

## MONITORAMENTO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO-PROTÓTIPO CONSTRUÍDA COM SISTEMA DE PAREDES MACIÇAS DE SOLO- CIMENTO-CINZA DE CASCA DE ARROZ

**Ana Paula S. Milani (1); Wagner Augusto Andreasi (2), Lucila Chebel Labaki (3)**

(1) Prof. Adjunta, Departamento de Estruturas e Construção Civil – DEC [anamilani@dec.ufms.br](mailto:anamilani@dec.ufms.br)

(2) Prof. Adjunto, Departamento de Estruturas e Construção Civil – DEC [andreasi@dec.ufms.br](mailto:andreasi@dec.ufms.br)  
Universidade Federal de Mato Grosso do Sul - UFMS, Laboratório de Análise e Desenvolvimento de  
Edificações – LADE. Cx.Postal 549, Campo Grande – MS, CEP 79070900, Tel: (67)33457478

(3) Prof. Titular, Departamento de Arquitetura e Construção – DAC, Universidade Estadual de  
Campinas – UNICAMP. [lucila@fec.unicamp.br](mailto:lucila@fec.unicamp.br)

### RESUMO

O elemento construtivo de paredes maciças de solo-cimento-cinza de casca de arroz é uma das alternativas de materiais e técnicas que utilizam racionalmente os recursos naturais, geram tecnologias apropriadas e reaproveitam materiais residuais. Assim, com a finalidade de estudar o desempenho térmico de paredes construídas com esse material, foi construída uma edificação-protótipo em Campinas - SP, a fim de se verificar o cumprimento de recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local. Para tal, foram determinados parâmetros físicos como a condutividade térmica e calor específico da mistura solo-cimento-cinza e coletados dados de variáveis ambientais em dias típicos de verão e inverno; e o monitoramento térmico no interior do protótipo. A análise desses resultados revelou o bom desempenho térmico das paredes monolíticas de solo-cimento-cinza de casca de arroz sob condições do clima local e sua potencialidade para aplicação nas demais zonas bioclimáticas brasileiras.

Palavras-chave: material alternativo de construção, desempenho térmico.

### ABSTRACT

The constructive system related to the construction of monolithic walls made of soil-cement-rice husk ash is one of those alternative materials and techniques that rationally utilizes natural resources, generates appropriate technology and reuses residue materials. So, in order to study the thermal performance of such walls, it was built a prototype in Campinas - São Paulo State, making use of soil-cement-rice husk ash observing the appropriate technology for this alternative construction material. The main objective of this work was to evaluate the accomplishment of the technical recommendations and targets to adapt that building to local climate. For this purpose it were determined both the thermal conductivity and the specific heat of the soil-cement-rice husk ash mixtures and obtained external environmental data and others variable parameters inside the prototype. The results showed a good thermal performance of the soil-cement-rice husk ash monolithic walls under the local climatic conditions.

Keywords: construction alternative material, thermal performance.

## **1. INTRODUÇÃO**

A cada dia o progresso tecnológico traz inovações nos produtos industrializados e otimização de sua produção; porém, paralelamente a este progresso, são extraídos de forma indiscriminada recursos naturais que em sua maioria resultam na geração de resíduos que não são aproveitados pelo homem, provocando danos ambientais irreversíveis. A construção civil, por usar materiais em larga escala e pela quantidade de mão-de-obra e de energia que ocupa, contribui significativamente para o esgotamento desses recursos. Outro problema freqüente em países emergentes, como o Brasil, é a grande demanda de habitações que, por sua vez, tem-se deparado com o alto custo de materiais e de tecnologias tradicionais de construção e com soluções construtivas inadequadas às condições do local ou às necessidades do morador.

Visando soluções que minimizem esta degradação ambiental e ao mesmo tempo contribuam para a diminuição do déficit habitacional brasileiro, procurou-se efetuar a avaliação térmica do sistema construtivo de paredes monolíticas de solo-cimento-cinza de casca de arroz, visto que um dos mais importantes critérios para a aplicação de uma tecnologia apropriada para construção de habitação é o grau de conforto ambiental oferecido aos moradores.

