

DESEMPENHO TÉRMICO E CONSERVAÇÃO DE ENERGIA DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM CUIABÁ-MT

Luiz Fernando Rachid Jaudy (1); Luciane C. Durante (2); Ivan J. A. Callejas (3); Karyna de Andrade C. Rosseti (4); Simone Berigo Buttner (5); Marta C. de J. A. Nogueira (6), Augusto Hiroki Hamaguchi Porto (7)

(1) graduação, Engenharia Civil, fernandorachid1@hotmail.com

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

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

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

(5) mestre, Arquiteta, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, simoneberigo@hotmail.com

(6) doutor, Engenharia Civil, Docente do Departamento de Arquitetura e Urbanismo, mcjanp@gmail.com

(7) PIBIC, discente de Engenharia Elétrica, aug.porto@hotmail.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

Com incentivo do governo federal, Habitações de Interesse Social (HIS) estão sendo construídas para minimizar o déficit de moradias em todo o Brasil. Essas habitações têm projetos semelhantes para todo o país, não sendo trabalhada a sua adequação climática para as distintas regiões bioclimáticas. Partindo desta constatação, o objetivo geral deste trabalho foi quantificar a redução do consumo de energia advindo de intervenções na envoltória de uma Habitação de Interesse Social (HIS), visando a análise do custo benefício das mesmas. A metodologia adotada baseou-se na avaliação de desempenho da habitação em seu modelo atual e por meio de três propostas de modificação na cobertura da habitação: pintura das telhas cerâmicas de cor branca, colocação de subcobertura do tipo barreira radiante mantendo-se as telhas na cor cerâmica e a associação das duas anteriores (barreira radiante e pintura de branco). Em relação ao desempenho térmico a melhor intervenção em relação à HIS atual foi a HIS com cobertura pintada de branco que obteve desempenho superior de acordo com a NBR 15575-1. O maior percentual de conservação de energia ocorreu na HIS com a cobertura pintada de branco e com barreira radiante, economizando 93,3kWh/mês. A melhor relação custo benefício indicou que a única intervenção viável é a pintura da cobertura de branco, item este que também obteve menor tempo de retorno (2,94 anos). Assim, recomenda-se que as habitações de interesse social sejam projetadas com o telhado pintado na cor branca com vista a melhorar o conforto térmico da edificação e consumir menor energia em caso dos seus ambientes serem condicionados artificialmente.

Palavras Chaves: consumo de energia, eficiência energética, envoltória.

ABSTRACT

The federal government has been incentive the construction of low-cost housing aiming to minimize the housing deficit in Brazil. These houses are design to be implanted with the same project all over the country, without considering the different bioclimatic regions that exist in Brazil. Based on this finding, the aim of this study was to improve thermal performance of the original building envelopment and then measure the energy consumption conserved at each intervention proposed. After that, they were compared in terms of investment recovery. It was analyzed three alternatives introduced in building roof: first, it was suggested painting tiles with white color; second, it was placed a radiant barrier on the roof and in the third, it was considered to implement the two alternatives previous described. Regarding the thermal performance, the best intervention proposed was painting the tiles with white color (obtained superior performance). The intervention that conserved more energy was the house with white tiles and used the radiant barrier (saving 93,30kWh/month). The best cost-benefit ratio indicated that the only viable intervention to be consider is painting tiles with white color because it obtained fastest investment recovery (2.89 years). Thus, it is recommended that low-cost housing projects be designed with tiles painted with white color in order to improve the thermal comfort of the building as well as consume less energy in case of their environments being conditioned artificially.

Key Words: energy consumption, energy efficiency, envelopment.

1. INTRODUÇÃO

Estudos mais recentes demonstram que uma edificação adaptada ao clima diminui o consumo de energia elétrica e, conseqüentemente, minimiza os impactos causados ao ambiente. De acordo com a NBR 15220 (ABNT, 2003), o Brasil apresenta regiões de diferentes climas e microlimas, sendo que uma mesma tipologia de edificação pode ser recomendada para uma região e desaconselhada para outra.

No ano de 2015, o país passa por uma crise econômica, também sentida pelo setor elétrico brasileiro, sendo por este motivo, segundo Alcoforado (2015), pertinente o desenvolvimento de estudos com vistas à redução do consumo da energia elétrica, tais como os de adequação das edificações ao clima em que se inserem.

A fatia das edificações que se destina ao setor residencial tem representatividade, atualmente, de 24,2% do consumo de energia elétrica nacional e tem apresentado crescimento de 6,2% nos últimos cinco anos (BEN, 2014), influenciado pelo aumento do poder aquisitivo devido à estabilidade econômica do país no período e à implantação de novos conjuntos habitacionais, dentre outros aspectos.

Este estudo se desenvolve no contexto residencial das edificações do tipo Habitação de Interesse Social (HIS), na cidade de Cuiabá/MT, cujo contexto histórico de ocupação se deu de forma particular. Segundo Callejas (2011), Cuiabá, até a década de 50, estava estagnada em relação ao crescimento populacional, até que na década de 60, foi beneficiada por um programa de ocupação da Amazônia Meridional, servindo como centro de apoio e de fluxos migratórios. Com isso, houve uma explosão populacional, de 57.860 habitantes, em 1960, para 540.814, em 2010. Este crescimento foi acompanhado de um déficit habitacional, que segundo o IBGE (2010), era de 153.484 habitações para a população de zero a seis salários mínimos, respondendo por 14,03% do total de 1.093.774 domicílios mato-grossenses, na data do referido censo. Esse déficit se eleva para 788.581 unidades, se consideradas as condições das habitações, que são precárias, em parcela significativa destas. Assim, nota-se uma demanda futura significativa de produção de HIS e de consequente consumo de energia na fase de uso das mesmas.

