

Engenharia Civil

Avaliação de desempenho térmico de protótipo de baixo custo em madeira de reflorestamento

(Thermal evaluation of a low-cost wooden house prototype using reforested wood)

Resumo

Apesar de o Governo Federal vir investindo cada vez mais no setor habitacional desde 2004, o déficit habitacional tem aumentado significativamente. Em 2004, foi criado o Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social (PSH), que oferece um “subsídio” máximo de R\$ 4.500,00 para construção de novas unidades. O presente trabalho trata da concepção, execução e avaliação do desempenho térmico de um protótipo de habitação em madeira, utilizando o sistema construtivo de painéis portantes de pequenas dimensões fabricados a partir de chapas de compensado e madeira de reflorestamento. Teve-se como objeto de análise um protótipo habitacional construído no município de Canoinhas, estado de Santa Catarina, para atender ao Programa de Subsídio à Habitação de Interesse Social. Esse estudo foi desenvolvido em três etapas: a) monitoramento da qualidade do processo de construção, considerando a geração de indicadores de desempenho; b) avaliação do desempenho dos requisitos de desempenho térmico, por meio de medições in loco da temperatura ambiente; e c) simulações do desempenho térmico. A partir dessas avaliações, foram apresentadas sugestões de modificações para atendimento dos requisitos de habitabilidade.

Palavras-chave: Habitação social, avaliação de desempenho da edificação, desempenho térmico.

Abstract

Although the Brazilian Federal Government has been improving investments in the housing sector since 2004, the housing deficit has increased significantly. In 2004, a program was created to subsidize low-income social housing (PSH) with a maximum subsidy of about US\$ 2,500 for the construction of ‘do-it-yourself’ units. The present research had the general purpose of conceiving, constructing and evaluating the performance of a prototype for building social housing consisting of wood and plywood panels. The object of analysis in this case-study was a building prototype in Canoinhas, located in the State of Santa Catarina,

Eduardo L. Krüger

*Prof. Dr. , Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
E-mail: ekruger@utfpr.edu.br*

Christine Laroca

*Profa. Dra., Departamento de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná
E-mail: wood_arquitetura@yahoo.com.br*

south of Brazil, in order to attend the program for subsidized social housing. The study was developed in three stages: a) evaluating the quality achieved during the building process, b) evaluating the thermal performance of the finished prototype by means of onsite measurements; and c) computer simulations. From the obtained results, general guidelines were drawn for improving indoor comfort conditions.

Keywords: Low-cost house, building performance evaluation, thermal comfort.

1. Introdução

Segundo o Ministério das Cidades, em 2007, o déficit habitacional atingiu 7.223 milhões de domicílios. A maior parte desse déficit, 5,47 milhões de unidades, encontra-se em áreas urbanas e 1,75 milhão, em zonas rurais. As regiões Nordeste e Sudeste concentram a maior parte do déficit com incidência de 39,4% e 32,4%, respectivamente. Mais de 10 milhões de domicílios são carentes de infra-estrutura e 84% do déficit habitacional brasileiro está concentrado em famílias com renda de até três salários mínimos.

Em contrapartida, o Brasil é um país de evidente vocação florestal. As espécies florestais exóticas, como as do *Pinus* e *Eucalyptus*, adaptaram-se muito bem, graças à avançada tecnologia silvicultural brasileira. Aqui se promove produtividade, no mínimo, dez vezes maior que a de muitos países de clima temperado, muitos deles competidores internacionais (Valverde et al., 2005). No mundo, as florestas plantadas para o uso industrial ocupam aproximadamente 187,5 milhões de hectares, sendo que 5,6 milhões de hectares, ou 3 % do total, encontram-se no Brasil, o que corresponde a apenas 1 % do total florestal nacional. Com relação às espécies plantadas, o *Eucalyptus* e o *Pinus* representam 93% das áreas cultivadas. A região Sudeste tem aproximadamente 2.083.058 ha em florestas plantadas de *Eucalyptus*, sen-

do que os dois maiores estados produtores são, respectivamente, Minas Gerais e São Paulo. A região Sul tem aproximadamente 1.392.472 ha de florestas de *Pinus*, o que equivale a 80% das áreas plantadas no Brasil, principalmente nos estados do Paraná (677.772 ha) e Santa Catarina (527.079 ha) (ABIMCI, 2006).

