

## **ANÁLISE DE DESEMPENHO TÉRMICO DE QUATRO HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL CONSTRUÍDAS EM PORTO ALEGRE**

**Giane de Campos Grigoletti (1); Miguel Aloysio Sattler (2)**

(1) UFSM, Campus Camobi, Prédio 30, sala 215, Santa Maria, RS, (55)32208771, (55)32208772

e-mail: [grigoletti@smail.ufsm.br](mailto:grigoletti@smail.ufsm.br)

(2) UFRGS, NORIE, Oswaldo Aranha, Porto Alegre, RS, (51)33163900, (55)33163954

e-mail: [sattler@ufrgs.br](mailto:sattler@ufrgs.br)

### **RESUMO**

A falta de conforto térmico dos usuários de habitações de interesse social tem despertado interesse de vários pesquisadores no Brasil. Este estudo apresenta a análise de desempenho higtérmico de quatro projetos habitacionais de interesse social construídos em Porto Alegre, RS. A análise é feita através de cálculos de parâmetros térmicos que buscam indicar o comportamento térmico da edificação como um todo. São analisados, entre outros fenômenos, a possibilidade de condensação sobre superfícies internas da edificação, a assimetria da radiação térmica, a sua inércia térmica, as perdas e os ganhos de calor através de seus fechamentos opacos e transparentes. Os procedimentos matemáticos para o cálculo dos parâmetros térmicos foram obtidos da literatura e ajustados conforme as condições climáticas de Porto Alegre, para situação de inverno e verão. Os resultados obtidos para as habitações analisadas indicam que aqueles projetos que incluem estratégias bioclimáticas de baixo custo e envolvente mais espessa apresentam um desempenho superior aos demais, referentes à prática ordinária, resultado esperado.

### **ABSTRACT**

The lack of thermal comfort of occupants of low cost housing has been of interest in the last years in Brazil. This paper presents the thermal performance analysis of four low cost houses built in Porto Alegre. The analysis is made through thermal parameters that intend to indicate the housing whole thermal behaviour. Among others, parameters relative to inner surface condensation, thermal radiation asymmetry, thermal inertia, heat losses and gains through the house envelope are proposed. The procedures are obtained from literature and they are adapted to climatic conditions of Porto Alegre for winter and summer conditions. The houses are considered references according to social and economic local reality. The houses with bioclimatic strategies and more wall and roof thickness have the best thermal performance, which reproduces the expected results.

## 1. INTRODUÇÃO

O presente estudo apresenta a análise de desempenho higrotérmico de quatro habitações de interesse social térreas construídas em Porto Alegre, no sul do Brasil. Busca-se a análise global das edificações através da aplicação de parâmetros térmicos que complementam aqueles propostos pela ABNT (2004, 2005). Os requisitos relacionam-se a coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor através da envolvente da edificação, possibilidade de condensação sobre superfícies internas da edificação, para a situação de inverno, assimetria da radiação térmica, superfície pesada equivalente, efusividade térmica dos ambientes, disposição das aberturas em relação aos ventos dominantes da região, sombreamento da parede oeste ou noroeste e proporção entre área da parede norte a nordeste e área total da envolvente vertical.

Os parâmetros térmicos foram obtidos da literatura e aplicados na análise das quatro habitações, consideradas como referência para as condições econômicas e culturais do público-alvo. Duas delas foram desenvolvidas em centros de pesquisas locais e são edificações melhoradas em relação à prática ordinária (projetos 1 e 2). As outras duas foram apontadas pelos órgãos públicos locais como solução viável para o poder público e como solução considerada inadequada a partir da experiência desses órgãos (projetos 3 e 4 respectivamente).

Os resultados obtidos com a aplicação do método reproduzem a qualidade constatada para as quatro edificações de referência. O método pode ser uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão no processo de projeto, concepção, aprovação e avaliação de habitações de interesse social, pelos agentes públicos envolvidos com o problema da habitação de interesse social na região.

