROCA, C. (1); KRÜGER, E. L. (2); MATOS, J.M. (3);

(1, 2) UTFPR - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento Acadêmico de Construção Civil [wood\\_arquitetura@yahoo.com.br](mailto:wood_arquitetura@yahoo.com.br), [eduardo\\_krueger@ibest.com.br](mailto:eduardo_krueger@ibest.com.br)

(3) UFPR - Universidade Federal do Paraná, Departamento de Tecnologia Florestal  
[jmatos.ufpr@gmail.com](mailto:jmatos.ufpr@gmail.com)

### RESUMO

O presente trabalho trata da avaliação do desempenho térmico de um protótipo de habitação social em madeira utilizando o sistema construtivo pré-fabricado de painéis auto portantes construído no município de Canoinhas, estado de Santa Catarina, destinado a atender ao Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH). Este estudo foi desenvolvido em duas etapas: avaliação do desempenho dos requisitos de conforto térmico através de medições in loco da temperatura ambiente e simulações do desempenho térmico para as cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre no período de inverno e verão, variando-se a composição dos painéis. A partir dos resultados das simulações foi possível avaliar as melhores composições para cada caso e apresentar sugestões de modificações para atendimento dos requisitos de habitabilidade.

Palavras-chave: habitação social; avaliação de desempenho da edificação; desempenho térmico.

### ABSTRACT

This paper presents the evaluation of the thermal performance of a single-storied house, a wood based prototype built in Canoinhas, Santa Catarina, in southern Brazil, in order to attend a national program implemented by the Federal Government to subsidize low-cost housing (PSH). The research was developed in two stages, first the evaluation of thermal performance by means of on site measurements, second the thermal simulation considering different locations (Curitiba, Florianópolis and Porto Alegre) and different wall panel compositions. As a result, it was possible to choose the best building configuration and suggest improvements to enhance the prototype's thermal performance.

Keywords: social housing; building performance; thermal performance.

### 1 INTRODUÇÃO

De acordo com a COHAB-SC, embora o estado não tenha os graves problemas da região Norte, Nordeste e do eixo Rio- São Paulo, um dos maiores problemas enfrentados pela população é a falta de moradias. Santa Catarina ocupa um território de 95.443km<sup>2</sup>, correspondente a 1,12% do território nacional, com uma população de 5.333.284 habitantes, sendo 4.197.287 residentes na área urbana e 1.135.997 na área rural, e com uma taxa média de 2,27% de crescimento anual. Verificou-se, ainda, que o número total de domicílios particulares permanentes foi de 1.498.742, sendo 1.203.221 na área urbana e 195.521, na área rural. Do total de domicílios particulares permanentes levantados, 1.190.558 foram indicados como próprios, 187.957 alugados e 113.522 como cedidos. Foi detectado, ainda, no estudo, que **83,2% do déficit do país** são registrados junto às famílias que ganham até **três salários mínimos** mensais. Na região Sul, o percentual do déficit das famílias com renda mensal de até três salários mínimos é de **80,9%**.

No ano de 2006, o governo do estado de Santa Catarina recebeu 40 milhões de reais através do leilão de recursos do Programa de Subsídio da Habitação de Interesse Social (PSH). Esta modalidade de financiamento exigiu uma contrapartida do Governo Estadual da ordem de 16 milhões de reais e teve por objetivo subsidiar a aquisição da moradia para famílias com renda mensal de até R\$740,00 (setecentos e quarenta reais). Em reunião, o Conselho Estadual decidiu estabelecer uma parceria com setor madeireiro, através da Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI), para a viabilizar o fornecimento de casas pré-fabricadas de madeira, principalmente para o interior do estado.

O projeto desenvolvido para atender aos requisitos do Programa de Subsídio à Habitação Social foi concebido utilizando o sistema construtivo *wood light frame*. Este sistema tem como característica principal o uso de peças de pequenas dimensões de madeira de reflorestamento e de paredes duplas (utilizando painéis de compensado). Na fase de projeto, ficou estabelecido que a unidade habitacional deveria reunir as seguintes características: a utilização de um sistema construtivo simples, de fácil entendimento pelo mutuário; permitir a execução por auto-construção, com ferramentas e equipamentos de uso corriqueiro; atender aos requisitos mínimos de habitabilidade; não exceder o valor máximo de R\$9.300,00 (custo da unidade) para a região metropolitana de Florianópolis e interior; possibilidade de montagem de unidades em diferentes regiões climáticas de Santa Catarina (litoral e serra); fornecimento de um manual prático de montagem para auto-construção; e, finalmente, garantia de durabilidade e qualidade do produto por no mínimo 15 anos.