O Estado de Santa Catarina possui tradição construtiva em madeira. Ainda hoje é possível observar muitas unidades sendo construídas na região serrana, tanto casas de alto padrão como casas populares. Em decorrência desta característica peculiar, e em função de o estado ser o segundo maior produtor de *Pinus* do país, o Governo do Estado intercedeu junto à COHAB no sentido de buscar soluções pré-fabricadas em madeira (industrializadas) para a construção de unidades habitacionais no interior do Estado. Diante da perspectiva de comercialização de casas pré-fabricadas, empresários vinculados à Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente (ABIMCI) decidiram viabilizar a construção de dois protótipos, um construído em madeira maciça no município de Lajes - SC, coordenado pelo sindicato dos madeireiros do município; outro construído no pátio da indústria LAVRASUL S/A, em Canoinhas - SC, vinculado a esse trabalho.

O presente artigo apresenta a avaliação do desempenho térmico de protótipo de uma habitação em madeira de Canoinhas, utilizando o sistema construtivo de painéis portantes de pequenas dimensões fabricados a partir de chapas de compensado e madeira de reflorestamento. O estudo foi desenvolvido em três etapas: a) monitoramento da qualidade do processo de construção, considerando a geração de indicadores de desempenho; b) avaliação do desempenho dos requisitos de desempenho térmico, por meio de medições in loco da temperatura ambiente; e c) simulações do desempenho térmico. A partir dessas avaliações, foram apresentadas sugestões de modificações para atendimento dos requisitos de habitabilidade.

2. Concepção e execução do protótipo de habitação social em Canoinhas - SC

O projeto desenvolvido para atender aos requisitos do Programa de Subsídio à Habitação Social foi concebido a partir da releitura de experiências bem sucedidas ocorridas em países desenvolvidos, utilizando o sistema construtivo *wood light frame*. Esse sistema tem como característica principal o uso de peças de pequenas dimensões de madeira de reflorestamento e de paredes duplas (utilizando painéis de compensado).

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 48,93m². A cobertura é composta de telhas de fibrocimento e forro de pinus. As paredes são duplas com estrutura interna de *Pinus* de 7,5 cm de espessura. O sistema compõe-se de chapas de fechamento interno de 9mm e externa de 12mm, com uma transmitância térmica (U) das paredes externas resultante de 2,167 W/m².K (conforme dados da norma ABNT, 2004). Utilizaram-se janelas de abrir nos ambientes e máximo- ar apenas no banheiro. A fachada principal da edificação é voltada para o Norte, sendo o entorno praticamente livre à movimentação de ar. No protótipo, adotou-se uma coloração clara para as paredes externas. A Figura 1 apresenta a planta adotada.

3. Materiais e métodos

Após a conclusão do protótipo, iniciou-se a avaliação dos requisitos de habitabilidade. Na pesquisa completa, isso envolveu a avaliação térmica e acústica do sistema construtivo. O procedimento na avaliação de desempenho térmico seguiu as seguintes etapas:

- a) Medição *in loco* de temperaturas internas e externas ao protótipo: 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 sensores tipo PT100.
- b) 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 (EQUA SIMULATION, 2002); 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, correspondem às zonas bioclimáticas 1 e 3; 2) composição das paredes externas do protótipo.