## 2. MÉTODO DE ANÁLISE

Os parâmetros escolhidos para análise são: coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor, condensação sobre superfícies internas, ligada a temperaturas superficiais internas, assimetria da radiação térmica, também ligada às temperaturas superficiais internas, inércia térmica da edificação, expressa através do coeficiente de superfície pesada equivalente e efusividade térmica dos ambientes e proporção entre área da parede norte ou nordeste e área total da envolvente vertical. Além dessas grandezas mensuráveis, características da edificação relativas a disposição das aberturas em relação aos ventos de verão dominantes da região, sombreamento da parede oeste ou noroeste são analisadas a partir da configuração geométrica da mesma. O conjunto inicial de parâmetros térmicos mensuráveis, selecionado da literatura, é indicado na tabela 1. Em seguida, é apresentada uma breve descrição de cada uma dos parâmetros térmicos considerados, com as respectivas fontes da bibliografia, bem como as características qualitativas desejáveis para a edificação.

**Tabela 1. Parâmetros térmicos adotados na análise**

<b>parâmetro térmico</b>	<b>influência no comportamento térmico da edificação</b>
coeficiente volumétrico global de perda e ganho de calor $GV_{\text{inverno}}$	comportamento global da edificação frente à passagem de fluxo de calor para situação de inverno e verão
condensação superficial na alvenaria e no forro $t_{si}$	possibilidade de condensação sobre superfícies internas, fenômeno considerado comum pela bibliografia para Porto Alegre
assimetria da radiação térmica $\Delta T_{rp}$	comportamento global da edificação frente à passagem de fluxo de calor para situação de inverno e verão
coeficiente de superfície pesada equivalente $coef_{SPE}$	armazenagem de calor das partições internas para climas com amplitudes de onda de temperatura diárias maiores do que 10°C
efusividade térmica do ambiente $ef_{amb}$	armazenagem de calor nas partições internas devido a ganhos internos, para climas com amplitudes de onda de temperatura diárias maiores do que 10°C

## 2.1 Coeficiente volumétrico global de perda e ganho de calor

Os coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor são expressos através da razão entre a taxa de fluxo de calor que atravessa todos os fechamentos da edificação e o volume total e a diferença de temperatura entre o ar externo e interno, conforme especificado na equação 1 (GIVONI,1981, TURIK, 1988).

$$GV_{\text{inverno/verão}} = \frac{Q_T}{V \times (t_e - t_i)} \quad [\text{Eq. 1}]$$

Onde:

$GV_{\text{inverno/verão}}$  é o coeficiente volumétrico global de perda ou ganho de calor, em  $\frac{W}{m^3 \cdot ^\circ C}$ ,

$Q_T$  é o fluxo total de calor que atravessa todos os fechamentos do edifício, em  $W$ ,

$V$  é o volume da edificação, em  $m^3$ ,

$t_e - t_i$  é a diferença de temperatura do ar interno e do ar externo, considerada constante, em  $^\circ C$ .

Para a situação de inverno, é considerado o regime estacionário. Para a situação de verão, é considerado o regime variável. Assume-se, em ambos os casos, que a temperatura do ar interno mantém-se constante e igual a  $18^\circ C$  e  $29^\circ C$  para situação de inverno e verão respectivamente. A infiltração do ar é considerada na situação de inverno, mas a ventilação não é considerada para a situação de verão. O coeficiente volumétrico global de perda e ganho de calor é importante, pois permite a análise da envolvente da edificação como um todo, considerando-se as áreas relativas de cada fechamento que compõe a edificação. Analisando-se cada contribuição dos diferentes elementos que compõe a envolvente da edificação, ajustes podem ser feitos a fim de reduzir perdas e ganhos através da mesma.

