

ANÁLISE DO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS ATRAVÉS DE SIMULAÇÃO COMPUTACIONAL NO ENERGYPLUS BASEADA NOS REQUISITOS DA NORMA NBR 15220

**Michele Matos; Fernando Simon Westphal; Franck Alves Scarduelli;
Roberto Lamberts**

Universidade Federal de Santa Catarina

ECV/NPC/LabEEEE – Campus Universitário – Trindade

Caixa Postal 476 – CEP 88040-900 – Fone 3331-5184

michele@labeee.ufsc.br; franck@labeee.ufsc.br; fernando@labeee.ufsc.br; lamberts@ecv.ufsc.br

RESUMO

A norma da ABNT sobre o desempenho térmico de edificações, NBR 15220, indica em sua parte 3, diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. De acordo com a zona bioclimática na qual a edificação está localizada, a norma recomenda níveis mínimos ou máximos de transmitância térmica dos componentes construtivos, absorvidade externa das superfícies, área de abertura para ventilação e outras estratégias de condicionamento passivo, como por exemplo, o sombreamento de aberturas e uso de inércia térmica para aquecimento ou resfriamento. Neste trabalho, o desempenho térmico do projeto de uma residência unifamiliar foi analisado por simulação computacional no programa EnergyPlus, variando-se: seus componentes construtivos (tipo de parede, cobertura e piso); cores externas; e área de aberturas. As recomendações da NBR 15220 são avaliadas sobre o modelo, considerando-se a edificação localizada em Florianópolis. A orientação da edificação, embora não seja mencionada na norma, também foi analisada. A ventilação natural no interior da residência e as trocas de ar entre um cômodo e outro foram simuladas através do módulo COMIS, integrado ao programa EnergyPlus. O desempenho térmico da residência foi quantificado através de graus-hora de desconforto para cada cômodo. De modo geral, as recomendações da norma garantem bom desempenho térmico para a zona bioclimática analisada. Porém, detectou-se a necessidade de casos adicionais para explorar outras estratégias de ventilação natural. O uso da simulação computacional permitiu a análise de alternativas de projeto combinadas, podendo-se avaliar, no futuro, o custo para implantação de cada caso, auxiliando o projetista na tomada de decisão.

Palavras-chave: ventilação natural, simulação, residências.

ABSTRACT

The Brazilian standard for building thermal performance, NBR 15220, recommends in the part III, a set of constructive directives for low cost houses. The standard recommends minimum or maximum requirements for specific building envelope parameters, according to the bioclimatic zone where the building is located. In this paper, the thermal performance of a single family house was evaluated by using computer simulation, through the EnergyPlus program. Building envelope (type of wall, roof and floor); external colors; and opening area were varied in the model. The NBR 15220 recommendations for the Florianópolis city climate were applied in the simulation. The building azimuth, that is not mentioned in the standard, was also analyzed. The natural ventilation in the interior of the dwelling and the air exchange between rooms had been simulated with COMIS algorithm, integrated to the EnergyPlus program. The thermal performance of the building was quantified through degree-hours of discomfort for each room. At general, the standard

recommendations provides good levels of thermal performance for the bioclimatic zone under analysis. Nevertheless, more cases are required in order to evaluate additional strategies for natural ventilation. The use of computer simulation has allowed the analysis of different design alternatives. In the future, these simulation results could be used for economic analysis of each alternative, helping at decision making process.

Keywords: natural ventilation, simulation, residences.

1. INTRODUÇÃO

A carta bioclimática de Givoni (GIVONI, 1992) possibilita a identificação das estratégias bioclimáticas adequadas para uma determinada região a partir do estudo do clima. Os dados bioclimáticos da localidade são plotados sobre a carta psicrométrica, o que resulta em indicações de estratégias a serem adotadas no projeto de edificações. A Norma de Desempenho Térmico de Edificações, NBR 15220, (ABNT, 2005) divide o território brasileiro em oito diferentes zonas bioclimáticas. A ventilação natural apresenta-se como a estratégia mais adequada para o período de desconforto, devido ao calor, para muitas cidades brasileiras como consta em Lamberts et al. (2004). Um exemplo é a cidade de Florianópolis, que se encontra na Zona Bioclimática 3, onde há conforto térmico em 20,8% das horas do ano; e a estratégia mais adequada para o período de desconforto devido ao calor é a ventilação, em 35,5% das horas do ano.

Em edificações residenciais, os ocupantes são os responsáveis pela abertura e fechamento das janelas e portas. O simples fato de abrir ou não uma janela pode estar associado a valores de ordem cultural, social e natural. Em Concannon (2002) ocupantes de diversos países expuseram as razões para a ventilação ou não das suas casas. Dentre as razões para ventilar a casa estão:

- a) Captar ar fresco em quartos e salas de estar;
- b) Remover odores;
- c) Remover o ar antigo e a condensação;
- d) Arejar a casa durante as atividades domésticas;
- e) Remover a fumaça de cigarro. Em casas de fumantes a abertura de janelas é duas vezes mais freqüente do que em casas de pessoas não fumantes.