Partindo-se das diretrizes projetuais estabelecidas, decidiu-se adotar a mesma planta utilizada pela COHAB-SC (por sugestão da mesma) na construção de casas de madeira em um programa já existente. Em virtude das limitações do material utilizado, a planta foi adaptada e modulada para as dimensões múltiplas de 122cm x 244cm. A área construída do protótipo equivale a 48,93m<sup>2</sup>. A cobertura é composta de telhas de fibrocimento e forro de pinus. As paredes são duplas com estrutura interna de *Pinus* de 7,5cm de espessura. O sistema compõe-se de chapas de vedação interna de 9mm e externa de 12mm. A Figura 1 apresenta a planta adotada e a Tabela 1 apresenta as características termofísicas dos elementos construtivos, calculadas a partir da Norma NBR 15220-2 (ABNT, 2005). O protótipo foi implantado na propriedade da Fábrica LAVRASUL S/A no município de Canoinhas-SC. A fachada principal foi orientada a norte e os dormitórios a oeste. O protótipo foi implantado a cinco metros do centro de treinamento da fábrica, porém não há sombreamento significativo desta edificação sobre as fachadas. O piso do entorno foi executado com uma camada de pedra brita (permeável) com o objetivo de proteger a edificação das águas da chuva.

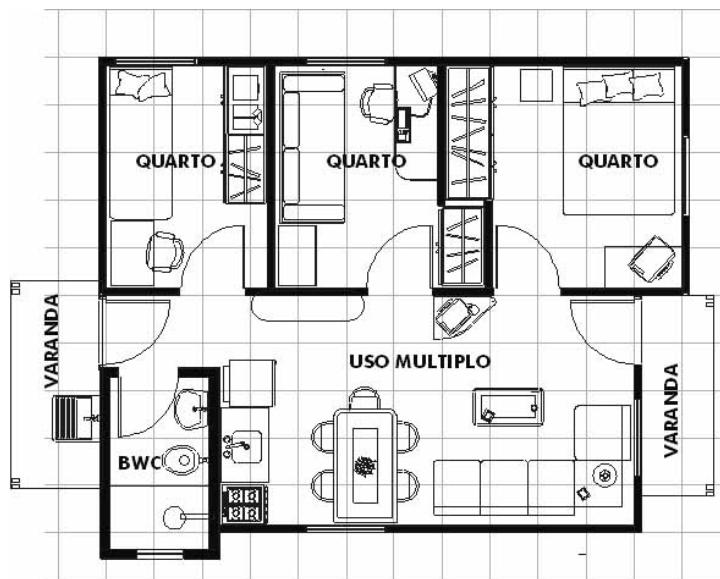


Figura 1 - Planta modulada

**Tabela 1** – Propriedades térmicas dos elementos construtivos

|                 | Condutividade térmica<br>(W/m.K) | Calor específico<br>J/(kg K) | Transmitância térmica<br>W.m <sup>-2</sup> .K <sup>-1</sup> |
|-----------------|----------------------------------|------------------------------|---|
| Piso (concreto) | 0.65                             | 840                          | 3.088   |
| Paredes         | 0.15                             | 2300                         | 2.167   |
| Forro           | 0.15                             | 840                          | 0.15  |
| Telhado         | 0.65                             | 2300                         | 0.025   |

## 2 MATERIAIS E MÉTODO

O procedimento adotado na avaliação de desempenho térmico seguiu as seguintes etapas:

- medição *in loco* de temperaturas internas e externas ao protótipo: definição dos períodos de análise; monitoramento térmico do protótipo utilizando-se sistema de aquisição de dados, fabricante Lynx Tecnologia Eletrônica, condicionador MCS 1000, conversor A/D CAD12/32 NIP0002347 e termopares tipo PT100; tratamento dos dados obtidos em planilha Excel, convertendo os dados (registrados de minuto em minuto) para dados horários;
- simulação computacional do desempenho térmico do protótipo: modelagem do protótipo executada de acordo com os moldes exigidos pelo software *IDA (ICE – Indoor Climate and Energy)*, versão 3.0 Estocolmo – Suécia; montagem da base de dados de entrada do projeto arquitetônico com a inserção dos dados coletados (dados climáticos e de composição de materiais, densidade, condutividade, calor específico e espessura dos materiais e componentes do sistema construtivo); definição das zonas térmicas (ambientes interno, externo e ático); simulações de desempenho térmico, alterando-se: 1) dados climáticos adotados como referência (a partir da situação básica de Canoinhas, simulou-se a edificação para as condições climáticas de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre), obtendo-se desta forma o desempenho do protótipo para três climas diferenciados que, na Norma de Desempenho (ABNT, correspondem às zonas bioclimáticas 1 e 3; 2) composição das paredes externas do protótipo.

