

DESEMPENHO TÉRMICO DE 3 HABITAÇÕES POPULARES EM REGIÕES DE CLIMA TROPICAL SEMI-ÚMIDO

**Marlon Leão (1); Érika Fernanda Toledo Borges Leão (1); Marta Cristina de Jesus
Albuquerque Nogueira (2); José de Souza Nogueira (3); Ernesto Kuchen (4)**

(1) IGS–Institut für Gebäude- und Solartechnik - Universidade técnica de Braunschweig, Alemanha
e-mail: leao@igs.bau.tu-bs.de

(2) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – FAET – UFMT – Cuiabá-MT, Brasil
e-mail: mcjan@terra.com.br

(3) Departamento de Física e Meio Ambiente – ICET – UFMT – Cuiabá-MT, Brasil
e-mail: nogueira@cpd.ufmt.br

(4) IGS–Institut für Gebäude- und Solartechnik - Universidade técnica de Braunschweig, Alemanha
e-mail: kuchen@igs.bau.tu-bs.de

RESUMO

O objetivo deste artigo foi analisar o desempenho térmico de três sistemas construtivos utilizados na construção de habitações populares no estado de Mato Grosso. As habitações analisadas estão localizadas em Cuiabá (15°35'56" S), clima tropical semi-úmido e foram construídas respectivamente em madeira, alvenaria tradicional e pré-fabricada. As medições foram realizadas no decorrer de um ano, diuturnamente, durante vinte dias consecutivos de cada estação. As habitações foram avaliadas por três metodologias distintas: (1) análise por prescrição, onde foram comparados os materiais da envoltória com a NBR 15220-3 (2005), (2) frequência, utilizando como referência a zona de conforto de GIVONI (1992) com temperaturas de bulbo seco entre 18° e 29°C e (3) desempenho, por análise dos níveis de conforto e estratégias de acordo com a Carta Bioclimática de GIVONI (1992) adaptada para países em desenvolvimento, utilizando o *software Analysis Bio 2.1.2*. Os resultados demonstram que as habitações populares mais utilizadas atualmente na região não podem ser definidas como abrigo, classificando-as como inapropriadas para regiões de clima tropical semi-úmido. A contribuição do artigo está pautada na avaliação e correlação do desempenho térmico de três sistemas construtivos amplamente utilizados no estado de Mato Grosso.

Palavras-chave: Cuiabá; NBR 15220-3; sistemas construtivos

ABSTRACT

The objective of this paper was to analyze the thermal performance of three constructive systems applied in low-cost housings in the State of Mato Grosso-Brazil. The assessed housings are located in Cuiabá, capital of Mato Grosso (15°35'56" S), tropical semi-humid climate and had been built respectively in wooden, traditional masonry and prefabricated. The measurements had been carried out during the period of one year, in the daytime for twenty consecutive days of each season. The housings had been evaluated by three distinct methodologies: (1) analyze by prescription, where it is compared the envelope components to the norm NBR 15220-3 (2005), (2) frequency, applying as reference the comfort zone of GIVONI (1992) with dry bulb temperatures between 18°C and 29°C and (3) performance, by assessment of comfort levels and strategies in accordance to the Bioclimatic Chart of GIVONI (1992), adapted for developing countries, processed by Analysis Bio 2.1.2 program. The results demonstrated that the most currently used low-cost housings at this region can not be treated as a shelter, classifying them as inappropriate for tropical semi-humid regions. The contribution of this paper is based on the assessment and thermal performance correlation among three constructive systems widely used in the state of Mato Grosso.

Keywords: Cuiabá; NBR 15220-3; constructive systems

1 INTRODUÇÃO

As habitações populares ainda possuem ordem, espaço, proporção e metodologias construtivas praticamente fixas em todo o Brasil. De acordo com KRÜGER *et al.* (2000), as habitações destinadas à população de baixa renda, ainda são implementadas em todo o Brasil de forma uniforme, sem nenhuma preocupação com os diferentes climas existentes no país.

