



XIENCAC
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

VIIELACAC
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO TÉRMICO DE UM SISTEMA CONSTRUTIVO MODULAR SIMULADO NO PROJETO DE REFORMA DE UMA ESCOLA PÚBLICA DA CIDADE DE PELOTAS, RS

Bruna van der Laan⁽¹⁾; Stífany Knop⁽²⁾; Eduardo Grala da Cunha⁽³⁾; Margarete R. F. Gonçalves⁽⁴⁾

(1) Acadêmica da FAUrb, brunalaan@yahoo.com.br

(2) Arquiteta, Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, arquitetaknop@yahoo.com.br

(3) Dr. Professor do Departamento de Tecnologia da Construção, FAUrb, egcunha@terra.com.br

(4) Dra. Professora do Departamento de Tecnologia da Construção, FAUrb, margareterfg@gmail.com

Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Programa de Pós- graduação em Arquitetura e Urbanismo, Rua Benjamin Constant, n. 1359 Pelotas/ Rio Grande do Sul
CEP: 96010-020, Tel.: (53) 3721-5501

RESUMO

O conceito de eficiência energética baseia-se na obtenção de um bom nível de conforto térmico, acústico e visual, com o menor consumo de energia possível. Após a crise de energia em 2001, o governo brasileiro entendeu a real necessidade de discutir e encontrar soluções para minimizar o impacto causado pelo uso exagerado da eletricidade e criou regulamentos e normas para diminuir o consumo sem comprometer o crescimento e o desenvolvimento do país. Considerando o conforto dos ambientes e o consumo de energia necessário, no presente trabalho analisou-se o desempenho térmico de um sistema construtivo modular aplicado no projeto de reforma e ampliação da Escola Municipal Ministro Arthur de Souza e Costa, localizada na Estrada da Cascatinha, Pelotas/RS, na zona Bioclimática 02 (NBR 15.220 - 3). No desenvolvimento da pesquisa foi proposto, para o projeto de reforma da escola, um módulo construtivo no sistema *woodframe*, composto com painéis de parede (constituídos de madeira e fechamento lateral com placa cimentícia) e de piso e forro (tipo *masterboard* - painel sanduíche com placas cimentícias e OSB). Para a simulação computacional do desempenho térmico utilizou-se o programa *DesignBuilder versão 2.0.4.001* e analisou-se o módulo construtivo em cinco diferentes composições, cada uma com alterações dos fechamentos verticais e horizontais. Os resultados de desempenho térmico obtidos no sistema *wood frame* foram comparados aos de quatro outros tipos de construção, sendo o primeiro constituído de fechamentos verticais em tijolo maciço rebocado, forro de PVC e telhas de fibrocimento, o segundo com fechamentos verticais de tijolo maciço rebocado, forro de madeira e telhas de fibrocimento; o terceiro com fechamentos verticais de blocos de vedação de seis furos rebocado, forro de PVC e telha de fibrocimento; e o último com fechamentos verticais com blocos de vedação de seis furos rebocado, forro de madeira e telha de fibrocimento. A partir dos dados obtidos pela simulação computacional, para cada caso foram calculados os níveis de conforto, com base no modelo adaptativo de De Dear (1998) presente na ASHRAE 55 (2004), possibilitando a análise de desempenho térmico de cada uma das composições construtivas. Os resultados finais mostraram uma diferença de desempenho térmico não significativa entre os sistemas construtivos e a constatação de que o aumento da resistência térmica do fechamento vertical de forma isolada não é tão significativo para o contexto climático local.

Palavras-chave: desempenho térmico, simulação computacional, sistemas construtivos

ABSTRACT

The concept of efficiency is based on obtaining a good level of thermal comfort, acoustic and visual, with the lowest possible energy consumption. After the energy crisis in 2001, the Brazilian government understood the real need to discuss and find solutions to minimize the impact caused by overuse of electricity, and established regulations and standards to reduce consumption without compromising growth and country's development. Considering the environmental comfort and energy consumption required, the present study have analyzed the thermal performance of a modular construction system used in the renovation project and expansion of the Escola Municipal Ministro Arthur de Souza Costa, located in Estrada da Cascatinha, Pelotas, RS, Bioclimatic zone 02 (NBR 15220-3). During the research project, it was proposed, to reform the school, a module woodframe constructive system, compound by wall panels (made of wood and cement board side closure) and floor and ceiling (masterboard type - sandwich panel with cement plates and OSB). For the simulation of thermal performance, it was used the DesignBuilder program and analyzed five different compositions of constructive module, each with a change of vertical and horizontal closures. The thermal performance results were compared with those of four other types of construction, the first consisting of vertical closure in solid brick hauled, PVC lining and fiber-cement tiles, the second one has vertical closure of solid brick hauled, wooden lining and fiber-cement tiles, the third one has vertical closures of six holes bricks hauled, PVC lining and fiber-cement tiles, and the last one has vertical closures of six holes bricks hauled, wooden lining and fiber-cement tiles. From the generated data by computer simulation, for each case were calculated the levels of comfort, based on the adaptive model by de Dear and Brager (1998), found in ASHRAE 55 (2004), which enabled a thermal performance analysis of each configurations of the model. The final results showed a non significant difference in thermal performance among the building systems and the realization that the increased thermal resistance of a single vertical closure is not as significant to the local climatic context.