As razões para não ventilar a casa incluem:

- a) Prevenção de correntes de ar localizadas (*draughts*);
- b) Manter uma temperatura preferencial;
- c) Proteção do frio e da chuva;
- d) Manter privacidade e segurança;
- e) Reduzir o barulho e a poluição externos.

Este artigo apresenta a simulação computacional do desempenho térmico de um protótipo residencial situado na cidade de Florianópolis. Foram analisados os componentes construtivos (tipo de parede, cobertura e piso); cores externas; área de aberturas; e estratégias de ventilação.

Para a realização das simulações foi utilizado o programa *EnergyPlus*, desenvolvido sob coordenação do DOE, Departamento de Energia dos Estados Unidos (DOE, 2005). A ventilação natural foi simulada utilizando-se o algoritmo COMIS (*Conjunction Of Multizone Infiltration Specialists*) integrado ao *EnergyPlus*. O COMIS calcula o fluxo de ar entre zonas e o exterior, através de frestas e janelas. Para tanto, devem ser determinados os *links* do fluxo de ar, as características do entorno da edificação, as condições de abertura das janelas e portas e as condições de ventilação.

O algoritmo permite que sejam criadas *schedules* de controle, de disponibilidade de ventilação, entre outras. O programa calcula automaticamente os CPs (Coeficientes de Pressão do Vento), para edificações retangulares. No COMIS a edificação é descrita como uma rede de zonas interconectadas por aberturas (*links*), ou seja, uma rede de campos de pressão. A Figura 1 apresenta a rede de nós de pressão para um ambiente de duas zonas, com aberturas em todas as fachadas. Os nós de pressão estão representados por pontos, vermelhos e azuis, que são conectados por componentes de fluxo de ar (as resistências em vermelho) que representam as aberturas (portas e janelas). Os nós de pressão são volumes da edificação nos quais assume-se que a mistura do ar ocorre de forma homogênea e que a pressão é estacionária, porém essa condição pode não ser sempre satisfatória na realidade.

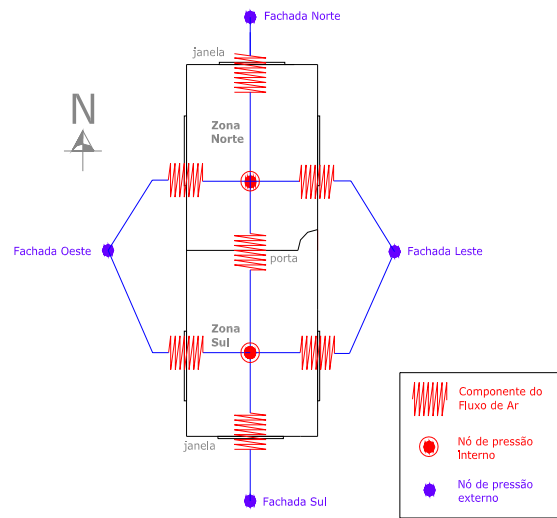


Figura 1 - Esquema da rede de nós de pressão de um modelo de duas zonas.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho térmico de uma edificação unifamiliar, a partir das horas de desconforto (graus-hora), frente às alterações concebidas no seu envelope; através de simulação computacional com o programa EnergyPlus/COMIS.

3. METODOLOGIA

3.1 Caso Base

Tavares (2006), no seu estudo, definiu protótipos habitacionais de acordo com a faixa de renda familiar. Estes protótipos foram gerados a partir de dados de órgãos públicos, como o IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, que realizou a Pesquisa Nacional de Amostras de Domicílio (PNAD, 2002) através do Censo 2000; e através da Pesquisa Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo (SINPHA, 1999), realizada em 1999.

O protótipo habitacional para a faixa de renda mensal de até 5 salários mínimos é uma edificação unifamiliar com área total de 63m². Possui 2 quartos, sala, cozinha e banheiro, como mostra a Figura 2; pé direito de 2,8m e estrutura em concreto armado. O consumo de energia elétrica estimado para esse tipo de residência foi de 150kWh/mês.

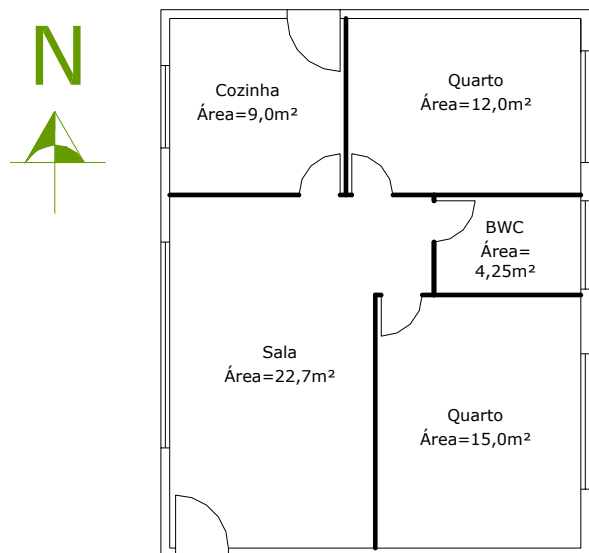


Figura 2 - Geometria do modelo simulado.