Milani e Freire (2006) discutiram sobre o uso do material solo-cimento-cinza de casca de arroz como tecnologia apropriada, e verificaram o grande potencial desse material para ser explorado na minimização do problema da habitação em todo o mundo, sendo uma alternativa não poluente e de baixo consumo energético. Destacaram ainda que o solo-cimento-cinza é um material resistente à ação da água e aos carregamentos de serviço, e, que o solo arenoso, quando modificado pela incorporação de 7,5% de cinza de casca de arroz (em massa) e estabilizado com 10% ou 13% de cimento (em massa), apresentou-se como promissor material alternativo a ser utilizado em construções rurais e/ou urbanas, seja na forma de componente construtivos (tijolos) ou de elemento construtivos (paredes monolíticas).

## **2. OBJETIVO**

O objetivo principal deste trabalho foi estudar o desempenho térmico de paredes construídas com o material solo-cimento-cinza de casca de arroz através da construção de uma edificação-protótipo em Campinas – SP e seu monitoramento térmico; a fim de se verificar o cumprimento de recomendações e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local.

## **3. MÉTODO**

### **3.1. Descrição da Edificação-Protótipo**

A construção da edificação-protótipo foi realizada em área livre do campo da Faculdade de Engenharia Agrícola - Universidade Estadual de Campinas (FEAGRI-UNICAMP), localizado em Campinas - SP, sem a influência de sombreamento natural, na escala 1:1 e com dimensões externas de 3,72 x 3,72 m<sup>2</sup> e internas de 3,48 x 3,48 m<sup>2</sup>; e pé-direito de 2,70 m. Tais dimensões foram baseadas em projetos de habitações de interesse social na tentativa de simular com proximidade o ambiente construído real; e assim não acarretar diferenças no desempenho térmico sob influência do volume do ambiente.

A edificação-protótipo foi construída sobre fundação de brocas de concreto ( $\phi$  20 cm e 60 cm de profundidade) e baldrames de concreto armado (20 x 20 cm<sup>2</sup>), sendo fixados nesta base oito pilares pré-fabricados de concreto armado (12 x 12 x 310 cm<sup>3</sup>), os quais foram utilizados como guias fixas e travamento das paredes monolíticas.

Possui paredes monolíticas (12 cm de espessura) confeccionadas de forma análoga às descrições construtivas de Myrrha (2003), com cinta inferior de concreto (rodapé de 12 x 12 cm<sup>2</sup>) para evitar possíveis infiltrações e junta vertical (guia de concreto fixa) a cada 1,68 m para evitar a formação de trincas. A composição da mistura de solo-cimento-cinza (tipo de material e traço) adotado para confecção dessas paredes seguiu as recomendações de Milani e Freire (2006). A colocação das esquadrias da janela (90 x 120 cm<sup>2</sup>, peitoril 1,00 m) e da porta (80 x 210 cm<sup>2</sup>) foi simultânea à execução das paredes monolíticas e dispostas na fachada norte e sul, respectivamente, sendo que as mesmas foram vedadas por um painel (compensado de madeira) para evitar a interferência de ventilação e restringir as variáveis da equação, conforme avaliações térmicas de Gutierrez e Labaki (2005).

Na face superior, uma cinta superior em concreto armado (12 x 12 cm<sup>2</sup>) para recebimento da laje pré-moldada (isopor e concreto) e ático ventilado por aberturas em trama de tijolos de barro nos oitões das faces norte/sul. A cobertura é de telhas de fibrocimento pintadas externamente de branco, e, junto ao caibramento de sustentação, um filme de alumínio polido (isolante térmico) para reduzir a influência da superfície mais exposta à radiação solar nos resultados das medições. Acabamento final com execução de pintura externa das paredes com impermeabilizante incolor (K154 – Hidrorepelente à base de siloxano oligomérico - marca Viapol) e piso interno em concreto com revestimento em argamassa de cimento desempenada.



Figura 1. Fachada sul (porta) e fachada oeste da edificação-protótipo.



Figura 2. Fachada norte (janela) e fachada leste da edificação-protótipo.