### 2.1 Medições *in loco*

Os termopares foram instalados no centro geométrico de cada cômodo, ocorrendo a distribuição dos sensores na sala em alturas diversas para que se contabilizasse o efeito da estratificação do ar, e foram programados para ler a temperatura de cada canal de minuto em minuto. O sensor externo foi instalado em um mastro a dois metros da edificação (ch#7, face oeste) e a uma altura de dois metros do piso (Figura 2), devidamente protegido da incidência direta da radiação solar por um cano de PVC envolto em papel alumínio. Os demais sensores foram instalados internamente sem proteção do dia 6 de dezembro de 2006 ao dia 14 de janeiro de 2007. Após este período, também foram protegidos de insolação direta, porém não apresentando diferenças significativas nos padrões de leitura. A coleta de dados foi feita até o dia 20 de fevereiro de 2007, obtendo-se dados referentes a 1.483 horas, no período de verão.

### 2.2 Simulações de desempenho

As simulações foram realizadas através do software *IDA - Indoor Climate and Energy*, versão 3.0, Suécia (EQUA SIMULATION, 2002). Para as simulações, foi necessária a inserção de características físicas da edificação, tais como: dimensões, formato e características de todos os materiais envolvidos (características termo-físicas de pisos, paredes, janelas etc, conforme apresentadas na Tabela 1); definição do horário de abertura e fechamento de portas e janelas, equipamentos existentes, número de moradores e horários de permanência na casa; e também das características climáticas, com a montagem de arquivo climático com dados horários de temperatura média, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos, e irradiação solar direta e difusa.



Figura 2– Instalação do sistema de aquisição de dados- Planta

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Medições *in loco*

Verificou-se diferenças na leitura das temperaturas do ar em cada cômodo, em razão das diferentes exposições solares e volumes internos. Foram observadas também diferenças de temperatura dos canais ch#1, ch#2 e ch#3, que registraram o gradiente de temperatura do centro geométrico do compartimento de múltiplo uso a diferentes alturas. De forma a se trabalhar com uma temperatura representativa da moradia, extraiu-se a média de todos os pontos obtendo-se o gráfico de temperaturas externa e interna. Pôde-se observar grande amplitude térmica diária para o período de medição, variando em até 10K. No interior da habitação, a amplitude térmica diária foi muito menor, com as temperaturas durante a noite se mantendo acima dos 20°C.

Para a análise bioclimática das condições de conforto no interior da edificação, foi aplicado o conceito de conforto adaptativo (ASHRAE, 2004). O conceito de conforto adaptativo leva em consideração a adaptabilidade do ser humano às mudanças de temperatura, e é descrito como: *alguma mudança ocorre, causando um desconforto térmico, as pessoas reagem no sentido de restabelecer este conforto* (LINDEN et al., 2005). Existem algumas variáveis que possibilitam um controle individual do conforto térmico como, por exemplo, as vestimentas, o abrir e o fechar de janelas, a regulação da velocidade do ar etc., permitindo que, mesmo em temperaturas mais altas, o conforto seja restabelecido. A temperatura de conforto adaptativo é obtida utilizando a média mensal da temperatura externa como dado de entrada, calculada através da expressão:

$$T_{conf} = 0,31 T_{a,ext} + 17,8 \quad (1)$$

Onde:

$T_{conf}$  – temperatura de conforto em °C

$T_{a,ext}$  - temperatura média externa mensal em °C

Para Canoinhas, foram calculadas as médias mensais e, em seguida, as duas faixas de conforto, para 80% e 90% de aceitabilidade. O índice de aceitabilidade é definido por Linden *et al.* (2005) como 80% ou 90% das pessoas em determinado ambiente em situação de conforto para aquela faixa de temperatura. Os três meses monitorados (dezembro, janeiro e fevereiro) apresentaram pouca variação de temperatura média mensal, sendo o mês mais quente dezembro (Tabela 2).

Tabela 2 – Temperaturas médias mensais e de conforto para Canoinhas-SC, registradas no ch#7

| Mês        | Ta, ext<br>°C | Tconf<br>°C | 90%                 |                     | 80%                 |                     |
|------------|---------------|-------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|            |               |             | Tconf, mínima<br>°C | Tconf, máxima<br>°C | Tconf, mínima<br>°C | Tconf, máxima<br>°C |
| Dez / 2006 | 20,2          | 23,7        | 21,2                | 26,2                | 20,2                | 27,2                |
| Jan/2007   | 20,0          | 23,6        | 21,1                | 26,1                | 20,1                | 27,1                |
| Fev / 2007 | 19,5          | 23,5        | 21,0                | 26,0                | 20,0                | 27,0                |

A Tabela 3 apresenta um resumo das porcentagens de horas de frio, conforto e calor, internas e externas, considerando a faixa de temperaturas relativa a 80% de aceitabilidade para cada mês. Foram também calculadas as temperaturas mínimas, médias e máximas internas e externas. Apesar de se tratar do período de verão, de dezembro a janeiro foram constatados de 61,5% a 68,65% das horas em desconforto por frio e apenas de 0,2% a 2% em desconforto por calor para as temperaturas externas. Internamente, porém, o protótipo apresentou 100% das horas em situação de conforto.

