



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

## **SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL DE HABITAÇÃO DE INTERESSE SOCIAL EM PELOTAS, RS, BRASIL: ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO E DA EFICIÊNCIA ENERGÉTICA DE COBERTURAS**

**Denise Schwonke (1); Ioni Couto (2); Márcia Rotta (3); Raquel Pinho (4); Eduardo Grala da Cunha(5); Antônio César Silveira Baptista da Silva (6)**

(1) Eng. Civil; Aluna Especial do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Pelotas – RS; e-mail: [denisessz@hotmail.com](mailto:denisessz@hotmail.com)

(2) Eng. Civil e Arquiteta e Urbanista; Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Pelotas – RS; e-mail: [ioni.couto@hotmail.com](mailto:ioni.couto@hotmail.com)

(3) Arquiteta e Urbanista; Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Pelotas – RS; e-mail: [arqmarciarotta@hotmail.com](mailto:arqmarciarotta@hotmail.com)

(4) Arquiteta e Urbanista; Aluna Especial do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo – Universidade Federal de Pelotas – RS; e-mail: [rmp.arquitetura@gmail.com](mailto:rmp.arquitetura@gmail.com)

(5) Dr. Professor da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal de Pelotas, [eduardo.grala@ufpel.edu.br](mailto:eduardo.grala@ufpel.edu.br)

(6) Dr. Professor da Faculdade de Arquitetura da Universidade Federal de Pelotas, [acsbs@uol.com.br](mailto:acsbs@uol.com.br)  
Universidade Federal de Pelotas, Faculdade de Arquitetura e urbanismo,  
Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo,  
Rua Benjamin Constant, n. 1359 – Pelotas/ Rio Grande do Sul/ Brasil, CEP: 96010-020

### **RESUMO**

O trabalho realizado consiste na análise dos resultados da avaliação do desempenho térmico e energético de uma habitação de interesse social, situada na cidade de Pelotas, RS, considerando diferentes sistemas de cobertura. Os resultados foram obtidos através de simulação computacional com base na utilização do software *Design Builder* versão 2.0, que é uma ferramenta de simulação termo-energética de edificações. Associado a esse software, utilizou-se o programa *Analysis Bio* (UFSC, 2009) para a análise do conforto térmico. Para a análise de eficiência energética utilizou-se o cálculo do número de Graus-hora. Após a modelagem do caso base, estabeleceram-se quatro configurações para o envelope da edificação: duas configurações envolvendo a absorvância térmica e duas envolvendo o isolamento térmico. Para todos os casos, analisou-se o desempenho durante o ano todo, avaliando-se as condições de conforto para a habitação, em especial, para as condições de inverno e verão. O relatório anual e de inverno indicam, que a configuração que altera o caso base utilizando a pintura da telha de fibrocimento com a cor branca, inclusão de forro de PVC na sala e cozinha e lâ de rocha sobre o forro, apresenta pequena vantagem sobre aquela onde só foi alterada a cor da telha. Porém, particularmente para as condições de verão, o estudo aponta a configuração que altera o caso base com a pintura da telha, com maior percentual de horas de conforto sobre os demais. Essa configuração também apresentou mais horas de conforto em relação às demais, tomando como base a carta bioclimática de Givoni (1992). Sendo assim, os resultados encontrados indicam que a simples pintura do telhado com a cor branca melhora sobremaneira o desempenho térmico da edificação estudada.

Palavras-chave: conforto térmico, simulação termo-energética, isolamento térmico de coberturas.