O caso base deste estudo foi modelado a partir desse protótipo, pois algumas modificações e complementações foram realizadas para adequar o modelo à simulação. A orientação escolhida para o caso base foi a que considerou os quartos voltados para o leste. Abaixo são descritas as características

do envelope da edificação, as considerações quanto à ventilação, aos padrões de uso e de ocupação e às cargas de iluminação e equipamentos inseridas no modelo.

3.1.1 Envelope

As paredes do modelo são em blocos cerâmicos de 8 furos (9 x 19 x 19), com espessura total de 14 cm, sendo 9cm do bloco, 2,5cm de reboco interno e 2,5cm de reboco externo. A pintura é na cor branca ($\alpha=0,2$). A transmitância total da parede é de 2,24 W/m²K.

A cobertura da edificação é de laje armada em blocos cerâmicos, com espessura total de 12 cm, rebocada. A laje é recoberta com telhas de fibrocimento ($\alpha=0,8$). A transmitância total da cobertura é de 1,93 W/m²K. Os pisos do banheiro e da cozinha são em cerâmica e os dos demais cômodos em tacos de madeira.

As janelas são compostas por esquadrias de ferro e vidro simples de 3mm de espessura. A área destinada à iluminação natural é de 1/6 da área do piso, área mínima exigida em muitos códigos de obras, inclusive no código de obras da cidade de Florianópolis e a área destinada à ventilação é de 50% da área de janela.

3.1.2 Ventilação

O período de ventilação natural do modelo ocorre entre 7h e 22h. Uma *schedule* específica quando a ventilação através da janela pode ser possível. A abertura das janelas é controlada através de uma temperatura de *setpoint*, ou seja, a janela é aberta quando a temperatura interna do ar é igual ou superior à temperatura de *setpoint* ($T_{int} \geq T_{setpoint}$) e ainda quando a temperatura do ar interno é superior à temperatura externa ($T_{int} \geq T_{ext}$). Foram definidas temperaturas de controle distintas para os períodos de inverno (21/03 à 21/09) e verão (21/09 a 21/03). Para o inverno a temperatura é 24°C e para o verão é de 22°C.

Foi utilizado o recurso de modulação de aberturas, que simula o comportamento do usuário frente a diferenças de temperatura. Parâmetros de controle determinam um fator entre 0 e 1 que multiplica o fator de abertura de uma porta ou janela de acordo com a ação de controle. A modulação de aberturas permite reduzir as grandes oscilações de temperaturas que podem ocorrer se a janela ou porta estiver demasiadamente aberta quando estiver ventando, especialmente se existir uma grande diferença entre a temperatura interna e externa. A modulação funciona da seguinte forma (ver Figura 3):

1) quando a diferença de temperatura entre a zona e o exterior for menor do que 0,5°C ($T_{zona} - T_{ext} \leq 0,5$) a área de abertura da janela é multiplicada pelo fator 1,0;

2) se a diferença de temperatura entre a zona e o exterior estiver entre 0,5°C e 3°C ($0,5 < T_{zona} - T_{ext} < 3,0$) a área de abertura da janela é multiplicada por um fator que varia linearmente de 1,0 até 0,2;

3) e finalmente se a diferença de temperatura entre a zona e o exterior for maior do que 3,0°C a área de abertura da janela é multiplicada pelo fator 0,2.

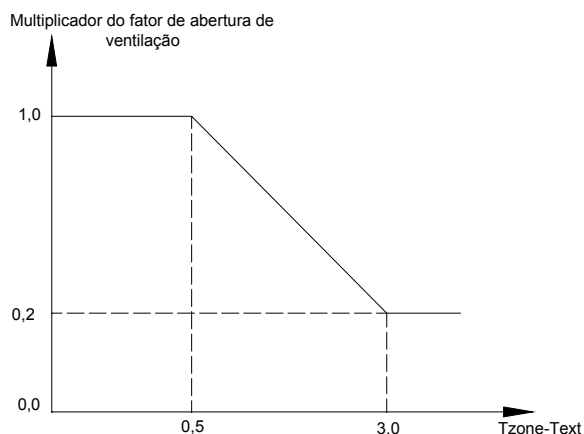


Figura 3 - Modulação da área de ventilação de acordo com a diferença de temperatura interna/externa.

Foram considerados padrões de abertura para portas internas e externas. As portas internas dos dormitórios permanecem fechadas entre 22h e 7h e a porta do banheiro é aberta entre 17h e 18h. As portas externas da sala e da cozinha são abertas nos períodos entre: 7h e 8h, 12h e 13h e 18h e 19h.