Tabela 3– Resumo das medições térmicas de verão para Canoinhas-SC (80% de aceitabilidade)

| Período            | Frio<br>(%) | Conforto<br>(%) | Calor<br>(%) | T min<br>(°C) | T médio<br>(°C) | T max<br>(°C) |
|--------------------|-------------|-----------------|--------------|---------------|-----------------|---------------|
| Interno -dezembro  | 0           | 100             | 0            | 20            | 22              | 26            |
| Externo- dezembro  | 61,5        | 38,5            | 1            | 13,6          | 20,1            | 27,6          |
| Interno-janeiro    | 0           | 100             | 0            | 19,8          | 22,2            | 26,1          |
| Externo- janeiro   | 64,5        | 35,3            | 0,2          | 14,0          | 20,0            | 27,3          |
| Interno-fevereiro  | 0           | 100             | 0            | 20,2          | 22,2            | 25,8          |
| Externo- fevereiro | 68,6        | 29,4            | 2            | 14,6          | 19,7            | 29,0          |

### 3.2 Comparação das simulações com dados originais medidos *in loco*

As simulações foram realizadas no *software IDA - ICE*. Após sucessivas rodadas de simulações para ajuste do modelo, obteve-se um coeficiente de correlação “R” entre os dados medidos e simulados de 0,9402. Esses primeiros resultados tiveram a função de aferir o modelo simulado em relação à situação real. Com este modelo foi possível realizar a segunda etapa de avaliação, a simulação do protótipo para outras condições, descritas no próximo tópico. A Figura 3 apresenta o gráfico de dispersão das temperaturas medidas *versus* simuladas.

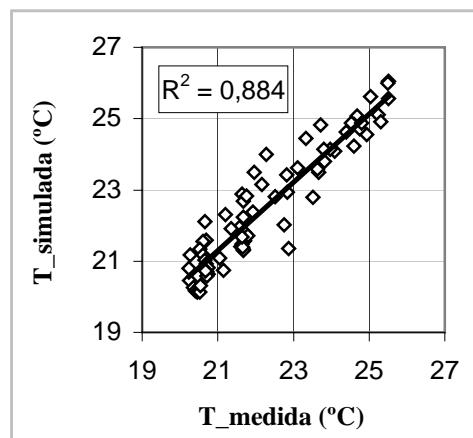


Figura 3– Gráfico de dispersão- Temperaturas medidas e simuladas

### 3.3 Simulação a partir do ano climático de referência (*Test Reference Year*)

Na segunda etapa, foram utilizados os arquivos climáticos das cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre (zonas bioclimáticas 1 e 3, conforme visto), disponíveis em [www.labeee.ufsc.br](http://www.labeee.ufsc.br). Foram realizadas simulações para um mês de inverno e outro de verão. As duas situações oferecem a possibilidade de avaliar o comportamento térmico da edificação sob condições extremas. Para a geração dos dados de temperatura interna da edificação, além dos parâmetros termofísicos descritos anteriormente, foram inseridos os ganhos térmicos referentes aos ocupantes e ao uso de equipamentos conforme a Tabela 4.

Tabela 4- Carga térmica considerada na simulação do protótipo

| Equipamento           | Carga (W) | Horário de funcionamento |
|-----------------------|-----------|--------------------------|
| Equipamento 1         | 300       | Das 19:00 às 24:00 horas |
| Equipamento2          | 150       | Sempre ligado            |
| Sistema de iluminação | 360       | Das 19:00 às 24 horas    |
| Moradores (4)         | 450       | Das 17:00 às 8:00 horas* |

\* de 2ª à 6ª feira, em horário comercial (8h às 17h), apenas um morador foi considerado presente. Fora do horário comercial foram considerados os quatro moradores presentes. Aos **sábados e domingos**, os quatro moradores foram considerados presentes.

Foram gerados resultados em termos da variação da temperatura interna para os meses de temperatura média externa mais alta e mais baixa nas cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, obtendo-se, assim, os meses de **fevereiro e julho** para Curitiba, e de **janeiro e junho** para os outros dois locais, respectivamente.

Observou-se que o sistema construtivo possui uma grande capacidade de amortecimento térmico em relação às temperaturas baixas dos períodos de inverno para as três cidades simuladas (Tabela 5). No inverno, as temperaturas internas nunca ficam mais baixas que as externas. No verão, ocorre o mesmo em relação às temperaturas mais baixas, no entanto, as máximas internas se mostraram um pouco mais elevadas que as temperaturas externas. A elevação das temperaturas internas se deve a diversos fatores como ganhos de radiação solar direta pelas janelas, ventilação inadequada, transmissão de calor através dos materiais de construção, ganhos internos devido à ocupação (presença humana, uso de equipamentos), dentre outros.