## 2.2 Condensação superficial na alvenaria e no forro

Para a análise de possibilidade de condensação sobre superfícies internas, consideram-se paredes, forro e telhas, com temperatura e umidade relativa do ar externo e interno pré-definidas. Distinguiram-se paredes sobre as quais é admissível que se verifique condensação daquelas sobre as quais não se admite a existência deste fenômeno. Sobre paredes de cozinhas e banheiros, onde se geram grandes quantidades de vapor e, portanto, são revestidas de materiais pouco permeáveis, pode-se admitir que haja condensação superficial. Nas demais paredes, além do desconforto gerado pela própria umidade, há a possibilidade de proliferação de fungos e bactérias prejudiciais à saúde humana, bem como degradação dos materiais de construção, tornando o fenômeno de condensação indesejável. Considera-se a temperatura superficial interna  $t_{si}$ , correspondente a estes elementos, dada por (MARKUS e MORRIS, 1980, p. 288):

$$t_{si} = t_i + R_{si} \times U \times (t_e - t_i) \quad [\text{Eq. 2}]$$

Onde:

$t_{si}$  é a temperatura superficial interna do fechamento, em  $^\circ C$ ,

$t_i$  é a temperatura do ar interno, em  $^\circ C$ ,

$R_{si}$  é a resistência superficial interna, cujo valor depende do sentido do fluxo de calor e é especificado

pela ABNT (2005), em  $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$ ,

$U$  é a transmitância térmica do fechamento, em  $\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ ,

$t_e - t_i$  é a diferença de temperatura do ar externo e do ar interno, em  $^\circ C$ .

Os valores assumidos para temperatura do ar interno  $t_i$ , temperatura mínima do ar externo  $t_{emín}$  e umidade relativa do ar externo  $UR$  são respectivamente  $t_i = 18,0 \text{ }^\circ C$ ,  $t_{emín} = 7,5 \text{ }^\circ C$  e  $UR = 95,0 \%$ .

Para o cálculo das condições higrotérmicas do ar interno, assume-se a variação da pressão de vapor em decorrência da ocupação interna  $\Delta p$  para *classe 3* (habitação com baixa ocupação) conforme procedimento descrito pela ISO (2001, p. 18). A *classe 3* é adotada a partir da suposição de que a temperatura do ar externo mínima é verificada em um horário em que as pessoas normalmente encontram-se dormindo (entre cinco e seis horas da manhã), provavelmente não haverá demasiada geração de vapor (devido ao cozimento ou banho) dentro da edificação.

### 2.3 Assimetria da radiação térmica

A assimetria da radiação térmica  $\Delta T_{rp}$  é expressa a partir do conceito de temperatura radiante plana  $T_{rp}$ . A temperatura radiante plana  $T_{rp}$ , segundo a ABNT (2005), é a temperatura superficial interna uniforme de um ambiente no qual o fluxo de radiação incidente em um lado de um plano infinitesimal é o mesmo que no ambiente real não uniforme e é um indicativo da diferença de temperatura superficial interna  $t_{si}$  em sentidos opostos. A temperatura radiante plana  $T_{rp}$  é uma quantidade, expressa em  $^{\circ}\text{C}$ , que descreve a radiação recebida sobre este plano infinitesimal provinda de uma dada direção (ISO, 1996, ASHRAE, 2005). O cálculo é feito para duas possibilidades: plano infinitesimal perpendicular à superfície ou paralelo à mesma. A temperatura radiante plana é dada por (ISO, 1996):

$$T_{rp} = \sum_i t_{si} \times f_i \quad [\text{Eq. 3}]$$

Onde:

$T_{rp}$  é a temperatura radiante plana, em  $^{\circ}\text{C}$ ,

$t_{si}$  é a temperatura superficial interna da superfície  $i$ , em  $^{\circ}\text{C}$ ,

$f_i$  é o fator de forma correspondente à superfície  $i$ , grandeza adimensional.

Os fatores de forma  $f_i$  são obtidos para cada superfície  $i$  que é vista do ponto e da direção em que se encontra o plano infinitesimal imaginário. Os fatores de forma  $f_i$  são calculados através da sua posição relativa ao plano infinitesimal, perpendicular ou paralelo ao mesmo (ISO, 1996, p. 45). A temperatura superficial  $t_{si}$  é obtida, para a situação de inverno, a partir da *equação 2*, apresentada no *item 2.2*. Para a situação de verão, usa-se a máxima temperatura superficial  $t_{simax}$  atingida por cada fechamento, considerando a temperatura ar-sol.