3.1.3 Ocupação

A família é composta por 4 habitantes: 1 casal e 2 filhos que estudam no período da manhã. Os quartos são ocupados por no máximo duas pessoas. A sala e a cozinha são utilizadas por toda a família, ou seja, 4 pessoas, e a ocupação máxima do banheiro é de um habitante.

Foram construídos dois padrões de ocupação distintos: um para os dias úteis, apresentado no lado esquerdo da Figura 4 e outro para os finais de semana, apresentado no lado direito da Figura 4. Nesses gráficos, os ambientes da residência são representados por cores distintas e o eixo das ordenadas representa o número total de ocupantes. Por exemplo, entre 22h e 7h o quarto de solteiro é ocupado por duas pessoas e o quarto de casal também é ocupado por duas pessoas nos dias úteis, totalizando quatro pessoas na residência.

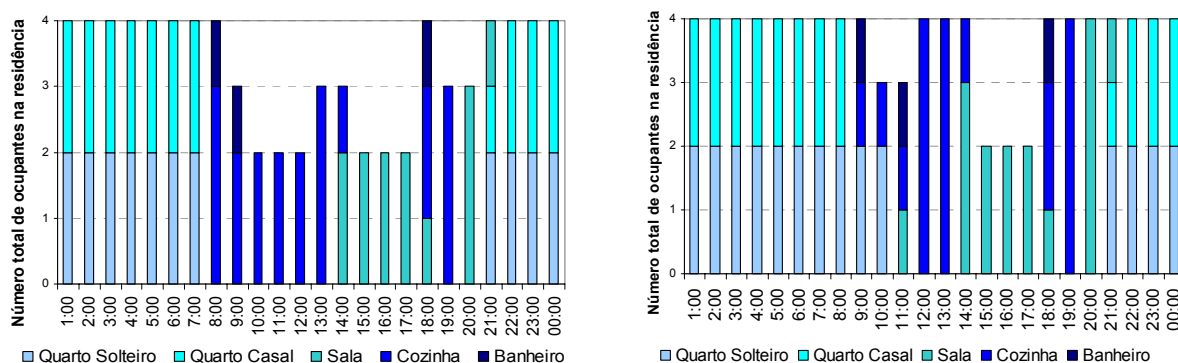


Figura 4 - Padrões de ocupação da residência, dias úteis (esquerda) e finais de semana (direita).

3.1.4 Iluminação

Foi desenvolvido um padrão de uso de iluminação para cada cômodo em função da ocupação considerada para os dias úteis e para os finais de semana. A Tabela 1 apresenta a densidade de potência em iluminação instalada em cada cômodo. Nos dormitórios foram instalados 60W e na cozinha e na sala 100W. A potência instalada no banheiro é de 40W. A densidade de potência média é de 5,7W/m². O consumo mensal estimado para o sistema de iluminação é de 60,1 kWh/mês.

Tabela 1 - Densidade de potência em iluminação instalada em cada ambiente.

Cômodo	Quarto Solteiro	Quarto Casal	Sala	Cozinha	Banheiro	Total
Potência (W)	60	60	100	100	40	360
Área (m ²)	12,0	15,0	22,7	9,0	4,3	63,0
Densidade de potência (W/m ²)	5,0	4,0	4,4	11,1	9,4	5,7

3.1.5 Equipamentos

Para a faixa de renda familiar de até 5 salários mínimos os equipamentos presentes na residência, segundo Tavares (2006), são os seguintes: aparelho de som, chuveiro elétrico, ferro de passar, fogão, refrigerador, liquidificador, televisão e ventilador. Os tempos médios de utilização de cada equipamento foram estimados com base na tabela de consumo de eletrodomésticos do PROCEL (PROCEL, 2005). A partir daí, foi realizado o cálculo do consumo médio diário de cada equipamento considerando o seu tempo de uso. No modelo simulado uma *schedule* considera o uso contínuo dos equipamentos, baseado no consumo médio diário calculado, apresentado na Tabela 2.

Excluindo-se o chuveiro e o refrigerador, todos os outros equipamentos foram agrupados numa única zona que representa a sala. O calor gerado por esses equipamentos e pelo chuveiro não foram considerados no balanço térmico da edificação; ao contrário do calor gerado pelo refrigerador que foi considerado na zona que representa a cozinha. O programa *EnergyPlus* não tem capacidade para modelar as correntes de convecção geradas pela grande diferença de temperatura do ar quando o chuveiro é ligado, dissipando rapidamente o calor gerado por esse equipamento. Além disso o fluxo de umidade através do envelope da edificação também não é modelado corretamente.

Tabela 2 - Potência média dos equipamentos, tempo médio de utilização e consumo médio mensal e diário.