### 3.2. Avaliação do Desempenho Térmico por Propriedades Termofísicas

O desempenho térmico das paredes monolíticas de solo-cimento-cinza foi avaliado através dos parâmetros de resistência térmica total, transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico. Estes parâmetros foram determinados conforme as especificações da NBR 15220 (ABNT, 2005) – Parte 2: Método de cálculo de características térmicas de elementos e componentes de edificações, sendo utilizados como base dos cálculos os valores da condutividade térmica e do calor específico da mistura solo-cimento-cinza. Tais propriedades térmicas foram determinadas através de ensaios laboratoriais realizados pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas - IPT com corpos-de-prova de solo-cimento-cinza moldados no laboratório da FEAGRI. Para o ensaio de condutividade utilizou-se o princípio da placa quente protegida, na qual seguiram os procedimentos da ASTM C177-04; e para o ensaio de calor específico foi utilizado calorímetro mediante os procedimentos da ASTM C-351-92.

O critério de avaliação de desempenho térmico das paredes monolíticas de solo-cimento-cinza foi a verificação do enquadramento das suas características térmicas dentro dos limites admissíveis recomendado pela NBR 15220 (ABNT, 2005) – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local e pela NBR 15575 (ABNT, 2008) – Parte 4: Desempenho de sistemas de vedações verticais externas e internas.

### 3.3. Avaliação do Desempenho Térmico por Monitoramento in-loco

Para realizar as medições foi utilizado um sistema de aquisição de dados composto por duas unidades básicas que fazem a coleta automática e o armazenamento dos dados meteorológicos e das temperaturas dos protótipos.

As variáveis ambientais (temperatura do ar, umidade relativa, direção dos ventos predominantes, velocidade do vento, radiação solar e índice pluviométrico) foram fornecidas pelo Centro de Pesquisas Meteorológicas e Climáticas Aplicadas à Agricultura - CEPAGRI, o qual mantém uma estação meteorológica localizada ao lado (50 m) da edificação-protótipo estudada. Os dados relativos ao protótipo foram coletados através de dois sensores tipo data logger, da marca Testo, os quais ficaram presos a um tripé localizado no centro do protótipo, a 1,30 m de altura e previamente programados para efetuar medições com intervalos de 10 em 10

minutos. Um sensor mediu a temperatura do ar e a umidade relativa do interior do protótipo, e outro, conectado a um termopar tipo T (cobre-constantan, ANSI), coletou a temperatura superficial interna da parede na fachada oeste. Durante estas medições foram desconsideradas as variáveis ventilação e ganhos internos.

Quanto à definição do período de realização das medições foram adotados os meses de janeiro e fevereiro para corresponder ao período de maior desconforto por calor, em conformidade com as séries históricas dos dados climáticos para a região de Campinas (período de 1983 a 1997, do Instituto Agrônomo de Campinas - IAC). Ressalta-se a predominância do calor sobre o frio, sendo que os meses mais quentes são janeiro e fevereiro com médias máximas entre 29,7 a 29,9 °C, e os mais frios são junho e julho com 12,5 e 12,4 °C, respectivamente. A umidade relativa média do ar é de 76% nos meses de dezembro a junho, e de 67% de julho a novembro. A época das chuvas ocorre nos meses de dezembro a março, sendo janeiro o mais chuvoso (252,4 mm). Os ventos predominantes são de sudeste, e as velocidades na maioria dos meses próximas a 2,0 m/s, exceto em setembro e outubro, com médias de 3,35 m/s.

Portanto, os períodos de monitoramento foram de 19 dias (456 horas) do mês de janeiro e fevereiro de 2007 devido à finalização da construção do protótipo se dar no mês de setembro de 2006, e de 20 dias (480 horas) do mês de julho e agosto de 2007, sendo coletados dados climáticos e variáveis térmicas do protótipo no período de 19 de janeiro a 06 de fevereiro, e de 17 de julho a 05 de agosto. Foram considerados válidos para a avaliação os dados coletados em condições de céu limpo ou parcialmente nublados.

O critério de avaliação de desempenho térmico das paredes monolíticas de solo-cimento-cinza foi a verificação do enquadramento do atraso térmico dentro dos limites admissíveis recomendados pela NBR 15220 (ABNT, 2005) –Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para adequação da edificação ao clima local.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para assegurar a comparação entre as variáveis coletadas em dias semelhantes, recorreu-se à análise estatística dos dados coletados, por meio da qual verificou-se que não houve diferença significativa entre as variáveis ambientais dos dias monitorados. Configuram-se as situações de queda brusca de temperatura externa por alteração das condições climáticas (Figura 3), sendo estes dias considerados atípicos (dias chuvosos) e descartados da análise dos dados.