Keywords: thermal performance, computer simulation, constructives system.

1. INTRODUÇÃO

Após a crise de energia em 2001, o governo brasileiro atentou para a necessidade de criação de normas e regulamentos que estimulassem e regreassem as construções para serem mais eficientes energeticamente, porque, afinal, economizar energia é mais barato que gerá-la. No Brasil, aproximadamente, 8,1% do montante gerado de energia elétrica é consumido em edifícios públicos (MME, 2009), sendo que 48% da energia consumida é oriunda da climatização artificial dos ambientes.

Um bom projeto arquitetônico pode significar economia em consumo de energia a médio e longo prazo. A simples preocupação com os materiais escolhidos para a edificação pode interferir nessa questão, assim como a orientação solar, o sombreamento das aberturas e o favorecimento de ventilação natural. As características construtivas de um projeto de edificação e a eficiência dos sistemas de iluminação e de ar condicionado são aspectos extremamente relevantes no consumo de energia dos edifícios. Estes fatores ganham destaque ainda maior quando se trata de projetos públicos, em especial os elaborados para uso educacional. Segundo Nogueira, *et al* (2008), para que o processo de ensino-aprendizagem em sala de aula seja eficiente é necessário que o ambiente físico seja adequado e com condições mínimas de conforto, capazes de contribuir positivamente para o desempenho das atividades dos alunos e professores. O autor relata que ações ligadas a concepção dos projetos arquitetônico e de execução de escolas, diretamente ligadas a definição de espaços e a escolha dos materiais construtivos, são fundamentais para minimizar fatores que possam interferir no rendimento psico-pedagógico dos seus usuários.

No que diz respeito à envoltória da edificação, no sul do Brasil as construções, em sua maioria, são construídas em alvenaria de tijolos maciços ou blocos de vedação, rebocados ou aparentes. Nos últimos vinte anos os blocos estruturais de concreto e cerâmicos foram introduzidos nas construções. No entanto, algumas tecnologias construtivas mais inovadoras, como a estrutura em aço, paredes com painéis, dentre outras, ainda são pouco empregadas nas construções porque, segundo Souza (2007), esbarram em fatores inibidores, tais como a resistência cultural, o desconhecimento do material pelo empreendedor, o projetista, o comprador e o usuário. Os novos processos construtivos exigem maior conhecimento de materiais e empenho na elaboração dos projetos, em sua maioria, modulares.

Considerando as prerrogativas acima, no presente trabalho analisou-se o desempenho térmico do sistema construtivo *wood frame*, teoricamente, proposto para a execução das paredes de uma escola pública na cidade de Pelotas, RS, por meio de simulação computacional. A proposta foi comparada com quatro diferentes configurações do sistema construtivo convencional com tijolo maciço e bloco de vedação de seis furos. Os dados obtidos foram usados para relacionar o desempenho térmico do sistema construtivo modular não convencional com os quatro sistemas construtivos convencionais, comumente, utilizados como tipologias construtivas para a edificação de prédios educacionais no sul do Brasil.

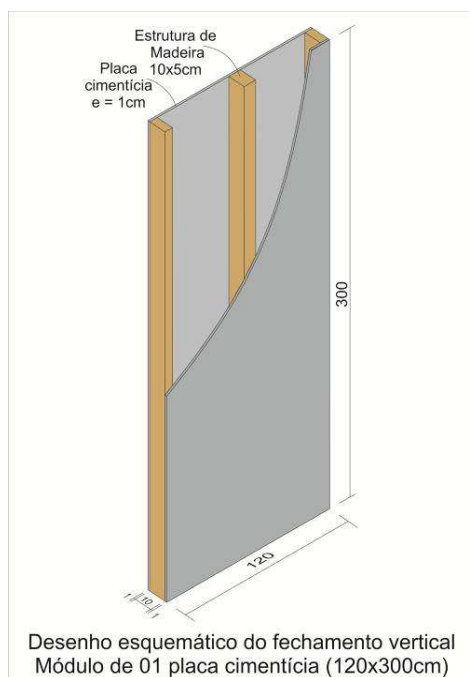


Figura 1- Sistema *wood frame* com placa cimentícia

O sistema *wood frame* consiste em um painel composto de estrutura em madeira e placas cimentícias (fig. 1). Seu uso possibilita rápida execução, gera pouco entulho de obra, evita desperdícios e pode receber vários tipos de acabamento. As placas cimentícias usadas como fechamento são elementos pré-fabricados com medidas exatas, que facilitam os processos de coordenação modular.