Aparelhos Elétricos	Potência Média (W)	Média de Utilização			Dias Estimados de Uso/Mês	Consumo Médio Mensal (kWh)	Consumo Médio Diário (kWh)
		Tempo	Unidade	(Horas/Dia)			
Chuveiro	3500	7	min/banho	0,47	30	49,00	0,068
Refrigerador	33,19	24	horas/dia	24,00	30	23,90	0,033
Aparelho de Som	20	1	hora/dia	1,00	30	0,60	
Ferro de Passar	300	3	horas/semana	0,43	30	3,86	
Fogão	60	5	min/dia	0,21	30	0,38	0,021
Liquidificador	300	1	hora/mês	0,03	30	0,30	
TV em cores 14"	60	4	horas/dia	4,00	30	7,20	
Ventilador	65	40	horas/mês	1,33	30	2,60	

O consumo mensal de energia elétrica para esse tipo de residência é de 150kWh. O consumo total dos equipamentos é de 87,8 kWh/mês. Considerando também o sistema de iluminação, o consumo médio simulado para o modelo é de 150,7kWh/mês, muito próximo do consumo mensal para esse tipo de edificação (150kWh).

3.2 Estratégias Simuladas

As estratégias adotadas nas simulações consistem em aumentar a área de ventilação; sombrear as janelas; diminuir a transmitância térmica de paredes e cobertura; alterar a orientação dos dormitórios e diminuir a absorvidade da cobertura. Os valores definidos para cada um dos parâmetros simulados são descritos abaixo:

- a) Ajan/Apiso (%): 15, 20 e 25;
- b) Avent (%): 8, 15, 20 e 25;
- c) Sombreamento das aberturas;
- d) U_{par_p} (W/m².K): 2,24, 1,80 e 1,00;
- e) U_{par_L} (W/m².K): 1,20 e 0,25;
- f) U_{cob} (W/m².K): 1,93, 1,18 e 0,62;
- g) Orientação dos dormitórios: N, S, L e O;
- h) Absortividade da cobertura (α): 0,80, 0,60, 0,40 e 0,20.

A definição das estratégias para as simulações segue as recomendações da terceira parte da NBR 15220 (ABNT, 2005) para a zona bioclimática 3, na qual se enquadra a cidade de Florianópolis. De acordo com a norma, para promover ventilação adequada, as aberturas devem ser de tamanho médio: a área de abertura deve variar entre 15% e 25% da área do piso de cada cômodo. Deve-se sombrear as

aberturas no verão e permitir entrada de sol durante o inverno. Com relação às vedações externas, a parede deve ser leve e refletora, ou seja, ter uma transmitância térmica (U) menor ou igual a 3,60 W/m².K, atraso térmico (φ) de até 4,3 h, e Fator de Calor Solar (FCS) menor ou igual a 4,0. A cobertura deve ser leve e isolada, para isso deve ter U menor ou igual a 2,00 W/m².K, φ de até 3,3h e FCS menor ou igual a 6,5. Embora não seja mencionada na norma, a orientação da edificação também foi analisada neste trabalho.

A combinação de todas as estratégias resulta em um total de 1.920 casos simulados. Para a construção e simulação das alternativas foi desenvolvido um programa específico para automatizar o processo. Após 15 dias entre a montagem dos blocos e desenvolvimento do sistema, os casos foram simulados utilizando-se três microcomputadores Pentium IV - 3GHz durante um período de dez horas.

Os resultados obtidos são analisados através do número de graus-hora para o período do verão (21/09 a 21/03), tendo a temperatura de 24°C como base. Este é um parâmetro climático que pode ser definido como sendo o somatório da diferença de temperatura horária quando esta se encontra acima de uma temperatura base (Equação 1).

$$\text{GrausHora} = \sum (T - T_b) \quad [\text{Eq.1}]$$

Onde:

T é a temperatura em um determinado horário;

T_b é a temperatura base.

Os valores de graus-hora obtidos são somados no período de um ano, gerando o valor de graus-hora anual para cada cômodo da residência. A média ponderada por área de ambiente é calculada apenas para os dormitórios para refletir as alterações na orientação da fachada.

A NBR15220 não recomenda métodos de análise do desempenho térmico da edificação. Por esse motivo decidiu-se adotar como parâmetro de análise a quantidade de graus-hora interna e externa. Esse foi o método encontrado para sintetizar e comparar os dados dos 1.920 casos. Nesse caso a quantidade de graus-hora foi usada como um indicativo do desempenho das alternativas frente as condições climáticas.

4. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os valores de graus-hora foram analisados para cada uma das orientações dos dormitórios. Foram escolhidas duas orientações para a apresentação dos resultados, pois o comportamento dos dados da fachada oeste é semelhante ao da fachada leste, apesar dos valores de graus-hora relativos às aberturas sem sombreamento da fachada oeste serem superiores aos da fachada leste. Os valores de graus-hora das orientações norte e sul também são muito próximos entre si.

