

## **IMPACTOS DA INCORPORAÇÃO DE DIRETRIZES CONSTRUTIVAS BIOCLIMÁTICAS NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL (ZB 07)**

**Mauro Olartechea (1), Ivan J. A. Callejas (2), Luciane Cleonice Durante (3), Karyna de  
Andrade C. Rosseti (4), Marcos Junior Soares de Lima (5)**

(1) graduação, Engenharia Civil, mauro\_olartechea@hotmail.com

(2) doutor, Engenharia Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, ivancallejas@ig.com.br

(3) doutor, Engenharia Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo,  
luciane.durante@hotmail.com

(4) doutor, Arquiteta e Urbanista, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo,  
karynarosseti@gmail.com

(5) discente do curso de Engenharia Elétrica, marcosjr.lima@outlook.com

Universidade Federal de Mato Grosso, Laboratório de Tecnologia e Conforto Ambiental, Av. Fernando  
Corrêa da Costa, 2367, Bairro Boa Esperança. Cuiabá - MT - 78060-900. Tel.: (65) 3615 8774

### **RESUMO**

Os projetos que tem sido elaborados para construção de conjuntos habitacionais voltados para população de baixa renda, na maioria das vezes, não consideram o clima e as diretrizes construtivas da zona bioclimática de implantação. O objetivo deste trabalho foi analisar o impacto termoenergético advindo da incorporação de estratégias bioclimáticas no projeto de uma habitação de interesse social padrão. A avaliação do desempenho foi realizada por meio de simulação computacional (EnergyPlus). A partir do projeto existente denominado Projeto Padrão, foram propostas intervenções construtivas no projeto, denominadas Cenários 1, 2 e 3. Utilizando-se do parâmetro climático temperatura operativa, foram quantificados os graus-hora de resfriamento e as horas de desconforto nesses cenários, a fim de quantificar os impactos das intervenções, bem como verificar as diretrizes construtivas que promovem melhor adequação do projeto às características climáticas da região. As intervenções que mais aperfeiçoaram o desempenho foram incorporadas ao Projeto Padrão, denominado Projeto Modelo, composto por paredes de meia vez (assentados na menor dimensão), forro em laje de concreto com 10cm de espessura e telha termoacústica. As incorporações reduziram a temperatura média operativa anual em 0,8°C, os graus-hora de resfriamento anual em 35% e elevaram o desconforto térmico por calor em 2,5%, indicando que as intervenções direcionadas para maior aderência às recomendações normativas não foram suficientes para alcançar as exigências de conforto térmico.

Palavras-chave: conforto térmico, Graus-Hora de resfriamento, EnergyPlus.

### **ABSTRACT**

Projects that have been designed for housing construction for low-income population, usually, do not consider the local weather and constructive bioclimatic guidelines in its implementation. The objective of this study was to analyse the thermal energetic impact arising from the incorporation of constructive guidelines for seven bioclimatic zone in the social housing project. The building thermal energetic analysis was performed with computational program EnergyPlus. It was suggested interventions in the original project denominated Scenarios 1, 2 and 3, aiming to improve the building performance. It was utilized in simulations a climatic parameter denominated operative temperature, to quantify the cooling degree-hours and hours of comfort/ discomfort, and therefore, value the improvement in the house project by proposed interventions. After simulations, the thermal energetic analysis indicated that the project should be composed by masonry with 14cm thickness, an 10 cm slab roof plate and thermo acoustic tile. Interventions reduced approximately 0.8°C in mean operating annual temperature, 35% in cooling degree-hours and elevated thermal discomfort inside the building in 2.5%. It demonstrates that building designer must adapt the building project to local climatic characteristics and consider bioclimatic normative to improve building thermal energetic and thermal comfort performance.

Keywords: Thermal comfort, Cooling Degrees-Hours, EnergyPlus.

## **1. INTRODUÇÃO**

A cada dia acentuam-se mais as preocupações referentes ao meio ambiente e à utilização racional da energia, bem como por habitações mais sustentáveis, que não onerem o meio ambiente, seja na fase de projeto, construção ou manutenção. É neste contexto que se insere a Arquitetura Bioclimática, que visa harmonizar a relação entre edifício e o clima local, com vistas a melhorar as condições de habitabilidade, de conforto e redução do consumo energético das edificações.

Sabe-se que o desempenho de um edifício tem relação intrínseca com a sua envoltória, pois esta interage diretamente com as variáveis ambientais do local onde o edifício se insere. Desta forma, o conhecimento das características termofísicas da envoltória são de fundamental importância para o estabelecimento de estratégias de projeto que viabilizem respostas satisfatórias à influência do clima, garantindo conforto térmico e habitabilidade aos usuários das edificações.