Na fase de uso, o problema das condições ambientais das habitações de interesse social em Cuiabá é ampliado, haja vista o rigor climático que se apresenta na cidade, com altas temperaturas durante o ano todo, o que torna os ambientes desconfortáveis e até mesmo insalubres, sendo necessário aumentando do consumo de energia elétrica para fins de melhoria dessas condições ambientais. Neste contexto, é importante que se realizem estudos e pesquisas que confrontem a realidade existente dessas habitações e os impactos na conservação de energia elétrica. Justifica-se assim, pensar nos elementos bioclimáticos que podem ser introduzidos para melhorar o conforto e a eficiência energética das Habitações de Interesse Social (HIS), tornando-as favoráveis quanto aos aspectos de habitabilidade, garantindo o mínimo de conforto e sustentabilidade aos empreendimentos.

Diversos autores tem abordado localmente a temática da eficiência energética das habitações (Rios, 2015; Lima, Durante e Callejas, 2013; Olartechea, Callejas e Durante, 2013). Destaca-se Miranda (2011), que avaliou o desempenho térmico das residências do Programa de Arrendamento Residencial (PAR), a partir de monitoramento das condições higrotérmicas e pela aplicação de procedimentos da NBR 15575-1 (ABNT, 2013). Seus resultados evidenciaram a importância da cobertura no desempenho termoenergético das edificações, avaliando o uso da ventilação natural no período noturno como alternativa para redução do consumo de energia elétrica no condicionamento ambiental de dormitórios, demonstrando que é possível se obter conforto térmico noturno apenas com a adoção de estratégias bioclimáticas, mesmo em uma cidade de clima quente, como Cuiabá.

Mazzaferro, Silva e Ghisi (2014) estudaram a influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares, e afirmaram que a envoltória do edifício é responsável pelos fluxos de calor entre os ambientes internos e externos, por isso, a composição dos materiais da envoltória exerce uma forte influência do desempenho térmico da edificação. Por meio da utilização de materiais sustentáveis adequados para cada região e clima, é possível obter edificações sustentáveis e termicamente eficientes.

Considerando que a conservação de energia residencial é componente chave para gestão da energia e estabelecimento de políticas mitigadoras das mudanças climáticas, Suter e Shammin (2013) enfatizaram a importância de realização de comparações da eficácia relativa de medidas destinadas a reduzir o consumo de energia residencial. Os autores realizaram experimento de campo em residências alugadas para estudantes, na cidade de Oberlin em Ohio (EUA), objetivando estimar os retornos de três tipos de medidas de conservação de energia (instalação de termostatos programáveis, isolamento do ático e provisão de incentivos financeiros). Os resultados do experimento indicam reduções consideráveis no consumo de

energia associado com a instalação de isolamento do sótão e da concessão de incentivos para a conservação de energia.

Este trabalho faz a relação do desempenho térmico com a conservação de energia e, para isso, propõem-se intervenções em habitação de interesse social localizada na cidade de Cuiabá-MT, analisando as especificações dos materiais da envoltória, considerando as seguintes variáveis: desempenho térmico, custo da intervenção proposta, o custo da energia conservada, retorno do investimento, indicando assim o melhor custo benefício. A contribuição desta pesquisa está em elaborar propostas economicamente viáveis para um melhor desempenho e redução do consumo de energia nas habitações de interesse social, situadas em Cuiabá-MT.

2. OBJETIVO

O objetivo geral deste estudo é quantificar a redução do consumo de energia decorrente de intervenções na cobertura de uma Habitação de Interesse Social (HIS), com vistas à análise do custo benefício das mesmas.

3. METODOLOGIA

O método da pesquisa consistiu das seguintes etapas: (i) determinação da temperatura interna máxima dos ambientes de permanência prolongada da HIS em seu projeto original e nas intervenções propostas para a envoltória; (ii) avaliação comparativa do desempenho térmico da unidade habitacional em seu projeto original e nas intervenções da envoltória; (iii) quantificação da energia conservada em cada intervenção; (iv) determinação dos custos de implantação de cada intervenção e (v) análise do tempo de retorno das mesmas.

3.1. Objeto de estudo

O objeto de estudo é uma habitação de interesse social construída com recursos do programa “Minha Casa, Minha Vida”, na cidade de Cuiabá, em Mato Grosso. Compõe-se de dois quartos, sala, cozinha, banheiro e circulação, com 39m² de área construída (Figura 1), com pé direito de 2,60m e forro de PVC (Figuras 2 e 3).

A cobertura é de telhas cerâmicas vermelhas, com beirais não forrados (Figuras 4 e 5). A edificação é murada em todos os lados (Figuras 6 e 7), havendo na frente portão vazado. Em frente de cada unidade há uma árvore de pequeno porte (Figuras 8 e 9).

