



XII ENCAC Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído
VIII ELACAC Encontro Latinoamericano de Conforto no Ambiente Construído

BRASÍLIA | 25 a 27 de setembro de 2013

PROPOSTA DE INCORPORAÇÃO DE ESTRATÉGIAS PARA MELHORIA DE DESEMPENHO TÉRMICO E USO RACIONAL DE ENERGIA EM PROJETO DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM FLORIANÓPOLIS

María Andrea Triana (1); Roberto Lamberts (2)

(1) Arquiteta, Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, andrea@labeee.ufsc.br

(2) PhD, Professor do Departamento de Engenharia Civil, roberto.lamberts@ufsc.br

Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Laboratório de Eficiência Energética em Edificações, Cx Postal 476, Florianópolis-SC, 88040-900, Tel.: (48) 3721 5184

RESUMO

Dentro dos programas da Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina - COHAB SC encontra-se a entrega e financiamento de projetos de habitação unifamiliar para famílias que já possuem terreno, porém com uma habitação em condições precárias. Para esta situação foi desenvolvida uma parceria entre o LABEER/UFSC e a COHAB SC para estudar estratégias de melhoria do desempenho térmico e uso racional da energia para o projeto da casa de 36 m² desta companhia de habitação. O presente artigo tem como objetivo mostrar as soluções propostas para melhoria de desempenho térmico da casa de 36 m² da COHAB SC, através de estratégias adotadas na habitação para adaptação à NBR 15220, e a incorporação da solução para uso de energia renovável no aquecimento de água através do produto desenvolvido chamado de “Torre sustentável”, Projeto ganhador em 2008 do 3^o lugar na América Latina do concurso mundial para construções sustentáveis “Holcim Awards”. O método para verificação das estratégias para melhoria do desempenho térmico do projeto proposto foi com o uso de simulação no *Energy Plus* sendo os resultados medidos por meio de comparativo da diminuição dos graus hora de refrigeração e aquecimento anual de temperatura operativa. Como resultados, são mostrados os parâmetros de desempenho térmico alcançados com as estratégias e levantados os custos das soluções adotadas comparados com o projeto utilizado pela COHAB SC.

Palavras-chave: habitação de interesse social, desempenho térmico, eficiência energética.

ABSTRACT

Within the programs of the Housing Company of the State of Santa Catarina - COHAB SC is the delivery and financing of single family housing projects for families who already own land, but with a house in disrepair. For this situation it was developed a partnership between LABEER / UFSC and COHAB SC to study strategies for performance improvement and rational use of thermal energy to the design of the 36 m² house of the company. This article aims to show the proposed solutions to improve thermal performance of the house of 36 m² of COHAB SC, through strategies adopted for housing adaptation to NBR 15220, and the incorporation of the solution for renewable energy use in heating water through a developed product called "sustainable tower " design won in 2008 the 3rd place in Latin America's global contest for sustainable buildings "Holcim Awards". The method for verifying the strategies for improving the thermal performance of the design was with the use of Energy Plus simulation and the results were measured by comparing the decrease of degree hours for annual cooling and heating of operative temperature. The results shown the parameters of thermal performance achieved with the strategies and costs compared with the solutions adopted by the COHAB SC project.

Keywords: social housing, thermal performance, energy efficiency.

1. INTRODUÇÃO

O déficit habitacional brasileiro estimado pela Fundação João Pinheiro é de 5,5 milhões segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (BRASIL, 2011), sendo que aproximadamente 89,4% destas habitações se encontram na faixa com renda inferior a três salários mínimos. Novas habitações são necessárias para este segmento da população, assim com uma maior adequação das habitações existentes, onde a grande maioria apresenta níveis de conforto e infraestrutura precários. É necessário pensar em habitações integradas a um desenvolvimento sustentável dos recursos, o que significa entre outras coisas, habitações com um uso eficiente da energia e maior conforto dos usuários. Isto contribuirá tanto para uma economia de recursos para o país e para os usuários, quanto para melhorar a qualidade de vida da população.

O setor residencial tem como principais usos finais de energia elétrica geladeiras e freezers, aquecimento de água, uso de ar condicionado e iluminação. Segundo pesquisa de mercado de 2007 da Eletrobras (BRASIL, 2007), o aquecimento de água representa na média nacional, uma porcentagem de 24% do consumo de energia elétrica. Já, o uso para sistemas para condicionamento de ar, alcançou no ano de 2007 uma porcentagem de 20%, o que representava tão somente 6%, em 2001. Considerando o consumo energético ao longo da operação da edificação, uma intervenção nos projetos, nos dois pontos anteriores, conseguiria alterar quase 50% do uso final de energia da habitação. Isto, aliado a políticas públicas já existentes, de uso de equipamentos eficientes, como refrigeradores e lâmpadas, resultaria em um significativo aumento de renda da população e diminuição da demanda energética para o país. Para o aquecimento de água, em especial de habitações unifamiliares, o uso de energia solar se apresenta como a melhor solução, por tratar-se de uma fonte de energia renovável e cuja tecnologia é amplamente difundida.

No setor de baixa renda, o uso do ar condicionado ocorre em poucas residências, ou seja, há baixa saturação (TAVARES, 2006), mas para minimizar o seu uso futuro, se houver melhoria econômica da população, são necessários projetos que respondam de forma adequada às características climáticas locais.

A Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina - COHAB SC trabalha com projetos que são considerados padrão para todo o Estado, com diversas áreas e possibilidades de ampliação, viabilizando projetos para o setor de baixa renda, especialmente concentrados nas rendas de 1 a 5 salários mínimos. Através dos diversos programas, fornece projetos de arquitetura e engenharia às populações de baixa renda, por vezes substituindo moradias que se encontram em condições precárias por novas.

Com a ideia de uma melhoria no desempenho térmico, eficiência energética e uso racional de água nestas habitações foi criada uma parceria entre o LABEEE/UFSC e a COHAB-SC para trabalhar no projeto das casas de 36 m² e 42 m² da COHAB SC. O programa de necessidades pedia soluções que não implicassem em grandes custos nem alterasse de maneira significativa o projeto em termos tipológicos, formais, e de área. Os projetos que são replicados em todo Estado sem considerar a adaptação por zona bioclimática, orientação e características mínimas de desempenho térmico e conforto. Também usam chuveiro elétrico como alternativa principal para o aquecimento de água.

O resultado da parceria foi a proposta de adequação da casa de 36 m² da COHAB-SC à Norma de desempenho térmico para edificações NBR 15220, parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social (ABNT, 2005b). Foi considerada a zona bioclimática 3, onde se encontra a cidade de Florianópolis.

Os terrenos em que normalmente são implantadas as casas da COHAB SC têm medidas de 10m x 20m, e o projeto da casa é implantado em diferentes orientações. Isto dificulta muitas vezes a incorporação no telhado do coletor solar para aquecimento de água, por conta da necessidade da instalação em função do norte geográfico para alcançar o desempenho adequado do sistema. Para isto, e como parte da proposta, foi desenvolvido um componente externo à casa que juntasse as funções de água e energia, tendo a vantagem de poder ser incorporado em casas novas assim como em casas já existentes. Este componente, chamado de “torre sustentável” incorpora soluções relativas à água de chuva, água potável e aquecimento solar de água (HOLCIM, 2009). Porém, o objetivo deste artigo está focado na apresentação das estratégias relativas à eficiência energética. A proposta será apresentada em termos de desempenho alcançado e custo das estratégias.

2. OBJETIVO

O objetivo do artigo é mostrar o comportamento alcançado, em termos de desempenho térmico e uso racional de energia, para a solução proposta ao projeto de 36 m² da COHAB SC, apresentando as estratégias e custo de implantação.

3. MÉTODO

O método deste trabalho está dividido em três etapas: 1) proposta de melhoria de desempenho térmico do projeto de 36 m² da COHAB SC através da incorporação de diretrizes da NBR 15220-3 (ABNT, 2005a; 2005b); 2) desempenho do sistema de aquecimento solar para água e 3) comparativo de custos de implantação da proposta.

3.1. Proposta de melhoria de desempenho térmico da habitação

Para a proposta de melhoria do desempenho térmico adotou-se como critério a adaptação do projeto aos requisitos exigidos pela NBR 15220-3 (ABNT, 2005a; 2005b), para a zona bioclimática 3 (Florianópolis), com a premissa de que as casas podem ser edificadas em qualquer orientação. A proposta foi desenvolvida através de simulações computacionais por meio do software *Energy Plus*. O programa Energy Plus (DOE, 2010), desenvolvido pelo Departamento de Energia dos EUA, permite a simulação de ambientes e a análise de diversos parâmetros, em relação ao desempenho termo energético da edificação.

Devido a estas habitações terem um custo reduzido, foi realizada a análise das estratégias propostas divididas em três grupos:

- a) propostas para maior ventilação e elementos de sombreamento;
- b) uso de isolamento e baixa absorvância na cobertura e;
- c) incorporação das estratégias anteriores.

Para comparação do resultado das estratégias foi considerado o parâmetro de graus hora. O parâmetro de graus hora é definido como sendo o somatório da diferença de temperatura horária, quando esta se encontra acima de uma temperatura base, no caso de graus hora de resfriamento ou abaixo da temperatura base, para aquecimento (RTQ-R, 2010).

Para resfriamento foi considerada a temperatura base de 26 °C, e para aquecimento a temperatura base de 18°C. O parâmetro de graus hora considera a temperatura operativa do ambiente para obter uma condição mais parecida à sensação real do usuário. Os valores de graus hora obtidos para cada ambiente foram comparados com os graus hora da temperatura externa para resfriamento e aquecimento considerando as 8.760 horas do ano. Os modelos foram simulados com o uso do modelo de rede de ventilação natural do *EnergyPlus*.

O arquivo climático utilizado nas simulações é o TRY da cidade de Florianópolis, Brasil, obtido no sítio eletrônico do LABEEE (www.labeee.ufsc.br). Foi usado o projeto da COHAB SC como caso base. Para a temperatura do solo, foi rodado o *slab*, que é um pré processador de temperaturas do solo, próprio do Energy Plus (DOE). O *Slab* é importante especialmente no caso de unidades residenciais térreas para estimar a temperatura do solo mais aproximada do real para o caso estudado, pois esta temperatura neste tipo de edificação influi muito em seu balanço térmico. Desta forma, a temperatura do solo depende das condicionantes internas da casa e da temperatura inicial do solo descrita no arquivo climático.