Nesse sentido, para a categoria residencial, duas normas de publicação recente abarcam critérios e requisitos de adaptação das edificações às características climáticas dos locais em que se inserem e, desta forma, apresentem desempenho térmico satisfatório durante a fase de ocupação: a NBR 15220-Parte 3 (ABNT, 2005a) e a NBR 15575-Partes 1, 4 e 5 (ABNT, 2013a; ABNT, 2013b; ABNT, 2013c). A primeira estabelece diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social aplicáveis na fase de projeto a partir da divisão do território brasileiro em oito zonas relativamente homogêneas quanto ao clima, denominadas Zonas Bioclimáticas (ZB). Estas zonas estabelecem diretrizes construtivas e o detalhamento das estratégias de condicionamento térmico passivo para as edificações implantadas no país. As principais recomendações estão relacionadas à transmitância térmica das paredes externas e cobertura, tamanho das aberturas (janelas) e critério de sombreamento e ventilação seletiva para as aberturas da edificação. A segunda norma, incorporando recomendações técnico-construtivas que visam à otimização do desempenho das edificações, através de sua melhor adequação climática. Estão incorporadas nesta norma as recomendações termofísicas para as vedações verticais e coberturas, bem como critério para aberturas mínimas, que permitem a avaliação do nível de desempenho térmico. Enquanto na primeira, o foco principal é a edificação, na segunda, o foco está no atendimento das exigências dos usuários. Destaca-se que a NBR 15575:2013 trata do desempenho geral da edificação e de seus sistemas construtivos, e não apenas desempenho térmico da edificação.

Ao se analisarem os projetos arquitetônicos desenvolvidos para habitações de interesse social e edificações construídas dentro da zona bioclimática sete (ZB7), indaga-se se estes têm incorporado as diretrizes construtivas estabelecidas nas normas acima citadas, uma vez que as mesmas não possuem caráter de cumprimento obrigatório, mas são decisivas no desempenho termoenergético da edificação e o conforto térmico de seus usuários.

Considerando que a pesquisa se desenvolve na ZB7, o desempenho térmico das habitações é um fator relevante, em virtude das elevadas temperaturas registradas durante quase todo o ano, do que pode decorrer maior ou menor demanda de energia para fins de resfriamento, conforme a maior ou menor adequação da edificação ao clima. Por outro lado, observa-se na região e no Brasil, que as habitações de interesse social estão sendo implementadas de forma padronizada, sem preocupação com as especificidades bioclimáticas e sem o atendimento das prescrições normativas (CALLEJAS et al, 2013). Diante deste cenário, este trabalho delimita-se ao estudo do projeto de uma habitação de interesse social (HIS), implantada em Cuiabá-MT, região de clima tropical continental, considerando que a verificação do atendimento do mesmo objeto de estudo à NBR 15575:2013 foi realizado por meio de procedimentos prescritivos e de medição em Callejas et al. (2013), e tendo a habitação alcançado nível mínimo de desempenho (M), fato este que motivou o estudo da referida habitação à luz da NBR 15220:2005.

## **2. OBJETIVO**

Esse trabalho teve por objetivo avaliar os impactos no desempenho termoenergético ocasionados pela incorporação das diretrizes construtivas para a ZB7, no projeto de uma habitação de interesse social padrão, por meio de simulação computacional.

## **3. MÉTODOS E MATERIAIS**

### **3.1. Local da pesquisa**

O estudo foi realizado na cidade de Cuiabá-MT, região Centro-Oeste do território brasileiro. O clima da região é o Tropical Continental (Aw) e pertencente à Zona Bioclimática 7, definida na NBR 15220-Parte 3

(ABNT, 2005a). Na pesquisa, utilizou-se uma habitação de interesse social unifamiliar (HIS) pertencente a um conjunto habitacional localizado na região sul da cidade (Figura 1). O terreno de implantação apresenta solo nu, sem existência de vegetações ou gramíneas (Figura 1).

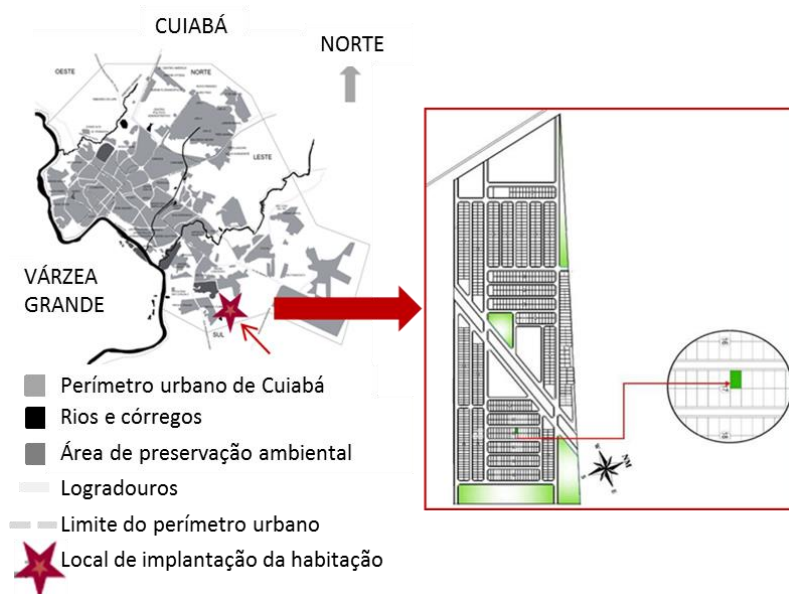


Figura 1 – Localização da edificação em estudo na cidade de Cuiabá-MT e no conjunto habitacional.