A coordenação modular, por sua vez, é um sistema dimensional de referência que organiza o espaço construtivo a partir de medidas baseadas em um módulo predeterminado (LUCINI, 2001). Ela consiste num sistema capaz de ordenar e racionalizar a confecção de qualquer artefato desde o projeto até o produto final. Sua utilização é mais frequente em obras de grande porte e/ou nas que requerem um método construtivo rápido e racionalizado. Como é o caso de obras institucionais, tais como, escolas, prédios públicos, hospitais, conjuntos habitacionais e edifícios industriais (galpões).

No desenvolvimento da pesquisa foi proposto um módulo construtivo com o sistema *woodframe*, composto com painéis de parede (constituídos de madeira e fechamento lateral com placa cimentícia) e de piso e forro (*masterboard* - painel sanduíche com placas cimentícias e OSB).

Importante destacar que a pesquisa foi realizada em um módulo da escola apenas e que a simulação, considerando a construção em toda sua extensão, certamente, resultará em diferentes dados aos encontrados nesse trabalho e, provavelmente, mais precisos.

2. OBJETIVO

O objetivo desse trabalho foi o de analisar, comparativamente, o desempenho térmico do sistema construtivo *wood frame*, usado na composição de uma célula modular proposta para a construção de salas de aula em uma escola pública., com o de quatro outros sistemas construtivos convencionais, comumente utilizados como tipologias construtivas para prédios educacionais no sul do Brasil.

3. MÉTODO

Para o presente trabalho, a metodologia de pesquisa foi desenvolvida em 3 etapas:

1. Incorporação de coordenação modular e sistema construtivo não convencional no projeto;
2. Criação do modelo e configuração do envelope e do uso;
3. Análise do conforto térmico com base no modelo da ASHRAE 55 (2004).

3.1. Incorporação de coordenação modular e sistema construtivo não convencional no projeto

A pesquisa tomou como objeto de estudo a proposta de um projeto para a reforma de uma escola pública de ensino fundamental, localizada na zona rural da cidade Pelotas/RS. Uma das premissas básicas para solucionar o projeto escolar foi o de usar um sistema construtivo que racionalizasse a construção, pois isto resultaria em maior rapidez na execução, adequado controle de qualidade, redução de desperdícios e perdas, economia, diminuição de mão de obra especializada e redução de transporte fragmentado de materiais para a zona rural. Estes parâmetros levaram à escolha do sistema *wood frame* como elemento de composição da célula modular utilizada. Na concepção da célula modular as paredes são formadas com painéis *wood frame* (fig. 1) e o piso e forro com painéis *masterboard* (fig. 8).

3.2. Criação do modelo e configuração do envelope e de uso

O módulo construtivo, identificado como caso base, foi projetado na forma de uma célula hexagonal com duas salas de aula (fig. 2). Na célula modular com fechamento com placas cimentícias, dimensões de 1,20m x 3,00 m x 0,10 m (largura, altura e espessura, respectivamente), sendo a maior dimensão a medida do pé-direito da escola, cada um de seus lados mede 6,00 metros (fig. 2). A célula possui em sua composição 78 placas cimentícias para os fechamentos verticais (fig. 3), sendo 60 para as paredes externas e 18 para a divisória interna. A estrutura de madeira utilizada foi dimensionada a partir das medidas da placa cimentícia, ficando esta com 0,10 m de espessura. As dimensões de esquadrias, escolhidas a partir do módulo construtivo (placa cimentícia), ficaram assim dimensionadas: janelas de 1,20m x 1,20m e 1,80 x 1,20m e portas de 1,15 m x 2,10m..

Cada sala de aula existente na célula modular possui uma área de 45,00m² e 20% dessa área é de ventilação. É importante destacar que o projeto baseia-se em ventilação natural como forma de climatizar o ambiente, sem o auxílio de ar condicionado.

Para a análise comparativa foram criados outros quatro casos de fechamentos verticais e horizontais. Foram adotadas configurações que mais se aproximassem com as técnicas construtivas convencionais da região sul do Brasil, com paredes de alvenaria, piso cerâmico e forro de PVC e madeira.

