

## PROPOSTA DE MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO PARA HABITAÇÕES UNIFAMILIARES DE INTERESSE SOCIAL

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

(1) Departamento de Arquitetura e Urbanismo – Centro de Tecnologia – Universidade Federal de Santa Maria, Brasil – e-mail: grigoletti@smail.ufsm.br

(2) Núcleo Orientado para a Inovação da Edificação – Escola de Engenharia – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil – e-mail: sattler@ufrgs.br

### RESUMO

**Proposta:** o artigo apresenta uma proposta de método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre, RS, que visa à avaliação global da edificação através de requisitos e critérios que complementam aqueles propostos pelas normas desenvolvidas pela ABNT (2004,2005) e que sejam de fácil aplicação pelos envolvidos no processo de produção de habitações de interesse social. **Método de pesquisa/Abordagens:** consideram-se parâmetros térmicos obtidos da literatura e da análise de quatro habitações construídas em Porto Alegre, duas submetidas a medições *in loco* e duas consideradas como referência para habitação de interesse social para as condições econômicas e culturais do público-alvo, segundo agentes ligados ao setor atuando nessa cidade. O método foi submetido à opinião de agentes, envolvidos com o financiamento, projeto, execução, fiscalização e avaliação de habitações de interesse social em Porto Alegre, e a especialistas da área de conforto térmico atuando em instituições de ensino e pesquisa nacionais. **Resultados:** são indicados três graus de qualidade que podem ser atingidos pelas habitações, de acordo com a disponibilidade de recursos para a construção das mesmas. **Contribuições/Originalidade:** o método pode ser uma ferramenta auxiliar na tomada de decisão no processo de projeto, aprovação e avaliação de habitações de interesse social pelos agentes públicos ligados ao setor.

Palavras-chave: desempenho higrotérmico; habitação de interesse social; avaliação de desempenho.

### ABSTRACT

**Propose:** This paper presents a thermal performance evaluation method for low cost single-family one-floor housing considering the climatic conditions of Porto Alegre, Brazil. The method aims toward a global evaluation of housing through requirements and criteria that complement the standards approved recently and it considers mathematical procedures that can be easily applied by government agents involved in this task. **Methods:** Thermal parameters such as global flow heat coefficients, thermal inertia, obtained from literature, are proposed. Four low cost houses built in Porto Alegre, considered to be references according to social and economic local reality, were evaluated through the method. Government agents involved in the project, design, financing, building, overseeing and evaluation of low cost housing in Porto Alegre and experts from research institutes in Brazil also gave their opinions of the method. **Findings:** Three degrees of performance for housing, in accordance with availability of government resources, are defined. **Originality/value:** The method can be used as an evaluation of possible solutions, thereby aiding decision makers.

Keywords: hygrothermal performance; low cost housing; performance evaluation.

## 1 INTRODUÇÃO

As simulações constituem uma importante ferramenta na fase de concepção da edificação, pois permitem testar soluções e verificar a eficiência da mesma antes de sua construção. Esta versatilidade não é contemplada por outras formas de avaliação, tal como medições efetuadas em protótipos ou habitações já construídas. Estas últimas ainda dependem das simulações, uma vez que o protótipo ou habitação pode ser construído em locais específicos, e pode não estar exposta a condições externas (mesoclima) e internas (ocupação pelo usuário) diferentes de uma situação real posterior.

No entanto, a complexidade dos métodos de simulação pode ser uma dificuldade para a melhoria do desempenho térmico das habitações de interesse social. Esta complexidade faz com que apenas especialistas na área de conforto ambiental de edificações usem tais instrumentos. O resultado é que grande parte das construções apresenta desempenho inadequado, contribuindo para a baixa qualidade de vida das populações que não dispõem de recursos para adequar suas moradias a condições de conforto ambiental através do uso de sistemas ativos de condicionamento do ar, tal como acontece com as classes média e alta. No Brasil, mesmo edificações voltadas à população mais abastada apresentam problemas de desempenho térmico e não contemplam estratégias bioclimáticas para a redução de consumo de energia artificial.

O artigo apresenta um conjunto de procedimentos, baseados em modelos físicos simplificados, para avaliação de desempenho higrotérmico que considere o comportamento da edificação como um todo e que pode ser aplicado ainda na fase de projeto da mesma. Quatro habitações térreas unifamiliares de interesse social construídas em Porto Alegre são selecionadas, servindo como referências iniciais para a definição de requisitos e critérios.