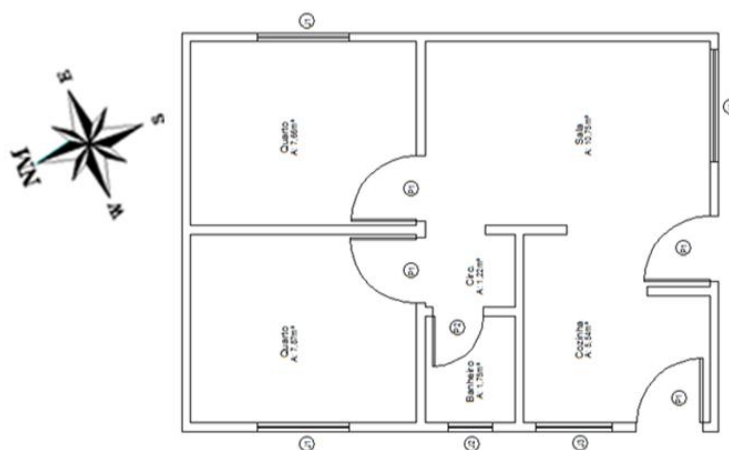
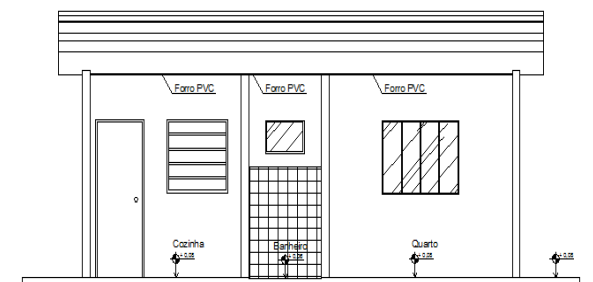


Figura 1: Planta baixa.



Figuras 2: Corte longitudinal

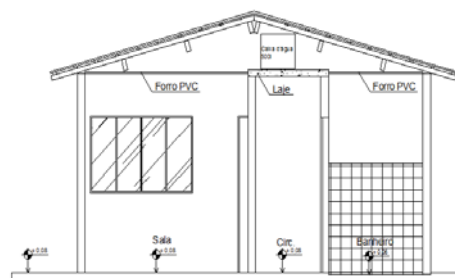


Figura 3: Corte transversal



Figura 4: Vista Frontal



Figura 5: Detalhe do beiral



Figura 6: Muro lado direito



Figura 7: Muro lado esquerdo



Figura 8: Urbanismo local.



Figura 9 - Árvores nas calçadas.

Os materiais da envoltória da habitação estão representados nas Figuras 10 e 11, sendo a cor das paredes externas amarelo claro com absorvância 0,4 e das paredes internas branco, com absorvância 0,2.

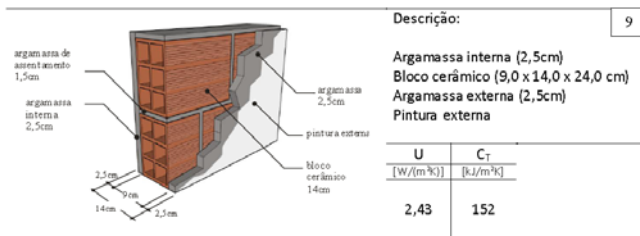


Figura 10: Parede empregada na habitação

Fonte: LABEEE (2011)

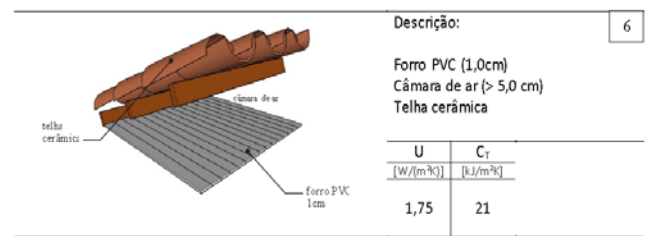


Figura 11: Cobertura empregada na habitação

3.2. Definição das Intervenções

Foram propostas três intervenções para a análise comparativa: (i) pintura de cor clara das telhas de barro, com o objetivo de diminuir a absorvância (α) sem alterar a emissividade. Desta forma, abaixa-se também o fator solar, que é diretamente proporcional à absorvância, gerando melhor desempenho da habitação; (ii) colocação de subcobertura de barreira radiante com 15 mm de espessura, face superior de foil de alumínio e face inferior de filme branco de PE, sem alteração das telhas de barro atual, como finalidade diminuir a emissividade (ϵ) e (iii) associação da pintura das telhas de cor branca e colocação da subcobertura de barreira radiante com a intenção diminuir a absorvância e a emissividade.

Importante ressaltar que todas as intervenções propostas se encontram na cobertura, estrutura esta que é responsável por receber a maior parcela do calor existente na edificação. Logo, ao se conseguir diminuir a transmitância térmica, aumentar o atraso e limitar o fator solar, obtêm-se melhores condições de desempenho térmico para a edificação.

3.3. Tratamento dos Dados Históricos

Foram utilizados os dados históricos de temperatura e umidade do ar, no período de 2003 a 2009, disponíveis na página eletrônica do Centro de Previsão e Pesquisas Climáticas (CPTEC, 2014), medidos diariamente a cada três horas, a partir de 00h:00min, pela Plataforma de Coleta de Dados (PCD) 32590, na cidade de Cuiabá-MT.