No estado de Mato Grosso são observadas padronizações em programas de moradia popular, que aliadas ao baixo padrão construtivo, tornam o desempenho térmico das unidades habitacionais insuficientes para o rigoroso clima local.

Nos últimos anos, pesquisadores em todo Brasil vêm desenvolvendo de forma consistente, pesquisas sobre o comportamento térmico em habitações de sua região. Especificamente nas regiões sul e sudeste já se dispõem de muitos dados para o clima subtropical.

As pesquisas têm contribuído para o desenvolvimento do conforto ambiental no país, a exemplo de novas metodologias de projeto, normas como a NBR 15220-3 (2005) e o projeto SWERA. Porém, diante da variedade de climas existentes em todo território nacional, este artigo visa avaliar e comparar comportamento térmico das metodologias construtivas mais utilizadas no estado de Mato Grosso, cuja capital Cuiabá é considerada uma das cidades mais quentes do país.

2 CLIMA

O clima da região de Cuiabá ($15^{\circ}35'56''$ S), de acordo com a classificação climática de KÖPPEN (1948), é do tipo Aw, tropical úmido e típico das savanas tropicais. Caracteriza-se por apresentar dois períodos bem definidos: um seco, que vai de abril a outubro e outro úmido, de novembro a março onde se concentram 80% das chuvas. Cuiabá está localizada numa depressão (Figura 1), possui pequena amplitude térmica, exceto em fenômenos de friagem, temperatura média anual de $26,8^{\circ}\text{C}$, com média das máximas de 42°C e média das mínimas de 15°C . A média anual de umidade relativa do ar é de 78% e insolação total de 2.179 horas (INMET, 2003).

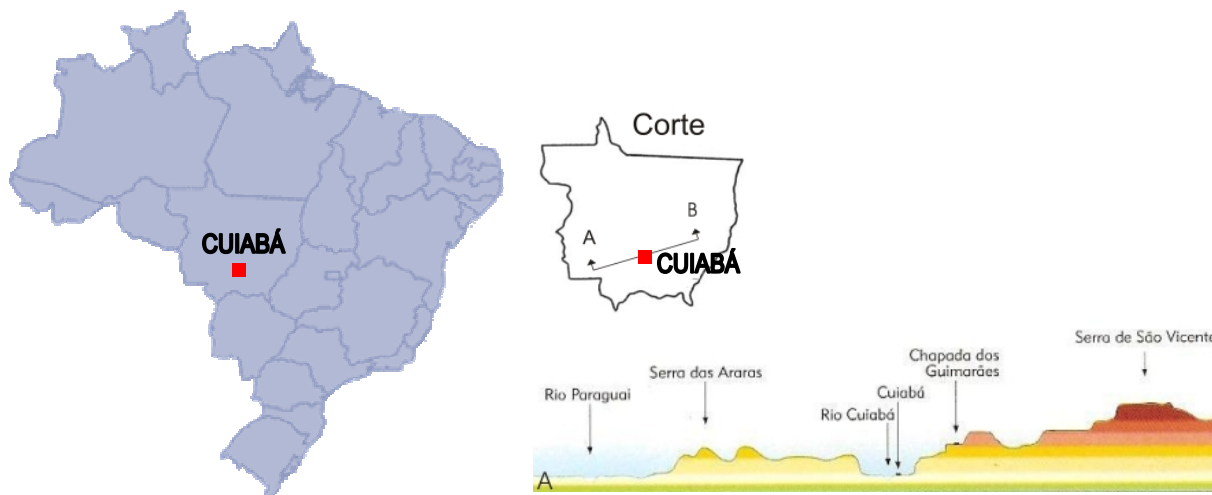


Figura 1 – Localização do estado de Mato Grosso no Brasil e corte esquemático do mapa físico de Mato Grosso (dados de MORENO *et al.*, 2005)

3 AS HABITAÇÕES

Para obtenção de dados urbanos sem influência direta de variáveis externas como microclima, poluição, ilhas de calor e verticalização, as habitações analisadas estão localizadas na zona urbana de Cuiabá, porém dentro do parque de exposições da ACRIMAT (Associação dos Criadores do Estado de Mato Grosso). As habitações (Figura 2) foram construídas com as dimensões e características originais dos três sistemas construtivos mais utilizados no estado de Mato Grosso (SINFRA, 2005). As características construtivas das habitações são apresentadas a seguir e na tabela 1.