Propõe-se um conjunto de parâmetros térmicos para avaliação de desempenho higrotérmico, aplicáveis à realidade brasileira e ao objeto de estudo, baseado em modelos físicos indicados pela literatura especializada. As quatro habitações desenvolvidas para as condições climáticas de Porto Alegre, são submetidas à análise através desses parâmetros. As duas primeiras habitações foram projetadas por uma empresa que atua na área de projeto e execução de habitações de interesse social (projeto 1) e por uma instituição de pesquisa (projeto 2), e foram submetidas a medições de variáveis térmicas *in loco* por BECKER (1992) e MORELLO (2005). A análise do comportamento térmico dessas duas habitações já foram publicadas por BECKER (1992), MORELLO (2005) e MORELLO, GRIGOLETTI & SATTLER (2006), consideradas soluções melhoradas em relação à prática local. As duas outras habitações foram obtidas junto a órgãos públicos municipais e estaduais, indicadas como soluções favorável (projeto 3) e desfavorável (projeto 4). A partir da análise do comportamento simulado para os quatro projetos através dos parâmetros térmicos selecionados e da análise do comportamento térmico medido *in loco* para os projetos 1 e 2, foram propostos valores de referência iniciais para os parâmetros térmicos escolhidos (requisitos e critérios).

Esse conjunto de parâmetros e critérios foi submetido à apreciação de sete agentes envolvidos no financiamento, projeto, construção e fiscalização de habitações de interesse social em Porto Alegre. Também foram consultados seis especialistas da área de conforto ambiental térmico de edificações, atuando em instituições de ensino e pesquisa no Brasil, a fim de averiguar a adequação dos requisitos e critérios propostos. Os projetos analisados servem como referência para os níveis propostos para fins de avaliação de outras soluções compatíveis com a prática local.

## 2 PARÂMETROS TÉRMICOS CONSIDERADOS NO MÉTODO

### 2.1 Variáveis climáticas, variáveis internas e condições de conforto

As variáveis climáticas e variáveis internas assumidas constituem-se em temperaturas médias do ar externo e suas variações, bem como a umidade relativa do ar e a intensidade de radiação solar global

por orientação solar (AROTZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 3). As exigências relativas à temperatura do ar externo,  $t_e$ , e à umidade relativa do ar,  $UR$ , para inverno e verão, são apresentadas na *tabela 1*. As temperaturas do ar interno de cálculo para a situação de inverno e verão são iguais aos limites inferior e superior da zona de conforto estabelecidas por GIVONI (1992). Para a situação de inverno, considera-se o dia típico de projeto com nível 10%, conforme GOULART (1997, p. 193). Para a situação de verão, considera-se, para temperatura do ar externo,  $t_e$ , a temperatura ar-sol,  $T_{ar-sol}$ , conforme AROZTEGUI (1980, p. 14).

**Tabela 1. Exigências higrotérmicas de inverno e verão**

<b>exigências de inverno</b>
temperatura do ar externo de cálculo: $t_e = 7,5^\circ\text{C}$
amplitude típica da onda de temperatura do ar externo dos dias considerados frios: 10,0K
umidade relativa média do ar dos dias considerados frios: $UR = 95,0\%$
temperatura do ar interno de cálculo: $t_i = 18,0^\circ\text{C}$
<b>exigências de verão</b>
temperatura máxima do ar externo de base: $33,5^\circ\text{C}$
temperatura mínima do ar externo de base: $23,0^\circ\text{C}$
umidade relativa do ar concomitante à temperatura do ar externo de base máxima: $UR = 72,0\%$
temperatura do ar interno de cálculo: $t_i = 29,0^\circ\text{C}$
(Fonte: AROZTEGUI e BRIZOLARA, 1980, p. 3, GIVONI, 1992, GOULART, 1997, p. 193)

As condições de conforto térmico baseiam-se nos estudos efetuados por GIVONI (1992) que estipula os valores de temperatura mínima do ar interno para a situação de inverno igual a  $18,0^\circ\text{C}$ , temperatura máxima do ar interno para a situação de verão igual a  $29,0^\circ\text{C}$  e umidade relativa do ar no inverno e no verão: nunca maior que 80,0%.