Na análise, para condições de inverno, são considerados os ambientes que possuam menores temperaturas superficiais internas  $t_{si}$  para seus fechamentos, ambientes com grandes superfícies transparentes (esquadrias com áreas significativas de envidraçamento) e ambientes que possuam esquadrias sem proteção opaca, tal como venezianas ou postigos, que são de permanência noturna e que podem apresentar temperaturas superficiais internas  $t_{si}$  muito baixas à noite no inverno. Para condições de verão, a seleção dos ambientes satisfaz a condição de possuírem paredes externas voltadas a Oeste, Noroeste ou Sudoeste, pois estes fechamentos apresentam maiores temperaturas superficiais  $t_{si}$  na situação de calor, e que sejam ambientes de permanência prolongada durante o dia. Além da análise de ambientes que satisfaçam as condições acima, a análise do efeito do forro (cobertura) também é efetuada. Para os fechamentos verticais, adota-se um ponto situado sobre um plano a  $1,00\text{ m}$  de distância da parede sendo analisada, a meia distância das paredes laterais e a  $1,00\text{ m}$  de altura do piso. Para a cobertura, considera-se um ponto no centro geométrico do cômodo, a  $1,00\text{ m}$  do piso. Segundo a ASHRAE (2005, p.8.13), as pessoas são mais sensíveis à assimetria de radiação térmica  $\Delta T_{rp}$  causada por uma superfície horizontal (cobertura e forro) quente do que por superfícies verticais quentes. Ainda, segundo a ASHRAE, as pessoas são mais sensíveis a superfícies verticais frias do que a quentes. Os limites adotados, baseados em ASHRAE (2005, p.8.13), para assimetria da radiação térmica, são:

$$\Delta T_{rp} \leq \begin{cases} 9^{\circ}\text{C} & \text{para cobertura} \\ 14^{\circ}\text{C} & \text{para superfícies verticais} \end{cases} \quad [\text{Eq. 4}]$$

Onde:

$\Delta T_{rp}$  é a assimetria da radiação térmica, em  $^{\circ}\text{C}$ .

## 2.4 Coeficiente de superfície pesada equivalente

AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 9) e FROTA e SCHIFFER (1995, p. 50) indicam o uso do conceito de superfície pesada equivalente  $SPE$ , método desenvolvido pelo CSTB, para caracterizar o efeito de inércia térmica da edificação como um todo, consequência da acumulação de calor nos fechamentos (paredes externas e piso) e partições internas de uma edificação. A superfície pesada equivalente  $SPE$  é definida como a soma das áreas de todas as partições internas e fechamentos externos, abrigados da radiação solar direta, multiplicados por um coeficiente que depende da relação entre a massa e a área do fechamento e da resistência térmica de sua camada mais interna (no caso de paredes externas e piso). Na latitude de Porto Alegre, AROZTEGUI e BRIZOLARA (1980, p. 10) consideram os fechamentos voltados a Sudeste e Sul-Sudoeste como abrigados do sol, ou fechamentos que possuam uma camada de isolamento térmico voltada ao exterior. Para encontrar a categoria de inércia térmica da edificação, determina-se o coeficiente de inércia  $coef_{inércia}$  dos fechamentos a partir da resistência térmica média dos revestimentos internos dos fechamentos (paredes externas voltadas a Sul e Sul-Sudoeste, paredes internas e pisos) e de partições internas e a razão entre a massa e área dos mesmos, com o auxílio de valores tabelados. Os pesos dados às superfícies traduzem sua capacidade em absorver e transferir este calor para o interior do fechamento. Este, por sua vez, quanto maior a relação massa/área, maior capacidade apresenta de inércia térmica (RCCTE, 2005). A superfície pesada equivalente  $SPE$  será dada por:

$$SPE = A_{total} \times coef_{inércia} \quad [Eq. 5]$$

Onde:

$SPE$  é a superfície pesada equivalente, em  $m^2$ ,

$A_{total}$  é a área total dos fechamentos (paredes externas) e partições internas, em  $m^2$ ,

$coef_{inércia}$  é o coeficiente de inércia obtido de tabela, grandeza adimensional.