As alternativas propostas para simulação são:

CASO BASE: Projeto da casa tipo de 36 m² da COHAB SC.

MODELO PROPOSTO

Alternativa 1: Alteração das dimensões das esquadrias, da quantidade delas e uso de elementos de sombreamento. Consideraram-se os parâmetros da NBR 15220-3 (ABNT, 2005a; 2005b) para obtenção da porcentagem de abertura de 15% nas áreas de longa permanência (sala/cozinha e quartos).

Alternativa 2: Proposta de isolamento e baixa absorvância no telhado.

Alternativa 3: Aplicação conjunta das estratégias da alternativa 1 e 2.

A absorvância das paredes foi considerada a mesma para todos os modelos. As características do Caso Base e as três alternativas são mostradas a seguir.

3.1.1. Caso base

Como as casas podem ser implantadas com diversas orientações de fachadas, foi assumido o Norte

conforme mostrado na Figura 7, com os quartos voltados para o Leste e cozinha e banheiro para o Oeste, para otimização do desempenho. Esta orientação foi mantida para todas as alternativas.

Para a simulação de edificações por meio do programa Energy Plus é necessária a definição de zonas térmicas. Foram modeladas cinco zonas térmicas: sala de estar, quarto 1, quarto 2 e banheiro, todos com pé direito 2,43 m. O ático com forro em madeira a 2,43m também foi modelado como uma zona térmica. A Figura 1 mostra a planta do modelo com as dimensões e a Figura 2 mostra a perspectiva do modelo.

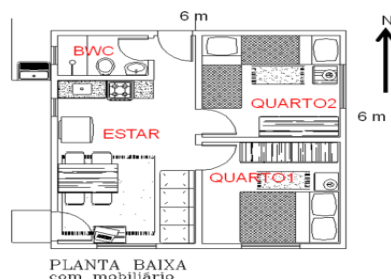


Figura 1. Planta baixa caso base

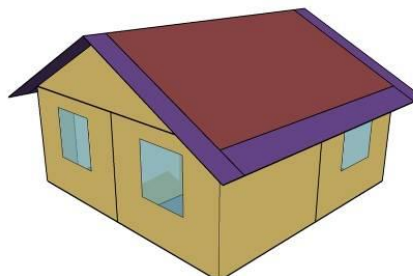


Figura 2. Modelo no Energy Plus do caso base

As propriedades térmicas dos sistemas construtivos, como condutividade térmica, densidade, calor específico, absorvância para radiação solar e resistência térmica, foram obtidos da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a; 2005b) a partir do memorial do projeto desenvolvido pela COHAB SC. As características utilizadas para o tijolo de seis furos foram obtidas em Ordenes et al, (2003), adotando valores para um material equivalente. As características do modelo do caso base são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1– Características do modelo caso base

Área	Casa de 6m por 6 m, com aberturas e localização do Norte conforme o modelo
Alvenaria	Alvenaria convencional com parede em tijolo de 6 furos com dimensões 10x15x20cm, assentados a espelho e reboco interno e externo de 1,5 cm sendo 13 cm de espessura total.
Telhado	Telha de barro cor natural mais escura e forro em madeira tipo pinus espessura 1 cm na horizontal a 2,43m do piso. Absortância 0,70
Esquadrias	De correr sem veneziana nos quartos e estar, e basculante na cozinha e banheiro. Todas em alumínio
Vidro	Transparente comum de 3mm

OBS: Para a construção das paredes e telhado foi usado o parâmetro da NBR 15220-2 (ABNT, 2005a; 2005b). Para a parede foram consideradas as camadas interna e externa do tijolo com suas respectivas câmaras de ar, de acordo à composição do tijolo de seis furos. Para a cobertura, por ser uma zona térmica, foi considerado a telha de barro e o forro de madeira. As propriedades dos materiais usados são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2– Características dos materiais utilizados em todas as simulações computacionais.

Material	Espessura equivalente [cm]	Condutividade térmica [W/mK]	Densidade [kg/m ³]	Calor específico [J/kgK]	Absortância
Tijolo cerâmico 6 furos circulares (10 cm), com argamassa de assentamento	3	0,90	1232	920	0,65
Argamassa reboco	1.5	1,15	2000	1000	0,40
Laje em concreto para piso	10	1,75	2400	1000	0,40
Telha cerâmica	1	1,05	2000	920	0,70* -0,40**
Forro de madeira	1	0,15	600	1340	0,40
Porta em madeira	3	0,15	600	1340	0,40
Piso em cerâmica	1	0,90	1600	920	0,40
Material					Resistência térmica [m²K/W]
Manta de lã de vidro de 2,5 cm ***					0,556
Câmara de ar com superfície de alta emissividade, espessura > 5,0 cm - fluxo descendente					0,21
Câmara de ar tijolo com superfície de alta emissividade, espessura 2,5-5,0 cm - fluxo horizontal					0,16

*Utilizado no caso base e alternativa 1 ** Utilizado nas alternativas 2 e 3 ***Utilizado somente nas alternativas 2 e 3.