## 2.2 Resistência térmica, transmitância térmica, atraso térmico e Fator de Calor Solar

Os parâmetros térmicos resistência térmica total,  $R_T$ , transmitância térmica,  $U$ , atraso térmico e fator de calor solar,  $FCS$ , seguem os procedimentos descritos pela ABNT (2005b).

## 2.3 Coeficiente de amortecimento

O coeficiente de amortecimento,  $\mu$ , é a relação entre a amplitude máxima atingida pela temperatura superficial interna de um fechamento (que separa um meio interior de um meio exterior) e a amplitude máxima da temperatura do ar externo (GIVONI, 1981, p.137). Para o coeficiente de amortecimento  $\mu$  assume-se (GIVONI, 1981, p. 138, p. 414):

$$\mu = e^{-0,1309 \times R_T \times \sqrt{B_1 + B_2}} \quad [\text{eq. 1}]$$

Os coeficientes  $B_1$  e  $B_2$  são aqueles definidos pela ABNT (2005b).

## 2.4 Coeficientes volumétricos globais de perda e ganho de calor

O coeficiente volumétrico global de perda de calor,  $GV_{inverno}$ , expresso em  $\frac{W}{m^3 \cdot K}$ , é, por definição, a razão entre a taxa de fluxo total de calor,  $Q$ , que atravessa todos os fechamentos da edificação e o volume total delimitado pela sua envolvente, pela diferença de temperatura entre o ar interno e externo (GIVONI, 1981, p. 331).

$$GV_{inverno} = \frac{Q_T}{V \times (t_e - t_i)} \quad [\text{eq. 2}]$$

Pode-se decompor  $GV_{inverno}$  em cada uma das contribuições diferentes que promovem a transferência de calor do interior para o exterior da edificação, na situação de inverno: renovação do ar interior através de infiltrações (ventilação), perdas térmicas através de fechamentos opacos (paredes, coberturas, pisos, portas, janelas com proteção opaca, etc.) e perdas térmicas através de fechamentos transparentes (superfícies envidraçadas, transparentes ou translúcidas).

O coeficiente volumétrico global de ganho de calor,  $GV_{verão}$ , é definido de forma similar ao  $GV_{inverno}$ , considerando o fluxo máximo de calor,  $Q_{máx}$ , que é encontrado a partir do horário correspondente à maior temperatura ar-sol,  $T_{ar-sol}$ , de acordo com a orientação solar, para cada componente da envolvente da edificação (GRIGOLETTI, 2007; GRIGOLETTI et al., 2006).

## 2.5 Possibilidade de condensação sobre paredes e coberturas

Para a análise da possibilidade de haver condensação sobre as superfícies internas da edificação, paredes e forro, situação de inverno, à noite, em regime permanente, para condições de temperatura do ar interno, temperatura do ar externo e umidade relativa do ar pré-definidas, considera-se a temperatura superficial interna,  $t_{si}$ , correspondente a estes elementos. Os valores assumidos para temperatura do ar interno  $t_i$ , temperatura mínima do ar externo,  $t_{emin}$ , e umidade relativa do ar externo,  $UR$ , são respectivamente  $18,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $7,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $95,0\%$ .

## 2.6 Assimetria da radiação térmica

O efeito de superfícies frias sobre a homogeneidade do conforto (diferenças de temperaturas superficiais internas,  $t_{si}$ , responsáveis pelas trocas térmicas por radiação) pode ser analisado a partir do conceito de temperatura radiante plana,  $T_{rp}$ . A temperatura radiante plana,  $T_{rp}$ , segundo a ABNT (2005a), 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 adequado 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.

A *International Organization for Standardization* (ISO, 1996), através da norma ISO 7726, descreve o método de cálculo da temperatura radiante plana,  $T_{rp}$ . A temperatura radiante plana é dada em função das temperaturas superficiais internas,  $t_{si}$ , e dos fatores de forma correspondentes a cada superfície  $i$ :

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

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 segundo normas definidas em ISO (1996, p. 45).

Para fins de análise indica-se tomar, para condições de inverno, os ambientes que possuam menores temperaturas superficiais internas 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. Para condições de verão, a seleção dos ambientes deve satisfazer a condição de possuírem paredes externas voltadas a Oeste, Noroeste ou Sudoeste, pois estes fechamentos apresentam maiores temperaturas superficiais durante o dia na situação de calor. Além da análise de ambientes que satisfaçam as condições acima, a análise do efeito do forro (cobertura) também deve ser efetuada.