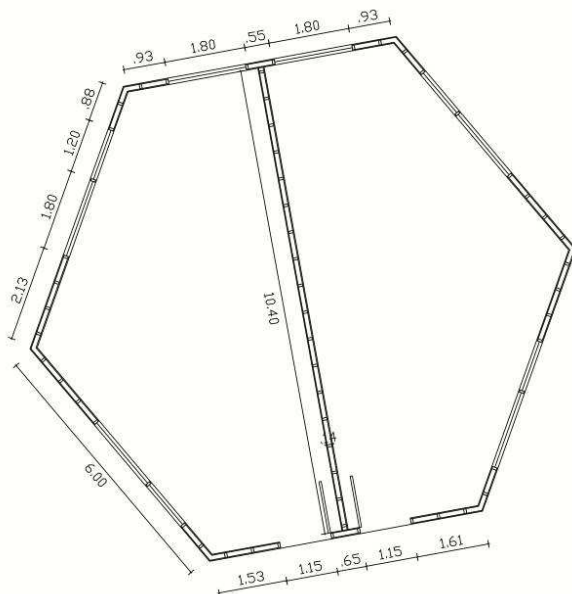


Figura 2 – Croqui da planta baixa da célula modular.

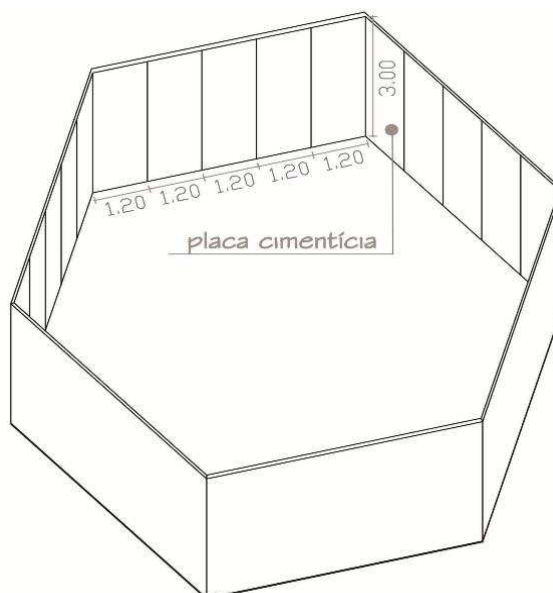


Figura 3 - Croqui de modulação das paredes da célula modular.

3.2.1. Definição da ocupação

Foi estipulado para a presente pesquisa uma ocupação de um professor e 35 alunos por sala, cada sala com 45m² de área, o que resulta em 0,8 pessoas/m².

O funcionamento da escola acontece de março a dezembro, das 8:00 às 12:00h e das 13:30 às 17:30h de segunda à sexta-feira.

A simulação computacional considerou apenas os horários de funcionamento da escola para obtenção dos dados para análise das situações de conforto e desconforto térmico.

3.2.2. Ganhos internos

Uma parte do calor armazenado no interior da edificação é resultante de equipamentos e iluminações existentes. Portanto, foram considerados os seguintes ganhos internos para cada sala de aula, conforme tabela 1.

Tabela 1 – Ganhos internos

| Forma de ganho | Potência |
|--|--------------------------|
| Iluminação (300 lux de iluminância (NBR 5413)) -lâmpada fluorescente – 100 lm/W | 3W/m ² |
| Equipamentos - 01 computador | 200 Watts |
| Ventilador | 150 Watts |
| TV | 320 Watts |
| TOTAL | 808,12 Watts |
| | 18W/m² |

Para a simulação de ganhos internos todos os dados foram somados, gerando um total de 18 W/m² para cada sala.

3.2.3. Setpoint de temperatura

Baseado no trabalho de Martins (2009), foi definido a temperatura de *setpoint* de 25°C. O sistema de ventilação natural promove a abertura das janelas quando a temperatura exterior é inferior à temperatura interior das salas e a temperatura interior é superior a 25°C.

3.2.4. Arquivo Climático

O arquivo climático utilizado para a simulação no *Design Builder* foi o da cidade de Santa Maria/RS, porque ainda não existe um arquivo climático de Pelotas. A cidade de Santa Maria pertence a mesma zona bioclimática de Pelotas – Zona Bioclimática 2 – sendo aceitável a utilização do seu arquivo climático para a simulação computacional.

3.2.5. Características dos materiais

Para cada material utilizado na composição dos modelos foram identificadas as suas características, que foram utilizadas para a configuração no programa de simulação, conforme tabela 2. Os dados de condutividade térmica, resistência térmica, densidade aparente e absorvância foram obtidos observando a NBR 15.220 – 02.