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Búzios - RJ - 2011

## ABSTRACT

The paper consists in analyzing the results of thermal performance above a social interest housing, located in Pelotas, RS, considering different roof systems. Results were obtained through the Software Design Builder, which is a simulation tool for thermal energy buildings. Associated with this, we used the AnalysisBio program for data analysis. After the graphical modeling of the base case, they settled for four configurations of the building envelope: two configurations involving absorptance and two involving thermal insulation. In all cases, we analyzed the performance throughout the year, evaluating the comfort conditions for housing, especially for winter conditions and summer. The annual and winter analysis indicate that the setting that changes the base case using the painting cement tile with white PVC ceiling for inclusion in the living room and kitchen on the rock wool lining, provides little advantage over that which was only changed the color of the tile. However, particularly for summer conditions, the study indicates a setting that changes the base case with the painting of the tile, the highest percentage of comfort over the others. This setting also had more hours of comfort in relation to others, based on the bioclimatic chart of Givoni (1992). Thus, our results indicate that simply painting the roof with white greatly enhances the thermal performance of the building studied.

Keywords: thermal comfort, thermal energetic simulation, roof thermal insulation.

## 1. INTRODUÇÃO

A utilização do sistema construtivo e materiais apropriados podem melhorar substancialmente o conforto térmico da habitação, melhorando, dessa forma, seu desempenho. Na habitação de interesse social, a busca de qualidade não pode ser diferente. As boas condições de ventilação, iluminação e conforto térmico proporcionam um custo reduzido de manutenção e uso, prolongando a vida útil do imóvel.

As soluções para o condicionamento natural de uma edificação devem estar presentes na idéia original, integradas à concepção desde o início do projeto, divididos em dois grupos: aqueles próprios da composição arquitetônica como a forma, a orientação, os elementos arquitetônicos fixos e móveis e a vegetação, e as propriedades que definem o comportamento térmico do fechamento (RIVERO, 1985).

No Brasil, os programas para Habitação social vêm sendo implementados em todo o território nacional segundo um modelo preestabelecido, sem haver uma preocupação com especificidades regionais. Assim, uma mesma tipologia de projeto e sistema construtivo é adotada em cidades com características muito distintas, sendo desconsiderada a grande diversidade sócio-econômica, cultural, climática e tecnológica entre diferentes regiões do Brasil. Desta forma, resultam em construções de baixa qualidade construtiva que não atendam às necessidades de seus usuários (DUMKE, 2002).

Rivero (1985), afirma que num projeto de habitação de interesse social, devido à passividade de alguns profissionais, são cometidos erros extremamente sérios quanto ao uso de materiais e procedimentos construtivos novos, com base exclusivamente em critérios econômicos. Desta forma, abrem mão de utilizar um meio poderoso para adaptar o microclima interno às exigências do homem.

Segundo Lamberts (1983) apud Morello (2005) a cobertura de uma habitação é o elemento do envelope construtivo mais exposto as agressões do clima e, portanto, é o que necessita maiores cuidados no momento de sua concepção projetual.

Após a incidência dos raios solares na cobertura, ocorre um aumento da temperatura da superfície externa em relação à superfície interna, devido à diferença de temperatura, onde o fluxo de calor é sempre da superfície mais quente para a mais fria. A intensidade do fluxo térmico envolvido nesse processo depende de duas variáveis: a condutibilidade térmica do material e a espessura do fechamento em análise.



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

Esses conceitos motivaram o desenvolvimento desse estudo, onde foram simuladas alterações dos elementos componentes do plano horizontal do envelope e suas configurações, utilizando programas computacionais para modelar e analisar os resultados. Foram observadas a absorvância, através das alterações de cores em sua superfície, e a condutibilidade térmica, quanto à espessura e densidade de seu fechamento.

O programa *DesignBuilder* versão 2.0, com o arquivo climático da cidade de Santa Maria, cujo zoneamento estabelecido na norma NBR 15220 (ABNT, 2005) é a zona dois, mesma zona da cidade de Pelotas, associado ao programa *Analisis Bio*, foram as ferramentas utilizadas para modelar e analisar as quatro hipóteses de intervenção estudadas, o que permitiu respaldar com agilidade as decisões de projeto, bem como oferecer suporte à simulação da utilização de diferentes materiais.