O valor da assimetria da radiação térmica,  $\Delta T_{rp}$ , segundo recomendações da ASHRAE (2005, p.8.13), deve ser no máximo igual a  $9\text{ }^{\circ}\text{C}$  para forros ou coberturas quentes, considerando  $20,0\%$  de pessoas insatisfeitas. Este valor é mais rigoroso do que aqueles correspondentes às paredes, cujo valor máximo é de aproximadamente  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$ , também com  $20,0\%$  de insatisfeitos.

## 2.7 Categoria de inércia

AROTEGUI 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, AROTEGUI 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 destes (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. O coeficiente de superfície pesada equivalente,  $coef_{SPE}$ , será dado através da análise destes valores. A partir do valor do coeficiente de superfície pesada equivalente,  $coef_{SPE}$ , pode-se classificar a inércia térmica da edificação em  *muito fraca, fraca, média e forte* (FROTA e SCHIFFER, 1995, p. 50).

## 2.8 Efusividade térmica de ambientes

Para um ambiente, segundo 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. 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).

Além dos parâmetros térmicos apresentados acima, índices que representam características geométricas dos projetos são considerados. A taxa área da cobertura voltada a Sul ou Sudeste  $\times$  área total da cobertura,  $coef_{coberturaS}$ , indica a orientação solar preferencial da cobertura para a situação de verão, quando o objetivo é reduzir os ganhos térmicos por este fechamento. A taxa área da parede voltada a Norte ou Nordeste  $\times$  área da envolvente vertical,  $coef_{paredeN}$ , onde área da envolvente vertical é entendida como área total da envolvente da edificação, exceto o piso e cobertura, indica a importância da parede voltada a Norte ou a Nordeste nas trocas térmicas entre edificação e meio que a circunda.

# 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

## 3.1 Aplicação dos parâmetros

Os parâmetros térmicos para os quatro projetos são apresentados na *tabela 2*.

Segundo resultados obtidos, a assimetria da radiação térmica e a efusividade térmica foram pouco indicativas dos desempenhos observados para os projetos em questão. Os parâmetros térmicos atraso térmico e coeficiente de amortecimento reproduzem as mesmas características dos fechamentos, de acordo com o modelo adotado, podendo-se assumir apenas um deles como representativo da inércia térmica da edificação.

**Tabela 2. Resultados obtidos para os quatro projetos analisados**

parâmetros térmicos	projeto 1	projeto 2	projeto 3	projeto 4
coeficiente volumétrico global de perda de calor $GV_{\text{inverno}}$	$2,99 \frac{W}{m^3 K}$	$2,80 \frac{W}{m^3 K}$	$3,78 \frac{W}{m^3 K}$	$5,29 \frac{W}{m^3 K}$
condensação superficial sobre fechamentos em regime permanente $t_{si} \times t_{orvalho}$	sobre janelas da cozinha e banheiro	sobre vigas e janelas sala e cozinha e banheiro	sobre vigas, portas e janelas, com exceção de partes envidraçadas com veneziana	sobre vigas, portas e janelas, com exceção de partes envidraçadas com veneziana
assimetria da radiação térmica $\Delta T_{rp}$	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério	cobertura não satisfaz critério
coeficiente volumétrico global de ganho de calor $GV_{\text{verão}}$	$16,11 \frac{W}{m^3 K}$	$14,68 \frac{W}{m^3 K}$	$17,14 \frac{W}{m^3 K}$	$18,76 \frac{W}{m^3 K}$
coeficiente de superfície pesada equivalente ou categoria de inércia $coef_{SPE}$	média	média	média	média
efusividade térmica média do ambiente $ef_{amb}$	$977 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$	$1.282 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$	$1.235 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$	$2.040 \frac{W \times s^{\frac{1}{2}}}{m^2 K}$
área da cobertura sul $\times$ área total da cobertura $coef_{coberturaS}$	0,54	0,88	sem orientação sugerida	sem orientação sugerida
área da parede norte $\times$ área da envolvente $coef_{paredeN}$	0,23	0,37	0,30	0,30