Em relação às cargas térmicas internas adotou-se para todos os modelos a ocupação de uma família padrão. Foram considerados quatro habitantes, sendo quatro na zona do estar com atividade de 116W e dois em cada quarto com atividade de 58W, com horários que não conflitassem entre eles. Adotou-se o valor de 0,58 para a fração radiante de ganho de calor pelas pessoas. O horário de ocupação adotado para a sala de estar durante a semana foi das 6 às 8 horas (uso total, fração 1) e das 18 às 22 horas (uso médio, fração 0,5) (Figura 3). Para os finais de semana adotou-se a ocupação das 9 às 18 horas (fração 0,5) (Figura 4). Para os quartos durante a semana, adotou-se das 18 às 22 horas a fração de 0,5 e das 22 até às 6 horas da manhã ocupação total (fração 1).

Na iluminação artificial foi especificada uma potência geral de utilização por zona, já se considerando o uso de uma iluminação eficiente (fluorescente compacta), sendo: nos quartos 20W, no banheiro 15 W e no estar 40W (2 lâmpadas de 20W no ambiente). Foram considerados 60% de fração radiante e 40% de fração visível para os ganhos de calor pela iluminação. Para a rotina de funcionamento da iluminação durante a semana adotou-se, de forma geral, para os quartos e sala/cozinha sempre ligado das 18 às 23 horas (Figura 5). Durante os finais de semana foi usada a metade da carga das 18 às 24 horas (Figura 6). Já para o banheiro, considerou-se 1 hora de uso durante toda a semana e finais de semana.

Para a carga de equipamentos considerou-se somente o uso da geladeira. Este equipamento já foi especificado como sendo também eficiente, com selo PROCEL de economia de energia e potência de 79W ligado durante 24 horas.

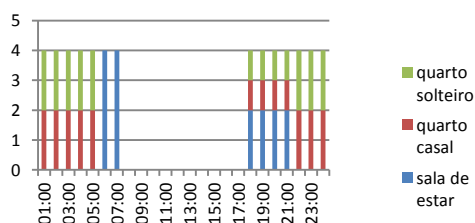


Figura 3. Padrão de ocupação para os dias da semana

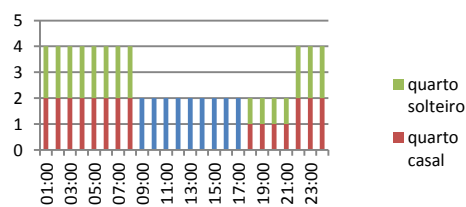


Figura 4. Padrão de ocupação para os finais de semana

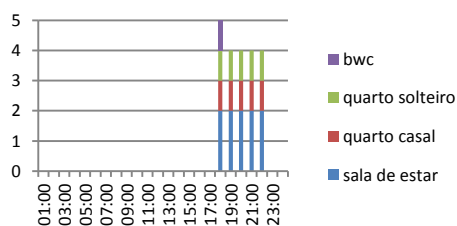


Figura 5. Padrão de uso de iluminação para os dias da semana (por numero de lâmpadas acessas)

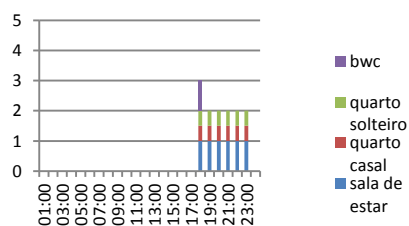


Figura 6. Padrão de uso de iluminação para os finais de semana (por numero de lâmpadas acessas)

3.1.2 Alternativa 1

Nesta alternativa foram adotadas as seguintes estratégias:

- Mudança de layout para adequação de posicionamento de novas aberturas;
- Desenho diferenciado de esquadrias: Janelas dimensionadas para atender a NBR 15220-3 (ABNT, 2005a; 2005b) com ventilação equivalente a 15% da área de piso. Com isto as janelas basculantes na sala foram duplicadas e foi proposto um peitoril ventilado e basculante superior nas janelas dos quartos e estar, alcançando a área de ventilação desejada;
- Uso de sombreamento em todas as esquadrias: venezianas tipo camarão na sala e dormitórios;
- Adoção de varanda para sombreamento com paisagismo;
- Aumento no pé direito do forro, considerando inclinado junto ao telhado na sala e horizontal nos quartos.

A Figura 7 mostra em planta as estratégias propostas para a alternativa 1.

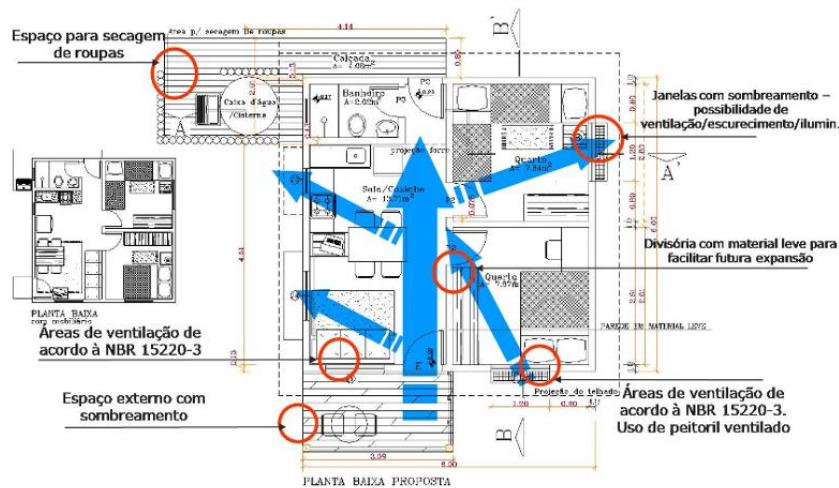


Figura 7. Planta baixa com propostas da alternativa 1

Para as alternativas foram propostos dois modelos, conforme Figuras 8 e 9, que consideram as mesmas estratégias com a diferença que o telhado no modelo 2 foi pensado para facilitar a captação de água de chuva na torre. Porém, para este artigo somente serão mostrados os resultados das alternativas do modelo 1 (Figura 8).