3.1 Habitação em Madeira



3.2 Habitação em Alvenaria Tradicional



3.3 Habitação Pré-fabricada

Figura 2 – Sistemas construtivos avaliados

3.1 Características construtivas da habitação em madeira

A habitação em madeira é composta de sala e cozinha conjunta, dois quartos e um banheiro com uma área total de 39,20 m². A fachada principal (foto) está orientada para oeste, as paredes externas executadas em lambris de madeira (e: 1 cm) apenas na face exterior com pintura na cor amarela. As esquadrias são de ferro com veneziana, possuem área média de 1,21 m² e abertura de 50%. A cobertura é constituída de telhas de chapa de aço galvanizado, interior não ventilado e forro em madeira (exceto na cozinha).

3.2 Características construtivas da habitação em alvenaria tradicional

Esta habitação apresenta lay-out com sala e cozinha integrada, dois quartos e um banheiro com área total de 40,02 m². A fachada principal (foto) está orientada para norte, as paredes externas foram executadas em alvenaria comum, com tijolos cerâmicos (e:10 cm) rebocados com argamassa (e:1 cm) e pintura na cor azul. As esquadrias são de ferro com veneziana, área média de 1,2 m² e abertura de 50%. A cobertura foi construída sem forro e com telhas cerâmicas.

3.3 Características construtivas da habitação pré-fabricada

O projeto da habitação pré-fabricada também apresenta um lay-out com sala e cozinha integrada, dois quartos e um banheiro, mas com uma área total de apenas 33 m². A fachada principal (foto) está orientada para Leste, possui envoltória executada em painéis pré-moldados de alvenaria e concreto (e:9 cm), intercalada com vigotas horizontais e verticais de concreto armado, rebocada (e:1 cm) e pintura na cor bege. As esquadrias são de ferro com veneziana, área média de 1,2 m² e abertura de 50%. A cobertura foi construída com forro, interior não ventilado e telhas cerâmicas.

4 METODOLOGIA

Dados horários das habitações e do clima local foram coletados entre 08:00 e 18:00 horas em um período representativo de 20 dias de cada estação do ano. O mês de dezembro foi considerado como verão nas medições devido ao acesso limitado as habitações nos meses de janeiro e fevereiro. O levantamento de dados foi realizado respectivamente na estação de “Verão”: 01/12/2004 e 21/12/2004, Outono: 02/05/2005 a 21/05/2005, Inverno: 20/07/2005 a 08/08/2005 e Primavera: 03/10/2005 a 22/10/2005.

Os dados climáticos horários de Cuiabá foram fornecidos pelo CPTEC (Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos)/INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais). Estes dados foram utilizados na avaliação por frequência e como dados de entrada no *software Analysis Bio 2.1.2*. na avaliação por desempenho.

Os procedimentos durante a coleta de dados estão de acordo com a ISO 7726 (1998), foram obtidos dados de TR (temperatura radiante), TBS (temperatura de bulbo seco) e TBU (temperatura de bulbo úmido) das habitações utilizando termômetros digitais de globo modelo TBS 100 Digital da marca INSTRUTHERM®. As informações das características físicas e térmicas dos elementos construtivos utilizados na envoltória foram obtidas *in loco*.

A metodologia utilizada para avaliação do desempenho térmico nas edificações utilizou três métodos para análise: (1) avaliação por prescrição, (2) frequência de temperaturas e (3) desempenho.

(1) A NBR 15220-3 (2005), parte 3: Zoneamento Bioclimático Brasileiro, foi utilizada para analisar os materiais empregados na construção das unidades habitacionais. A norma traz um pacote prescritivo de materiais e tipologias que devem ser utilizados de acordo com cada região.