Calcularam-se as médias dos valores de temperatura máxima do ar, temperatura mínima do ar e umidade relativa do ar mensal, do período histórico apresentado. Os dados de radiação solar incidente vertical e horizontal foram obtidos de Frota e Schiffer (2001) para a latitude de 13°, disponível para março, junho, setembro e dezembro, tomando-se esses valores para os meses anterior e posterior ao disponível.

3.4. Método de avaliação

Adotou-se o método do Centre Scientifique et Technique du Batiment (CSTB) para obtenção da temperatura interna máxima para fins de: (a) análise de desempenho térmico - adaptando a NBR 15575 (ABNT, 2013) e (b) análise de conservação de energia.

3.4.1. Aplicação do Método do CSTB para fins de Análise de Desempenho Térmico

Com a finalidade de se obter a temperatura interna máxima dos ambientes de permanência prolongada, aplicou-se o método do CSTB, considerando os seguintes parâmetros: número de renovações de ar por hora igual a seis; sem ocupação; sem a presença de iluminação artificial; sem a presença de equipamentos identificados como fontes de calor. A temperatura máxima interna da HIS foi obtida com a ponderação das temperaturas internas de cada ambiente pela sua respectiva área.

Após determinar a maior temperatura interna da HIS, considerando todas as intervenções, mês a mês, e seguindo a norma NBR 15575 (ABNT, 2013), compararam-se os resultados com a temperatura externa máxima do dia típico de verão de Cuiabá-MT, indicando a classificação de desempenho da edificação em Mínimo, Intermediário e Superior, segundo a diferença entre a temperatura interna atingida e a temperatura externa de um dia típico da mesma localidade.

3.4.2. Aplicação do Método do CSTB para fins de Análise de Conservação de Energia

Para a análise de conservação de energia também foi aplicado o método do CSTB para a obtenção da temperatura interna máxima dos ambientes de permanência prolongada, mantendo-se a mesma taxa de renovação de ar por hora (6), porém, diferenciando-se os parâmetros de ganhos internos de calor: ocupação do Quarto 1 e Quarto 2 com uma pessoa dormindo, ventilador portátil ligado e iluminação artificial de uma lâmpada fluorescente; na sala/cozinha foram consideradas duas pessoas sentadas, em atividade de “coser à mão”, com um ventilador portátil, assistindo à televisão e duas lâmpadas fluorescentes com reator operando.

Para a análise de conservação de energia adotou-se o método Graus-Mês, que estima a quantidade de energia requerida em uma edificação para proporcionar conforto térmico a seus habitantes. Portanto, adota-se um parâmetro climático que é a somatória das diferenças de temperatura, quando esta se encontra abaixo ou acima de uma temperatura base (T_b), conforme a Equação 1, onde CDD é o número de graus dias para resfriamento, $T_{méd}$ é a temperatura média ($^{\circ}C$) e T_b é temperatura base ($^{\circ}C$), tomada igual a $26^{\circ}C$.

$$CDD = \sum (T_{méd} - T_b) \text{ [}^{\circ}C] \quad \text{Equação 1}$$

Neste estudo, adaptou-se a somatória mês a mês durante o ano todo e a temperatura média diária ($T_{méd}$) passou a ser a temperatura interna máxima ($T_{i,máx}$) registrada no mês analisado, pois permite a avaliação para a situação de consumo de energia máximo mensal, dimensionando para a situação mais desfavorável. Após a adaptação, o número de graus-mês para resfriamento é calculado através da Equação 2, onde $T_{i,max}$ é a temperatura interna máxima ($^{\circ}C$):

$$CDD = \sum (T_{i,máx} - T_b) \text{ [}^{\circ}C] \quad \text{Equação 2}$$

Foram calculadas as perdas localizadas, pela envolvente e pela ventilação, pois o coeficiente global de perda de calor (L) depende da arquitetura e materiais construtivos utilizados (PASA et al., 2012). Este cálculo se dá através da Equação 3, onde U é a transmitância térmica ($Wm^{-2}C$), A é a área dos ambientes (m^2), I é a taxa de troca de ar (unidade), V é o volume interno da construção (m^3) e δC_p é a capacidade térmica volumétrica do ar ($KJm^{-3}K$).

$$L = \sum U \cdot A + I \cdot (\delta \cdot C_p) \cdot V / 3,6 \quad \text{Equação 3}$$

O consumo médio de energia para resfriamento (Q_c) segundo Pasa et al. (2012) é dado pela Equação 4, onde Q_c fornecem valores em KWh/ano.

$$Q_c = CDD \cdot L \cdot (24 \cdot 30) / 1000 \quad \text{Equação 4}$$

3.4.3. Análise de Tempo de retorno, Custo da Energia Conservada e Custo Benefício

Para analisar o tempo de retorno das intervenções propostas, usou-se o método de avaliação *pay-back* simples, conforme Knop (2012), usado para verificar em quanto tempo o investimento inicial da implantação se paga, considerando-se o custo inicial e a energia economizada, conforme indica a Equação 5, onde PB é o pay-back simples (anos), I é o investimento realizado (R\$) e CA é o custo anual da energia que pode ser economizada (R\$/ano).