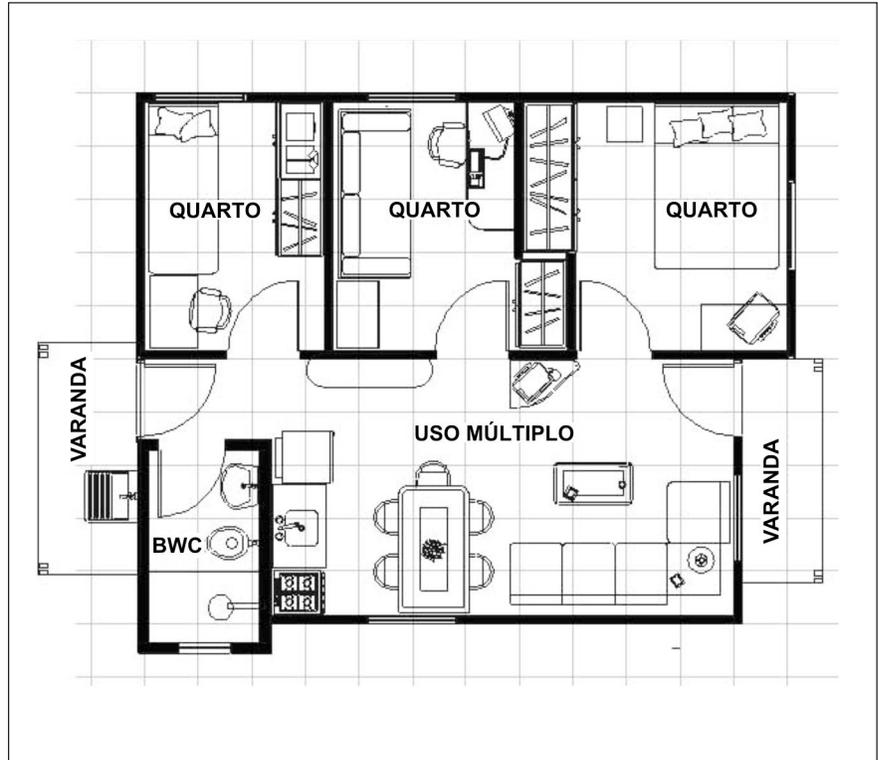


Figura 1 - Planta Modulada.

4. Avaliação do desempenho térmico por meio de medições *in loco*

Os sensores foram instalados no centro geométrico de cada cômodo e também a diferentes alturas para que se contabilizasse o efeito da estratificação do ar, sendo 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 da edificação) 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 apresen-

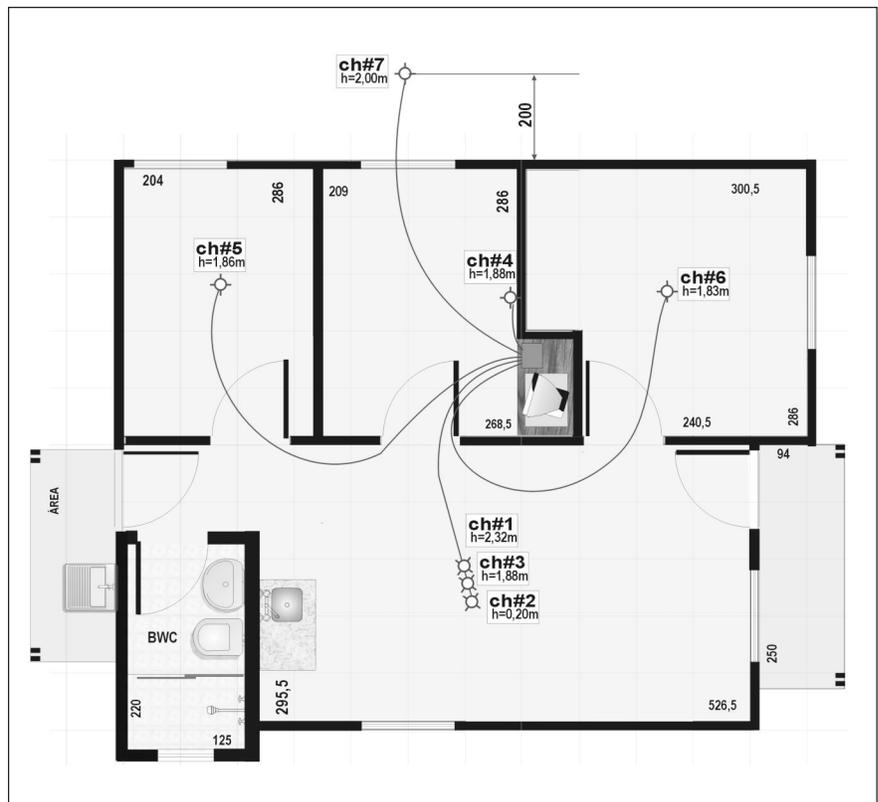


Figura 2 - Instalação do sistema de aquisição de dados - planta.

tando 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 68 dias, no período de verão.

