

AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÃO- PROTÓTIPO CONSTRUÍDA COM SISTEMA DE PAREDES MONOLÍTICAS DE SOLO-CIMENTO-CINZA DE CASCA DE ARROZ

Ana Paula S. Milani (1); Wesley J. Freire (2); Lucila Chebel Labaki (3)

(1) FEAGRI – UNICAMP, Cidade Universitária Zeferino Vaz, Barão Geraldo, Campinas – SP, CEP 13083-875; 0XX1935211050, ana.silva@agr.unicamp.br; (2) FEAGRI – UNICAMP, wesley@agr.unicamp.br; (3) FEC – UNICAMP, lucila@fec.unicamp.br

RESUMO

O sistema construtivo de paredes monolíticas 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 e sistema alternativo de construção, 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 e de variáveis medidas 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.

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.

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 quase sempre resultam na geração de resíduos que não são aproveitados pelo homem, provocando danos ambientais algumas vezes 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, neste trabalho, 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.

1.1. Solo-Cimento-Cinza de Casca de Arroz

Em face da necessidade de utilização racional dos recursos naturais, o resgate do uso do solo compactado como material de construção tem se intensificado ultimamente, tendo sido seu comportamento físico-mecânico melhorado através da estabilização com aglomerantes minerais. Visando a obtenção de um material de menor impacto ambiental e de baixo consumo energético, a utilização conjunta de solo estabilizado + cinzas vegetais tem alcançado um certo destaque, possibilitando destinação final a este resíduo que, por sua significativa quantidade gerada nas agroindústrias, justifica-se o desenvolvimento de um sistema de reaproveitamento como forma de evitar seu lançamento em locais e condições inadequadas.

Com base nestas afirmações, Milani e Freire (2006) pesquisaram a incorporação de cinzas de casca de arroz a misturas de solo-cimento para atuar como carga mineral (“filler”), em substituição parcial do solo. Para tal, foi realizado um estudo de dosagem das misturas de solo-cimento-cinza de casca de arroz, ensaios de compressão simples, de durabilidade por molhamento e secagem, de absorção d’água, e de ultra-som. Depois de determinadas as principais características físicas e mecânicas das misturas de solo-cimento-cinza de casca de arroz, Milani e Freire concluíram 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 elementos construtivos (tijolos) ou de componentes construtivos (paredes monolíticas).

1.2. Sistema Construtivo de Paredes Monolíticas de Solo-Cimento

Para o desenvolvimento de uma política habitacional consistente para o Brasil, segundo Krüger (2000), são necessários três elementos básicos: a introdução de tecnologias apropriadas enfatizando a combinação de elementos construtivos e favorecendo a racionalização da construção; iniciativas que promovam a participação dos futuros moradores no projeto e na execução das moradias; e adequação da edificação às especificidades regionais onde se pretende construir (clima, uso de material local, aspectos socioculturais). Seguindo tais considerações, a técnica construtiva de paredes monolíticas de solo-cimento destaca-se como uma relevante tecnologia apropriada para a construção de habitações de interesse social. Segundo Myrrha (2003), a técnica de paredes monolíticas consiste na compactação do material solo-aditivo na umidade ótima, em camadas sucessivas, no sentido vertical, com o auxílio de fôrmas e guias, sendo necessário ao término da confecção da parede a aplicação da cura úmida.

Barbosa e Mattone (2002) discutiram sobre o uso do material solo-cimento 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 é um material resistente à ação da água e aos carregamentos de serviço, e, quando utilizado como alvenaria de vedação, apresenta um excelente conforto interno devido à sua porosidade que permite as trocas de vapor entre o interior e o exterior da construção.

A partir da construção e avaliação de uma casa de solo-cimento na cidade de Santa Maria-RS, Soares et al. (2004) relataram que a técnica de construção de habitações com paredes monolíticas pode ser adotada facilmente, necessitando o uso de ferramentas simples e proporcionando geração de trabalho e renda para a mão-de-obra pouco qualificada. Os autores afirmaram que a habitação, após um ano de uso, apresenta-se em bom estado de conservação, não havendo trincas nas paredes e infiltração de umidade, comprovando seu bom desempenho frente às intempéries. O excelente conforto térmico, a boa resistência e aparência da habitação, foram as características que causaram a satisfação do proprietário.

1.3. Avaliação do Desempenho Térmico de Edificação

Segundo Barbosa (1997), a avaliação de desempenho térmico de uma edificação pode ser realizada através de medições in-loco de variáveis representativas do conforto térmico (temperatura do ar, umidade relativa, velocidade de ventos) ou através da verificação do cumprimento de limites dos parâmetros de desempenho prescritos (transmitâncias, absorvidade, massa específica aparente das paredes e coberturas, aberturas de ventilação e sombreamento).

Em relação aos ensaios envolvendo medições em campo, ainda não há uma metodologia padrão para avaliação térmica de um sistema construtivo; contudo, a elaboração de procedimentos e de ferramentas computacionais que auxiliem na avaliação do desempenho da edificação concentra-se na utilização dos critérios de Fanger, vinculados às recomendações das normas da ANSI/ASHRAE 55 e da ISO 7730. Diversas aplicações práticas foram realizadas em protótipos habitacionais brasileiros, sendo destacadas as pesquisas de Akutsu e Lopes (1988), Becker (1993), Papst e Lamberts (1999), Dumke (2002), as quais utilizaram as variáveis térmicas medidas no local e as características construtivas da edificação para realização de simulações do desempenho térmico.