### 3.2. Característica da Habitação de Interesse Social

No conjunto habitacional, todas as HIS apresentam a mesma tipologia construtiva (Figura 2), com área construída de 39,57m<sup>2</sup> em lotes padrões de 10x20m, sendo o que as diferencia é apenas a orientação solar.

O sistema construtivo é composto por paredes de tijolos cerâmicos de oito furos com dimensões de 9x19x19cm, assentados na menor dimensão (meia vez), revestidos com argamassa externa e interna de 2,5cm de espessura e com argamassa de assentamento de 1cm de espessura. O piso é de concreto desempenado, a cobertura de telha cerâmica em duas águas com forro de PVC, portas externas de aço e portas internas de madeira. As paredes têm acabamento externo no tom bege claro e as internas na cor branca. As janelas dos quartos e da sala não possuem vidro, somente venezianas. As janelas da cozinha são em vidro transparente, sem proteção solar específica. A implantação da residência afastada dos limites do terreno permite que haja aberturas em todas as laterais (Figura 3).

### 3.3. Método

A avaliação do desempenho termoenergético da HIS foi realizada por meio de simulações computacionais com o programa EnergyPlus, utilizando banco de dados climático de Cuiabá. Adotou-se para a simulação o ano típico de referência (TRY), arquivo climático obtido no site [www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios), conforme recomendação do Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R, 2010).

Na etapa de modelagem da edificação, utilizou-se o Plug-in OpenStudio para a edição e visualização em maquete eletrônica no programa SketchUp8. Para o desenho em 3D, o programa considera os elementos de construção sem suas espessuras, as quais serão adicionadas, como informações numéricas para os cálculos, diretamente no EnergyPlus 8.1. Por isso, as superfícies que representam as paredes externas foram desenhadas nos limites externos, as que representam as paredes internas, no eixo da parede de divisão entre os ambientes. Foram modeladas quatro zonas térmicas: quarto 1, quarto 2, banheiro e sala-cozinha. A cobertura foi desenhada de forma plana, mas no programa EnergyPlus foram introduzidos todos os materiais e camadas que a compõem, em termos de resistência térmica equivalente: telha cerâmica, camada de ar do ático (com espessura superior a 5cm) e forro de PVC. O procedimento adotado seguiu o Regulamento Técnico da Qualidade (RTQ-R, 2010) que faculta a modelagem do ático da cobertura como uma zona térmica (Figura 4).



Figura 2 - Vista frontal da HIS de estudo.

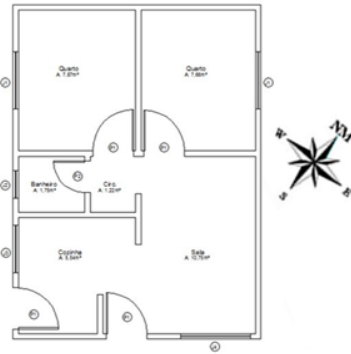


Figura 3 - Planta Baixa da HIS.

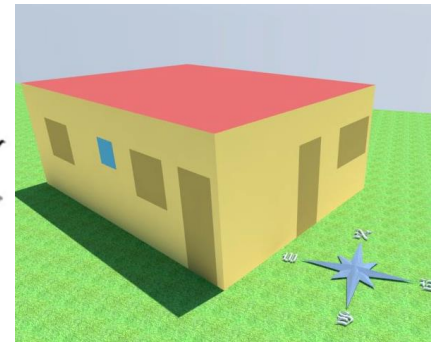


Figura 4 - Modelagem da HIS.

### 3.3.1. Simulação do desempenho térmico

A modelagem do projeto inicial denominado de “Projeto Padrão” contemplou as características termofísicas dos materiais e dos componentes utilizados no projeto original da edificação, conforme entregue aos usuários (Tabelas 1 e 2). A análise inicial do Projeto Padrão para a ZB7 indicou que o mesmo não atende a diretriz construtiva da NBR 15220 (2005a) de parede pesada ( $U_T \leq 2,2W/m^2K$ ) e de cobertura pesada ( $U_T \leq 2,0W/m^2K$ ) pois os atrasos térmicos tanto da parede quanto da cobertura são inferiores aos valores especificados ( $\phi \geq 6,5$ ).

Tabela 1 – Características termofísicas dos materiais do Projeto Padrão.

Características inseridas	Cerâmica (Tijolo)	Cerâmica (Telha)	Argamassa	PVC
Rugosidade	Áspero	Áspero	Áspero	Liso
Espessura (m)	0,09	0,01	0,025	0,01
Condutividade (W/mK)	0,55	1,05	1,15	0,2
Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	1600	2000	2000	1200
Calor Específico (J/kgK)	920	920	1000	1000
Absorção térmica, solar e visível	0,85; 0,75; 0,75	0,85; 0,75; 0,75	0,85; 0,3; 0,3	0,9; 0,2; 0,2

Tabela 2 – Transmitância térmica dos componentes do Projeto Padrão.