O coeficiente de superfície pesada equivalente  $coef_{SPE}$  será dado por:

$$coef_{SPE} = \frac{SPE}{A_{edificação}} \quad [Eq. 6]$$

Onde:

$coef_{SPE}$  é o coeficiente de superfície equivalente pesada, grandeza adimensional,

$SPE$  é a superfície equivalente pesada, em  $m^2$ ,

$A_{edif}$  é a área da edificação delimitada pelo perímetro externo de paredes, em  $m^2$ .

A partir do valor do coeficiente de superfície pesada equivalente  $coef_{SPE}$ , pode-se classificar a inércia térmica da edificação através do uso de tabelas. A redução do coeficiente de superfície pesada equivalente  $coef_{SPE}$  implica uma maior sensibilidade da edificação às variações de temperatura do ar externo, prejudicando, em alguns casos, o conforto térmico, pois reflete-se em variações de temperatura do ar interno mais acentuadas (AROZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 22). Um método similar ao exposto é adotado pelas normas portuguesas (RCCTE, 2005) para caracterização da inércia térmica de edificações.

## 2.5 Efusividade térmica do ambiente

Para um ambiente, segundo Liman and Allard (apud GOULART, 2004, p. 17), a efusividade térmica  $ef$  pode ser calculada a partir da média ponderada da efusividade térmica  $ef_i$  de cada superfície que delimita o ambiente (paredes, piso e forro) em relação às áreas  $S_i$  de cada uma delas. Ou seja, ela é característica dos revestimentos dos fechamentos que delimitam o ambiente. A efusividade térmica de um ambiente  $ef_{amb}$  é dada por:

$$ef_{amb} = \frac{\sum_i (S_i \times ef_i)}{\sum_i S_i} \quad [\text{Eq. 7}]$$

Onde:

$ef_{amb}$  é a efusividade térmica média do ambiente, em  $\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \text{ } ^\circ C}$ ,

$S_i$  é a área de cada superfície que delimitam o ambiente  $i$ , em  $m^2$ ,

$ef_i$  é a efusividade térmica da camada mais externa da superfície  $i$ , em  $\frac{W s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \text{ } ^\circ C}$ .

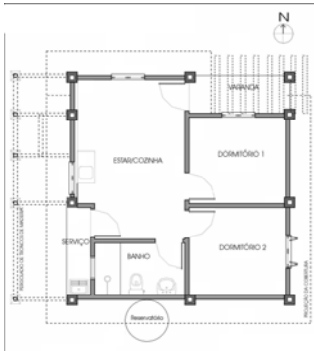

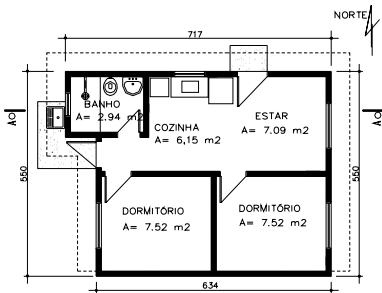
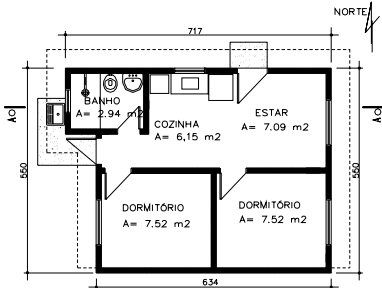
Segundo GOULART (2004, p. 16), o conceito de efusividade térmica está relacionado à reação dos primeiros centímetros das seções das superfícies internas de um ambiente aos ganhos internos de calor e seu subsequente efeito sobre a temperatura do ar interno  $t_i$ . A efusividade térmica  $ef$  caracteriza a capacidade de um determinado material em transmitir calor através do fenômeno de condução (FANGER, 1970, p. 102), podendo ser utilizado como medida da inércia térmica de um ambiente, pois representa a facilidade com que o calor pode ser absorvido pelos fechamentos que o delimitam. Esta propriedade permite a análise de ambientes onde há ganhos de calor, tais como radiação solar penetrando por uma janela, ventilação natural ou fontes internas de calor (GIVONI, 1981, p. 115). Valores de referência para análise são indicados por LIMAN e ALLARD (apud GOULART, 2004, p. 53). Valores de efusividade térmica média  $\overline{ef}$  em torno de 300 são associados a edificações de inércia térmica leve e valores em torno de 1.500, inércia térmica forte.