A Figura 5 apresenta os valores de graus-hora anual para a orientação oeste e a Figura 6 para a orientação norte. Cada gráfico apresenta 480 casos, sendo um caso por ponto. As oito linhas coloridas representam as áreas de ventilação de 8%, 15%, 20% e 25% da área do piso de cada ambiente, com sombreamento e sem sombreamento. O número de graus-hora obtido a partir da temperatura externa está representado por uma linha horizontal. No eixo das abcissas estão representados os grupos de casos, isto é, são casos que possuem o mesmo envelope, mas possuem diferentes áreas de abertura para ventilação natural. Intervalos de quatro grupos possuem a mesma transmitância de cobertura, variando-se a absorvidade em 20%, 40%, 60% e 80%, nesta ordem. No intervalo de doze grupos varia-se a transmitância das paredes. Os gráficos foram divididos entre paredes leves e pesadas.

Todos os casos simulados possuem um total de graus-hora superior à quantidade de graus-hora de referência (temperatura externa). A estratégia de ventilação adotada é diurna, sendo assim, o maior potencial de ventilação natural não está sendo aproveitado para o resfriamento da edificação. A utilização da ventilação natural no período noturno poderia contribuir para um melhor desempenho das

alternativas apresentadas. Pereira (1998) constatou o mesmo comportamento em residências onde foram realizadas medições de temperatura, na cidade de Florianópolis. O fato das temperaturas internas nem ao menos se aproximarem dos valores mínimos da temperatura externa durante a noite é atribuído à questões de segurança, pois as janelas são mantidas fechadas ou semi-abertas durante este período, já que a maioria das casas monitoradas naquele estudo eram térreas.

Como já era esperado, a cobertura clara ($\alpha=0,2$) apresentou melhor desempenho com relação à cobertura escura ($\alpha=0,8$) para todos os casos. Apenas alterando-se o acabamento da cobertura para uma cor clara ($\alpha=0,2$), pode-se obter uma redução significativa da quantidade de graus-hora para alguns tipos de envelope. A absorvidade da cobertura apresenta maior sensibilidade para valores de transmitância da cobertura mais altos e menor sensibilidade com relação a transmitâncias mais baixas. Para a cobertura mais leve e isolada ($U=0,62 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ e $C_T=34 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$) a redução é aproximadamente de 500 graus-hora, mas quando se trata de coberturas mais pesadas, a redução chega a 1.500 graus-hora para envelopes com paredes muito leves e 1.000 graus-hora para as paredes leves e pesadas. Portanto, se a cobertura possuir uma transmitância alta, deve-se adotar um valor de absorvidade baixo, ou seja, deve-se pintar a superfície com uma cor clara. Por outro lado se a transmitância da cobertura for baixa, a cor da cobertura tem pouca influência, e para melhorar o desempenho da residência deve-se aumentar a área de ventilação e sombrear as aberturas. Se uma das condicionantes do projeto arquitetônico for a cor do telhado, no caso de telhas cerâmicas ($\alpha=0,80$), por exemplo, o uso de isolantes térmicos deverá ser adotado, independente do tipo de parede.

A adoção de paredes muito leves para toda a edificação resultou em valores de graus-hora superiores aos das paredes pesadas e leve. A norma NBR15220 não prevê limites inferiores para os valores de atraso térmico para as paredes leves, talvez porque esse tipo de vedação não seja utilizada na construção civil brasileira. Porém, a norma recomenda o uso de paredes leves apenas nas vedações externas, as paredes internas devem ser pesadas. Para simplificar a simulação, essa condição não foi representada.

O sombreamento das aberturas é mais significativo para as fachadas leste e oeste. Para essas fachadas a redução no número de graus-hora está entre 500 e 600 graus-hora. Para as orientações norte e sul, a redução é de 300 graus-hora, quando são comparadas mesmas áreas de aberturas. Para coberturas claras o tamanho da área de ventilação não influencia o desempenho da residência, para aberturas sombreadas. Se a cobertura for escura, quanto menor a área de ventilação maior é o número de graus-hora. Nesse caso aumentando a área de ventilação para 25% a redução pode chegar em 800 graus-hora.

O caso base, que representa o protótipo habitacional, resulta em 5.854 graus-hora, ou seja, 2.009 acima da temperatura externa. Alterando a orientação dos dormitórios para oeste a quantidade de graus-hora passa a ser de 6.006. Com a pintura do telhado na cor branca pode ocorrer uma redução de 1.090 graus-hora e se o sombreamento das aberturas também for adotado, a redução chega a 1560 graus-hora, 600 graus-hora acima da referência (temperatura externa).