(2) Na avaliação por frequência, somou-se a ocorrência de temperaturas dentro da zona de conforto térmico de GIVONI (1992). Nesta, os limites entre 18°C e 29°C foram adotados para países com clima quente e em desenvolvimento, pois são considerados mais representativos para pessoas adaptadas aos climas existentes no Brasil. Para as temperaturas inferiores a 18°C considerou-se como zona de desconforto por frio e para as temperaturas superiores a 29°C como zona de desconforto por calor.

(3) Os dados climáticos horários coletados no interior das habitações e para a cidade de Cuiabá, foram trabalhados e formatados como dados de entrada no *software Analysis Bio 2.1.2*. Com os dados de saída foi possível comparar as zonas de conforto do meio externo/interno, o número de horas de conforto/desconforto e estratégias bioclimáticas para edificações residenciais indicadas para a correção do clima local.

5 RESULTADOS

5.1 Avaliação por prescrição

Na análise comparativa entre os materiais utilizados na envoltória e as exigências prescritivas da NBR 15220-3 (2005), demonstrada na tabela 1, observa-se que as aberturas das edificações estão de acordo com o tamanho de esquadria especificado de 10 a 15% da área do piso. As habitações em madeira, alvenaria tradicional e pré-fabricada possuem respectivamente uma taxa de esquadria de 12,3%, 11,5% e 13,3% e não possuem sombreamento como o requerido devido ao beiral médio de apenas 50 cm.

As paredes especificadas para as habitações na região de Cuiabá devem ser pesadas com transmitância térmica menor que 2,20 W/m².K, atraso térmico maior que 6,5 horas e fator solar inferior a 3,5 FS. Nas habitações de madeira, alvenaria tradicional e pré-fabricada constataram-se valores superiores ao requerido de transmitância térmica, sendo 3,67/2,38/2,45 W/m².K respectivamente. O atraso térmico é muito inferior ao necessário, com valores de 0,5/3,6/3,2 horas. Na residência de madeira, com pintura externa amarela e na residência de alvenaria, na cor azul escuro, foi observado elevado índice FS de 4,4 e 6,1. Entretanto, na residência de sistema construtivo pré-fabricado com pintura externa na cor bege, o índice FS de 2,7 foi considerado satisfatório.

As coberturas requeridas também devem ser pesadas com transmitância menor que 2,00 W/m².K, atraso térmico maior que 6,5 horas e fator solar inferior a 6,5 FS. As habitações de madeira e pré-fabricada estão de acordo com a norma por possuírem forro, sendo a habitação de alvenaria prejudicada pela ausência do mesmo, atingindo uma transmitância térmica de 4,55 W/m².K. O atraso térmico das coberturas não atendeu a norma em nenhuma das unidades. Em outro trabalho semelhante NOGUEIRA *et al.* (2006), sugere a instalação de forro em casas de madeira para melhorar o isolamento do ar quente e indica medidas de sombreamento na área de entorno.

Ainda na tabela 1, observa-se nas aberturas, paredes e coberturas das habitações, que dos 21 itens analisados apenas 6 estão de acordo com a NBR 15220-3 (2005). Como consequência, observa-se uma radiação solar direta pelas aberturas e baixa resistência térmica do envelope, aumentando as cargas térmicas para o interior das habitações.

Tabela 1 – Resultado da avaliação das habitações em relação às prescrições na norma NBR 15220-3 (2005).

TIPO	NBR 15220-3	MADEIRA	SIT	TRADICIONAL	SIT	PRÉ-FABRICADA	SIT
“U” Transmitância térmica parede (W/m².K)	$U \leq 2,20$	3,67	X	2,38	X	2,45	X
Atraso térmico parede (horas)	$\varphi \geq 6,5$	0,5	X	3,6	X	3,2	X
Fator Solar Parede (FS)	$FS_o \leq 3,5$	4,4	X	6,1	X	2,7	OK
“U” Transmitância térmica cobertura (W/m².K)	$U \leq 2,00$	2,00	X	4,55	X	2,00	OK
Atraso térmico cobertura (horas)	$\varphi \geq 6,5$	1,3	X	0,3	X	1,3	X
Fator Solar Cobertura (FS)	$FS_o \leq 6,5$	2,0	OK	13,6	X	13,6	X
Janelas/área de piso	10%-15%	12,3%	OK	11,5%	OK	13,3%	OK