Já para a realização da avaliação do desempenho térmico através da prescrição, utiliza-se a metodologia de verificação do enquadramento de diretrizes construtivas dentro dos limites admissíveis recomendados pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). Ferreira (2003) estudou as propriedades termofísicas dos tijolos de solo adicionados de aditivos químicos (cimento + silicato de sódio), determinando as principais propriedades térmicas deste componente construtivo (alvenaria de tijolos de solo-aditivo químico). Considerando-se as paredes construídas com tijolos prensados de solo-aditivos químicos como vedações externas leves refletoras, Ferreira verificou que os valores da transmitância e atraso térmico calculados estão em conformidade com os limites admissíveis recomendados pela NBR 15220.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. 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 e com dimensões externas de 3,72 x 3,72 m² e internas de 3,48 x 3,48 m²; e pé-direito de 2,70 m.

A edificação-protótipo foi construída sobre fundação de brocas de concreto (ϕ 20 cm e 60 cm de profundidade) e baldrame de concreto armado (20 x 20 cm²), sendo fixados nesta base oito pilares pré-fabricados de concreto armado (12 x 12 x 310 cm³), 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 cm²) 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 cm², peitoril 1,00 m) e da porta (80 x 210 cm²) 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 cm²) 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.

2.2. Avaliação do Desempenho Térmico por Prescrição

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.

2.3. Avaliação do Desempenho Térmico por Medições 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, o período de medição foi 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 dezembro de 2006, sendo coletados dados climáticos e variáveis térmicas do protótipo no período de 19 de janeiro a 06 de fevereiro. 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.

3. 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 na Figura 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.

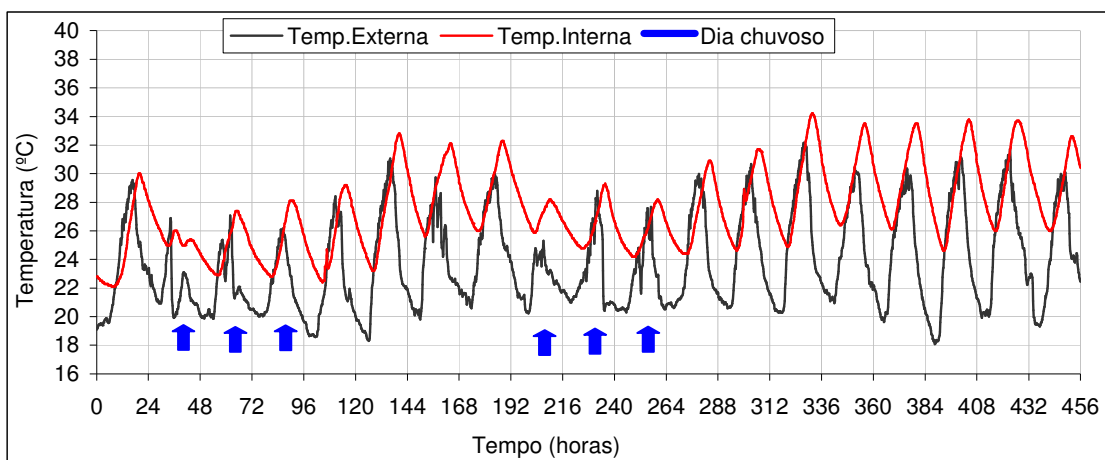


Figura 3. Temperaturas externas e internas da edificação-protótipo no período de 19/01 a 06/02.

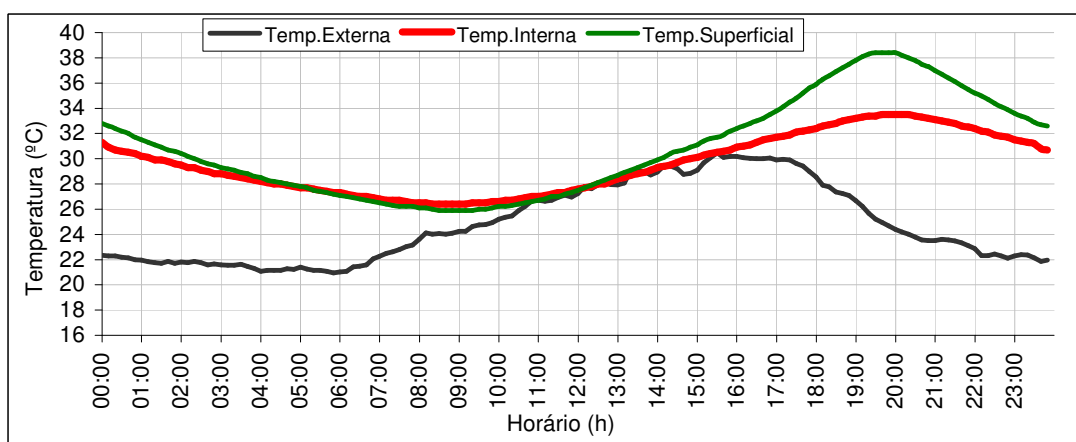


Figura 4. Temperaturas médias ao longo do dia para o período de 19/01 a 06/02.