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 representado pela Figura 3 (dados referentes ao período monitorado em dezembro de 2007). A simplificação de se trabalhar com uma temperatura média do ambiente foi adotada de modo a facilitar a modelagem no programa de simulação e tal decisão pode ser justificada pela baixa inércia térmica da edificação como um todo. Nas simulações, as partições internas foram inseridas como massa térmica no modelo computacional. Pode-se observar a grande amplitude térmica diária do período de medição variando em até 10°C. No interior da habitação, a amplitude térmica diária é 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. Segundo Linden et al. (2005), a satisfação do usuário em relação ao edifício está diretamente ligada à qualidade de desempenho térmico do mesmo. O conceito de conforto adaptativo leva em consideração a adaptabilidade do ser humano às mudanças de temperatura, e é descrito como: "... quando alguma mudança ocorre, causando um desconforto térmico, as pessoas reagem no sentido de restabelecer este conforto". 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. Segundo De Dear & Brager (2002), o clima externo influencia a percepção térmica e provavelmente dá-se um efeito psicológico, particularmente em edifícios naturalmente ventilados, nos quais há uma relação direta entre as tempera-

turas internas e externas. A temperatura de conforto adaptativo é obtida utilizando a média mensal da temperatura externa como dado de entrada, calculada por meio da expressão:

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

Onde:

T_{conf} - temperatura de conforto em °C

Text - temperatura média externa mensal em °C

Como a edificação construída é naturalmente ventilada (não se prevê a utilização de equipamentos de climatização artificial) e como seus ocupantes terão a possibilidade de regular velocidade do ar no interior por meio do controle de aberturas para obtenção de conforto, adotou-se o método da ASHRAE (2004) de conforto adaptativo. Para Canoinhas, foram calculadas as médias mensais e, em seguida, as duas faixas de conforto, para 80% e 90% de aceitabilidade, em cada caso, adicionando-se e subtraindo-se 2.5°C e 3.5°C, respectivamente, à temperatura de conforto. 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 1).

Apesar de se tratar do período de verão, de dezembro a janeiro foram constatados externamente ao protótipo de 62% a 69% das horas em desconforto por frio e apenas de 1% a 2% em desconforto por calor. Internamente, porém, o protótipo apresentou 100% das horas em situação de conforto (Tabela 2).

5. Simulações de desempenho térmico

O objetivo principal da realização de simulações térmicas foi a possibilidade de avaliar variações no projeto original quanto ao desempenho térmico. As simulações foram realizadas por meio do software *IDA - Indoor Climate and Energy*, versão 3.0, Suécia (2002). Para as simulações foram necessárias: a inserção de características físicas da edificação e de características termofísicas dos materiais da envoltória; a definição de um padrão de uso da edificação com horários de abertura e fechamento de portas e janelas e operação de equipamentos existentes, quantidade de moradores e horários de permanência na casa; e também a inserção das características climáticas, com a montagem de arquivo climático com dados sobre horários de temperatura média, umidade relativa do ar, velocidade e direção dos ventos e irradiação solar direta e difusa. Dados quanto às características termofísicas

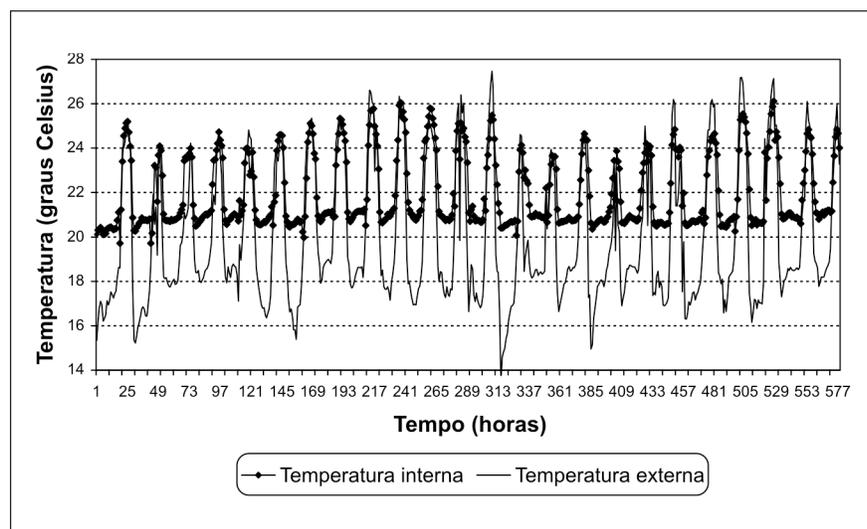


Figura 3 - Leitura da média das temperaturas interna e externa do mês de dezembro.

Tabela 1 - Temperaturas médias mensais e de conforto para Canoinhas-SC.