Tabela 2 – Características dos materiais – NBR 15.220 – 02 (2005)

| Materiais/Propriedades | Condutividade térmica (W/K.m) | Resistência térmica (m ² .K/W) | Densidade aparente (Kg/m ³) | Calor específico kJ/Kg.K | Absortância (α) |
|------------------------|-------------------------------|---|---|--------------------------|-----------------|
| Placa cimentícia | 0,95 | - | 2.000 | 0,84 | 0,7 |
| Madeira (estrutura) | 0,23 | - | 600 | 1,34 | 0,4 |
| Telha de fibrocimento | 0,95 | - | 2.000 | 0,84 | 0,7 |
| Camada de Ar | - | 0,61 | - | - | - |
| Janelas vidro 4 mm | 1,00 | - | 2500 | 0,84 | - |
| Lã de Rocha | 0,045 | - | 50 | 0,75 | - |
| Aglomerado | 0,20 | - | 900 | 2,30 | - |
| Reboco | 1,15 | - | 2000 | 1,00 | - |
| Tijolo Maciço | 1,05 | - | 2000 | 0,92 | - |
| Tijolo Furado | 1,00 | - | 1700 | 0,92 | - |
| Madeira Pinus (forro) | 0,23 | - | 600 | 1,34 | - |

3.2.6. Características do sistema construtivo wood frame e dos painéis Masterboard

Wood frame é um sistema construtivo de estrutura de perfis leves de madeira contraventada com placas cimentícias, que unidos funcionam em conjunto, dando rigidez, forma e sustentação à edificação. O painel *masterboard*, usado nos pisos e forros, é composto de duas placas cimentícias recheadas com madeira OSB (fig. 6, 7 e 8).

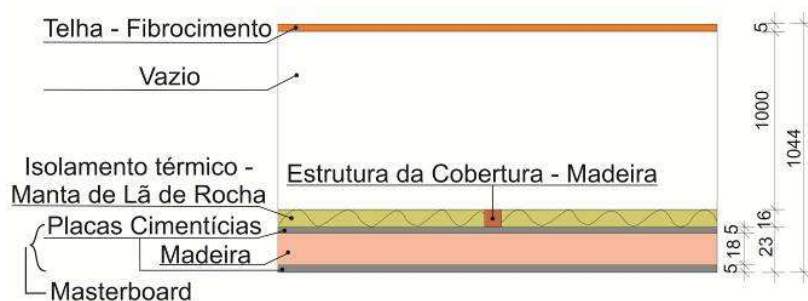


Figura 6 – Desenho esquemático do forro e cobertura simulada no caso base



Figura 7 – Detalhes do painel *masterboard*

(fonte: www.brasilit.com.br/produtos/paineis/masterboard.php)

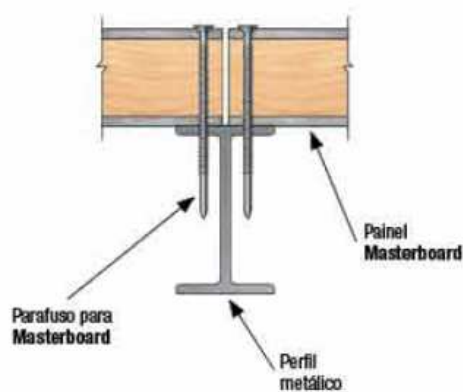


Figura 8 - Fixação painel *masterboard*

(fonte: www.brasilit.com.br/produtos/paineis/masterboard.php)

3.2.7. Caracterização dos sistemas construtivos convencionais

Os sistemas construtivos convencionais simulados foram definidos a partir de projetos recorrentes na cidade de Pelotas, RS, e deram origem a quatro diferentes casos, descritos na tabela 3.

O caso 1 foi configurado com parede de alvenaria de tijolo maciço e reboco em ambas as faces com espessura total de 14 cm, piso cerâmico, forro de PVC e cobertura de fibrocimento. O caso 2 tem as mesmas configurações do caso 01 com a variação de forro, que muda de PVC para madeira. O caso 3 tem alvenaria de bloco de vedação de 6 furos com espessura total de 13 cm, piso cerâmico, forro de PVC e cobertura de fibrocimento. O caso 4 é uma variação do caso 3 com a substituição do forro de PVC pelo de madeira.