Tabela 5- Temperaturas médias internas e externas para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre

| CIDADE               | Situação       | INVERNO       |                 |               | VERÃO         |                 |               |
|----------------------|----------------|---------------|-----------------|---------------|---------------|-----------------|---------------|
|                      |                | T min<br>(°C) | T médio<br>(°C) | T max<br>(°C) | T min<br>(°C) | T médio<br>(°C) | T max<br>(°C) |
| <i>CURITIBA</i>      | <i>interno</i> | 8,4           | 18,8            | 28,4          | 14,7          | 23,2            | 31,5          |
|                      | <i>externo</i> | -2,0          | 12,0            | 26,0          | 13,0          | 20,7            | 31,0          |
| <i>FLORIANÓPOLIS</i> | <i>interno</i> | 15,0          | 21,9            | 28,0          | 20,1          | 26,6            | 37,1          |
|                      | <i>externo</i> | 4,0           | 17              | 29,5          | 18,5          | 24,8            | 36,0          |
| <i>PORTO ALEGRE</i>  | <i>interno</i> | 12,8          | 20,1            | 27,8          | 16,8          | 27,1            | 37,0          |
|                      | <i>externo</i> | 2,5           | 14,9            | 26            | 12,5          | 24,6            | 36,5          |

### 3.4 Níveis de Conforto/Desconforto

As temperaturas de conforto foram calculadas para ambos os meses do ano, para as três cidades simuladas. Em seguida foram verificadas as amplitudes obtidas em relação à zona de conforto adaptativo, correspondentemente a 80% e 90% de aceitabilidade. A Tabela 6 apresenta temperaturas médias mensais, temperaturas de conforto calculadas e médias, mínimas e máximas de temperatura para as faixas de aceitabilidade para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, respectivamente. Temperaturas internas acima ou abaixo desse intervalo devem utilizar um sistema auxiliar de

condicionamento de ar. Através dessa tabela, é possível observar que as temperaturas médias de verão e de inverno para Curitiba são significativamente mais baixas.

**Tabela 6- Temperaturas médias externas mensais e de conforto para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre**

| CIDADE               | Mês        | Ta, ext<br>(°C) | Tconf<br>(°C) | 90%                       |                           | 80%                       |                           |
|----------------------|------------|-----------------|---------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
|                      |            |                 |               | Tconf ,<br>mínima<br>(°C) | Tconf ,<br>máxima<br>(°C) | Tconf ,<br>mínima<br>(°C) | Tconf ,<br>máxima<br>(°C) |
| <i>CURITIBA</i>      | Fev        | 20,7            | 24,23         | 21,73                     | 26,73                     | 20,73                     | 27,73                     |
|                      | <b>Jul</b> | <b>12,5</b>     | <b>21,68</b>  | <b>19,18</b>              | <b>24,18</b>              | <b>18,18</b>              | <b>25,18</b>              |
| <i>FLORIANÓPOLIS</i> | Jan        | 24,8            | 25,49         | 22,99                     | 27,99                     | 21,99                     | 28,99                     |
|                      | <b>Jun</b> | <b>17,0</b>     | <b>23,07</b>  | <b>20,57</b>              | <b>25,57</b>              | <b>19,57</b>              | <b>26,57</b>              |
| <i>PORTO ALEGRE</i>  | Jan        | 24,6            | 25,43         | 22,93                     | 27,93                     | 21,93                     | 28,93                     |
|                      | <b>Jun</b> | <b>13,7</b>     | <b>22,05</b>  | <b>19,55</b>              | <b>24,55</b>              | <b>18,55</b>              | <b>25,55</b>              |

Considerou-se três situações para as simulações: a) protótipo conforme originalmente concebido e construído, ou seja, cobertura com telhas de fibrocimento, forro de pinus e paredes duplas com estrutura interna de pinus de 7,5 cm de espessura e chapas de vedação interna de 9mm e externa de 12mm, com uma transmitância térmica (U) resultante de 2,167 W/m<sup>2</sup>.K; b) denominada protótipo 1, com estrutura interna de 10 cm e as chapas internas e externas de 12mm e 15mm, com U = 1,813 W/m<sup>2</sup>.K; c) denominada protótipo 2, com isolamento interno (lã de rocha) de 7,5 cm entre as chapas interna e externa (9mm e 12mm), com U de 0,4939 W/m<sup>2</sup>.K.