## 2. OBJETIVO

Este artigo tem como principal objetivo analisar o desempenho térmico de uma habitação de interesse social, situada na cidade de Pelotas, RS, considerando diferentes sistemas de cobertura decorrente da alteração e/ou acréscimo de elementos componentes do plano horizontal. Utilizando-se o programa computacional *DesignBuilder* versão 2.0 para modelar e analisar as diferentes configurações geradas, como também o software *Analisis Bio* (UFSC, 2009) para observar os índices de conforto térmico.

## 3. MÉTODO

A metodologia utilizada consiste em quatro etapas distintas:

1. Modelagem computacional do objeto de estudo;
2. Simulação do caso base e das quatro configurações de sistemas de isolamento da cobertura;
  - 2.1. simulação da pintura do telhado com a cor branca;
  - 2.2 simulação da pintura do telhado com a cor verde;
  - 2.3 simulação da pintura da telha na cor branca com o uso forro de PVC em todos os compartimentos;
  - 2.4 simulação da pintura da telha na cor branca com o uso do forro em PVC em todos os compartimentos sob uma camada de lã de rocha.
3. Análise do grau de conforto térmico;
  - 3.1 Utilização do software Analysis Bio;
4. Análise de Eficiência Energética
  - 4.1 Análise do número Graus-Hora de aquecimento e resfriamento.

### 3.1. Modelagem do protótipo da habitação de interesse social utilizando o programa *Design builder*

#### 3.1.1 DEFINIÇÃO DO CASO BASE

Trata-se de um modelo computacional representativo de uma habitação de interesse social, na cidade de Pelotas, no estado do Rio Grande do Sul, Brasil.

A modelagem geométrica do modelo base possui características de uma habitação de interesse social com quatro zonas que representam os seguintes compartimentos: dormitório 1, dormitório 2,



sala/cozinha e banheiro, totalizando uma área construída de 36,91 m<sup>2</sup>, com pé direito de 2,60m apresentado na Figura 1. A análise foi baseada no bloco 1, que envolve as quatro zonas, conforme Figura 2.