Legenda: SIT: situação em relação a NBR 15220-3 (2005)

X: não está de acordo com a NBR

OK: está de acordo com a NBR

5.2 Avaliação por frequência

A figura seguinte mostra a análise da frequência de TBS em relação à zona de conforto térmico de GIVONI (1992), ou seja, com temperaturas entre 18 e 29°C, a zona de desconforto por frio apresenta temperaturas inferiores a 18°C e por calor superiores a 29°C.

**ZONA DE CONFORTO TÉRMICO DE GIVONI COM TEMPERATURAS ENTRE 18°C E 29°C
PERÍODO 2004/2005**

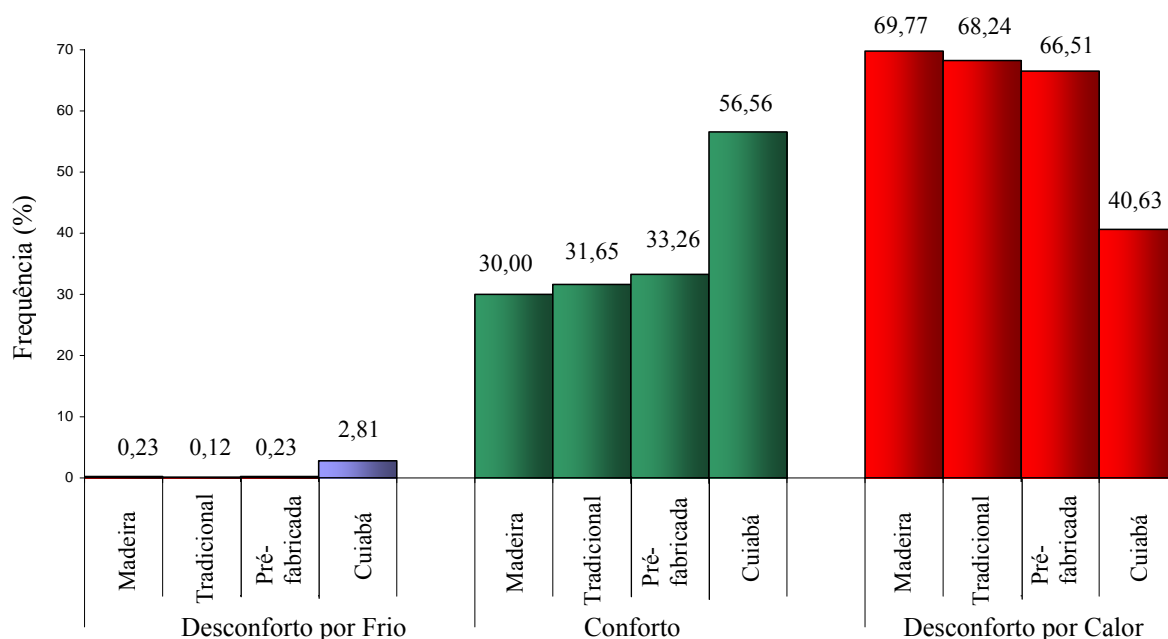


Figura 3 – Gráfico de frequência de TBS (temperatura de bulbo seco) em relação à zona de conforto térmico de GIVONI (1992), (dados de LEÃO, 2006)

Quando levamos em consideração apenas os sistemas construtivos, a diferença das TBS na zona de desconforto por frio são desprezíveis. Na zona de conforto, a residência de madeira apresentou apenas 30% de temperaturas dentro da zona de conforto, o que equivale a 3,2% menos que a residência de sistema construtivo pré-fabricado, que apresentou os melhores resultados. Na zona de desconforto por calor os resultados se repetem, sendo a residência de madeira em 69,7% do tempo desconfortável por calor ou 3,2% mais quente que a pré-fabricada.