A pior estratégia a ser adotada para a residência está representada em um dos casos do grupo 20. Consiste na utilização de paredes muito leves; área de ventilação de 8%, sem sombreamento, área mínima de ventilação determinada pelo código de obras da cidade de Florianópolis; e cobertura escura ($\alpha=0,8$). Diminuindo a absorvidade da cobertura para 0,2, ou seja, pintando a superfície com uma cor clara, a quantidade de graus-hora que estava em torno de 7.000 poderia ser reduzida para 5.500 na orientação oeste e 5.000 na orientação norte. Sombrear as aberturas representa uma redução em torno de 500 graus-hora e se a área de ventilação for ampliada para 15% a redução é de 1.000 graus-hora. De um modo geral, as seguintes estratégias apresentaram um melhor desempenho: cobertura clara ($\alpha=0,2$) independente do valor da transmitância e aberturas sombreadas, com áreas ventilação acima de 15%. As paredes muito leves apresentaram pior desempenho em relação às pesadas e à leve.

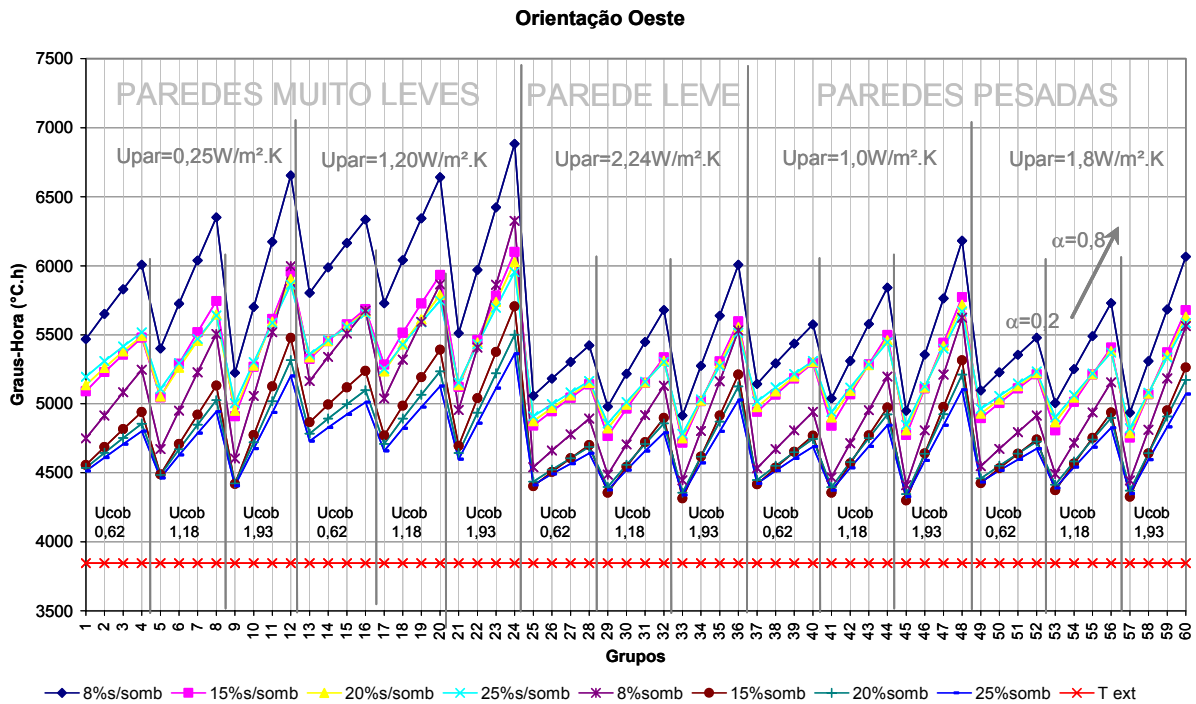


Figura 5 - Valores de graus-hora anual para a orientação oeste.