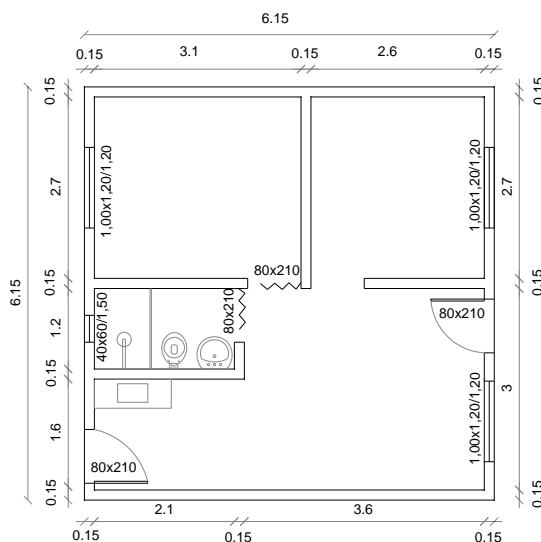


Figura 1- Planta baixa da habitação

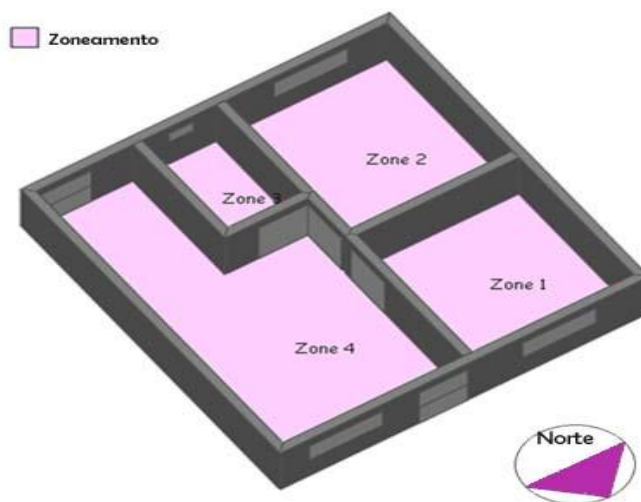


Figura 2- Representação gráfica do bloco 1

Definiram-se através do programa *Design Builder*, as características construtivas do modelo: paredes externas de tijolos 6 furos, paredes internas de tijolos maciços, telhado de duas águas no sentido norte/sul com telhas de fibrocimento 6 mm, forro PVC nos dormitórios e banheiro, janelas basculantes com vidro incolor de 3 mm e piso de cimento alisado. A ocupação do modelo representa uma família composta por quatro habitantes: 1 casal e 2 filhos.



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VII ELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

São as seguintes as características dos materiais utilizados na simulação computacional através do programa apresentado na Tabela 1:

**Tabela 1-** Características dos materiais utilizados no modelo base

Material	Condutibilidade térmica (W/m. K)	Densidade (Kg/m <sup>3</sup> )	Calor Específico (J/Kg. K)	Absortância
Tijolo furado	0,90	1232	920	0,70
Argamassa reboco	1,15	2000	1000	0,50
Telha fibrocimento	0,95	1900	840	0,70
Tijolo Maciço	0,90	1764	920	0,70
Forro de PVC	0,17	1390	900	0,70
Piso de concreto	1,75	2400	1000	0,70

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005)

A densidade de carga interna foi definida em 25 W/m<sup>2</sup>, considerando iluminação, ocupação e equipamentos. Para todas as simulações, a temperatura do solo foi considerada igual à temperatura média mensal. O arquivo climático usado para as simulações foi da cidade de Santa Maria/RS, tal escolha justifica-se por não haver dados para a cidade de Pelotas/RS. Ambas situam-se na Zona Bioclimática 2.

O edifício foi modelado considerando a presença de ventilação natural. O *setpoint* de ventilação foi definido em 25°C baseado no trabalho de Martins (2009).

### 3.2. Simulação das mudanças no plano horizontal

As alternativas adotadas nas simulações consistem em alterar a absortância e os materiais componentes da cobertura. Foram definidas quatro configurações para a cobertura que produziram diferentes variações nos modelos.

A primeira configuração a partir do modelo base, denominada C1, consiste na alteração da cor da telha de fibrocimento utilizada na cobertura. Ou seja, de uma absortância solar de 0,7, referente à telha de fibrocimento comumente usada, passamos para uma absortância de 0,2, que é a absortância solar da cor branca. O modelo manteve o forro de PVC nos dormitórios e sanitário. A segunda configuração a partir do modelo base, denominada C2, consiste na alteração da cor da telha de fibrocimento utilizada na cobertura. Ou seja, de uma absortância solar de 0,7, referente à telha de fibrocimento comumente usada, passamos para uma absortância de 0,4, que é a absortância solar da cor verde. O modelo manteve o forro de PVC nos dormitórios e sanitário.. A terceira configuração a partir do modelo base, denominada C3, consiste em pintar de cor branca a telha de fibrocimento, alterando sua absortância para 0,2. Efetuou-se o fechamento do forro na sala e cozinha com o mesmo material já utilizado no forro dos demais compartimentos (PVC).

A quarta configuração a partir do modelo base, denominada C4, consiste em pintar de cor branca a telha de fibrocimento, alterando sua absortância para 0,2. Efetuou-se o fechamento do forro na sala e cozinha com o mesmo material já utilizado no forro dos demais compartimentos (PVC) e acrescentou-se um isolante térmico, lã de rocha, com espessura de 5 cm sobre o forro.

Na Tabela 2 são apresentados os dados utilizados na simulação das alterações no plano horizontal.