Componentes	Composição	$\alpha$ (absortância solar)	Transmitância (W/m <sup>2</sup> .K)	Fator solar FSo = 4.U. $\alpha$	Capacidade Térmica (kJ/ m <sup>2</sup> .K)	Atraso térmico ( $\phi$ , horas)
Parede – tinta látex PVA Fosca - cor marfim	Argamassa (2,5cm) + Tijolo (9x19x19cm) + Argamassa (2,5cm)	0,30	2,49	2,95	158	3,30h
Cobertura	Telha Cerâmica + ar (> 5cm) + PVC (1cm)	0,75	1,75	5,25	21	0,52h
Piso	Radier concreto (10cm)	0,75	3,33	Não aplicável	240	Não aplicável

No Cenário 1, substituíram-se as paredes de meia vez por paredes de uma vez ( $U_T=1,97W/m^2K$ ,  $\phi=5,5$ horas, FSo=2,36) e, com isso, elevou-se a inércia térmica das paredes. Muito embora não tenha sido atendido o critério de paredes pesadas ( $\phi \geq 6,5$ ), justifica-se a adoção desta tipologia de parede pelo fato de que as tipologias que proporcionam o atraso requerido não se enquadram no perfil de custos das HIS, sendo que, desta forma, optou-se pela parede que proporcionasse maior adequação possível ao clima local, dentro das possibilidades reais de adoção da mesma. Em seguida, foi verificado o impacto desta modificação no desempenho termoenergético da edificação. No Cenário 2, elevou-se a inercia térmica da cobertura, substituindo o forro de PVC por laje maciça de 10cm de espessura ( $U_T=2,05W/m^2K$ ,  $\phi=6,8$ horas, FSo=6,16).

No Cenário 3, procurou-se proporcionar melhoria no isolamento da cobertura, substituindo-se a cobertura de telha cerâmica por telha termoacústica composta por chapa galvanizada na cor branca e

poliestireno expandindo ( $U_T=0,85\text{W/m}^2\text{K}$ ,  $\phi=0,9$  horas,  $FS_o=0,54$ ). Aqui, também não foi atendido o atraso térmico requerido de 6,5h, considerando os mesmos motivos de viabilidade econômica da tipologia, para utilização em HIS. No entanto, a intervenção proposta é no sentido de maior adequação da cobertura ao clima local.

Inicialmente, o cenário do Projeto Padrão foi calibrado por meio de dados de medição *in loco*, conforme apresentado em Caneppele et al. (2013), para o período de 20 a 26/12/2012 (144 horas), estação quente e úmida na região, com a condição de ausência de ocupação, portas e janelas fechadas e ventilação ocorrendo apenas pelas frestas destes elementos. Este mesmo padrão foi implementado na simulação, ou seja, não foi considerada a HIS operando com sistema de ventilação natural, apenas com ventilação por frestas, tendo sido adotados os parâmetros de coeficiente de rugosidade do entorno ( $\alpha$ ), de coeficientes de pressão superficial ( $C_p$ ), de coeficiente de descarga ( $C_D$ ) e de coeficiente do fluxo de ar por frestas ( $C_O$ ), indicados pelo RTQ-R (2010), referentes a esta condição.

Posteriormente, este período foi utilizado para avaliar o desempenho termoenergético por meio de simulação computacional para o Projeto Padrão e demais Cenários, tendo como base a variável temperatura operativa para computo dos graus-hora de resfriamento nas mesmas condições indicadas anteriormente. Devido à ausência de fontes de calor radiante no interior da edificação, a temperatura operativa se aproxima a temperatura do ar, sendo esta também utilizada para avaliar as horas de conforto/ desconforto térmico.

Para a quantificação das horas de conforto/desconforto, partiu-se dos valores de temperatura limite de conforto, proposto por Givoni (1992) para países de clima quente e em desenvolvimento, que sugere para o verão, em situação de umidade alta, valores entre 25 a 26°C. Adotou-se o valor superior de 26°C como referência, considerando que as pessoas estão aclimatadas. Desconsiderou-se o limite de temperatura inferior devido à baixa ocorrência de horas de desconforto por frio na região pesquisada. O valor da temperatura base para resfriamento do ambiente adotado foi igual a 26°C, conforme recomendação do RTQ-R (2010).

Após verificação do desempenho termoenergético alcançado pelas estratégias bioclimáticas de forma isolada, foram definidas as incorporações construtivas do Projeto Modelo da edificação, a saber: cobertura composta por forro em laje de concreto 10cm de espessura e telhas metálicas termoacústicas. Após constatada melhoria no desempenho do Projeto Modelo em relação ao Projeto Padrão, para o mesmo período de 144 horas (20 a 26/12/2012), o mesmo foi simulado para o período de um ano (8760h), sob condições de simulações idênticas às indicadas anteriormente.

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

O ambiente (zona) da Sala-Cozinha foi o escolhido para demonstrar o comportamento da edificação por ser o ambiente que apresentou pior desempenho termoenergético.