A proporção da parede Norte a Nordeste em relação à envolvente vertical total da edificação é expressa através de um coeficiente cujo valor deve ser igual ou maior a 0,25, pois, para uma edificação de projeção em planta exatamente quadrada, a relação parede norte ou nordeste e área total da envolvente vertical é igual a esse valor. Quanto maior a área da parede voltada a Norte ou Nordeste (indicando uma planta retangular com a maior face voltada para as orientações preferenciais) maior será esse coeficiente. Para o período de inverno, a parede Norte ou Nordeste, mais exposta à radiação solar, é importante nos ganhos de calor, situação proposta pela ABNT (2005), como aquecimentos solar passivo, portanto é desejável que haja paredes maiores e aberturas voltadas para esta direção. Não se considera a orientação Noroeste, pois, neste caso, prejudicam-se as condições de verão, aumentando ganhos de calor por este fechamento. Além disso, o sombreamento da parede Oeste ou Noroeste, para a latitude de Porto Alegre, mostra-se desejável em função de ser uma das orientações mais expostas à radiação solar no verão (ARZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 6). Estes fechamentos, se puderem de área reduzida e/ou abundantemente sombreados no período quente do ano, podem diminuir a carga térmica sobre os mesmos. Também é desejável que este sombreamento não esteja presente no inverno, para aumentar o ganho de calor através dos mesmos, o que é desejável nestas condições.

### 3. RESULTADOS OBTIDOS PARA OS PROJETOS SELECIONADOS

A tabela 2 apresenta sucintamente as características físicas dos quatro projetos considerados na análise. A tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os parâmetros térmicos e características físicas qualitativas desejáveis, segundo os requisitos assumidos para fins de análise.

**Tabela 2. Características físicas dos projetos submetidos à análise com o método proposto**

projeto	elemento	características físicas
<p>projeto 1 (48m<sup>2</sup>)</p> 	paredes	alvenaria de tijolos maciços de 0,13m, assentados com argamassa, rebocados internamente na face Sul, rebocados externamente nas faces Oeste e Sul, com espessura diferenciada na face Oeste, na sala e cozinha, até a altura de 1,10 m; parede oeste com possibilidade de sombreamento no verão, pintura em cores claras
	cobertura/piso	telha cerâmica com lâmina de alumínio de baixa emissividade térmica, forro em madeira com 1mm de espessura / placas cerâmicas
	aberturas	janelas altas (junto ao forro) na sala/cozinha e dormitório norte, tipo maxim-ar na sala/cozinha, dormitório norte e leste com janela de correr, com venezianas
<p>projeto 2 (56m<sup>2</sup>)</p> 	paredes	alvenaria de tijolos maciços, argamassa de revestimento em ambos os lados, espessura 0,25m, pintura externa na cor branca; parede orientada a Nordeste com alvenaria de tijolos maciços aparentes, espessura 0,23m, sem pintura externa
	cobertura/piso	telha de fibrocimento de 7 mm, forro em madeira acompanhando a inclinação da cobertura com 1 mm de espessura / dormitórios e sala de estar revestidos de tacos de madeira, cozinha, banheiro e área de serviço revestidos com cerâmica
	aberturas	janelas chapa metálica e vidro simples, com obscurecimento, pintura em cor escura; portas em madeira, pintura em cor escura
<p>projeto 3 (36m<sup>2</sup>)</p> 	paredes	tijolos furados, com argamassa de revestimento externo e argamassa de assentamento de espessura 0,01 m, espessura 0,14m, pintura externa de cor clara
	cobertura/piso	telha de fibrocimento de 5mm, forro em madeira acompanhando a inclinação da cobertura com 0,01m de espessura / acabamento em argamassa de regularização alisada
	aberturas	janelas em chapa metálica, tipo de correr, com veneziana e vidro simples, com pintura antiferrugem escura; portas em chapa metálica, com báculos em 50% da área da abertura, com vidro simples, com pintura antiferrugem escura
<p>projeto 4 (36m<sup>2</sup>)</p> 	paredes	placas de concreto maciço pré-moldadas, espessura 0,005 m, pintura externa de cor clara
	cobertura/piso	telha de fibrocimento de 5 mm, forro em madeira acompanhando a inclinação da cobertura com 5 mm de espessura / acabamento em argamassa de regularização alisada
	aberturas	janelas em chapa metálica, tipo de correr, com veneziana e vidro simples, com pintura escura; portas em chapa metálica, com báculos em 50% da área da abertura, com vidro simples, com pintura escura