**Tabela 2-** Características dos materiais utilizados nas simulações

Material	Condutibilidade térmica (W/m. K)	Densidade (Kg/m <sup>2</sup> )	Calor Específico (J/Kg. K)	Absortância
Telha cor verde	0,95	1900	840	0,40
Telha cor branca	0,95	1900	840	0,20
Lã de rocha	0,05	50	70	0,70
Forro de PVC	0,17	1390	900	0,70

Fonte: NBR 15220-2 (ABNT, 2005)

### 3.3. Análise do Conforto Térmico

Com base nos resultados das simulações foram gerados arquivos com dados horários de temperatura e umidade relativa do ar. A partir da utilização do programa computacional *AnalisisBio* (UFSC, 2009), o qual permite obter relatórios dos períodos de conforto e desconforto durante o ano referência e durante as diferentes estações, foi conduzida a análise do conforto térmico. Esses resultados são expressos em porcentagem e representam a quantidade de horas de frio, calor e as horas de conforto para cada modificação projetada.

### 3.4. Análise Graus-Hora de Aquecimento e Resfriamento

De acordo com a ASHRAE (1993) Apud GOULART, LAMBERTS e FIRMINO (1998) Graus-dia é um parâmetro climático que pode ser definido como o somatório da diferença de temperatura, quando esta se encontra abaixo de uma temperatura base ( $T_b$ ). Ou seja, quando a temperatura média diária for menor que  $T_b$ , calcula-se a diferença ( $T_b - T_{\text{méd}}$ ), somando-se estas diferenças, dia a dia, para todo o ano. Para análise de eficiência energética das diferentes possibilidades de fechamentos horizontais foi usada a análise dos graus-hora de aquecimento e de resfriamento. A definição da temperatura base para aquecimento e resfriamento foi baseada nos limites de Givoni (1992) Apud Lamberts (1997), sendo 18°C para aquecimento e 29°C para resfriamento.

## 4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Através da simulação computacional para cada configuração, foram definidas a temperatura e umidade relativa do ar, internas na edificação, para então ser gerado um arquivo TRY para cada configuração no ano todo e especificamente nos meses de verão e inverno, o que permitiu a visualização de relatórios de conforto com base na utilização de software *Analisis Bio* (UFSC, 2007).

### 4.1. Análise de conforto dos relatórios gerados:

Nas simulações do modelo foi possível analisar as seguintes variáveis e resultados apresentados nas Figuras 1, 2 e 3, e Tabela 3.

**Tabela 3** – Análise de conforto térmico anual das simulações comparados com o caso base

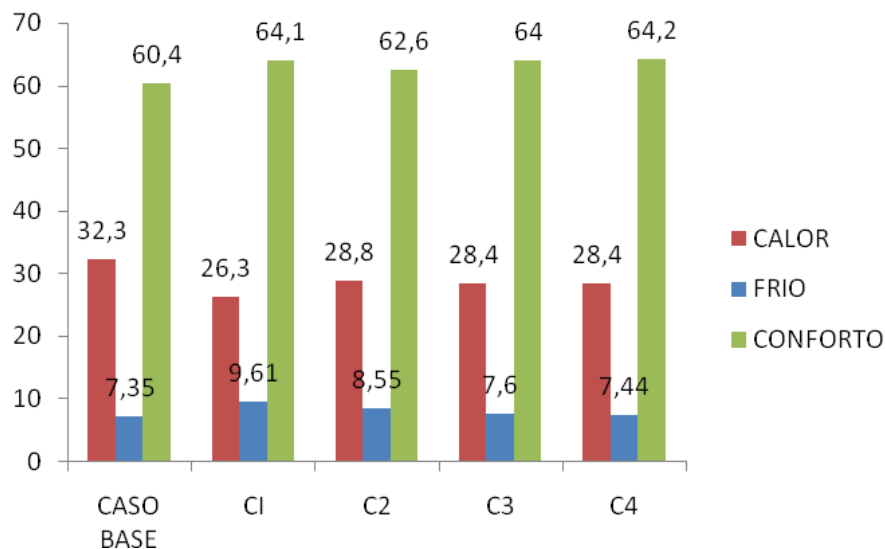
Configuração	Caso Base	Config. 01	Config. 02	Config. 03	Config. 04
% horas conforto	60,4	64,1	62,6	64,0	64,2
% horas desconforto calor	32,3	26,3	28,8	28,4	28,4
% horas desconforto frio	7,4	9,6	8,6	7,6	7,4