O desempenho térmico das paredes monolíticas por meio de medições in loco foi representado nas Figuras 3 e 4, as quais representam as médias das temperaturas do ar externo e interno; e as médias das temperaturas superficiais internas da edificação-protótipo referentes ao período de medição de 19/01 a 06/02 e 17/07 a 05/08 de 2007.

Na Tabela 1 estão apresentadas as propriedades de condutividade térmica e de calor específico do material solo-cimento-cinza (estimadas em laboratório - IPT) e as características térmicas difusividade, transmitância, capacidade e atraso foram calculadas considerando o sistema construtivo de paredes monolíticas de solo-cimento-cinza como uma camada homogênea de 12 cm de espessura e densidade de massa aparente de 1650 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 1. Características térmicas de sistemas construtivos (12 cm de espessura de vedação).

Propriedades e características	Painel monolítico de solo-cimento-cinza
Condutividade térmica [W/(m.K)]	0,65
Calor específico [kJ/(kg.K)]	0,96
Difusividade térmica (10 <sup>-7</sup> m <sup>2</sup> /s)	4,2
Transmitância térmica [W/(m <sup>2</sup> .K)]	2,82
Capacidade térmica (kJ/K)	188
Atraso térmico ( horas )	4,2

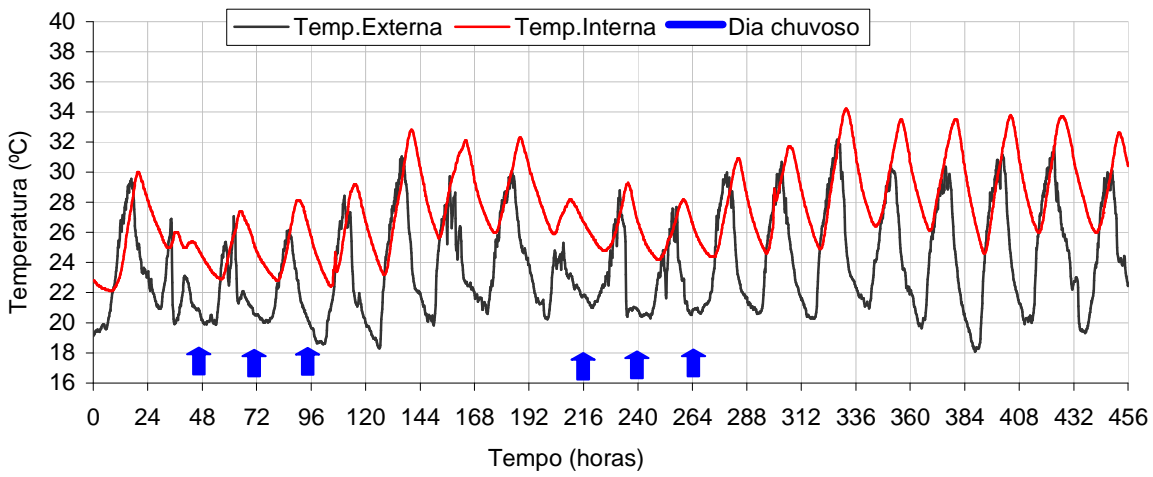


Figura 3. Temperaturas externas e internas da edificação-protótipo no período de 19/01 a 06/02.