$$PB = I / CA \text{ [Anos]} \quad \text{Equação 5}$$

Para isso, primeiro calcula-se a quantidade de energia elétrica economizada através do Método Graus-Mês, e faz-se o orçamento do custo para cada intervenção e após confere-se em quanto tempo a economia na conta de energia elétrica iguala ao custo de implantação das intervenções, o chamado pay-back simples, ou

tempo de retorno. É interessante considerar o custo da energia conservada (CEC), pois é um índice que permite verificar se uma intervenção traz vantagens, considerando a instalação e economia gerada no consumo de energia. O custo da energia conservada pode ser calculado através da Equação 6, conforme Carlo (2008 apud KNOP, 2012), onde CEC é o custo de energia conservada (R\$/kWh), TCC é o custo de MCE (medidas de conservação de energia) (R\$), ΔE é a energia economizada pela implementação da MCE em relação a um caso base (kWh/ano), n é a vida útil da MCE (anos) e d é a taxa de desconto em base anual, equiparada ao INCC (IBGE).

$$CEC = (TCC / \Delta E) * \left\{ \frac{d}{1 - (1 + d)^{-n}} \right\} \quad [\text{R}\$/\text{KWh}] \quad \text{Equação 6}$$

Conforme Knop (2012), para verificar se a implantação é atrativa, é realizada a análise do custo x benefício que pode ser realizada por meio da Equação 7. O valor do custo da energia conservada, neste caso, é dividido pelo valor da energia elétrica fornecida pela concessionária para a edificação e só será considerada vantajosa se esse resultado foi inferior a 1.

$$CEC / \text{Custo (KWh)} < 1 \quad [\text{Adimensional}] \quad \text{Equação 7}$$

Para levantar o custo da energia, considerou-se o sistema de bandeiras tarifárias na conta de energia elétrica, que entrou em vigor em janeiro de 2015, cuja aplicação é realizada conforme os valores do Custo Marginal de Operação (CMO) e do Encargo de Serviço de Sistema por Segurança Energética (ESS_SE) de cada subsistema (ANEEL, 2015). Para este estudo, tomou-se como base o ano teste de 2014, na simulação do valor da conta de energia elétrica para todas as casas avaliadas.

Para quantificação dos custos das intervenções utilizou-se o método de composição unitária de serviços, de acordo com os coeficientes de produtividade da mão de obra, bem como de acordo com os consumos de materiais e equipamentos necessários para desenvolvimento dos mesmos. Os preços foram tomados conforme a referência da tabela SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil), com Bonificação de Despesas Indiretas no valor de 26,5%.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

4.1. Análise de Desempenho Térmico

A Figura 12 demonstra a comparação das temperaturas da casa atual e as casas com as intervenções simuladas através do método do CSTB para desempenho térmico de verão.

Verifica-se que a casa atual apresenta as maiores temperaturas o ano todo, tendo temperatura máxima em janeiro (36,74°C), e mínima em junho (30,42°C). Na sequência, a casa com cobertura atual e colocação de barreira radiante, apresentou resultados que a classifica como a segunda mais quente, com temperatura máxima também em janeiro (36,21°C) e mínima em junho (30,24°C). As casas com cobertura pintada de branco e com cobertura pintada de branco e colocação de barreira radiante obtiveram valores quase idênticos, com as temperaturas máximas em janeiro (36,21°C) e mínimas em junho (29,97°C).

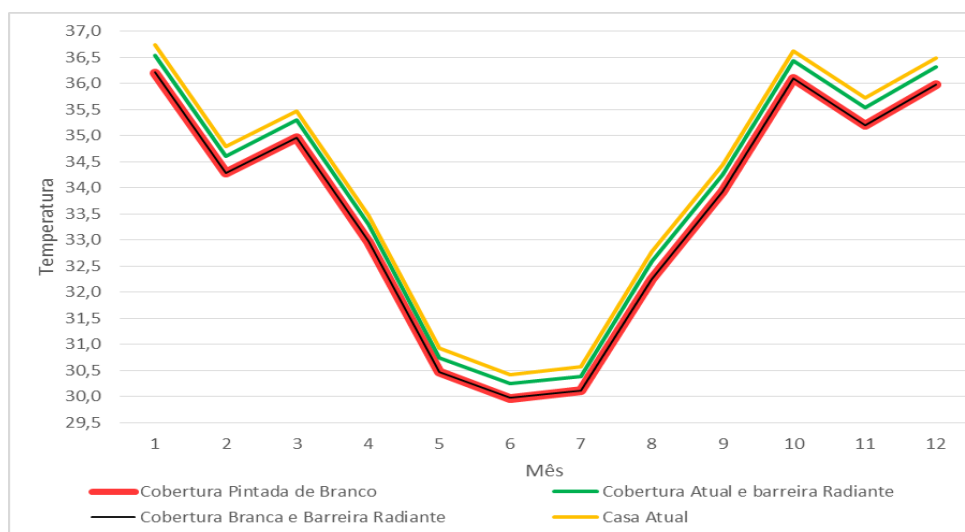


Figura 12 – Temperaturas internas máximas da casa atual e com as intervenções (pintura da cobertura na cor branca, cobertura atual+colocação de barreira radiante e pintura da cobertura na cor branca+colocação de barreira radiante).