Nas observações sobre o isolamento da cobertura, nos experimentos C3 e C4, observa-se que as alterações com a utilização de materiais com baixa condutividade térmica, foram pouco significativas nos resultados apresentados para o inverno, sendo mais representativas nos resultados para o verão.

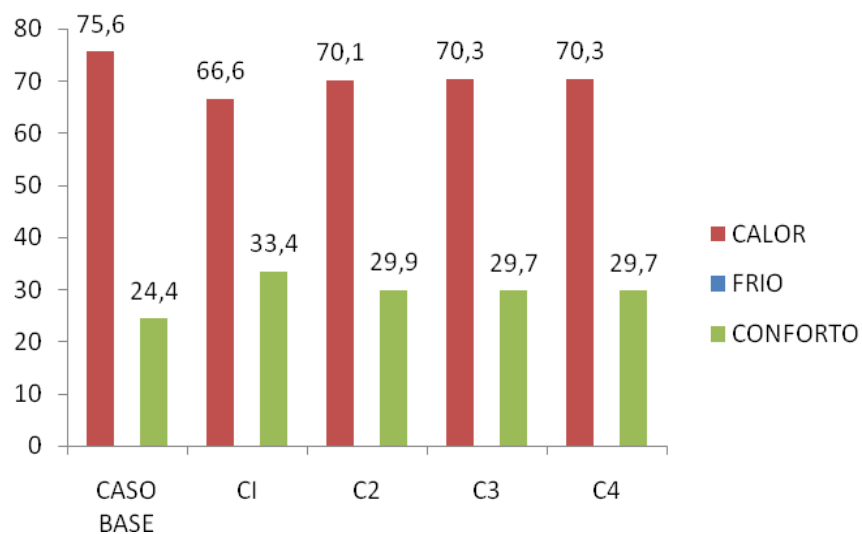
Mesmo assim, a quarta configuração que consiste em pintar de cor branca a telha de fibrocimento, fazer o fechamento do forro na sala e cozinha com o mesmo material já utilizado no forro dos demais



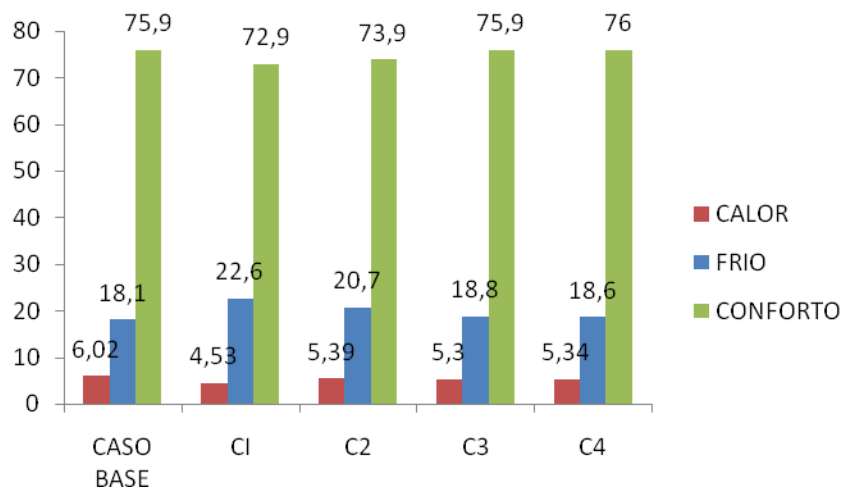
compartimentos (PVC) e acrescentar um isolante térmico, como a lã de rocha, mostra-se como a solução mais favorável, apresentando maior porcentagem de conforto térmico ao usuário, aumentando em aproximadamente 6,2% as horas de conforto térmico, ou seja, aproximadamente 543 horas. Observa-se, ainda, que nenhuma dessas ações isoladas garante o perfeito funcionamento do sistema, mas sim no conjunto é que nota-se a diferença. No contexto das cinco configurações analisadas observa-se que a pintura das telhas na cor branca aumentou em 6,1% o conforto térmico do espaço interior, aproximadamente 534 horas.