### 4.1. Avaliação do desempenho termoenergético das incorporações propostas

Na alteração da espessura das paredes de meia vez (assentados na menor dimensão) do Projeto Padrão para as de uma vez (assentados na maior dimensão) do Cenário 1, as temperaturas operativas mínimas, médias e máximas do ambiente Sala-Cozinha passaram de 28,2°C, 31,7°C e 36,1°C para 28,7°C, 31,9°C e 35,7°C, respectivamente (Figura 5, Tabela 3).

Com a elevação da massa térmica da parede proposta neste Cenário 1, notou-se elevação das temperaturas mínimas e médias em 0,5 e 0,2°C, respectivamente. A temperatura máxima reduziu em 0,4°C. Não se observou mudança no horário de ocorrência das máximas e mínimas.

Nota-se que o desempenho termoenergético das edificações foi semelhante, com 1.142,5 e 1.154,5°C h para o Projeto Padrão e Cenário 1, respectivamente. Desta forma, sob este aspecto, nota-se elevação de 1,05% nos graus-hora de resfriamento. Também não foram registradas horas de conforto no interior da edificação (Tabela 4). Em ambas as simulações, para o período pesquisado, 100% das horas apresentaram condição de desconforto térmico.

Tabela 3 – Temperatura operativa mínima, média e máxima na sala-cozinha da edificação, para período de 20 a 26/12/2012, condição de estação quente-úmida

Cenários	Tmín (°C)	Tméd (°C)	Tmáx (°C)	Amplitude (°C)
Projeto Padrão	28,2	31,7	36,1	7,9
Cenário 1	28,7	31,9	35,7	7,0
Cenário 2	29,6	31,8	34,4	4,8
Cenário 3	28,6	30,7	33,4	4,8

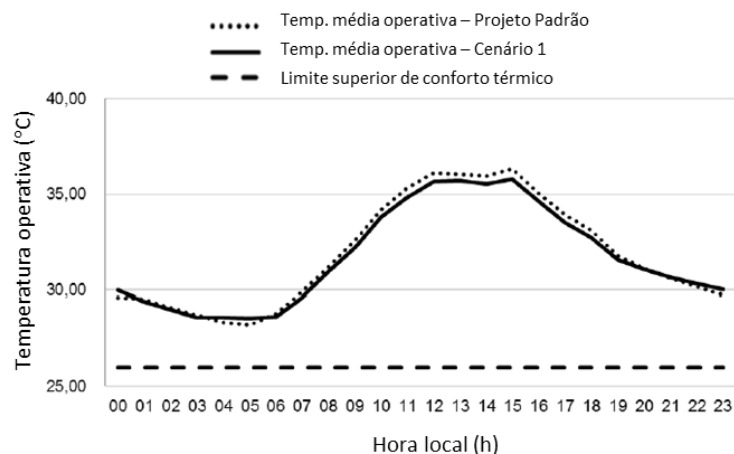


Figura 5 – Curva da temperatura média operativa das simulações do projeto padrão (linha pontilhada) e do Cenário 1 (linha cheia) para o período de 20 a 26/12/2012. Linha tracejada indica o limite superior de conforto térmico.

Na alteração do forro de PVC do Projeto Padrão para forro de laje do Cenário 2, as temperaturas operativas mínimas, médias e máximas do ambiente Sala-Cozinha passaram de 28,2°C, 31,7°C e 36,1°C para 29,6°C, 31,8°C e 34,4°C, respectivamente (Figura 6, Tabela 3).

Nota-se que elevação de massa térmica da cobertura neste Cenário 2, ocasionou elevação da temperatura mínima e média em 1,4°C e 0,1°C, respectivamente. A temperatura máxima reduziu em 1,7°C. Não se observou mudança no horário de ocorrência das máximas e mínimas.

Os graus-hora de resfriamento do Projeto Padrão e do Cenário 2 foram de 1.142,5 e 1.119,8°CCh, respectivamente. Verifica-se que o desempenho termoenergético da edificação do Cenário 2 é ligeiramente melhor que o do Projeto Padrão, com redução de 2% nos graus-hora de resfriamento. Da mesma forma que no Cenário 1, também não foram registradas horas de conforto no interior da edificação (Tabela 4). Em ambas as simulações, 100% das horas apresentaram condição de desconforto térmico.

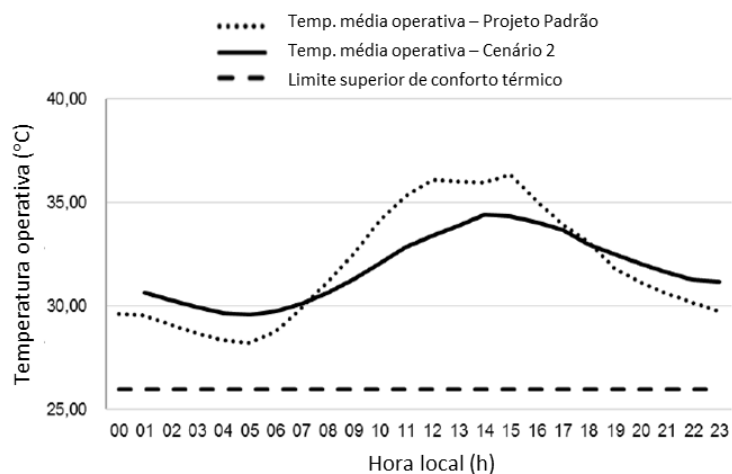


Figura 6 – Curva da temperatura média operativa das simulações do projeto padrão (linha pontilhada) e do Cenário 2 (linha cheia) para o período de 20 a 26/12/2012. Linha tracejada indica o limite superior de conforto térmico.