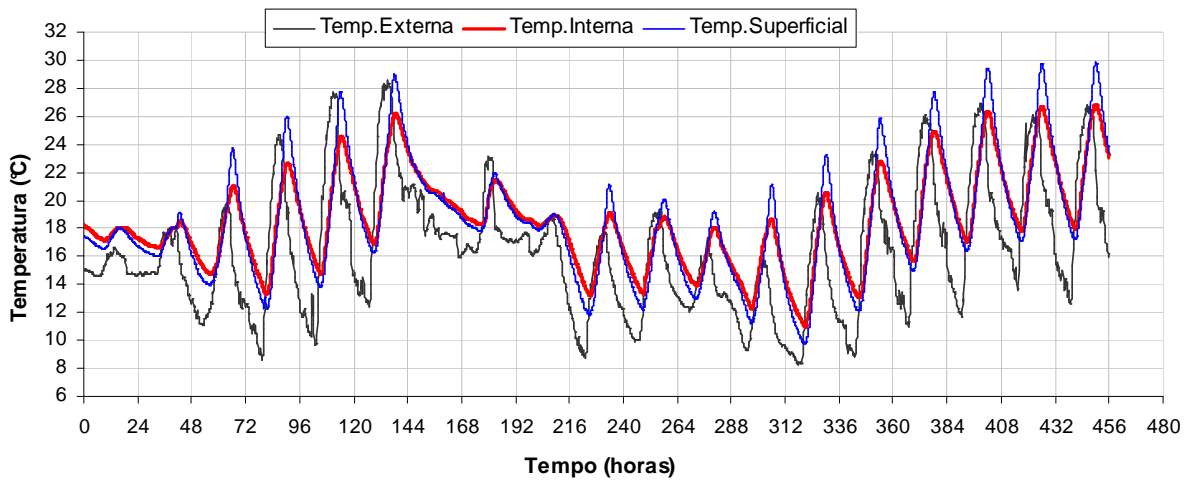


Figura 4. Temperaturas externas e internas da edificação-protótipo no período de 17/07 a 05/08.

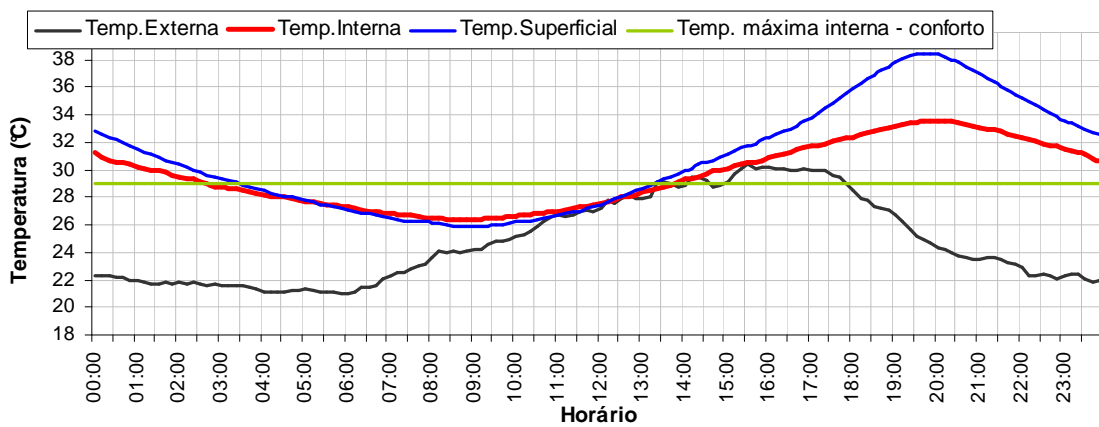


Figura. 5. Comportamento térmico da edificação-protótipo em dia típico de verão.

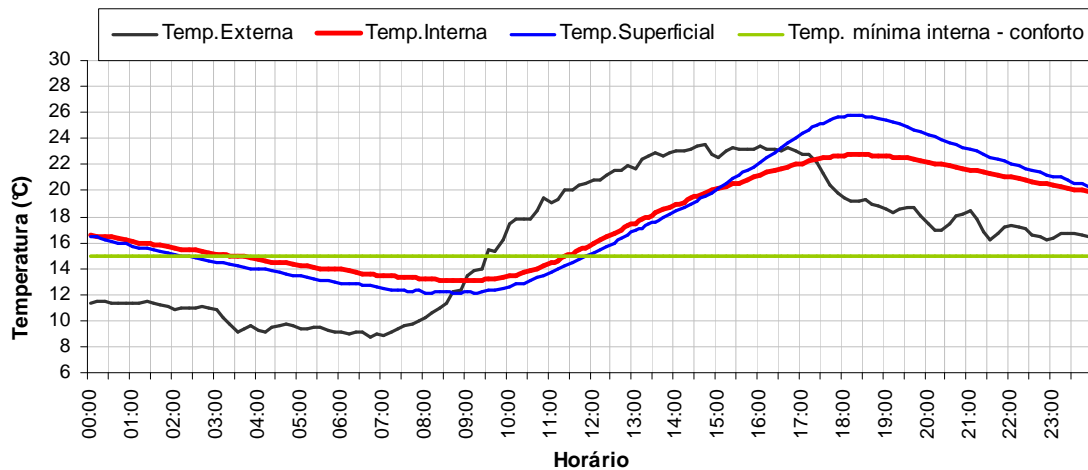


Figura 6. Comportamento térmico da edificação-protótipo em dia típico de inverno.