**Figura 1** - Análise de conforto térmico anual das configurações analisadas



**Figura 2** - Análise de conforto térmico para o verão das configurações analisadas



**Figura 3** - Análise de conforto térmico para o inverno das configurações analisadas

#### 4.2. Análise de Graus-Hora de aquecimento e resfriamento

Rivero(1985), em sua obra *Arquitetura e Clima* afirma:

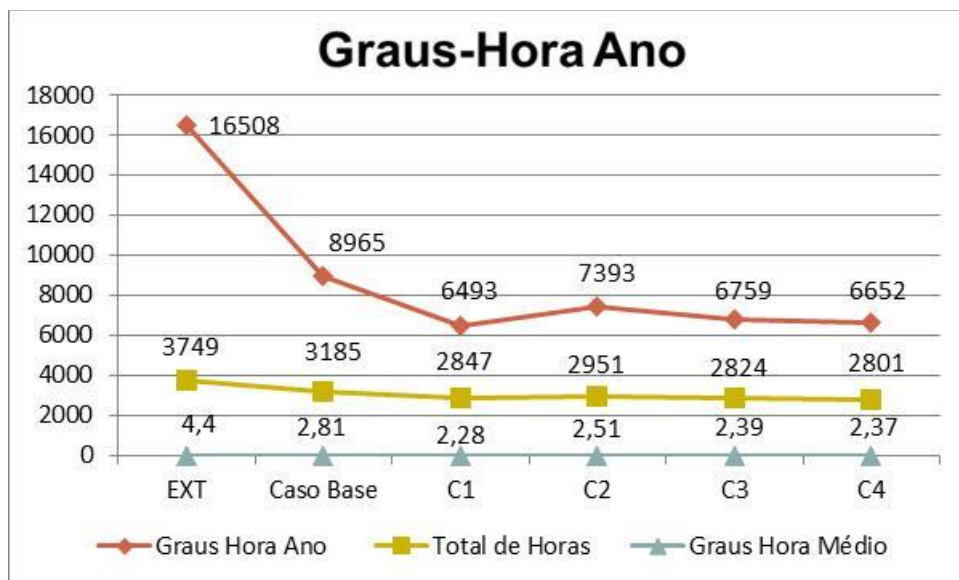
“(....)a imensa maioria das habitações e dos edifícios construídos nos países em vias de desenvolvimento não tem equipamento de aquecimento adequados e praticamente nenhuma instalação de ar condicionado. Isto supõe que somente o edifício – pelo seu projeto, orientação, materiais e dispositivos- terá que defender os ocupantes da agressividade térmica do meio.”

Considerando a afirmação acima e o fato desse estudo tratar de habitação de interesse social, o baixo custo de operação é fator preponderante no desenvolvimento de projetos eficientes.

Segundo Morello (2005), apenas a quantificação das horas de desconforto não seria suficiente para demonstrar o abrandamento das condições térmicas externas. Isso porque, se considerarmos apenas as horas em que a temperatura do ar interna esteve abaixo ou acima de um valor limite, o resultado será um número absoluto que não necessariamente expressará a eficiência da edificação.

No Figura 4 podemos observar o desempenho energético da edificação, com base no cálculo do número de Graus-hora. A partir da análise da variável é possível observar as diferentes necessidades de condicionamento artificial dos ambientes traduzidos na refrigeração e no aquecimento.