Na alteração da telha de barro do Projeto Padrão para telha de aço e poliuretano expandido do Cenário 3, as temperaturas operativas mínimas, médias e máximas do ambiente Sala-Cozinha passaram de 28,2°C, 31,7°C e 36,1°C para 28,6°C, 30,7°C e 33,4°C, respectivamente (Figura 7, Tabela 3).

A substituição de telha cerâmica por telha termoacústica de aço e poliuretano expandido (Cenário 3) ocasionou modificações no comportamento da temperatura operativa no interior da edificação (Tabela 3, Figura 7). Verificou-se elevação da temperatura mínima em 0,4°C e redução da temperatura média em 1°C. A temperatura máxima e a amplitude térmica se reduziram em 2,7°C e 3,1°C com a modificação da telha, respectivamente, além de introduzir atraso térmico de 1h. Este comportamento está associado ao maior isolamento proporcionado pelo componente de poliuretano expandido em relação à telha cerâmica.

Verificou-se considerável melhoria no desempenho térmico da edificação do Cenário 3 em relação ao Projeto Padrão, com diminuição dos graus-hora de resfriamento de 1.142,5 para 920,2°CCh, o que corresponde a um decréscimo de 19,5%. Da mesma forma que no Cenário 1 e 2, também não foram

registradas horas de conforto no interior da edificação (Tabela 4). Em ambas as simulações, 100% das horas ainda apresentaram em condição de desconforto térmico.

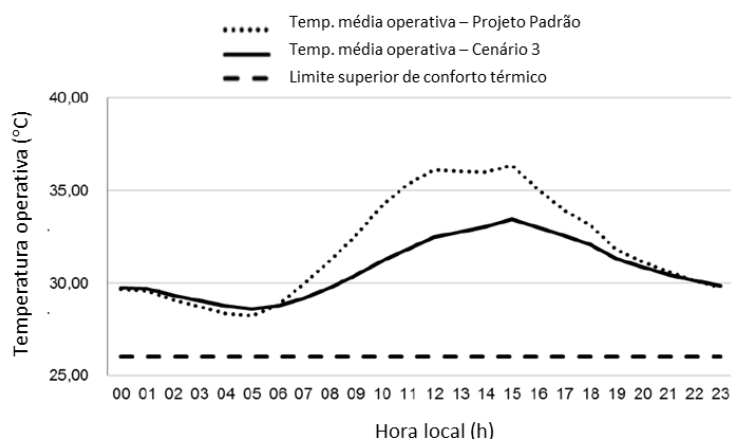


Figura 7 – Curva da temperatura média operativa das simulações do projeto padrão (linha pontilhada) e do Cenário 3 (linha cheia) para o período de 20 a 26/12/2012. Linha tracejada indica o limite superior de conforto térmico.

Tabela 4 – Horas de conforto/ desconforto e graus-hora de resfriamento, para o período de 20 a 26/12/2012 (estação quente-úmida).

Característica dos projetos	Horas de Conforto (h) <sup>(6)</sup>	Horas de Desconforto (h) <sup>(6)</sup>	Graus - Hora de Resfriamento (°Ch)
Projeto Padrão <sup>(1)</sup>	0	144	1.142,5
Cenário 1 <sup>(2)</sup>	0	144	1.154,5
Cenário 2 <sup>(3)</sup>	0	144	1.119,8
Cenário 3 <sup>(4)</sup>	0	144	920,2
Projeto Modelo <sup>(5)</sup>	0	144	899,8

Observações: 1 Parede de tijolo de meia vez, forro de PVC, telha cerâmica; 2 Parede com tijolo uma vez, forro de PVC, telha cerâmica; 3 Parede com tijolo de meia vez, laje, telha cerâmica; 4 Parede com tijolo de meia vez, forro de PVC, telha termoacústica; 5 Parede com tijolo de meia vez, laje de 10cm e telha termoacústica; 6 Representa os resultados dos dados simulados para os seis dias medidos, ou seja, 144 horas de medição.

Verificou-se que as estratégias bioclimáticas isoladas incorporadas ao Projeto Padrão que foram adotadas no sentido de promover uma maior adequação da arquitetura ao clima e, conseqüentemente, maior aderência às recomendações normativas, em termos de conforto térmico da edificação não foram capazes de proporcionar horas de conforto no interior da edificação, no período de simulação, acarretando em 100% de horas de desconforto. Desta forma, sob o ponto de vista do conforto ambiental, nenhuma das modificações sugeridas foi capaz de melhorar a habitabilidade da edificação em estudo. Este comportamento é em parte justificado pelo período em que a simulação foi realizada (quente e úmido), com incidência de altas temperaturas na região, como pode ser constatado na Tabela 3. Outro aspecto importante a ser destacado é que a edificação não está adequadamente projetada para o clima local, pois mesmo com introdução das estratégias de massa térmica de resfriamento e isolamento da cobertura, esta ainda não foi possível atender os requisitos de conforto térmico. É importante relatar que a NBR 15520-Parte 3 (ABNT, 2005a) estabelece o uso de estratégias que devem ser adotadas em conjunto e não isoladas como as realizadas, sendo que algumas delas não foram testadas neste trabalho, como aberturas sombreadas e ventilação seletiva.