As simulações foram realizadas no verão com janelas abertas das 7:30 às 21:00 e, no inverno, com abertura das janelas laterais das 14:00 às 16:00. Em relação às temperaturas externas das três cidades pode-se verificar que para o mês mais frio, Porto Alegre apresenta a maior porcentagem de horas de desconforto por frio, seguida de Curitiba e de Florianópolis. Em contrapartida, Curitiba apresenta a temperatura mínima mais baixa. No verão, Porto Alegre apresenta significativamente a maior porcentagem de horas de desconforto por calor, seguida por Florianópolis e por Curitiba. Porto Alegre também apresenta a maior temperatura externa máxima.

Na avaliação de conforto, nota-se que o protótipo original responde com bom desempenho em situação de calor. Para condições mais frias, a eliminação do desconforto por frio deve ser garantida com a inclusão de isolante térmico, uma vez que se trata de um sistema construtivo de baixa inércia térmica.

De um modo geral, nota-se que a modificação no projeto original para a inclusão de isolamento térmico traz um aumento significativo das temperaturas internas no período de inverno, elevando os níveis de conforto, embora também causando algum desconforto por calor. Essa modificação pode não se justificar em função da localidade: para Curitiba, adotar o isolamento térmico no interior dos painéis pode ser desejável, considerando a característica climática da cidade; para Florianópolis, verifica-se melhora nos níveis de conforto até mesmo no período de verão, com leve redução da temperatura interna e com a eliminação do desconforto por calor; para Porto Alegre, a configuração “protótipo 2” é desnecessária, sendo o protótipo original suficiente do ponto de vista do conforto interno.

Tabela 7- Resumo verão e inverno para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre

| Cidade        | Período                        | Sistema Construtivo | Frio (%)    | Conforto (%) | Calor (%)   | T min (°C)  | T médio (°C) | T max (°C)  |
|---------------|--------------------------------|---------------------|-------------|--------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| Curitiba      | Verão (fevereiro)<br>672 horas | Protótipo           | 21,1        | 71,0         | 7,9         | 14,7        | 23,2         | 31,5        |
|               |                                | Protótipo 1         | 21,3        | 70,4         | 8,3         | 14,6        | 23,1         | 31,6        |
|               |                                | Protótipo 2         | 24,8        | 68,1         | 7,1         | 14,9        | 23,4         | 31,2        |
|               |                                | <b>Externo</b>      | <b>56,0</b> | <b>38,3</b>  | <b>5,7</b>  | <b>13,0</b> | <b>20,7</b>  | <b>31,0</b> |
|               | Inverno (julho)<br>744 horas   | Protótipo           | 39,5        | 54,9         | 5,6         | 8,4         | 18,8         | 28,4        |
|               |                                | Protótipo 1         | 34,3        | 60,0         | 5,7         | 9,3         | 19,1         | 27,8        |
|               |                                | Protótipo 2         | 0           | 69,4         | 30,6        | 15,2        | 23,0         | 29,5        |
|               |                                | <b>Externo</b>      | <b>84,8</b> | <b>14,5</b>  | <b>0,7</b>  | <b>-2,0</b> | <b>12,0</b>  | <b>26,0</b> |
| Florianópolis | Verão (janeiro)<br>744 horas   | Protótipo           | 3,4         | 80,7         | 15,9        | 20,1        | 26,6         | 37,1        |
|               |                                | Protótipo 1         | 7,3         | 80,2         | 12,5        | 19,9        | 25,7         | 35,1        |
|               |                                | Protótipo 2         | 5,0         | 95           | 0           | 20,8        | 25,0         | 36,0        |
|               |                                | <b>Externo</b>      | <b>18,3</b> | <b>70</b>    | <b>11,7</b> | <b>18,5</b> | <b>24,8</b>  | <b>36,0</b> |
|               | Inverno (junho)<br>720 horas   | Protótipo           | 19,4        | 78,1         | 2,5         | 15,0        | 21,9         | 28,0        |
|               |                                | Protótipo 1         | 9,0         | 81,6         | 9,4         | 15,6        | 22,3         | 28,0        |
|               |                                | Protótipo 2         | 0           | 80,1         | 19,9        | 20,8        | 25,0         | 28,3        |
|               |                                | <b>Externo</b>      | <b>74,7</b> | <b>25,3</b>  | <b>0,7</b>  | <b>4,0</b>  | <b>17</b>    | <b>29,5</b> |
| Porto Alegre  | Verão (janeiro)<br>744 horas   | Protótipo           | 8,1         | 63,7         | 28,2        | 16,8        | 27,1         | 37,0        |
|               |                                | Protótipo 1         | 7,9         | 63,7         | 28,4        | 16,8        | 27,1         | 36,9        |
|               |                                | Protótipo 2         | 6,7         | 65,1         | 28,2        | 17,1        | 27,2         | 36,6        |
|               |                                | <b>Externo</b>      | <b>0,7</b>  | <b>27,0</b>  | <b>72,3</b> | <b>12,5</b> | <b>24,6</b>  | <b>36,5</b> |
|               | Inverno (junho)<br>720 horas   | Protótipo           | 10,4        | 84,7         | 4,9         | 12,8        | 20,1         | 27,8        |
|               |                                | Protótipo 1         | 7,2         | 79,8         | 13,0        | 13,8        | 20,7         | 27,9        |
|               |                                | Protótipo 2         | 0           | 54,0         | 46,0        | 20,4        | 24,8         | 29,4        |
|               |                                | <b>Externo</b>      | <b>87,7</b> | <b>10,3</b>  | <b>0,3</b>  | <b>2,5</b>  | <b>14,9</b>  | <b>26</b>   |