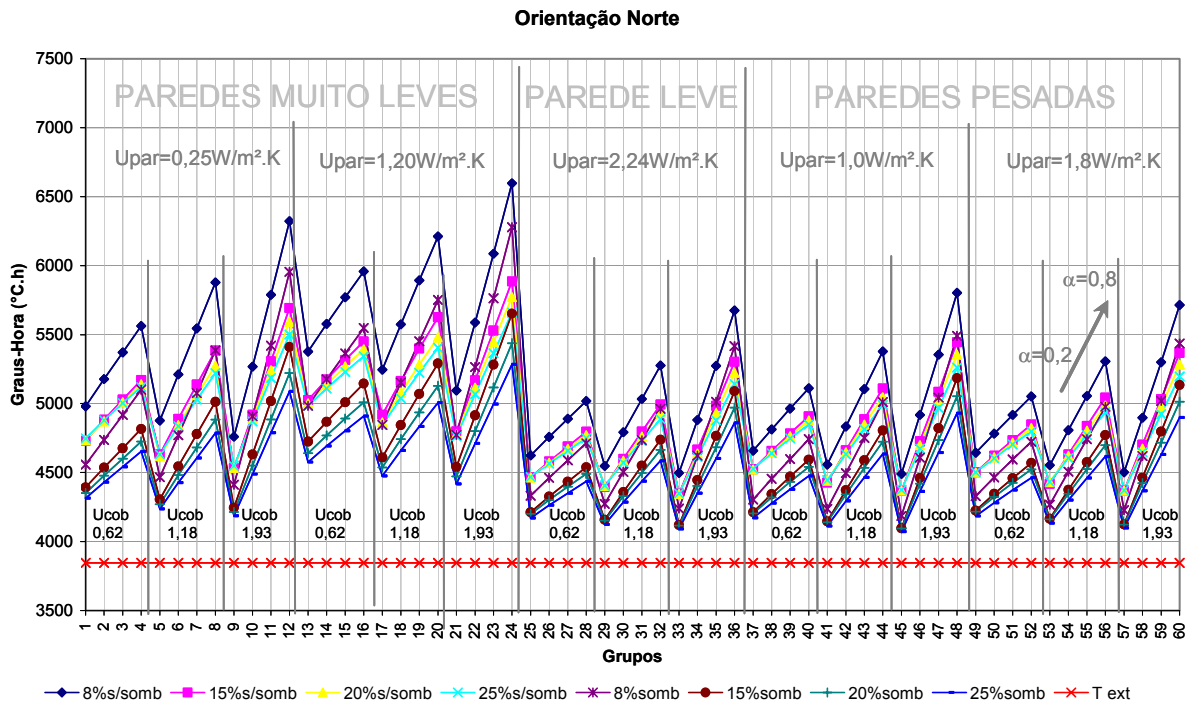


Figura 6 - Valores de graus-hora anual para a orientação norte.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma análise do desempenho térmico de edificações residenciais através de simulação computacional no programa EnergyPlus, baseada nos requisitos da NBR 15220. Apesar da realização de 2.880 simulações, detectou-se a necessidade de casos adicionais para explorar outras estratégias de ventilação natural. Adotando-se apenas a ventilação diurna, as áreas de ventilação de

15%, 20% e 25% da área do piso resultaram em valores de desempenho próximos entre si. Nesse caso, a área de ventilação de 15% apresenta resultados satisfatórios devido ao menor custo do componente com relação a áreas de janelas maiores. A área mínima de abertura requerida para a ventilação natural no código de obras de Florianópolis é de 8% da área de piso. Essa condição resultou no pior desempenho para todas as orientações, mesmo sombreada.

O modelo adotado possui suas limitações. Assumiu-se as paredes externas na cor branca e o intervalo de variação dos parâmetros poderia incluir valores de transmitância maiores para as paredes pesadas, porém essa não é a prática construtiva comum. Por outro lado verificou-se pequena influência do tipo de parede no desempenho da residência. O ponto mais crítico do estudo é a escolha da estratégia de ventilação natural adotada. Como foi citado anteriormente muitas são as razões que levam os ocupantes a abrir ou fechar suas janelas. Ou seja, a norma não tem como prever a utilização das aberturas, mas deve garantir que as pessoas ocupem moradias com condições mínimas de conforto.

A prática corrente em simulações semelhantes às desenvolvidas neste trabalho é a adoção de valores de trocas de ar constantes. Na análise de desempenho térmico apresentada, a ventilação natural foi simulada através de um algoritmo multizona (COMIS) integrado a um programa de simulação horária, o que fornece resultados mais precisos do que considerar taxas de ventilação constantes. Além disso, as rotinas geradas para a automatização da simulação permitem a realização de milhares de estratégias combinadas. Utilizando-se as mesmas rotinas, as simulações poderão ser realizadas para climas de diferentes cidades do país.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3: Desempenho Térmico de Edificações, Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social.** Rio de Janeiro, 2005.

CONCANNON, P. Residential Ventilation. **Technical Note 57, Air Infiltration & Ventilation Centre.** 2002.

DOE. **United States Department of Energy.** Disponível em: < <http://www.energy.gov/>>. Acesso em: outubro 2005.

GIVONI, B. Confort, climate analysis and building design guidelines. **Energy and Buildings.** 1992, v. 18, p. 11-23.

LAMBERTS et al. **Eficiência Energética na Arquitetura.** São Paulo, 2004. Ed. PW. 188 p.

PEREIRA, Fernando Oscar Ruttkay. Características da habitação de interesse social na região de Florianópolis: desenvolvimento de indicadores para melhoria do setor. São Paulo, SP. 1998. p.37-58. In: **WORKSHOP AVALIAÇÃO PÓS-OCUPAÇÃO E DE DESEMPENHO,** 1998, São Paulo.

PNAD. **Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios: síntese de indicadores 2001.** Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Departamento de Empregos e Rendimento. Rio de Janeiro, 2002. 205p.

PROCEL. **Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica.** Canal do consumidor. Consumo de Eletrodomésticos. Disponível em: <<http://www.eletronbras.gov.br/procel>>. Acesso em: outubro 2005.

SINPHA. **Sistema de Informações de Posses de Eletrodomésticos e Hábitos de Consumo.** Núcleo de Estatística Computacional, PUC/Rio. Rio de Janeiro, 1999. CD-ROM.

TAVARES, S. F. Metodologia para análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras. **Tese de doutorado.** Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.