Figura 8. Proposta Modelo 1



Figura 9. Proposta Modelo 2

A Figura 10 mostra um corte do peitoril ventilado proposto como uma das estratégias para aumento da área de ventilação e a Figura 11 mostra o modelo de simulação com a modelagem do sombreamento.

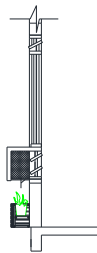


Figura 10. Detalhe do peitoril ventilado

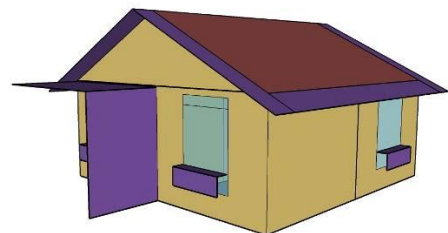


Figura 11. Modelo da alternativa 1

O elemento das venezianas foi modelado por meio do objeto *window material blind* no *EnergyPlus* para modelagem de sombreamento externo. O acionamento das venezianas foi modelado por meio de uma rotina conforme as estações, durante toda a semana, seguindo as características climáticas de Florianópolis, sendo: de 20 de setembro até 20 de março funcionando o dia inteiro, somente não das 22 às 24 horas; de 21 de março até 20 de agosto, somente fechadas das 16 às 07 horas; e de 21 de agosto até 20 de setembro funcionam durante todo o dia. O funcionamento das venezianas é mostrado na Figura 12.

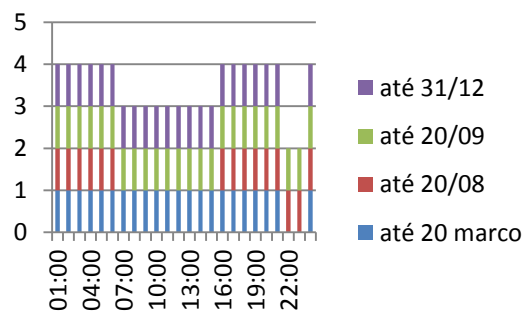


Figura 12. Horário de funcionamento das venezianas

Pelas características da edificação, para a simulação de ventilação natural foi considerada a forma simplificada de cálculo para o coeficiente de pressão realizada pelo Energy Plus através do cálculo médio nas superfícies. Foi definida uma rotina de ventilação com a ventilação acontecendo 24 horas por dia o ano

todo. O sistema de controle de ventilação das zonas foi estabelecido por temperatura e foi definido o grau de abertura das superfícies de ventilação. Nos modelos são usados dois tipos de janelas: correr com abertura de 50%, e basculante com abertura de 100%. As portas foram consideradas com abertura de 100%. O perfil de rugosidade do entorno adotado foi de 0,23, adotado para ambiente urbano.

3.1.3 Alternativa 2

As alterações nesta alternativa em relação ao caso base foi a colocação de material isolante de lã de vidro de 2,5 cm ao telhado inclinado e a adoção de telha de barro cor natural, com absorvância solar de 0,4. O material isolante tem uma resistência térmica de 0,556 m²K/W. A Figura 13 apresenta o modelo.

3.1.4 Alternativa 3

Esta alternativa é uma junção das características da alternativa 2 e 3. A Figura 14 apresenta a perspectiva do modelo da alternativa 3.

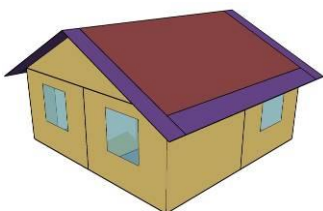


Figura 13. Modelo da alternativa 2

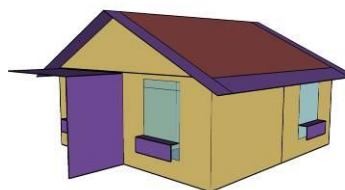


Figura 14. Modelo da alternativa 3

Os resultados das simulações foram comparados através do somatório de graus horas anual comparados com a escala de níveis de eficiência energética da etiqueta nacional de conservação de energia do Procel/Inmetro para edificações residenciais.

3.2. Desempenho do sistema de aquecimento solar proposto

Uma das premissas para o desenvolvimento do conceito da torre é que o painel solar pudesse ser colocado em diversas orientações e inclinação, sempre buscando o Norte e a latitude local. Atendendo a estas premissas, um dos componentes da torre é o sistema de aquecimento solar de água (Figuras 15 a 17).