Observa-se que houve uma melhoria sutil da casa atual para o modelo em que foi implementada a intervenção da barreira radiante. O modelo com pintura da cobertura na cor branca e o modelo que associou esta à barreira radiante obtiveram reduções na temperatura interna mais significativas em relação à atual, porém com diferenças insignificantes entre si.

Na casa atual, o desempenho térmico, em média, foi intermediário, com 3,76°C inferior ao dia típico de verão da cidade de Cuiabá. Na intervenção (a) – Pintura de cor clara nas telhas de barro, o desempenho térmico, em média, foi Superior, com 4,27°C inferior ao dia típico de verão da cidade de Cuiabá. Na intervenção (b) – Colocação de subcobertura de barreira radiante obteve-se o desempenho térmico Intermediário, com 3,95°C a menos que um dia típico em Cuiabá-MT e a intervenção (c) – Colocação de subcobertura de barreira radiante associada a telhas de barro pintadas de cor clara, apresentou desempenho térmico Superior, com 4,26° a menos que um dia típico em Cuiabá-MT (Figura 13).

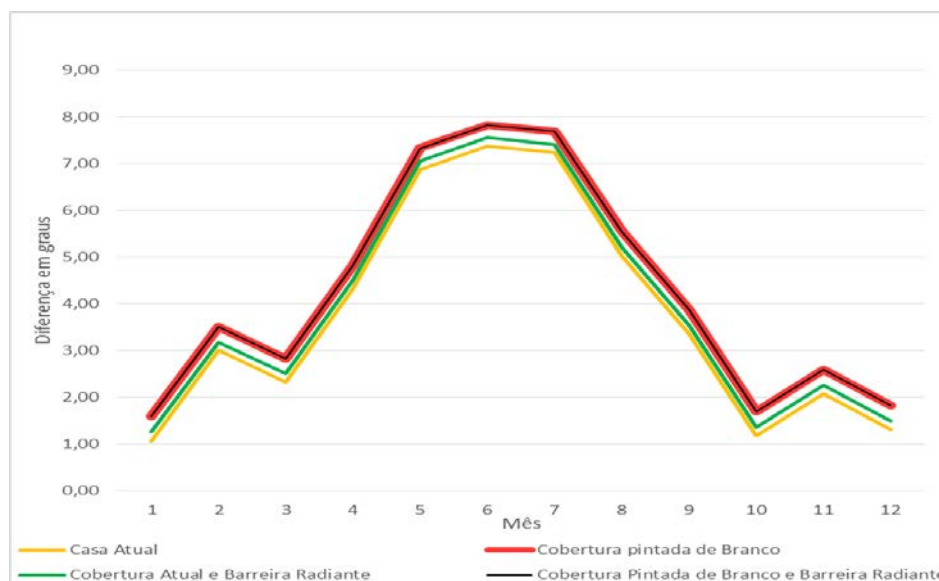


Figura 13 - Diferença entre as temperaturas máximas das casas atual e com as intervenções no dia típico de verão em Cuiabá-MT

Verifica-se que a casa atual é a que apresenta as menores diferenças de temperatura em relação ao dia típico de verão de Cuiabá-MT, com 7,38°C, em junho. A casa com cobertura atual e barreira radiante resulta temperaturas menores que as da casa atual durante o ano todo e, superiores às outras duas intervenções, tendo o máximo desempenho em junho, atingindo 7,56°C a menos que a temperatura externa.

As casas com cobertura pintada de branco e a mesma com colocação de barreira radiante obtiveram variações insignificantes entre si. Ambas tiveram o melhor comportamento em julho, quando a temperatura interna chegou a diminuir 7,83°C. Pode-se afirmar que estas duas últimas obtiveram os melhores desempenhos, sendo a pintura da cobertura de branco, a mais interessante pela facilidade construtiva e menor custo inicial.

4.2. Conservação de Energia

A casa atual é o modelo que mais consome energia para resfriamento, com 872,30 kWh/mês, sendo seguida pela casa com a cobertura atual e colocação de barreira radiante, a qual consome 809,22 kWh/mês, uma redução no consumo equivalente a 7,23%. A casa com cobertura pintada de branco consome 784,76 kWh/mês, o que equivale a 10% a menos no consumo em relação à casa atual. A de menor consumo entre todos os modelos é a casa com cobertura pintada de branco e colocação de barreira radiante, com 779,00 kWh/mês, alcançando 10,69% de economia em relação à casa atual (Tabela 1).

Tabela 11 – Consumo de energia dos modelos e economia com as intervenções

	ATUAL (W)	COBERTURA PINTADA DE BRANCO (W)	COBERTURA ATUAL E BARREIRA RADIANTE (W)	COBERTURA PINTADA DE BRANCO E BARREIRA RADIANTE (W)
TOTAL DE PERDAS	140,27	133,46	132,34	132,34
ENERGIA CONSERVADA ANUAL	74623,71	70561,61	73376,13	70635,92
CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO (ANUAL)	10467,65	9417,09	9710,69	9348,04
CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA PARA RESFRIAMENTO (MENSAL)	872,30	784,76	809,22	779,00
VALOR ANUAL DE CONSUMO (R\$)	6252,26	5624,77	5800,13	5583,53
ECONOMIA COM AS INTERVENÇÕES (R\$/ANO)	---	627,49	452,13	668,73

Pode-se concluir que a entre as casas com as maiores economias, há uma pequena diferença em relação ao consumo de energia, restando analisar o custo benefício das intervenções para saber qual é o melhor modelo a ser aplicado. Para o cálculo do custo benefício, fizeram-se os orçamentos dos custos de implantação das intervenções propostas, considerando todo o custo de material e mão de obra e inclusive o BDI (Bonificação de despesas indiretas), conforme a Tabela 2.