Mês	Ta, ext °C	Tconf °C	90%		80%	
			Tconf, mínima °C	Tconf, máxima °C	Tconf, mínima °C	Tconf, máxima °C
Dezembro	19,0	23,7	21,2	26,2	20,2	27,2
Janeiro	18,7	23,6	21,1	26,1	20,1	27,1
Fevereiro	18,4	23,5	21,0	26,0	20,0	27,0

Tabela 2 - Resumo do resultado das medições térmicas de verão - Canoinhas (80% de aceitabilidade).

Período	Frio (%)	Conforto (%)	Calor (%)	T mín (°C)	T médio (°C)	T máx (°C)
Interno - dezembro	0	100	0	20,0	22,0	26,0
Externo - dezembro	62	37	1	13,6	20,1	27,6
Interno - janeiro	0	100	0	19,8	22,2	26,1
Externo - janeiro	65	35	0	14,0	20,0	27,3
Interno - fevereiro	0	100	0	20,2	22,2	25,8
Externo - fevereiro	69	29	2	14,6	19,7	29,0

dos materiais empregados foram extraídos da norma brasileira de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos (ABNT, 2004).

5.1 Comparação das simulações com dados originais medidos in loco

Uma vez que Canoinhas não possui estação meteorológica padrão WMS, foi montado um arquivo climático a partir dos dados de temperatura obtidos nas medições de campo (canal ch#7), sendo então solicitados dados de radiação e vento à estação meteorológica mais próxima, neste caso, em Curitiba (estação do SIMEPAR, no Centro Politécnico da UFPR, Curitiba). Uma vez que a distância entre ambas as localidades é considerável (cerca de 180km), mesmo que ambas pertençam à mesma zona bioclimática e estejam localizadas em altitude semelhante, os dados de irradiância po-

dem sofrer variações em dias de grande nebulosidade. Assim, considerou-se para a calibração apenas os dias verificados como de céu claro nas duas cidades. 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. Com esse modelo, foi, então, possível realizar a segunda etapa de avaliação: a simulação do protótipo para outras configurações de projeto, descritas no próximo tópico.

5.2 Simulação a partir do ano climático de referência (test reference year)

Na segunda etapa de simulações, foram montados os arquivos climáticos a partir de dados dos anos climáticos de referência para as cidades de Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre (zonas bioclimáticas 1 e 3, conforme a norma

brasileira de desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - ABNT, 2004), disponíveis em www.labeee.ufsc.br. Foram realizadas simulações para um mês de inverno e outro de verão. As duas situações oferecem a possibilidade de se 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. Consideraram-se, no inverno, janelas fechadas, mas permitindo ganhos solares. No verão, um padrão de operação das aberturas supõe que as janelas e a porta dos fundos sejam abertas às 7:30 e fechadas às 21:00, o que gera ventilação cruzada durante grande parte do dia.

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. No inverno, o diferencial das temperaturas internas em relação às externas situou-se em torno de 8°C. No verão, ocorre o mesmo em relação às temperaturas mínimas diárias, porém em menor grau, uma vez que há ventilação cruzada durante boa parte do dia. Como consequência da alta taxa de ventilação associada a ganhos solares (não foram inseridos elementos de sombreamento) e ao uso de equipamentos, as máximas internas se mostraram próximas às temperaturas externas, com um ligeiro aumento (Tabela 3).

5.3 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 dife-

rença de temperatura quando esta excede ou se encontra abaixo de uma temperatura-base T_b . No verão, considerou-se T_b como sendo o limite máximo da temperatura de conforto e, no inverno, seu limite mínimo, ambos para 80% de aceitabilidade térmica, ou seja, quando a temperatura horária excede ou está abaixo da temperatura-base, calcula-se a diferença ($T_h - T_b$), somando-se, então, essas diferenças, hora a hora (Goulart et al., 1998). Consideraram-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/m².K; b) configuração denominada protótipo 1, com estrutura interna de 10 cm e chapas internas e externas de 12mm e 15mm, com U=1,813 W/m².K; c) configuração 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/m².K.

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 4 relaciona o sistema cons-

trutivo e o somatório de graus-hora correspondente (ΣC^*h). Os gráficos da Figura 4 ilustram o desempenho dos três sistemas quando submetidos às três condições climáticas, no inverno e no verão.

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, quanto à 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 nenhuma melhoria com a adoção das duas configurações alternativas do protótipo. No verão, qualquer configuração do protótipo trará uma carga de resfriamento superior à situação externa.