### 3.2 Medições in loco

Em relação a análise das condições climáticas de Porto Alegre e resultados de medições *in loco* de BECKER (1992) e MORELLO (2005), conclui-se que a frequência de dias com amplitudes superiores a  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  implicam a possibilidade de exploração da inércia térmica da edificação. Na situação de verão, temperatura abaixo dos  $29\text{ }^{\circ}\text{C}$  a partir das 19 horas, com defasagem aproximada de 4 horas em relação à maior temperatura registrada durante o dia, sugere um atraso térmico mínimo de 4 horas para a edificação. Necessidade de análises do comportamento térmico de edificações a partir de medições *in loco* devem abranger no mínimo um período de sete dias consecutivos a fim de possibilitar a avaliação frente a condições de frentes frias e ondas de calor, típicas para a região de Porto Alegre. Devido a importância da configuração da cobertura sugere-se valor mínimo de transmitância térmica para este fechamento na situação de verão. É importante a captação de radiação solar na situação de inverno através de aberturas voltadas ao Norte e inércia térmica da edificação como estratégias de aquecimento solar passivo. Uma configuração geral da edificação que prioriza a orientação norte para captação de radiação solar indica a eficiência desta orientação para aquecimento solar passivo

### 3.3 Apreciação de agentes e especialistas

A partir das entrevistas encaminhadas com os agentes que atuam no setor público, conclui-se que os mesmos não utilizam nenhum método explícito para avaliação de desempenho higrotérmico das edificações, seja na fase de projeto, seja avaliação da habitação construída. No entanto, um conjunto de prescrições qualitativas é seguido no momento da concepção de projeto ou na tomada de decisão entre uma ou outra solução. As mesmas são baseadas na experiência desses agentes ao longo de sua carreira profissional e englobam: número maior de camadas e a adoção de espessura mínima, beirais mais amplos que sombreiem paredes, proteções opacas para fechamentos transparentes, a orientação

solar da edificação, ventilação de cobertura, ventilação cruzada e vegetação no entorno imediato à edificação. A adoção de padrões consagrados pelo reconhecimento de seu desempenho térmico ao longo do tempo tem sido usada para avaliar soluções consideradas inovadoras. Os agentes também indicaram a necessidade da proposta de níveis de desempenho, conforme o caráter emergencial ou não do suprimento da habitação, tal como proposto em ABNT (2004). Em sua apreciação, os agentes consideraram desejável a existência de um método de avaliação, mas não se aprofundaram na análise crítica do método apresentado.

De acordo com os resultados obtidos junto aos agentes, diretrizes qualitativas são importantes, tais como absorvância de superfícies (relacionados à cor dos fechamentos); posição de aberturas e dispositivos de sombreamento para aberturas. A incorporação, sempre que possível, de normas urbanísticas para implantação de loteamentos também é um fator relevante para atingir melhor qualidade das habitações de interesse social. Finalmente, é constatada a importância de se avaliar as habitações segundo faixas de desempenho, conforme recursos disponíveis.

Os principais problemas verificados pelos especialistas estão ligados às condições de temperatura do ar interno para situação de inverno (durante a noite) e verão (durante o dia). Os problemas projetuais dizem respeito à envolvente da edificação, fechamentos opacos e suas camadas e respectivas espessuras, elementos mais facilmente ajustáveis da edificação. Outros problemas são relativos à configuração das aberturas para garantir a ventilação.

De acordo com os especialistas consultados, diretrizes ligadas às estratégias de aquecimento solar passivo e massa térmica para aquecimento são importantes para situação de inverno. Para situação de verão, estratégias que privilegiem a ventilação natural devem ser priorizadas. A análise da assimetria da radiação térmica não é considerada importante pelos especialistas. Necessidade de analisar orientação solar da edificação junto com a área de implantação da mesma para verificação da melhor orientação para captação de radiação solar. Taxas ligadas à configuração da cobertura não são consideradas importantes.

#### **4 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO HIGROTÉRMICO**

A partir das análises efetuadas para os projetos selecionados, medições in loco e apreciação de agentes e especialistas, alguns dos parâmetros inicialmente propostos foram descartados, permanecendo aqueles indicados na *tabela 3*. Os parâmetros térmicos estão organizados em quatro grupos, referentes: à edificação como um todo, à cobertura, às paredes e aos fechamentos transparentes.

Os valores de referência dos parâmetros térmicos são baseados ou na bibliografia pesquisada, ou nos valores alcançados pelos projetos selecionados. O desempenho higrotérmico mínimo a ser atingido é definido pelo desempenho atingido pelo projeto 3, representativo da prática local.