Notou-se na Figura 4 que no intervalo das 10:30 as 14:30 h os valores da temperatura do ar externo mantiveram-se semelhantes aos valores de temperatura do ar interno, sendo que para os demais períodos as temperaturas do ar interno foram superiores às temperaturas externas. Quanto ao atraso térmico, tanto para as temperaturas mínimas como para as temperaturas máximas, o valor do atraso encontrou-se próximo de 4 horas. Já para o amortecimento térmico o valor encontrado ficou em torno de 2,5 °C.

Considerando as prescrições da NBR 15220 (ABNT, 2005) – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas, a cidade de Campinas encontra-se na Zona Bioclimática 3 e, para otimizar o desempenho térmico das edificações através de adequação climática, a edificação-protótipo deve atender à seguinte diretriz construtiva para vedações externas: as paredes devem apresentar atraso térmico $\leq 4,3$ horas. Portanto, os resultados das medições in-loco (Figura 4) mostraram que paredes construídas com o material solo-cimento-cinza de casca de arroz são indicadas para o bom desempenho térmico da edificação mediante as condições do clima local (Zona Bioclimática 3).

Quanto ao desempenho térmico das paredes monolíticas por prescrição, os resultados dos ensaios laboratoriais referentes à determinação das propriedades térmicas do material solo-cimento-cinza de

casca de arroz indicaram os seguintes valores: massa específica aparente seca de 1650 kg/m³, condutividade térmica de 0,65 W/(m.K) e calor específico de 0,96 kJ/(kg.K).

Utilizando-se tais propriedades e os métodos de cálculo das características térmicas de componentes de edificações descritas na norma NBR 15220 (ABNT, 2005), os valores encontrados para a transmitância térmica, a capacidade térmica, o atraso térmico e o fator solar da parede monolítica de solo-cimento-cinza foram, respectivamente: 2,82 W/(m².K); 190 kJ/(m².K); 4,3 horas; e 7,3 %.

Avaliando-se o desempenho térmico da parede monolítica de solo-cimento-cinza através do critério de verificação do enquadramento de características térmicas dentro dos limites admissíveis recomendados pela NBR 15220 (ABNT, 2005), a parede monolítica de solo-cimento-cinza apresentou conformidade com os valores estabelecidos pela norma, sendo indicado como um material promissor em relação ao desempenho térmico. Esta norma recomenda que, para a edificação encontrar-se adequada ao clima de Campinas (Zona Bioclimática 3), as vedações externas com paredes devem ser leves refletoras, ou seja, devem apresentar transmitância térmica $\leq 3,6$ W/(m².K); atraso térmico $\leq 4,3$ horas e fator solar $\leq 4\%$. 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.

Ressalta-se que o valor de atraso térmico encontrado nas medições in-loco foi semelhante ao valor calculado a partir das propriedades térmicas do material, sendo relevante afirmar que as simulações podem ser ferramentas adequadas para a avaliação do desempenho térmico das edificações.

4. 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 no período de maior desconforto por frio e na utilização de ventilação pelas aberturas.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

AKUTSU, M.; LOPES, D. Simulação do desempenho térmico de edificações. *Projeto de divulgação Tecnológica Lix da Cunha*, São Paulo, p. 473-76, 1988. Tecnologia de edificações IPT/Pini/030.

BARBOSA, M. J. *Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residências unifamiliares*. 275 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) Universidade Federal de Santa Catarina, 1997.

BARBOSA, N. P.; MATTONE, R. Construção com terra crua. In: Seminário Ibero Americano de Construção com Terra, 1., 2002. *Anais...* Salvador: Projeto PROTERRA, 2002. Cd-rom.

BECKER, M. F. M. Análise de desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea. In: ENTAC, 1993. *Anais...* São Paulo: ANTAC, 1993, p. 825-834.

DUMKE, E. M. S. *Avaliação do desempenho térmico em sistemas construtivos da vila tecnológica de Curitiba como subsídio para a escolha de tecnologias apropriadas em habitação de interesse social*. 227p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Centro Federal de Educação Tecnológica - PR. 2002.

FERREIRA, R. C. *Desempenho físico-mecânico e propriedades termofísicas de tijolos e mini-painéis de terra crua tratada com aditivos químicos*. 204 p. Tese (Doutorado em Construções Rurais) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas. 2003.

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.

KRUGER, E. L. Tecnologias apropriadas e habitação social no Brasil. In: KRUGER, E. L. *Coletânea Tecnologias Apropriadas*. Curitiba: CEFET-PR, 2000, p. 43-53.

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.

SOARES, J. M. D.; TOMAZETTI, R. R.; PINHEIRO, R. B. Habitação em paredes monolíticas de solo-cimento. *Teoria e Prática na Engenharia Civil*, São Paulo, Brasil. n.5, p.51-57, Agosto, 2004.