O sistema de aquecimento solar é composto por um reservatório de água quente com capacidade para 200 litros, funcionando por termo sifão. Apresenta facilidade de instalação com diversas orientações e inclinações do coletor solar de acordo ao Norte do local e a latitude. Também serve como cobertura para a área do tanque de lavar roupas. O sistema de suporte é com apoio elétrico no ponto de consumo do usuário. (HOLCIM, 2009; MEDEIROS, 2011)

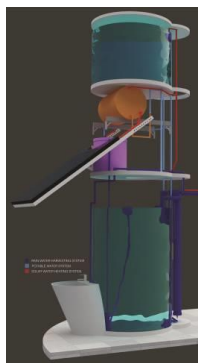


Figura 15 – Volumetria da torre proposta

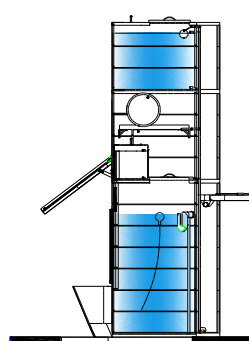


Figura 16 – Corte da torre proposta



Figura 17 - Protótipo da torre em ferrocimento artesanal

3.2.1. Verificação do desempenho do sistema de aquecimento solar

Para verificação da eficiência do sistema de aquecimento solar da torre foi utilizado o método proposto pelo Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais, RTQ-R (INMETRO, 2010), que mede o cálculo da fração solar e a verificação do volume do reservatório em relação à área de coleta. Foi verificada a fração solar atingida pelo sistema para três situações de número de ocupantes para a casa: dois, quatro e cinco moradores com volume de reservatório variável de 160 l para 2 ocupantes e de 200 l para 4 a 5 ocupantes.

Os parâmetros fixos são os dados climáticos para Florianópolis de temperatura de consumo (45°), temperatura ambiente, temperatura de armazenamento (50°), temperatura de água fria e de ambiente variável mês a mês e dados de radiação (em kWh/m²xdia) para Florianópolis, variáveis mês a mês e obtidos a partir do programa RADIASOL (UFRGS). É fixo também o numero de coletores (1), a área do coletor (2,25 m²) e

o consumo de água quente por pessoa (50 l/pessoa/dia).

Os dados obtidos serão analisados em função do nível alcançado pelo sistema em relação ao RTQ-R para determinação do seu nível de desempenho.

3.3. Comparativo do custo de implantação da proposta

Foi levantado pela COHAB SC o custo de implementação da casa considerando a Alternativa 3, proposta. O parâmetro de referência foi o projeto do caso base de 36 m² usado pela Companhia.

4. ANÁLISE DE RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados obtidos neste projeto em relação à melhoria do desempenho térmico da habitação e potencial de economia de energia da torre proposta com comparativo da implantação da proposta geral em comparação ao caso base utilizado pela COHAB SC.

4.1 Proposta de melhoria de desempenho térmico da habitação

A Figura 18 mostra os resultados do caso base e das três alternativas simuladas para o modelo 1, em relação à somatória de graus hora de resfriamento e aquecimento para cada ambiente.

Para a temperatura externa, a somatória de graus hora para resfriamento é de 1835, enquanto para aquecimento é de - 6030 graus hora. O caso base apresenta maior necessidade de graus hora para resfriamento em todos os ambientes, enquanto as alternativas 1, 2 e 3 têm melhorias graduais para todos os ambientes. Em todas as alternativas propostas, os quartos mostram um melhor desempenho para resfriamento do que o estar.

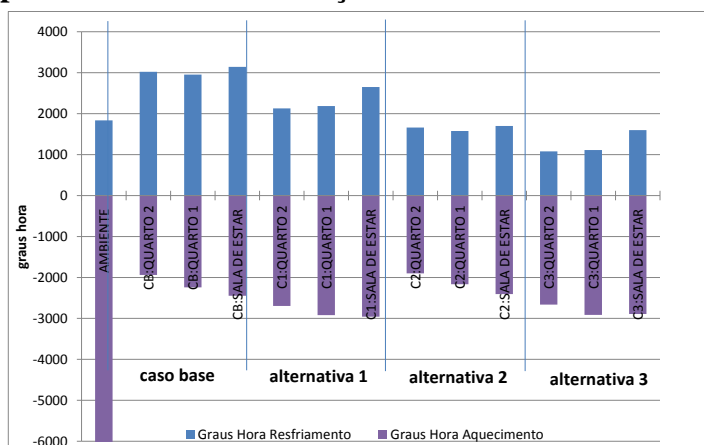


Figura 18. Resultados das quatro alternativas simuladas do modelo 1 em relação à somatória de graus hora de resfriamento e aquecimento para os ambientes dos quartos e sala de estar.

Para graus hora de aquecimento todas as alternativas evidenciam um desempenho mais constante com pouca variação entre os ambientes, mas com o quarto 2 mostrando o melhor desempenho, enquanto o estar apresenta na maior parte dos casos a maior somatória de graus hora entre os ambientes. De forma geral, o estar é o ambiente que mostra um menor desempenho tanto para frio quanto para calor, quando consideradas todas as opções avaliadas, com exceção da alternativa 3 em que o desempenho para aquecimento ficou um pouco abaixo do quarto 1.