Uma vez que o desconforto por calor no verão se deve mais à operação das aberturas (ventilação e sombreamen-

Tabela 3 - Temperaturas médias internas e externas para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre - médias das mínimas e das máximas diárias.

		Inverno			Verão		
Cidade	Situação	T mín (°C)	T médio (°C)	T máx (°C)	T mín (°C)	T médio (°C)	T máx (°C)
Curitiba	interno	14,9	19,2	23,2	20,0	23,8	27,3
	externo	7,5	12,5	19,1	17,1	20,7	26,3
Florianópolis	interno	20,7	23,2	26,2	24,6	27,3	30,2
	externo	12,7	17,0	22,5	21,7	24,8	29,3
Porto Alegre	interno	20,1	22,6	25,3	23,3	27,9	31,8
	externo	11,7	14,9	19,1	19,6	24,6	30,5

Tabela 4 - Somatório de graus - hora para as três cidades.

Cidade	Período	Sistema Construtivo	Relação $\Sigma^{\circ}\text{C}^*\text{h}_{\text{interno/externo}}$	$\Sigma^{\circ}\text{C}^*\text{h}$
Curitiba	Verão (fevereiro) 672 horas Tb=27,7°C	Protótipo	1,46	79
		Protótipo 1	-	76
		Protótipo 2	-	79
		Externo	-	54
	Inverno (julho) 744 horas Tb=18,2°C	Protótipo	0,19	863
		Protótipo 1	-	495
		Protótipo 2	-	4
		Externo	-	4605
Florianópolis	Verão (janeiro) 744 horas Tb=29°C	Protótipo	1,6	327
		Protótipo 1	-	331
		Protótipo 2	-	386
		Externo	-	205
	Inverno (junho) 720 horas Tb=19,6°C	Protótipo	0,04	92
		Protótipo 1	-	0
		Protótipo 2	-	0
		Externo	-	2317
Porto Alegre	Verão (janeiro) 744 horas Tb=28,9°C	Protótipo	1,75	749
		Protótipo 1	-	761
		Protótipo 2	-	846
		Externo	-	428
	Inverno (junho) 720 horas Tb=18,9°C	Protótipo	0,02	60
		Protótipo 1	-	2
		Protótipo 2	-	1
		Externo	-	3078