É importante destacar a diferença de conforto entre os sistemas construtivos nas diferentes zonas de conforto com as temperaturas do clima de Cuiabá. Desprezando o desconforto por frio, nas zonas de conforto e desconforto por calor o melhor sistema construtivo foi o pré-fabricado, porém, apresentou conforto respectivamente 23,3% e 25,8% menor que o próprio clima local.

As temperaturas máximas absolutas com maior frequência foram de 35°C com 14,4% na residência de alvenaria, 34°C com 13% na residência de madeira e 33°C com 13,6% na pré-fabricada.

5.3 Avaliação por desempenho

Para análise do conforto térmico das edificações por desempenho também foi adotada como índice de referência a Carta Bioclimática de GIVONI (1992). A tabela 2 apresenta os resultados do *software Analysis Bio 2.1.2.* desenvolvido pelo LABEEE/UFSC (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina). O programa utiliza como dados de entrada; altitude, latitude, longitude, temperatura (média das máximas, média e média das mínimas), umidade relativa média e pressão.

Os dados horários medidos nas habitações das 8:00 às 18:00 horas, e os coletados do clima local através do CPTEC/INPE, foram trabalhados e formatados como dados de entrada para o *software Analysis Bio 2.1.2.* Como resultado, o programa demonstra a porcentagem de horas de conforto e estratégias de projeto que devem ser levadas em consideração para suprir as horas de desconforto.

Tabela 2 – Relatório de saída do *software Analysis Bio 2.1.2.* (dados de LEÃO, 2006)

ANUAL	MADEIRA	TRADICIONAL	PRÉ-FABRICADA	CUIABÁ
Conforto	17,98%	14,85%	14,88%	49,44%
Massa Térmica para Resfriamento	12,22%	19,14%	19,95%	2,86%
Ar Condicionado	26,49%	20,42%	15,78%	4,71%
Ventilação simples	6,08%	3,05%	3,28%	7,52%
Ventilação com Resfr. evaporativo	37,24%	42,55%	46,11%	28,09%

Segundo LAMBERTS (1997), a zona bioclimática dois da Carta Bioclimática de GIVONI (1992) adaptada para o Brasil, corresponde a zona de ventilação. Essa estratégia deve ser usada quando a temperatura ultrapassar os 29°C ou a umidade relativa for superior a 80%. A tabela 2 acima indica pequena porcentagem de ventilação simples, pois nos casos apresentados ela deve ser associada ao Resfriamento evaporativo e Massa térmica para resfriamento. Nos períodos quentes em que a temperatura externa seja superior à interna, deve-se levar em consideração a ventilação seletiva.

Diferentemente do que ocorreu na análise por frequência, a habitação de madeira apresentou melhores resultados através da análise por desempenho, porém mais uma vez as diferenças entre os três sistemas construtivos foram muito pequenas quando comparada com o índice de 49,4% de conforto que o próprio clima local oferece.

De acordo com LEÃO (2007), apesar da escassa ventilação na região de Cuiabá, o seu uso associado ao resfriamento evaporativo e massa é bastante eficiente para o resfriamento das edificações.

A necessidade do uso de ar condicionado é indicada para até 26% do período medido na habitação de madeira, enquanto o clima local exige apenas 4,7%, caracterizando os sistemas construtivos como de baixa eficiência energética.

6 CONCLUSÕES

De acordo com as medições não foram observadas diferenças significativas no comportamento térmico das habitações no decorrer das quatro estações do ano. O reflexo do clima tropical úmido da região de Cuiabá e da pequena amplitude térmica, demonstrou diferenças expressivas apenas entre os dois períodos bem definidos da região: um seco que vai de abril a outubro, onde podem ocorrer alguns fenômenos de friagem e outro úmido de novembro a março concentrando 80% das chuvas.