**Tabela 3. Valores dos parâmetros térmicos e características desejáveis para os 4 projetos**

parâmetros térmicos	projeto 1	projeto 2	projeto 3	projeto 4
coeficiente volumétrico global de perda de calor $GV_{\text{inverno}} \left( \frac{W}{m^3 \cdot C} \right)$	2,9	3,3	3,8	5,3
coeficiente volumétrico global de ganho de calor $GV_{\text{verão}} \left( \frac{W}{m^3 \cdot C} \right)$	14,7	16,1	17,1	18,8
condensação superficial sobre fechamentos em regime permanente $t_{si} \times t_{orvalho}$	sobre vigas e janelas sala e cozinha e banheiro	sobre janelas da cozinha e banheiro	sobre vigas, portas e janelas sem venezianas,	sobre portas e janelas sem venezianas
assimetria da radiação térmica $\Delta T_{rp}$	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério
coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia $coef_{SPE}$	1,85 (média)	1,62 (média)	1,97 (média)	1,00 (média)
efusividade térmica média do ambiente $ef_{amb} \left( \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 \cdot C} \right)$	1.282	977	1.235	2.040
área da parede norte $\times$ área da envolvente	0,37	0,23	0,30	0,30
disposição das aberturas em relação aos ventos Leste ou Sudeste	desfavorável	favorável	favorável	favorável
sombreamento da parede oeste ou noroeste	sim	não	não	não

#### 4. DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A partir dos resultados obtidos, os projetos 1 e 2, referentes a habitações melhoradas em relação à prática ordinária, apresentam coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor menores do que aqueles alcançados pelos projetos 3 e 4. O projeto 4, o qual, segundo os órgãos públicos, é uma solução não aconselhável (devido às características físicas e térmicas dos fechamentos opacos), apresentou os maiores coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor, resultado esperado. Em relação à possibilidade de condensação sobre paredes, janelas e forro, verifica-se, para os quatro projetos, o fenômeno sobre as aberturas de pouca espessura, principalmente sobre janelas sem proteção opaca. Quanto à assimetria da radiação térmica, todos os projetos analisados não satisfazem o critério para a cobertura, para a situação de verão, indicando que este elemento da envolvente da edificação deve receber maior cuidado quando à definição de suas camadas e materiais, o que nem sempre acontece. O coeficiente de superfície pesada equivalente indica uma inércia térmica média para as quatro habitações, com diferença de valores mais significativa para o projeto 4, cuja envolvente e partições internas são compostas de placas de concreto, o que reproduz o resultado esperado. Já a efusividade térmica média dos ambientes indica uma inércia forte, segundo os valores apontados pela bibliografia consultada. Também reproduz um resultado esperado, uma vez que o projeto 2 apresentou