O uso do componente construtivo parede maciça de solo-cimento-cinza na construção de edificação pode apresentar adequação aos diferentes zoneamentos bioclimáticos brasileiros. Se a parede maciça de solo-cimento-cinza for utilizada com espessura entre 10 a 15 cm, tal componente construtivo apresenta transmitância térmica  $\leq 3,6 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$  e atraso térmico  $\leq 4,3$  horas, o que, segundo a NBR 15220 e NBR 15575, são vedações recomendadas para construções nas regiões sul, sudeste, norte e litoral brasileiros (clima tropical). Porém, se a parede maciça de solo-cimento-cinza for construída com espessura acima de 18 cm, tal componente construtivo apresenta transmitância térmica  $\leq 2,2 \text{ W} / (\text{m}^2 \text{ K})$  e atraso térmico  $\geq 6,5$  horas, o que, segundo as mesmas normas, é ideal para uso em edificações nas regiões centro-oeste e sertão nordestino (clima semi-árido). Tais simulações mostraram a versatilidade do material solo-cimento-cinza compactado, pois, com pequenas alterações na espessura do componente construtivo, pode-se favorecer o material a desenvolver bom desempenho térmico frente a diferentes climas. Vale salientar que, como o fator solar está em função da cor, a parede de solo-cimento-cinza não atendeu ao requisito da norma devido à sua utilização aparente na edificação-protótipo. Para enquadrar-se será necessária a aplicação de alguma pintura nas paredes, assim diminuindo o valor de absorvância à radiação solar e, conseqüentemente, o valor do fator solar.

No estudo de caso, a cidade onde foi construída a edificação-protótipo caracteriza-se pelo clima tropical de altitude. Observou-se que tanto para o dia típico de verão como para o de inverno (Figuras 5 e 6), pode-se observar o atraso térmico próximo de 4 horas. Tais observações, além de indicarem a proximidade entre o valor de atraso térmico e o valor calculado a partir das propriedades térmicas do material, revelaram que, devido ao atraso e amortecimento térmico, os ganhos térmicos da edificação-protótipo ocorreram no período da tarde e as perdas térmicas ocorreram no período da manhã. Portanto, é relevante afirmar que as simulações podem ser ferramentas adequadas para a avaliação do desempenho térmico das edificações.

Quanto às amplitudes térmicas, ou seja, as diferenças entre as temperaturas máximas e mínimas, externamente alcançou o valor de  $9,2 \text{ }^\circ\text{C}$  e internamente chegou a  $7,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Assim, para o amortecimento térmico da edificação-protótipo, ou seja, a capacidade das vedações (paredes e cobertura) de diminuir a amplitude das variações térmicas, o índice encontrado ficou em torno de 0,83. Em relação à temperatura para o dia típico de inverno, às amplitudes térmicas, externamente alcançou o valor de  $14,5 \text{ }^\circ\text{C}$  e internamente chegou a  $9,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Assim, o índice encontrado para o amortecimento térmico foi de 0,66.

Avaliando-se o desempenho térmico da parede monolítica de solo-cimento-cinza através do critério de verificação do enquadramento das temperaturas interiores dentro dos limites admissíveis recomendados pela norma brasileira de desempenho térmico de edifícios habitacionais (faixa de conforto mínimo entre  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  a  $29 \text{ }^\circ\text{C}$ ); para as condições de verão e inverno a edificação-protótipo ficou dentro do limite de desempenho térmico mínimo pelos períodos de 12 horas e 20 horas, respectivamente. Evidentemente, o monitoramento da edificação-protótipo não expressou as condições de habitabilidade (taxa de ventilação, ocupação e uso de equipamentos), porém pode confirmar os resultados encontrados para as características térmicas (Tabela 1). Notou-se que foi possível alcançar o bom desempenho térmico no inverno, mas poderia apresentar-se com melhores resultados se a edificação-protótipo fosse dotada de fontes internas de calor mínimas como iluminação e ocupação, pois como a parede de solo-cimento-cinza possui considerável massa térmica; o

calor gerado internamente seria retido e liberado mais lentamente para o exterior. Tal comportamento térmico foi observado em estudos de Parra-Saldivar e Batty (2006) em simulações computacionais de residências construídas com paredes de adobe.