Sob o aspecto do desempenho energético, observou-se que a incorporação da parede de uma vez aumentou em 1,05% os graus-hora de refrigeração, sendo, portanto, uma opção a ser descartada. Na simulação com a incorporação na cobertura de laje de concreto 10cm, notou-se redução dos graus-hora de refrigeração em 2%. Já a simulação com a substituição da telha cerâmica por termoacústica foi a que apresentou melhor desempenho energético, com redução de 19,5% dos graus-hora de refrigeração.

Desta forma, para compor o Projeto Modelo optou-se por introduzir a laje de concreto de 10 cm e substituir a telha cerâmica por telha termoacústica. O projeto Modelo foi então simulado para o período dos seis dias da estação quente e úmida, onde se verificou redução dos graus-hora de resfriamento em 21% (Tabela 4).

Constatadas as melhorias nos graus-hora de resfriamento no período pesquisado, partiu-se, para a simulação anual do Projeto Modelo e análise comparativa com o Projeto Padrão (Figura 8). As modificações propostas ocasionaram modificações consideráveis no comportamento anual da temperatura operativa no interior da edificação (Tabela 5, Figura 8). Verificou-se elevação da temperatura média mínima em 1,3°C e

redução da temperatura média anual e máxima em 0,8°C e 3,5°C, respectivamente. O comportamento está associado à maior inércia térmica da cobertura pela incorporação da telha termoacústica e laje de concreto.

Tabela 5 – Temperatura operativa mínima, média e máxima na sala-cozinha em 8760h da edificação (médias anuais).

Cenários	Tmín (°C)	Tméd (°C)	Tmáx (°C)	Amplitude (°C)
Projeto Padrão	24,9	28,8	33,9	9,0
Projeto Modelo	26,2	28,0	30,4	4,2

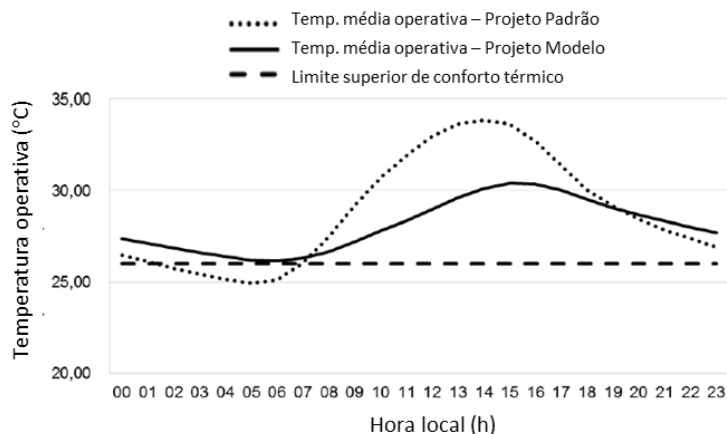


Figura 8 – Curva da temperatura média anual operativa das simulações do Projeto Padrão (linha pontilhada) e Projeto Modelo (linha cheia). Linha tracejada indica o limite superior de conforto térmico.

Ao se comparar o desempenho anual das duas edificações a partir da temperatura operativa média mensal (Figura 9), nota-se que a máxima diferença entre as temperaturas operativas foi observada no mês de novembro (período quente úmido) de 1,3°C e a mínima em julho (período quente seco) de 0,8°C. Nota-se que a temperatura operativa do Projeto Modelo se manteve sempre abaixo do Projeto Padrão, o que demonstra melhoria do desempenho termoenergético proporcionado pelas incorporações construtivas.

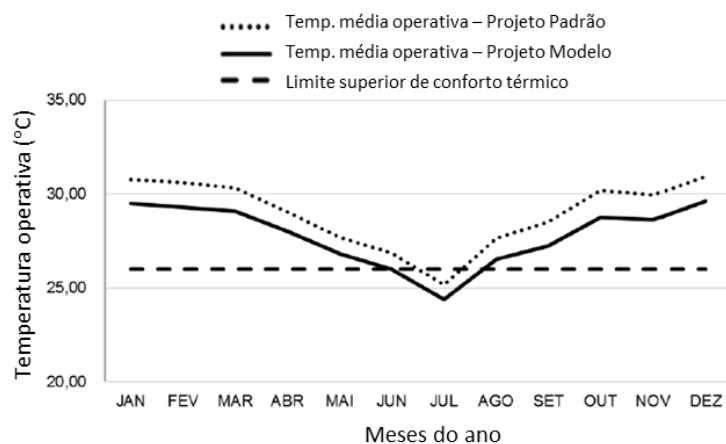


Figura 9 – Curva da temperatura média mensal operativa das simulações do Projeto Padrão (linha pontilhada) e Projeto Modelo (linha cheia). Linha tracejada indica o limite superior de conforto térmico.