Tabela 3 – Composição dos casos analisados

| Denominação | Parede externa | Parede interna | Piso | Forro | Cobertura |
|-----------------|--|--|-----------------------------|--|----------------------------|
| Caso Base | Placa cimentícia | Placa cimentícia | Painel <i>masterboard</i> | Painel <i>masterboard</i> com isolamento | Telha de Fibrocimento 6 mm |
| | U = 2,688 W/m ² K | U = 2,688 W/m ² K | U = 2,20 W/m ² K | U = 0,25 W/m ² K | |
| C1(AlvM_14) | Alvenaria 11 cm tijolo maciço + 1,5 reboco 2 x | Alvenaria 11 cm tijolo maciço + 1,5 reboco 2 x | Cerâmico | Forro PVC | Telha de Fibrocimento 6 mm |
| | U = 3,324 W/m ² K | U = 3,324 W/m ² K | U = 3,70 W/m ² K | U = 2,323 W/m ² K | |
| C2(AlvM_14_FM) | Alvenaria 11 cm tijolo maciço + 1,5 reboco 2 x | Alvenaria 11 cm tijolo maciço + 1,5 reboco 2 x | Cerâmico | Forro Madeira | Telha de Fibrocimento 6 mm |
| | U = 3,324 W/m ² K | U = 3,324 W/m ² K | U = 3,70 W/m ² K | U = 2,358 W/m ² K | |
| C3 (AlvF_13) | Alvenaria 10 cm tijolo furado + 1,5 reboco 2 x | Alvenaria 11 cm tijolo maciço + 1,5 reboco 2 x | Cerâmico | Forro PVC | Telha de Fibrocimento 6 mm |
| | U = 3,377 W/m ² K | U = 3,377 W/m ² K | U = 3,70 W/m ² K | U = 2,323 W/m ² K | |
| C4 (AlvF_13_FM) | Alvenaria 10 cm tijolo furado + 1,5 reboco 2 x | Alvenaria 11 cm tijolo maciço + 1,5 reboco 2 x | Cerâmico | Forro Madeira | Telha de Fibrocimento 6 mm |
| | U = 3,377 W/m ² K | U = 3,377 W/m ² K | U = 3,70 W/m ² K | U = 2,358 W/m ² K | |

3.3. Análise do conforto térmico com base na ASHRAE 55 (2004)

A partir da simulação foram obtidas as temperaturas internas, a temperatura radiante de cada caso e a temperatura externa do local. A partir desses dados foi possível avaliar e comparar o desempenho das diferentes configurações, com base no modelo adaptativo de conforto térmico. O modelo adaptativo é utilizado para avaliação de conforto em ambientes condicionados naturalmente e relaciona a temperatura interna com a temperatura externa. O espaço a ser analisado por esse método deve conter janelas operáveis com abertura para o exterior, a atividade metabólica dos ocupantes deve ser próxima a sedentária e a vestimenta dos mesmos deve ser adaptável. A ASHRAE 55 (2004) considera dois níveis de aceitabilidade dos usuários, 90% e 80%. Para o presente trabalho foi considerado um nível de satisfação de 80% o que considera $\pm 3,5$ °C de variação no cálculo da zona de conforto. A temperatura operativa de conforto é definida na equação 1.

$$t_{oc} = 18,9 + 0,255t_{ext} \quad (\text{Eq. 01})$$

onde: t_{oc} – temperatura operativa de conforto
 t_{ext} – temperatura média mensal exterior

A análise do conforto térmico no interior dos ambientes simulados ocorreu no período compreendido entre março a dezembro, de segunda a sexta-feira, das 8:00 às 12:00h e das 13:30 às 17:30h. Foram analisadas 1.575 horas de temperatura, externa e interna, referentes ao período letivo, que resultaram, acordando com a ASHRAE 55 (2004), em percentagem de horas de conforto e desconforto térmico pelo frio e pelo calor no período de um ano.

4. RESULTADOS

As figuras de 9 a 13 apresentam os valores, em percentagem, do desempenho térmico dos cinco casos analisados e a tabela 4 apresenta os resultados, comparativamente.

A figura 9 ilustra os resultados obtidos para o caso base. Nesta pode-se ver que a percentagem de horas em que a temperatura interna ficou entre 15,4 e 30,8°C, em relação à temperatura externa, cujas às médias oscilaram entre 10 a 33°C, foi de 46%. Neste período das 1575 horas analisadas 727 horas se mantiveram dentro dos níveis de conforto.

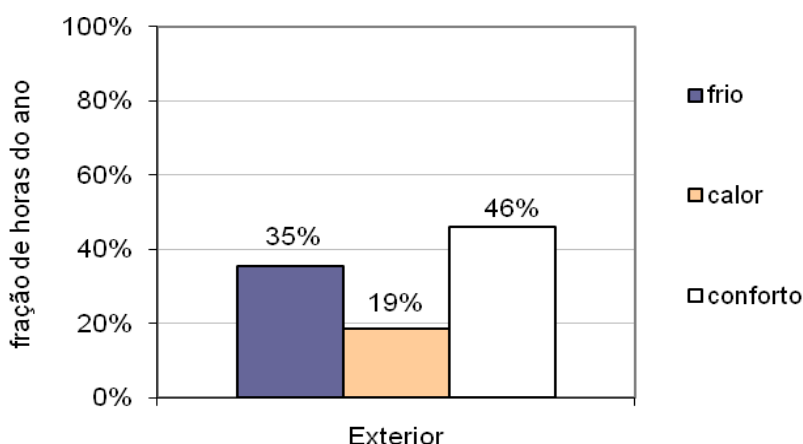


Figura 9 - Desempenho térmico para o caso base.