**Figura 4** - Análise do número Graus-Hora das configurações analisadas

Observando as necessidades de climatização dos espaços interiores é possível constatar que a configuração 1 caracteriza-se como a mais eficiente entre as cinco configurações analisadas. A afirmação confirma-se com base na observação do número Graus-hora médio da configuração 1 (2,28), entendendo Graus-hora médio como o quociente do número Graus-hora e o total anual de horas de desconforto por calor e frio. Conforme na análise de Conforto Térmico no item 4.1, as configurações com melhor desempenho são a C01 (2,28) e a C04 (2,37). A configuração 4 apresenta um percentual maior de conforto térmico, 64,2%, porém, um número de Graus-horas médio superior (2,37). Já a configuração 1 possui um percentual de horas de conforto menor, 64,1%, porém, um número de graus-hora médio inferior, o que caracteriza a maior eficiência.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se verificar que uma alternativa considerada simples e de fácil execução, como a da configuração C1, pintura da telha de fibrocimento na cor branca, produziu um resultado significativo para as condições de conforto geral, quando comparada com as demais soluções. A configuração 01, apresenta, portanto, a melhor relação custo x benefício, já que os resultados de aumento de conforto térmico do espaço interior estiveram muito próximos da configuração 4 (telhado pintado de branco e isolado), e os investimentos seriam menores. Além disso, observa-se também, com base na análise do número Graus-hora médio, que a configuração 01 demonstrou ser a mais eficiente com o menor valor Graus-hora médio (2,28).

Os resultados obtidos permitiram ter um conhecimento e, conseqüentemente, um controle do grau de conforto térmico da construção analisada, sendo recomendado, como seqüência desse trabalho uma análise mais aprofundada do custo/benefício gerado em cada opção de alteração dos elementos da cobertura. Nesse sentido como próxima etapa de desenvolvimento do trabalho recomenda-se a análise econômica das soluções verificadas.

Constatou-se também que, a simulação computacional é uma ótima ferramenta de projeto capaz de uma análise rápida de diferentes configurações, mas que o conhecimento e o controle do programa são



**XIENCAC**  
ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

**VIIELACAC**  
ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO  
NO AMBIENTE CONSTRUIDO

Búzios - RJ - 2011

fatores imprescindíveis para que cada dado a ser inserido produza precisão e confiabilidade nos resultados.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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

GIVONI, V. **Confort, climates analysis and building design guidelines**, Energy and Building, vol. 18, 1992.

ASHRAE (2004) Apud GOULART, LAMBERTS e FIRMINO. Dados climáticos para projeto e avaliação energética de edificações de 14 cidades brasileiras. Florianópolis: Núcleo de Pesquisa em Construção/UFSC. 2 ed. 1998.

LAMBERTS, Roberto; DUTRA, Luciano; PEREIRA, Fernando. **Eficiência Energética na Arquitetura**. São Paulo, PW, pp. 106, 1997.

LAMBERTS, Roberto. *et al.* **Desempenho Térmico de Edificações**. Florianópolis: Apostila – Universidade Federal de Santa Catarina, 2006.

MARTINS, David. RAU, Sabrina. RECKZIEGEL, Simone. FERRUGEM, Anderson, SILVA, Antônio César. Ensaio sobre a utilização da automação de aberturas na simulação do desempenho térmico de edificações. In: ENCAC 2009, Natal, RN.

MORELLO, Alessandro. **Avaliação do Comportamento Térmico do Protótipo Habitacional alvorada**, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia Civil – UFRGS, Porto Alegre, BR – RS, 2005.

RIVERO, Roberto. **Arquitetura e clima: condicionamento térmico natural**. 2ª Ed. Ver. e ampl. – Porto Alegre. D.C. Luzzatto Editores, 1985.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA. Software *Analysis BIO*. Versão. 2009.

VENÂNCIO, Raoni. **Treinamento para o programa Design Builder versão 2.0**. LabCON, UFRN, RN, 2010.