Os coeficientes volumétricos globais de perdas e ganhos de calor  $GV_{inverno}$  e  $GV_{verão}$  atingidos pelos quatro projetos selecionados dão origem a três níveis possíveis de avaliação de desempenho térmico: nível 1 ( $N1$ ), associado ao projeto 3, nível 2 ( $N2$ ), projetos 1 e 2, e nível 3 ( $N3$ ), projeto 4.

Os valores de ponderação dos critérios são definidos em função da opinião dos especialistas e de acordo com a carta bioclimática para Porto Alegre. Recebem maiores pesos os critérios voltados à amenização das condições de frio relacionados às estratégias de massa térmica para aquecimento e aquecimento solar passivo. Para as condições de calor, critérios que promovem a ventilação natural são considerados como mais importantes. Seguem critérios ligados ao controle da incidência de radiação solar para o interior da edificação na situação de verão. Em menor grau, são considerados os critérios restantes e ligados à edificação como um todo e a possibilidade de sombreamento da parede oeste apenas no verão. Os critérios ligados ao comportamento da cobertura no inverno e verão seguem na ordem de ponderação. Os demais critérios recebem menor ponderação. Os pesos variam de 1 a 5.

**Tabela 3. Requisitos e critérios para avaliação de desempenho higratérmico em Porto Alegre**

requisito/parâmetro ou diretriz		critério	ponderação
<b>edificação</b>			
1	redução de perdas térmicas no inverno / coeficiente volumétrico global de perda de calor	$3,1 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{inverno}} \leq 4,0 \frac{W}{m^3 K}$	3
		$2,0 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{inverno}} \leq 3,0 \frac{W}{m^3 K}$	4
		$GV_{\text{inverno}} < 2,0 \frac{W}{m^3 K}$	5
2	redução de ganhos térmicos no verão / coeficiente volumétrico global de ganho de calor	$16,5 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{verão}} \leq 18 \frac{W}{m^3 K}$	3
		$14,5 \frac{W}{m^3 K} \leq GV_{\text{verão}} \leq 16,4 \frac{W}{m^3 K}$	4
		$GV_{\text{verão}} \leq 14,5 \frac{W}{m^3 K}$	5
3	inércia térmica da edificação para aquecimento e resfriamento / coeficiente de superfície pesada equivalente	$\text{coef}_{\text{SPE}} = 1,5$	5
4	captação de radiação solar para aquecimento	fechamentos transparentes voltados para Nordeste a Noroeste	5
total parcial			N1 16
			N2 18
			N3 20
<b>cobertura</b>			
5	redução de perdas térmicas no inverno / transmitância térmica situação de inverno	$U_{\text{cobertura}} \leq 2,80 \frac{W}{m^2 K}$	2
6	inércia térmica da edificação / atraso térmico inverno	$\phi \geq 1,1 \text{ h}$	5
7	inércia térmica da edificação / atraso térmico verão	$\phi \geq 1,3 \text{ h}$	2
8	redução de ganhos térmicos no verão / fator de calor solar verão	$FCS \leq 4,0 \%$	2
total parcial			11
<b>paredes</b>			
10	inércia térmica da edificação / atraso térmico	$\phi \geq 4,0 \text{ h}$	5
11	controle de perdas e ganhos de calor / fator de calor solar	$FCS \leq 3,4 \%$	1
12	redução de ganhos térmicos no verão / sombreamento de paredes oeste a noroeste	possibilidade de sombreamento apenas no verão	3
total parcial			9



Tabela 3. continuação

requisito/parâmetro ou diretriz		critério	ponderação	
fechamentos transparentes				
13	área para ventilação por cômodo	15 % ≤ A <sub>ventilação</sub> ≤ 25 %	4	
14	ventilação cruzada	aberturas em planos opostos da edificação	4	
15	orientação das aberturas para captação de ventos de verão	aberturas voltadas a Sudeste ou Leste	4	
16	dispositivos de segurança	presença de dispositivos opacos externos de segurança que permitam no mínimo 50% de ventilação	4	
17	proteção contra a radiação solar	presença de dispositivos externos móveis de sombreamento	4	
total parcial			20	
			N1	56
total			N2	58
			N3	60

A partir desses resultados, três classificações possíveis para as habitações de interesse social sob avaliação através do método são propostas, conforme indicado na *tabela 4*.