maior efusividade, ou seja, maior capacidade de absorver o calor disponível no interior da edificação e transmiti-lo para as camadas mais profundas dos fechamentos. Em relação à configuração geométrica dos projetos, o projeto 3 otimiza a orientação norte, porém não possui aberturas significativas para captação dos ventos de verão (a Leste e Sudeste), apresentando dispositivos que permitem o sombreamento da parede oeste nesta situação. Considerando-se um desempenho geral dos quatro projetos analisados, o projeto 3 apresentou melhor desempenho (coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor, área da parede norte × área da envolvente e sombreamento da parede oeste). Em seguida, o melhor desempenho é atingido pelo projeto 4 (coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor). O projeto 1 apresenta melhores coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor em relação ao projeto 2, que apresenta pior desempenho.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação de desempenho térmico para habitações de interesse social, no Brasil, torna-se uma tarefa difícil, pois, muitas vezes, estratégias que melhorariam o desempenho de tais edificações implicam em custos adicionais. Como o déficit habitacional, no Brasil, é muito grande, os custos da habitação tornam-se um dos empecilhos mais graves para sua qualidade. Além disso, considerando-se um clima variável como o de Porto Alegre, com variações significativas de temperatura do ar e umidade do ar durante o ano e até mesmo em curtos períodos de tempo, a busca por uma solução projetual adequada é muito difícil. Soluções que resolveriam a condição de frio podem ir de encontro às soluções que se destinam às condições de calor. Este trabalho não é conclusivo e busca uma pequena contribuição à tarefa de escolher e definir soluções projetuais mais adequadas ao clima e às necessidades térmicas de seus usuários, através de um método que pode ser utilizado como ferramenta de avaliação no processo de tomada de decisão durante a concepção desse tipo de habitação. Muitos esforços ainda devem ser feitos na melhoria das condições de conforto térmico das populações que estão à margem do mercado de consumo de soluções artificiais de condicionamento artificial do ar. Mesmo aqueles que possam dispor de tais sistemas, a minimização do consumo energético dos edifícios em geral, passa por uma avaliação ainda em nível de processo projetual, sendo importante o uso de métodos de avaliação de desempenho térmico acessíveis ao máximo de agentes envolvidos no processo de tomada de decisão.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT (2005) *NBR 15220: Desempenho térmico de edificações* Partes 1, 2 e 3. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- ABNT (2004). *Projeto 02:136.01.001. Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos*. Partes 1, 4 e 5. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro.
- AROSZTEGUI, J. M.; BRIZOLARA, A. (1980). *Abordagem do estabelecimento de exigências de desempenho térmico das paredes feitas de concreto de diversos tipos, quando aplicadas à habitação popular*. PPGEC / UFRGS. Porto Alegre.
- ASHRAE (2005) *Handbook of fundamentals*. American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditioning Engineers. New York.
- FROTA, Anésia Barros; SCHIFFER, Sueli Ramos (1995) *Manual de conforto térmico*. Studio Nobel .São Paulo. 2ª ed.
- GIVONI, Baruch (1981) *Man, climate and architecture*. Applied Science. London.
- GOULART, Solange (2004) *Thermal inertia and natural ventilation: optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*. Thesis. Architectural Association School of Architecture Graduate School. London.
- ISO (2001) ISO 13788: *Hygrothermal performance of building components and building elements: internal surface temperature to avoid critical surface humidity and interstitial condensation: calculation methods*. First Edition. International Organization for Standardization. Geneva.
- ISO (1996) ISO 7726: *Ergonomics of the thermal environment: instruments for measuring physical quantities*. International Organization for Standardization. Geneva.

- MARKUS, T. A.; MORRIS, E. N. (1980) *Buildings, climate and energy*. Pitman. London.
- RCCTE (2006) *Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios*. Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior nos Edifícios. Portugal.. Disponível em: <<http://paginas.fe.up.pt/~VPfreita/RCCTE200502.pdf>>. Obtido em: maio 2006.
- TURIK, Nelson (1988) *Estabelecimento de exigências de desempenho higrotérmico da envolvente de habitações populares térreas*. Dissertação. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.