No caso 1, como mostrado na figura 10, a percentagem de horas do nível de conforto interno foi de 47%, correspondentes a 742 horas. No restante das 1575 horas analisadas, 642 horas o desconforto foi pelo frio e 193 horas pelo calor.

Com a alteração apenas do forro, situação específica do caso 2, não houve um desempenho diferente do caso anterior, mantendo o conforto em 47%, o desconforto pelo calor em 12% e pelo frio em 41% das horas analisadas, conforme mostrado na figura 11.

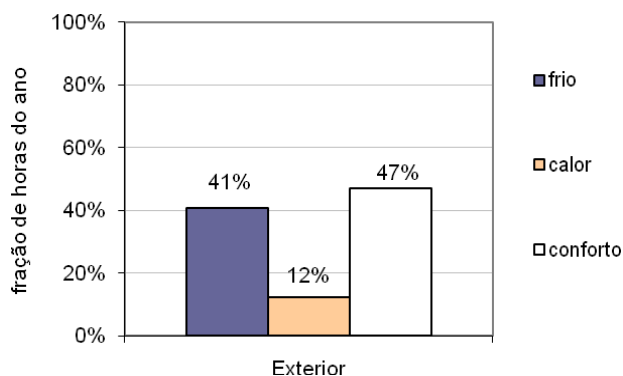


Figura 10 - Desempenho térmico para o caso 1

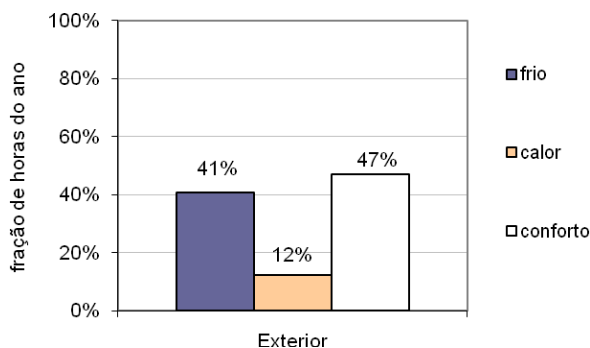


Figura 11 - Desempenho térmico para o caso 2

Nos casos 3 e 4 o desempenho térmico mostrou-se ligeiramente inferior aos casos 1 e 2, com 46% do tempo dentro do nível de conforto (Figuras 12 e 13)

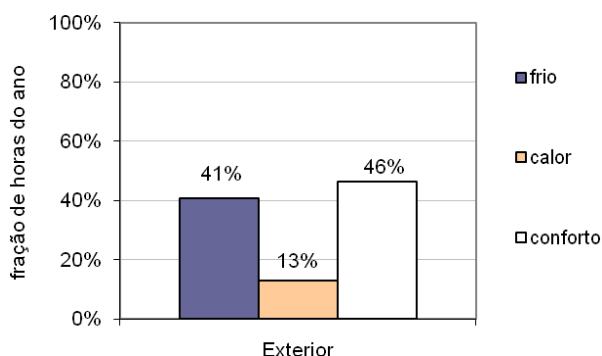


Figura 12 - Desempenho térmico para o caso 3

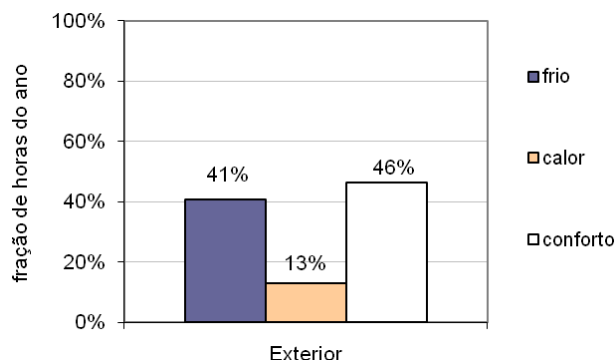


Figura 13 - Desempenho térmico para o caso 4

Tabela 4 – Análise comparativa do desempenho térmico dos cinco casos.