Tabela 2 - Orçamento dos custos de implantação das intervenções propostas

INTERVENÇÃO	CUSTO (R\$)
Pintura das telhas de barro de cor clara (inclusive limpeza, pintor, ajudante, aluguel de compressor e tinta látex)	1.818,81
Colocação de subcobertura de barreira radiante: Manta subcobertura com 15 mm de espessura, com a face superior de foil de alumínio e face inferior de filme branco de PE, sem alteração das telhas de barro atual	5.502,93
Colocação de subcobertura (mesma barreira radiante acima) associada a telhas de barro pintadas de cor clara	7.321,74

4.3. Pay-back (tempo de retorno)

A intervenção de colocação de barreira radiante na cobertura atual é a que leva mais tempo para se pagar (12,17 anos), seguida da casa com cobertura pintada de branco e colocação de barreira radiante a qual tem tempo de retorno de 10,94 anos. A casa com o melhor tempo de retorno é casa com cobertura pintada de branco, com 2,94 anos para que o investimento da implementação da intervenção se pague (Tabela 3).

Tabela 3- Tempo de retorno das intervenções

COBERTURA PINTADA DE BRANCO			COBERTURA ATUAL E BARREIRA RADIANTE			COBERTURA PINTADA DE BRANCO MAIS BARREIRA RADIANTE		
I (R\$)	CA (R\$)	PB (ANOS)	I (R\$)	CA (R\$)	PB (ANOS)	I (R\$)	CA (R\$)	PB (ANOS)
1.818,81	627,49	2,94	5.502,93	452,13	12,17	7.321,74	668,73	10,94

Legenda: I- Investimento inicial, em R\$; CA- Consumo mensal de energia para resfriamento, em R\$; PB (Pay-back) - tempo de retorno, em anos.

4.4. Custo de energia conservada (CEC)

A Tabela 4 fornece a informação de que a casa com cobertura pintada de branco tem o custo de energia conservada menor, com R\$0,42, sendo seguida pela casa com cobertura pintada de branco e barreira radiante, com CEC de R\$1,59 e a de maior custo é a casa com cobertura atual e barreira radiante, com R\$1,77.

Tabela 4 - Custo de energia economizada

INTERVENÇÃO	TCC (R\$/kWh)	ΔE	d	n	CEC (R\$)
COBERTURA PINTADA DE BRANCO	1818,81	1050,56	6,95	5	0,42
COBERTURA ATUAL E BARREIRA RADIANTE	5502,93	756,96	6,95	5	1,77
COBERTURA PINTADA DE BRANCO MAIS BARREIRA RADIANTE	7321,74	1119,60	6,95	5	1,59

Legenda: CEC é o Custo de Energia Conservada (R\$/kWh), TCC é o custo das medidas de conservação de energia (R\$); ΔE é a energia economizada pela implementação, em relação a um caso base (kWh/ano); n é a vida útil (anos) e d é a taxa de desconto em base anual.

4.5. Custo benefício das intervenções

O custo do kWh da companhia de eletricidade da região é R\$0,38107 sem impostos e sem o adicional de bandeiras tarifárias. Com todas as tarifas inclusas, o custo total é de R\$0,599. Com isso pode-se fazer o cálculo do custo benefício das intervenções, conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5 - Custo benefício das casas com intervenções

COBERTURA PINTADA DE BRANCO			COBERTURA ATUAL E BARREIRA RADIANTE			COBERTURA PINTADA DE BRANCO MAIS BARREIRA RADIANTE		
CEC(R\$)	CUSTO KWh (R\$)	CB	CEC (R\$)	CUSTO KWh (R\$)	CB	CEC(R\$)	CUSTO KWh (R\$)	CB
0,42	0,599	0,7	1,77	0,599	2,95	1,59	0,599	2,65

Legenda: CEC- Custo de Energia Conservada (R\$); CB- Custo-Benefício

Pode-se verificar que a única intervenção viável para esta casa é a pintura da cobertura de branco, pois a relação custo benefício que ela proporciona é menor do que 1 (um), conforme o método adotado. A segunda e terceira intervenção são inviáveis, devido ao custo benefício ser 2,95 e 2,65, respectivamente, ambas maiores que 1 (um).

5. CONCLUSÕES

No que tange ao desempenho térmico, conclui-se que as melhores intervenções foram a pintura da cobertura de branco e a mesma cobertura com a colocação de barreira radiante, obtendo-se diferença entre as temperaturas internas máximas da unidade habitacional e a do dia típico de projeto iguais a 4,26 °C e 4,27 °C, respectivamente, ambas sendo classificadas com Desempenho Superior. A casa com cobertura atual e barreira radiante obteve média anual de 3,95°C a menos, classificando-se com Desempenho Intermediário e a casa atual, como esperado, obteve o pior desempenho, com 3,76°C inferior a um dia típico, classificando-se com Desempenho Intermediário.