Tabela 6 – Somatório anual das horas de conforto/ desconforto e graus-hora de resfriamento para o Projeto Padrão e Projeto Modelo.

Característica dos projetos	Hora de Conforto (h)	Hora de Desconforto (h)	Graus- Hora de Resfriamento (°Ch)
Projeto Padrão	1.976	6.784	30.567,9
Projeto Modelo	1.810	6.950	19.864,5

Observou-se considerável redução dos graus-hora de resfriamento anual na edificação simulada com o Projeto Modelo, 35% (Tabela 6). Por outro lado, o conforto térmico no interior da edificação piorou, pois se observou elevação das horas de desconforto em 2,5% (Tabela 6), sendo este fato associado à elevação da temperatura operativa mínima. É possível então perceber para a edificação pesquisada, que apenas a diretiva construtiva de fechamento com cobertura pesada de forma isolada não é suficiente para melhorar conforto térmico do interior da edificação.



## 5. CONCLUSÕES

A pesquisa ratifica os resultados encontrados em pesquisas anteriores em que as edificações projetadas para habitações de interesse social têm seu projeto desenvolvido sem atender as prescrições normativas vigentes e demonstra a necessidade de adaptar a edificação às características climáticas da região de implantação. Identifica, ainda, a necessidade de se pesquisar diretrizes que desencadeiem melhorias tanto no desempenho energético quanto no conforto térmico destas edificações.

Realizaram-se intervenções nas paredes e cobertura, que foram incorporadas ao Projeto Padrão, como estratégia de proporcionar maior aderência às diretrizes construtivas da NBR 15220-Parte 3 (ABNT, 2005a), sem, no entanto, atender ao requisito do atraso térmico maior que 6,5h. Verificou-se que a elevação da inércia térmica das paredes pouco alterou o desempenho da edificação. A intervenção de elevação da inércia da cobertura com melhoria no isolamento da cobertura foi mais significativa no desempenho termoenergético da edificação. A incorporação de telha metálica termoacústica à cobertura e a introdução da laje melhoraram o desempenho termoenergético, pois além de reduzir a temperatura operativa máxima, proporcionou maior amortecimento térmico e atraso térmico de 1h, reduzindo em 35% a demanda anual por resfriamento do Projeto Padrão.

As diretrizes construtivas pesquisadas ocasionaram elevação de 2,5% nas horas de desconforto térmico por calor no interior da edificação, fato este associado à elevação da temperatura mínima. Desta forma, as diretrizes construtivas pesquisadas foram eficientes em reduzir o consumo de energia para resfriamento dos ambientes da edificação, capazes de proporcionar ambientes termicamente mais amenos, sem, no entanto, enquadrá-los nas condições de conforto requeridas, o que compromete a habitabilidade das HIS. É importante destacar que as demais diretrizes de aberturas para ventilação pequenas e sombreamento das aberturas não foram testadas na simulação, uma vez que não estavam contempladas no projeto da edificação.

A redução nos graus-hora de resfriamento é um importante parâmetro a ser considerado nos projetos conforme preconizado no RTQ-R, pois desta forma os gastos com refrigeração dos ambientes são reduzidos, o que acarreta diminuição da conta de energia, tão importante para os moradores destas resistências. No entanto, recomenda-se não se deixar em segundo plano o aspecto de conforto térmico, visto que a qualidade de vida dos moradores é um importante parâmetro a ser atendido.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-3**: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. Rio de Janeiro, 2005a.
- 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, 2005b.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Sistemas de vedações verticais internas e externas - SVVIE. Rio de Janeiro, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-5**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 5: Requisitos para sistemas de coberturas. Rio de Janeiro, 2013.
- CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; SILVA, R. A. F.; OLIVEIRA, A. S. Verificação dos requisitos normativos de desempenho térmico em habitação de interesse social implantada em zona bioclimática 7. In: Seminário Mato-grossense de Habitação de Interesse Social, 5, 2013, Cuiabá, Mato Grosso. Anais. Cuiabá, 2013.
- CANEPPELE, L. B.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C.; NOGUEIRA, M. C. J. A. Validação do modelo de simulação térmica em edifício residencial unifamiliar localizado em clima tropical continental. **In**: 1º Encontro de Engenharia de Edificações e Ambiental, 2013, Cuiabá-MT. Anais..., 2013.
- GIVONI, B. Comfort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Building**, vol.18, 1992.
- REGULAMENTO TÉCNICO DA QUALIDADE - RTQ-R. **Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais**. 2010. Disponível: [www.procelinfo.com.br/etiquetagem\\_edificios](http://www.procelinfo.com.br/etiquetagem_edificios) em: Acesso em 09/04/2014.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Amparo à Pesquisa do Estado de Mato Grosso / Brasil (FAPEMAT), por meio do projeto no 331435/2012, pelo apoio financeiro a esta pesquisa.