| | Caso Base | C1 (AlvM_14) | C2 (AlvM_14_FM) | C3 (AlvF_13) | C4 (AlvF_13_FM) |
|--------------------|--------------|--------------|-----------------|--------------|-----------------|
| Conforto | 46,10 | 47,00 | 47,00 | 46,40 | 46,40 |
| Desconforto | 53,90 | 52,90 | 53 | 53,60 | 53,60 |
| *Calor | 18,60 | 12,20 | 12,20 | 12,80 | 12,80 |
| *Frio | 35,30 | 40,70 | 40,80 | 40,80 | 40,80 |

Como pode-se ver, os casos 1 e 2, constituídos de células modulares com paredes de alvenaria de tijolo maciço rebocado, piso cerâmico, forro de PVC (caso 1) ou forro de madeira (caso 2) e telha de fibrocimento, apresentaram melhor desempenho térmico que o caso base, constituído pela célula modular com paredes de painéis *wood frame* e piso e forro com sistema *masterboard*, apesar das menores transmitâncias nas paredes (2,688 W/m²K) e na cobertura (0,25 W/m²K). Provavelmente, o menor desempenho térmico pode estar ligado ao maior isolamento do sistema *masterboard*, usado como piso e forro, cuja transmitância é de 2,20 W/m²K, valor bem inferior ao do piso cerâmico dos demais sistemas que é de 3,70 W/m²K. Esta condição pode ter minimizado as trocas térmicas com o ambiente.

Considerando as demais situações térmicas, observou-se que em comparação com as outras configurações o caso base possui menos horas de desconforto pelo frio, aproximadamente 35% das horas testadas (os demais casos aproximadamente 40%) e mais horas de desconforto pelo calor, em torno de 18% (os demais casos possuem em torno de 12%).

Em contrapartida, se a análise for feita entre os casos 1 e 2 e entre os casos 3 e 4, não existe diferença de desempenho entre eles.

5. CONCLUSÕES

O sistema construtivo com placas cimentícias apresentou um desempenho térmico similar aos das construções convencionais feitas com tijolos maciços e blocos de vedação de seis furos, tornando a construção com essa técnica justificável termicamente. Nesse contexto é importante salientar que a interferência da maior resistência térmica do piso *masterboard* deverá ser melhor analisado em trabalhos futuros, já que a inércia térmica do solo é uma importante característica no desempenho térmico dos espaços interiores.

As diferenças dos níveis de conforto e desconforto entre o caso base e os demais apresentaram valores muito próximos, não justificando a escolha entre as técnicas pelo aspecto térmico. As questões de custo e agilidade também devem ser consideradas nas definições dos sistemas construtivos.

O método de análise do conforto térmico considerando o conforto adaptativo da ASHRAE 55 (2004) avalia a adequabilidade da temperatura interna ao intervalo de conforto estipulado ($t_{oc} \pm 3,5^{\circ}\text{C}$), considerando que o ambiente possui janelas operáveis pelos ocupantes e que os mesmos têm liberdade de escolha da sua vestimenta. Apesar de não haver grandes diferenças de desempenho nas diversas configurações dos sistemas

construtivos analisados, recomenda-se para futuros trabalhos a análise da eficiência energética da edificação com base no cálculo de graus hora para resfriamento e aquecimento do ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 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, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- ASHRAE – AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **2001 ASHRAE Handbook – Fundamentals**. p. 8.18 Atlanta, 2001.
- _____. **ASHRAE Standad 55 – 2004. Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy** Atlanta, 2004.
- BRASILIT. **Painéis Masterboard**. Catálogo em PDF. 2010. Disponível em: <http://www.brasilit.com.br/produtos/paineis/masterboard.php> - acessado em 13 de março de 2011
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- LUCINI, H. C. **Modularidade**. Florianópolis. 2009. Trabalhos temáticos da Disciplina ARQ 5661 – Tecnologia de Edificações I – Curso de Arquitetura e Urbanismo – UFSC. Disponível em: http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2009-1/modularidade/modularidade.pdf - acessado em 13 de março de 2011.
- MARTINS, D. J., et al. **Ensaio Sobre A Utilização Da Automação De Aberturas Na Simulação Do Desempenho Térmico De Edificações**. X Encontro Nacional e VI Encontro Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais do evento. Natal, 2009.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. Balanço Energético Nacional 2009. Disponível em: https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2009.pdf acessado em 10 de março de 2010.
- NOGUEIRA, Marta Cristina de Jesus Albuquerque, et al. **Avaliação Do Conforto Ambiental Em Salas De Aula: Estudo De Caso Em Cuiabá – Mt**. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais do evento. Fortaleza 2008.
- SOUZA, Henor Artur, et al. **Avaliação do Desempenho Térmico de Habitação de Interesse Social Estruturada em Aço**. IX Encontro Nacional e V Latino Americano de Conforto no Ambiente Construído. Anais do evento. Ouro Preto. 2007.