Para uma melhor comparação entre as alternativas propostas foram calculadas as médias de graus hora entre os ambientes (Figura 19). Para resfriamento, o melhor resultado é obtido pela alternativa 3, ficando na média com 31% menos graus hora de resfriamento do que a temperatura externa. Na sequência, a alternativa 2 apresenta o segundo melhor resultado, com 10% menos graus hora de resfriamento do que o exterior. O caso base obteve o pior resultado, com 60% mais graus hora para resfriamento em relação à temperatura externa.

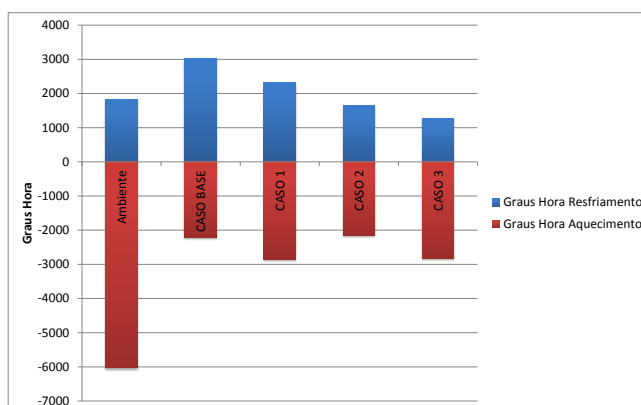


Figura 19. Resultado da média das alternativas simuladas do modelo 1 em relação à somatória de graus hora de resfriamento e aquecimento para cada caso.

Como escala de comparação do desempenho para resfriamento foi usada a relação de graus hora do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais - RTQ-R publicado sob portaria

Tabela 3. Escalas limites de graus hora definidas para envoltórias naturalmente ventiladas na zona bioclimática 3

Inmetro nº 449, de 25 de novembro de 2010. O RTQ-R define o nível da envoltória para verão quando ventilada naturalmente em uma escala de A até E conforme graus hora de resfriamento, como mostrado na Tabela 3.

O valor final da envoltória é obtido pela ponderação do nível de cada ambiente pela sua área. Nas alternativas apresentadas e segundo este parâmetro de avaliação, o caso base seria considerado D para refrigeração quando naturalmente ventilado, e a alternativa 3 é considerada B.

RTQ-R Escala de refrigeração para envoltória naturalmente ventilada	
ZB 3	
Nível	Limite graus hora
A	822
B	1644
C	2466
D	3288
E	4110

Para aquecimento todas as alternativas simuladas mostram uma necessidade de aquecimento em graus hora, muito menor quando comparada com a temperatura externa. De todos os casos simulados, a alternativa 2 apresenta um melhor desempenho, com uma redução de 64% de graus hora em comparação ao exterior, seguido do caso base que tem uma redução de 63%. As alternativas 1 e 3 têm comportamentos parecidos, sendo um pouco melhor o desempenho da alternativa 3 com redução de 54% contra 53% da alternativa 1.

Fazendo a análise das estratégias de forma isolada, a alternativa 2 com uso de isolamento e baixa absorvância solar na cobertura mostra um desempenho melhor para resfriamento e aquecimento do que a alternativa 1 que usa melhoria na ventilação natural por meio do aumento da área de aberturas e sombreamento. Desta forma, quando não for possível fazer uma adaptação maior ao projeto, deveria ser dada prioridade para esta estratégia como uma forma simples de melhoria de desempenho dos modelos de habitação do projeto de 36 m² da COHAB SC.

4.2. Desempenho do sistema de aquecimento solar proposto

A seguir é apresentado o desempenho do sistema de aquecimento solar proposto.

4.2.3. Simulações em relação ao desempenho do sistema de aquecimento solar

Foi usado o RTQ-R como parâmetro de desempenho do sistema de aquecimento solar (INMETRO, 2010). Para atingir o nível A no sistema de aquecimento de água no RTQ-R (INMETRO, 2010) colocam-se os pré-requisitos de volume de reservatório por área de coletor entre 51 e 150 litros/m², juntamente com frações solares acima de 70%. Sistemas que cumprem a primeira condição, porém apresentam frações solares entre 60% e 70% ficam no nível B.

A Tabela 4 mostra os resultados obtidos em relação ao cálculo de fração solar e nível de desempenho do sistema alcançado conforme metodologia do RTQ-R. Foram consideradas variações no número de ocupantes e volume do reservatório. OBS: *Não estão sendo considerados os pré-requisitos do sistema de atendimento ao selo Procel, pois o objetivo era propor um sistema genérico que pode ser adaptado a diferentes fornecedores.

Tabela 4 – Resultados em relação à fração solar por número de ocupantes e volume de reservatório

Numero de ocupantes	Volume do reservatório (boiler)	Volume reservatório/ área coleta (litros/ m ² coletor)	Fração solar (%)	Nível de desempenho segundo RTQ-R*
2	160	71,11	100	A
4	200	88,89	76	A
5	200	88,89	66	B

Para um volume de reservatório de 200 litros com famílias de 4 a 5 pessoas por habitação o sistema de aquecimento solar alcançaria um desempenho no nível A ou B, conforme a quantidade de pessoas. Isto representa uma medida de desempenho muito satisfatória para o sistema, que pode significar importantes economias na renda familiar ao longo da vida útil da habitação.