Na conservação de energia, a casa com cobertura pintada de branco e barreira radiante consome 779 KWh/mês e a casa atual consome 872,30 KWh/mês, a pior colocada. A casa com cobertura pintada de cor branca consome 784,76 kWh/mês e, a casa atual com cobertura radiante consome 809,22kWh/mês.

O menor custo é o da intervenção de pintura da cobertura de branco, seguido pela colocação de barreira radiante na cobertura atual e pela colocação de barreira radiante e pintura da cobertura de branco, a mais cara. Desta forma, a casa com cobertura pintada de branco tem tempo de retorno do investimento de 2,89 anos diante de 12,17 anos da casa atual com barreira radiante e 10,94 anos da casa com cobertura pintada de branco associada à barreira radiante.

A única intervenção que obteve relação custo-benefício menor do que 1, ou seja, economicamente viável foi a pintura da cobertura de branco, com este índice alcançando o valor de 0,7, sendo esta, portanto, a mais indicada entre as intervenções, economizando cerca de R\$627,49 por ano, em relação a casa atual.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220: Desempenho térmico de edificações**. Rio de Janeiro, 2003.
- ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575: Edificações Habitacionais – Desempenho**. Rio de Janeiro, 2013.
- ALCOFORADO, F. **O inevitável apagão do setor elétrico no Brasil em 2015**. Disponível em: <https://www.academia.edu/7563089/O_INEVIT%C3%81VEL_APAG%C3%83O_DO_SETOR_EL%C3%89TRICO_NO_BRASIL_EM_2015>. Acesso em: 30/01/2015.
- ANEEL. AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA. **Sistema bandeiras tarifárias**. Brasília: ANEEL, 2015. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Grafico_Historico_das_Bandeiras_Tarifarias_janeiro2015_V1.pdf>. Acesso em: 14 jan. 2015.
- CALLEJAS, I. J. A. Balanço de energia em ambientes urbanos na cidade de Cuiabá-MT. 2011. 234p. Tese (Doutorado em Física Ambiental). Instituto de Física, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá - MT, 2011.
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. **Manual de conforto térmico**. São Paulo: Nobel, 2001.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Pesquisas Geográficas. **Estimativas Populacionais 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 Jul. 2014.
- CPTEC. CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E PESQUISAS CLIMÁTICAS. Dados Históricos. Disponível em: <http://www.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 10
- KNOP, S. **Comportamento termoenergético de edificação histórica com novo uso na cidade de Pelotas: O Caso do casarão 02 – Secretaria Municipal da Cultura**. 2012, 134p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, 2012.
- LABEEE. LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. **Catálogo de propriedades térmicas de paredes e coberturas (v5)**. Florianópolis: LABEEE, 2011. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/relatorios_pesquisa/catalogo_propriedades_termicas_parede_e_cobertura_out2011_2.pdf>. Acesso em: 26 jul. 2013.
- LIMA, M. J. S.; DURANTE, L. C.; CALLEJAS, I. J. A. CLASSIFICAÇÃO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL: ADEQUAÇÕES PARA O CLIMA DE CUIABÁ/MT. In: 2º Encontro em Engenharia de

- Edificações e Ambiental, 2014, CUIABÁ-MT. **Anais do 2º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental: 2º EEEA**. CUIABÁ-MT: PPGEEA, 2014.
- MAZZAFERRO L.; SILVA, A.; S.; GHISI, E. Influência de elementos construtivos do envelope no desempenho térmico de edificações unifamiliares. In: CONGRESSO LUSO-BRASILEIRO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEIS, 2014, Guimarães. **Anais...** Guimarães: Universidade de Minho, 2014. v. 3, p. 241-251.
- MIRANDA, S. A. **Desempenho térmico em dormitórios e consumo de energia elétrica residencial: estudo de caso em Cuiabá-MT**. 2011. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Edificações e Ambiental)- Faculdade de Arquitetura, Engenharia e Tecnologia, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2011.
- OLARTECHEA, M.; CALLEJAS, I. J. A.; DURANTE, L. C. HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL: DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO EM ZONA BIOCLIMÁTICA SETE. In: 2º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental, 2014, CUIABÁ-MT. **Anais do 2º Encontro em Engenharia de Edificações e Ambiental: 2º EEEA**. CUIABÁ-MT: PPGEEA, 2014.
- PASA, C. C. M. U.; PASA, L. A.; JUNIOR, A. B.; SOUZA, S. N. M. Avaliação da Eficiência Energética em edificações e sua relação com os materiais construtivo empregados. **Revista Produção Online**. v. 12, n. 1, p. 229-247, jan./mar. 2012. Florianópolis, SC.
- RIOS, G. A. A. **Desempenho termoenergético de habitação de interesse social**. 2015. 147p. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2015.
- SUTER, J. F.; SHAMMIN R. Returns to residential energy efficiency and conservation measures: A field experiment. **Energy Policy**, Londres, v. 59, p. 551-561, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301421513002401>>. Acesso em: 10 jul. 2014