### 3.5 Avaliação pelo método do somatório de graus-hora para resfriamento/aquecimento

O somatório de graus-hora é um parâmetro de análise climática que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura quando esta excede ou se encontra abaixo de uma temperatura-base Tb. No verão, considerou-se Tb como sendo o limite máximo da temperatura de conforto e, no inverno, seu limite mínimo, ambos para 80% de aceitabilidade. Ou seja, quando a temperatura horária excede ou está abaixo da temperatura-base, calcula-se a diferença (Th-Tb), somando-se então essas diferenças, hora a hora (GOULART *et al.*, 1998).

O somatório de graus-hora foi obtido para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre, com relação às três configurações (protótipo, protótipo 1 e protótipo 2). A Tabela 8 relaciona o sistema construtivo e o somatório de graus-hora correspondente ( $\Sigma^{\circ}C \cdot h$ ).

O rigor das condições externas em termos de somatório de graus-hora aponta para Curitiba como a condição mais crítica no período frio e para Porto Alegre como a mais crítica no período quente, sendo entretanto as três localidades da região Sul do Brasil caracterizadas sobretudo pelo frio e não pelo calor. Correspondentemente, tem-se internamente a maior carga de aquecimento para Curitiba, para as duas primeiras configurações de protótipo, podendo esta ser neutralizada com uso de isolamento térmico nas paredes externas (protótipo 2). Da mesma forma, para a carga de resfriamento necessária para garantir no mínimo o atendimento do limite máximo da faixa de conforto para 80% de aceitabilidade, os maiores somatórios se referem à cidade de Porto Alegre, notando-se melhoria pouco significativa entre as três configurações do protótipo.

Tabela 8- Somatório graus hora para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre

| Cidade               | Período  | Sistema Construtivo | $\Sigma^{\circ}C*h$ |
|----------------------|--|---------------------|---------------------|
| <i>Curitiba</i>      | Verão (fevereiro)<br>672 horas $T_b=27,73^{\circ}C$  | Protótipo           | 78,4                |
|                      |  | Protótipo 1         | 82,0                |
|                      |  | Protótipo 2         | 61,5                |
|                      |  | <b>Externo</b>      | <b>51,2</b>         |
|                      |  | Protótipo           | 978,61              |
|                      | Inverno<br>(julho)<br>744 horas $T_b=18,18^{\circ}C$ | Protótipo 1         | 816,2               |
|                      |  | Protótipo 2         | 0                   |
|                      |  | <b>Externo</b>      | <b>4.581,1</b>      |
|                      |  | Protótipo           | 215,3               |
| <i>Florianópolis</i> | Verão (janeiro)<br>744 horas $T_b=28,99^{\circ}C$    | Protótipo 1         | 189,9               |
|                      |  | Protótipo 2         | 0                   |
|                      |  | <b>Externo</b>      | <b>205,6</b>        |
|                      |  | Protótipo           | 215,0               |
|                      |  | Protótipo 1         | 149,1               |
|                      | Inverno<br>(junho)<br>720 horas $T_b=19,57^{\circ}C$ | Protótipo 2         | 0                   |
|                      |  | <b>Externo</b>      | <b>2.300,0</b>      |
|                      |  | Protótipo           | 593,2               |
|                      |  | Protótipo 1         | 594,7               |
|                      |  | Protótipo 2         | 533,8               |
| <i>Porto Alegre</i>  | Verão (janeiro)<br>744 horas                         | <b>Externo</b>      | <b>422,12</b>       |
|                      |  | Protótipo           | 126,8               |
|                      |  | Protótipo 1         | 76,5                |
|                      | Inverno<br>(junho)<br>720 horas $T_b=18,55^{\circ}C$ | Protótipo 2         | 0                   |
|                      |  | <b>Externo</b>      | <b>2.852,1</b>      |
|                      |  | Protótipo           | 533,8               |

Com exceção de Florianópolis, onde o uso da configuração “protótipo 2” elimina a necessidade de resfriamento no verão, nas duas outras cidades, qualquer configuração do protótipo trará uma carga de resfriamento superior à situação externa. Desta forma, para Florianópolis, confirma-se novamente a melhor opção como sendo o uso de isolamento térmico nas paredes externas. Considerando-se ainda a vantagem do uso da configuração “protótipo 2” para o período frio de Curitiba, para ambas as localidades recomenda-se adotar essa configuração de projeto.