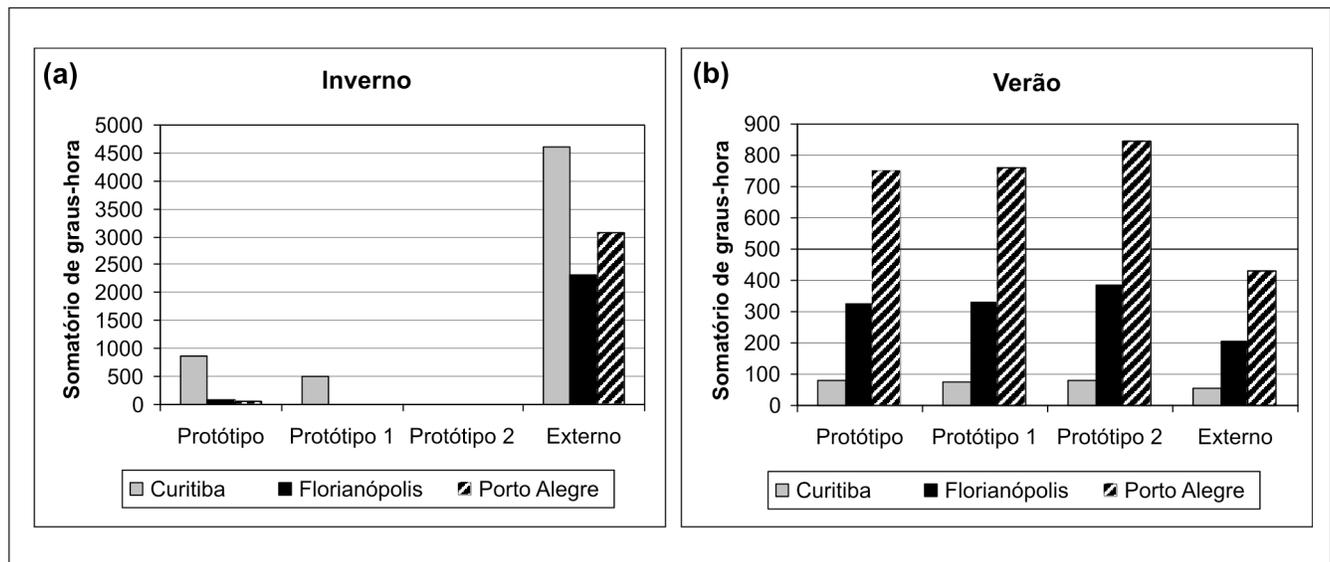


Figura 4 - Somatórios de graus-hora para Curitiba, Florianópolis e Porto Alegre nos três protótipos – inverno (a) e verão (b).

to), sugere-se um leve aumento das espessuras dos painéis para Florianópolis e Porto Alegre (protótipo 1) e a adoção de isolamento térmico no interior dos painéis de parede (protótipo 2) para Curitiba.

A Tabela 4 apresenta também a relação $\Sigma^{\circ}C \cdot h_{\text{interno/externo}}$ para o protótipo original nos três climas. Neste caso, quanto menor o índice $\Sigma^{\circ}C \cdot h_{\text{interno/externo}}$, melhor será o desempenho da edificação para um determinado período e localidade. Pode-se observar que, para a configuração construtiva original, o melhor desempenho, em termos do parâmetro $\Sigma^{\circ}C \cdot h_{\text{interno/externo}}$, no verão, foi para a cidade de Curitiba e o pior, para Porto Alegre. Para as três cidades simuladas esse índice ficou acima de 1, indicando que as condições de conforto térmico interno são inferiores às 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, esse índice ficou abaixo de 1, indicando que as condições de conforto térmico interno são superiores às externas. O desempenho superior do protótipo original em Porto Alegre sugere não ser necessário incrementá-lo para essas condições climáticas.

6. Considerações finais

Levando-se em consideração o imenso déficit habitacional, encarado ainda sob a ótica das formas tradicionais de se construir, esse trabalho procurou expor, de maneira clara e objetiva, questões relativas ao desempenho térmico de construções em madeira.

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.

As avaliações de desempenho realizadas para outras configurações de projeto e para outras localidades climáticas indicaram: 1) Para Curitiba, a necessidade de se alterar o protótipo original para uma configuração denominada protótipo 2, com isolamento interno (lã de rocha) de 7,5 cm entre as chapas interna e externa (9mm e 12mm), resultando numa transmitância térmica (U) de 0,494 W/m².K; 2) Para Florianópolis, a necessidade de se alterar o protótipo original para uma configuração denominada protótipo 1, com estrutura interna de 10 cm e as chapas internas e externas de 12mm e 15mm, com U=1,813 W/m².K; 3) Para Porto Alegre, a partir dos resultados da Tabela 4, a manutenção da configuração original do protótipo.

7. Agradecimentos

A LAVRASUL S/A e à equipe do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da UFPR.

8. Referências bibliográficas

- ABIMCI. Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente. *Estudo setorial 2006*. Curitiba, dezembro de 2006. 44p.
- ABNT. *Projeto de Norma 02:136.01.001 - Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Partes de 1 a 6*. Brazil. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. Conjunto de normas. 189p.
- ASHRAE. *Thermal environmental conditions for human occupancy (Standard 55R)*. Atlanta, USA: American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, 2004. 55p.
- DE DEAR, R. J., BRAGER, G. S. Thermal comfort in naturally ventilated buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. Elsevier Science, *Energy and Buildings*, n. 34, p.549-561, 2002.
- EQUA SIMULATION. IDA *Indoor Climate and Energy 3.0 Manual*. EQUA Simulation AB, Jan. 2002. 253p.
- 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. 345p.
- 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. In: Elsevier Science, *Energy and Buildings*, n. 38, p. 8-17, 2005.
- VALVERDE, S. R., SOARES, S. N., SILVA, M. L., JACOVINE, A. G., NEIVA, S.A. Mercado da madeira de reflorestamento. *Revista da Madeira*, n. 87, p. 60-66, 2005.

Artigo recebido em 17/12/2008 e aprovado em 27/05/2009.

**A REM tem novo endereço:
FUNDAÇÃO GORCEIX - REM
Rua Carlos Walter Marinho Campos, 57 - Vila Itacolomy
35400-000 - Ouro Preto - MG**