4.2. Comparativo do custo de implantação das estratégias propostas

A Tabela 5 mostra o aumento do valor em porcentagem considerando o caso base da COHAB SC e a alternativa 3. Os dados de custo tanto do caso base da COHAB SC quanto da alternativa 3 com o sistema de aquecimento solar, foram fornecidos pela COHAB SC em 2009 considerando um valor de BDI de 0%.

Tabela 5. Resumo custos caso base e alternativa 3 com torre considerando uma família de 4 pessoas

	Casa COHAB SC 36 m ² (caso base)	Casa 36 m ² alteração 3 proposta	Sistema de aquecimento solar na Torre
Valores aproximados em R\$	25.500,00	29.280,30	1.600,00

Porcentagens em relação ao caso base | 0% | +14,8% | +6,27%

A proposta da alternativa 3 com melhoria no desempenho térmico da habitação significou um aumento de 14,8% no valor da casa. Por sua vez, o sistema de aquecimento solar proposto na torre representa aproximadamente 6,27% do valor do caso base da COHAB SC.

Sobre a análise de retorno de investimento para o aumento no valor da casa precisariam ser realizados estudos mais aprofundados, que levassem em consideração o maior conforto do usuário, assim como a diminuição futura com aparelhos condicionadores de ar. Para análise de potencial de economia do sistema de aquecimento de água considerando-se uma família média se alcançaria uma economia em torno de 25% de economia na energia elétrica, conforme dados de participação do consumo do chuveiro elétrico na região Sul (ELETROBRAS, 2007).

5. CONCLUSÕES

Neste artigo buscou-se avançar no estudo para incorporação de critérios de uso racional de energia térmico nos projetos de baixa renda. Em relação às estratégias propostas para melhoria de desempenho térmico da residência, se alcançaram níveis maiores de conforto considerando os graus hora de resfriamento em comparação com o caso base da COHAB SC. Conforme o RTQ-R, o maior peso para avaliação da envoltória na zona bioclimática 3 é dado ao verão. Desta forma, e seguindo este critério, a alternativa 3 é a que apresenta um melhor desempenho para a habitação nas condições analisadas neste trabalho; o que confirma a proposta apresentada para melhoria do desempenho térmico da habitação por meio de estratégias passivas de baixo custo. Porém, para analisar este parâmetro em relação ao potencial de economia seriam necessárias análises mais aprofundadas que considerem custo de operação, retardo no uso de ar condicionado, emissão de CO₂ ou outras variáveis que possam ser propostas. Por isto, seria necessária uma metodologia mais apurada para comparação das estratégias passivas propostas em relação a estratégias ativas, para poder obter-se um método de avaliação de conforto desde o ponto de vista econômico. Igualmente seria necessária uma análise que considerasse a incorporação destes critérios num cenário de maior investimento em projetos de habitação, com as implicações que isso daria não somente aos usuários mais a economia energética do país. A proposta mostrada neste artigo apresenta uma melhoria ambiental do projeto de habitação de 36 m² da COHAB SC, porém considera-se também que é necessário a verificação da incorporação de diretrizes relativas ao uso racional de energia com outras alternativas formais e de uso para habitações de baixa renda.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – 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, 2005a.
- _____. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005b.
- BRASIL. ELETROBRÁS. MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. ELETROBRÁS. **Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo** – SINPHA, 2007.
- _____. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. **Déficit habitacional no Brasil 2008** / Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação. – Brasília, Ministério das Cidades, 2011. 140 p. Elaboração: Fundação João Pinheiro, Centro de Estatística e Informações.
- DOE – U. S. DEPARTMENT OF ENERGY. **Software Energy Plus**. Disponível em: <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/>.
- HOLCIM FOUNDATION. **Global Holcim Awards Finalist 2009: Solar Water Heating and Rainwater Tower**. (TRIANA, M.A.; LAMBERTS, R; ANDRADE, M.A). Florianópolis, Brazil. Holcim Awards Bronze LatinAmerica. 2009.
- In: http://www.holcimfoundation.org/Portals/1/docs/A09/A09B/2nd HolcimAwards_Essays_AllFinalists.pdf p.178-185
- INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL (INMETRO). **Programa Brasileiro de Etiquetagem**. [Homepage Institucional]. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br>
- LABORATÓRIO DE EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM EDIFICAÇÕES. UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. [Homepage do Laboratório de Pesquisa]. <<http://www.labeee.ufsc.br>>
- LABORATÓRIO DE ENERGIA SOLAR. UNIVERSIDADE FEDERAL DE RIO GRANDE DO SUL. **Programa Radiasol**. [Homepage do Laboratório de Pesquisa] <http://www.solar.ufrgs.br/>.
- MEDEIROS, V. Avaliação em uso do aproveitamento de água pluvial e aquecimento solar em uma habitação com incorporação da torre sustentável. **Trabalho de conclusão de curso**. Orientador: Roberto Lamberts, UFSC, 2011.
- ORDENES, M.; PEDRINI, A.; GHISI, E.; LAMBERTS, R. **Metodologia Utilizada na Elaboração da Biblioteca de Materiais e Componentes Construtivos Brasileiros para Simulações no VisualDoe-3.1**. Relatório Interno – Departamento de Engenharia Civil, UFSC, Florianópolis, 2003.
- TAVARES, Sergio. **Metodologia para análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.