Os resultados pontuais demonstraram que paredes e coberturas leves com pouca massa e inércia, prejudicaram a capacidade térmica aumentando o índice de transmitância e diminuindo o atraso térmico em horas para o interior. Esquadrias desprotegidas por sistemas de sombreamento propiciaram aumento interno de temperatura devido aos ganhos de calor por radiação solar direta e deficiência na ventilação seletiva.

A pintura das habitações populares normalmente associada com cores fortes dos partidos políticos que as construíram, prejudicaram o desempenho térmico da envoltória. A habitação em alvenaria, por exemplo, apresentou acréscimo médio de 5,5K na temperatura de superfície das paredes, em relação às outras habitações de cores mais claras.

A implantação inadequada diminuiu a ventilação cruzada e o número de troca de ar, comprimindo a zona de conforto de GIVONI (1992) de 32°C para 29°C no verão. A falta de vegetação, fontes de água ou outros recursos que permitam a evaporação da água diretamente no ambiente que se deseja resfriar, impossibilitou o uso da técnica de resfriamento evaporativo.

Conclui-se após análise do desempenho térmico por três metodologias distintas que as três tipologias construtivas avaliadas apresentam conforto térmico insatisfatório principalmente em razão do baixo padrão construtivo, tornando as condições do clima externo mais confortáveis que o interior das habitações.

Pode-se dizer que as habitações populares mais utilizadas atualmente na região não são definidas como abrigo, tornando-as inapropriadas para locais de clima tropical-úmido, sendo ainda mais rigoroso para com as famílias que habitam a Depressão Cuiabana. As normas de conforto térmico no Brasil ainda não estão plenamente desenvolvidas, elas são de vital importância para definir nas habitações populares os padrões construtivos mínimos de acordo com cada região.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15220-3 – Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares e de interesse social**. Brasil, 2005.

CPTEC no Estado de Mato Grosso. In: CENTRO DE PREVISÃO DO TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS. **Produtos do CPTEC/Observações Meteorológicas/Plataforma de Coleta de Dados**. 1995-2004. Disponível em: www.cptec.inpe.br. Acesso em: 20 set. 2005.

GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, 1992.

INMET no Distrito Federal. In: INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Climatologia**. 2003. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/climatologia>. Acesso em: 15 ago. 2005.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). **ISO 7726: Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities**. [S.l], 1998.

KÖPPEN, W. 1948. **Climatologia**. Ed. Fondo de Cultura Económica, México.

KRÜGER, EDUARDO L. E R. LAMBERTS (2000): **Avaliação do desempenho térmico de casas populares**. ENTAC, Salvador, 2000.

LAMBERTS, R. **Eficiência Energética na Arquitetura**, PW, São Paulo, 1997.

LEÃO, E. F. T. B. **Carta Bioclimática de Cuiabá – Mato Grosso**. 2007. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 147 f. Cuiabá, MT. Disponível em <http://www.pgfma.ufmt.br>

LEÃO, M. **Desempenho térmico em habitações populares para regiões de clima tropical – estudo de caso em Cuiabá-MT**. 2006. Dissertação. (Mestrado em Física e Meio Ambiente), Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal de Mato Grosso. 102 f. Cuiabá, MT. Disponível em <http://www.pgfma.ufmt.br>

MORENO, G.; HIGA, T. C. S., (orgs.); colaboradora MAITELLI, G. T. **Geografia de Mato Grosso: território, sociedade, ambiente**. Cuiabá: Entrelinha, 2005. pg. 238-287

NOGUEIRA, M. C. J. A.; SAMPAIO, M. M. A.; LEÃO, M.; NOGUEIRA, J. S.; LEÃO, E. F. T. B. **Avaliação do conforto térmico em habitações de Cuiabá-MT**. In: VII Simpósio Brasileiro de Climatologia Geográfica, Rondonópolis-MT, 2006.

SECRETARIA DE INFRA-ESTRUTURA (SINFRA). **Mato Grosso um Canteiro de Obras 30 Meses**, Cuiabá/MT, 2005.

8 AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa foi realizada com apoio financeiro da FAPEMAT (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso) na compra dos equipamentos e CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) com uma bolsa de mestrado.