Através destas análises, notou-se que a edificação-protótipo apresentou bom desempenho térmico frente às condições de inverno; e o período crítico para seu desempenho foi influenciado pelas condições de verão. No entanto, destaca-se dos resultados do monitoramento térmico da edificação-protótipo a boa inércia térmica da parede de solo-cimento-cinza, o que, segundo Shaviv et al. (2001) e Granja et al. (2002) pode ser uma característica relevante a ser utilizada a favor do bom desempenho térmico da edificação nos períodos de verão. Os referidos autores relataram que paredes que possuem considerável inércia térmica foram adequadas para utilização nas edificações construídas em locais de clima quente e úmido, desde que utilizado conjuntamente com a ventilação noturna.

Apesar das paredes de solo-cimento-cinza serem vedações promissoras para o bom desempenho térmico, a edificação-protótipo necessita do uso de recursos projetuais como aberturas para ventilação, sombreamento e orientação correta para alcançar melhor desempenho frente às variações térmicas do verão; de modo a minimizar a posterior necessidade de meios ativos de resfriamento para adequar a edificação ao conforto térmico. Utilizando-se destas estratégias projetuais bioclimáticas juntamente com a potencialidade de bom desempenho térmico do sistema construtivo de paredes monolíticas de solo-cimento-cinza de casca de arroz pode atuar como um agente propulsor de ambientes construídos respaldados na eficiência energética, de modo a minimizar o consumo de energia a partir da diminuição da carga térmica do ambiente construído.

## 5. CONCLUSÃO

Em termos de transmitância térmica, capacidade térmica e atraso térmico; a parede monolítica de solo-cimento-cinza de casca de arroz apresentou bom desempenho térmico em relação à adequação da edificação-protótipo ao clima local, sendo um material promissor para a execução de paredes para fins de construção civil e/ou rural. Ressalta-se a necessidade de estudos futuros na edificação-protótipo quanto ao comportamento das paredes monolíticas na utilização de ventilação pelas aberturas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

\_\_\_\_\_. NBR 15575 – Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho. Rio de Janeiro, 2008.

GRANJA, A. D. ; LABAKI, L. C. Periodic heat flow: thermal inertia as a bioclimatic strategy for thermal comfort and energy efficiency in buildings of Brazil,. In: Proceedings of the 19th International Conference Design with the environment, PLEA 2002. Toulouse: GRECO, 2002. v. 1. p. 159-162.

GUTIERREZ, G. C. R.; LABAKI, L. C. Avaliação de desempenho térmico de três tipologias de brise-soleil fixo. In: ENCAC, 2005. Anais...Alagoas: ANTAC, 2005, Cd-rom.

MILANI, A. P. S.; FREIRE, W. J. Ensaios destrutivos e não-destrutivos aplicados a caracterização físico-mecânica de misturas de solo-cimento-cinza de casca de arroz. In: Conferência Brasileira de Materiais e Tecnologias Não-Convencionais, 2006. Anais...Salvador: ABMTENC, 2006. Cd-rom.

MYRRHA, M. A. L. Solo-cimento para fins construtivos. In: FREIRE, W. J.; BERALDO, A. L. Tecnologia e materiais alternativos de construção. Campinas: UNICAMP, 2003. cap.4, p. 95-120.

PARRA-SALDIVAR, M. L.; BATTY, W. Thermal behaviour of adobe constructions. Building and Environment. n. 41, 1892–904, 2006.

SHAVIV, E.; YEZIORO, A.; CAPELUTO, I. G. Thermal mass and night ventilation as passive cooling design strategy. Renewable Energy, n.24, p.445-52, 2001.