### 3.6 Resumo das avaliações do protótipo original

De modo a resumir as avaliações de desempenho térmico da configuração original, a Tabela 9 apresenta um quadro-resumo dos parâmetros calculados:  $\Sigma^{\circ}C*h$ , horas de desconforto por calor (verão) e por frio (inverno) das condições internas e externas, e a relação  $\Sigma^{\circ}C*h$  interno/externo. Quanto menor o índice  $\Sigma^{\circ}C*h$  interno/externo, melhor será o desempenho da edificação para um determinado período e localidade.

Tabela 9- Resumo dos parâmetros  $\Sigma^{\circ}C*h$ , horas de desconforto e relação  $\Sigma^{\circ}C*h$  interno/externo (verão, inverno), para a configuração construtiva original

| Cidade/ Mês                                     | ZB | VERÃO               |       |                      |     |                             | INVERNO             |         |                      |     |                             |
|---|----|---------------------|-------|----------------------|-----|-----------------------------|---------------------|---------|----------------------|-----|-----------------------------|
|   |    | $\Sigma^{\circ}C*h$ |       | Horas de desconforto |     | Relação $\Sigma^{\circ}C*h$ | $\Sigma^{\circ}C*h$ |         | Horas de desconforto |     | Relação $\Sigma^{\circ}C*h$ |
|   |    | int                 | ext   | int                  | ext | int/ext                     | int                 | ext     | int                  | ext | int/ext                     |
| <b>CANOINHAS</b><br>(Dezembro 2006) - Medido    | 1  | 0                   | 0,54  | 0                    | 6   | 0                           | -                   | -       | -                    | -   | -                           |
| <b>CURITIBA</b><br>(Fev. e Julho) simulado      | 1  | 78,4                | 51,2  | 53                   | 39  | 1,36                        | 978,61              | 4.581,1 | 294                  | 631 | 0,21                        |
| <b>FLORIANÓPOLIS</b><br>(Jan. e Junho) simulado | 3  | 215,3               | 205,6 | 118                  | 87  | 1,047                       | 215,0               | 2.300,5 | 140                  | 543 | 0,093                       |
| <b>PORTO ALEGRE</b><br>(Jan. e Junho) simulado  | 3  | 593,2               | 422,1 | 210                  | 140 | 1,40                        | 126,8               | 2.852,1 | 75                   | 644 | 0,045                       |

Pode-se observar que, para a configuração construtiva original, o melhor desempenho em termos do parâmetro  $\Sigma^oC^*h$  *interno/externo* no verão foi para a cidade de Florianópolis e o pior para Porto Alegre. Para as três cidades simuladas este índice ficou acima de 1, indicando que as condições de conforto térmico interno são piores que as externas.

Para a condição de inverno, o melhor desempenho foi para a cidade de Porto Alegre e o pior para Curitiba. Nas três cidades simuladas este índice ficou abaixo de 1, indicando que as condições de conforto térmico interno são melhores que as externas. O desempenho superior do protótipo original em Porto Alegre sugere não ser necessário incrementá-lo para essas condições climáticas.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os resultados do monitoramento térmico demonstraram que, para Canoinhas, no período de verão, o protótipo apresentou 100% de conforto para 80% de aceitabilidade, indicando um excelente desempenho. Simulações realizadas para as capitais do Sul do Brasil mostraram que o mesmo protótipo, com alguma melhoria no sistema construtivo, poderia se adequar àquelas condições climáticas com excelente nível de desempenho.

#### **5 REFERÊNCIAS**

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2 - Desempenho térmico de edificações – Parte 2: métodos de cálculo da Transmitância Térmica, da Capacidade Térmica, do Atraso Térmico e do Fator Solar de elementos e componentes de Edificações.** Rio de Janeiro, 2005.

ASHRAE. **ANSI/ASHRAE Standard 55R – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy.** Atlanta: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.; 2004.

EQUA SIMULATION. **IDA Indoor Climate and Energy 3.0 Manual.** EQUA Simulation AB, 2002.

GOULART, S.; LAMBERTS, R.; FIRMINO, S. **Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações para 14 cidades brasileiras.** Florianópolis : PROCEL/Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC, 1998.

LINDEN, A C.V.D.; BOESTRA, A. C.; RAUE, A. K.; KURVERS, S.R.; de DEAR R.J. Adaptive temperature limits: A new guideline in the Netherlands: a new approach for the assessment of building performance with respect to thermal indoor climate. **Energy and Building:** 38, 2005.