Tabela 4. Classificações possíveis para habitações térreas unifamiliares de interesse social para as condições climáticas de Porto Alegre

classificação	avaliação	pontuação
A	resultado ótimo	51 a 60
B	resultado médio	46 a 50
C	mínimo aceitável	40 a 45

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O método permite a comparação de duas soluções ou mais para a verificação daquela que apresenta melhor desempenho considerando os requisitos e critérios propostos. Pode ser usado como uma ferramenta de tomada de decisão em nível de concepção da edificação ou de avaliação de duas ou mais soluções existentes. O método reproduz o resultado esperado, ou seja, os projetos com configurações de envolvente mais favoráveis, como o projeto *Aglotec* e *Alvorada* (após ajustes efetuados) alcançam pontuações maiores para os requisitos propostos. Já o *projeto-referência 1*, atinge valores satisfatórios, uma vez que foi considerado como referência para definição de alguns valores, enquanto o *projeto-referência 2* atinge a menor pontuação entre os quatro projetos avaliados, resultado também esperado por se tratar de solução não aconselhável.

## 6 REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15220-1: **Desempenho térmico de edificações**: Parte 1: definições, símbolos e unidades. Rio de Janeiro: ABNT, 2005a. 8p.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas – NBR 15220-2: **Desempenho térmico de edificações**: Parte 2: métodos de cálculo de transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator de calor solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2005b. 34p.
- 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: ABNT, 2005c. 28p.
- ABNT – CB-02 - Comitê Brasileiro de Construção Civil. **Desempenho de edifícios habitacionais de até cinco pavimentos** – Partes 1, 4 e 5. ABNT, 2004.
- ARÓZTEGUI, José Miguel. **Método para projeto e avaliação de para-sóis externos visando à otimização do seu desempenho térmico para um clima dado**. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1980. Caderno Técnico. 63p.
- ARÓZTEGUI, José M.; BRIZOLARA, A.. **Abordagem do estabelecimento de exigências de desempenho térmico das paredes feitas de concreto de diversos tipos, quando aplicadas à habitação popular**. Porto Alegre: Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 1980. 63p.
- ASHRAE – American Society of Heating, Refrigerating Air-Conditioning Engineers. **Handbook of fundamentals**. New York: ASHRAE, 2005. (meio digital, não paginado).
- BECKER, Maria de Fátima Monteiro. **Análise do desempenho térmico de uma habitação unifamiliar térrea**. 1992. 87f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. (com 38 folhas de Anexos)
- FROTA, A. B.; SCHIFFER, S. R. *Manual de conforto térmico*. São Paulo: Studio Nobel, 1995. 243p.
- GIVONI, Baruch. Comfort, climate analysis and building design guidelines. In: **Energy and Buildings**, vol. 18, 1992. p. 11-23.
- GIVONI, Baruch. **Man, climate and architecture**. London: Applied Science, 1981. 483p.
- GOULART, Solange. *Thermal inertia and natural ventilation: optimization of thermal storage as a cooling technique for residential buildings in Southern Brazil*. 2004. 196f. Thesis (Doctor of Philosophy) Architectural Association School of Architecture Graduate School. London.
- GRIGOLETTI, G. de Campos. **Método de avaliação de desempenho higrotérmico de habitações térreas unifamiliares de interesse social para Porto Alegre - RS**. 2007. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2007.
- GRIGOLETTI, G., SATTLER, M. A., SPIAS, P., MÜLLER, S. Proposta de coeficiente volumétrico global de perdas e ganhos de calor para análise de comportamento térmico de habitações de interesse social. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 5., 2006, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2006. p. 855-864.
- GRIGOLETTI, Giane, SATTLER, Miguel Aloysio. Análise de desempenho térmico de quatro habitações de interesse social construídas em Porto Alegre. In: ENCONTRO NACIONAL E LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 9., 5., 2006, Ouro Preto. **Anais...** Ouro Preto: ANTAC, 2006. p. 865-874.
- ISO – International Organization for Standardization. ISO 7726: **Ergonomics of the thermal environment**: instruments for measuring physical quantities. Geneva, 1996, 66p.
- MORELLO, A., GRIGOLETTI, G., SATTLER, M. A. Analysis of thermal behaviour of a low cost, single-family, housing prototype considering specific climatic conditions. In: CONFERENCE ON PASSIVE AND LOW ENERGY ARCHITECTURE, 23., 2006, Genève. **Proceedings...** Genève: PLEA, 2006.
- MORELLO, Alessandro. **Avaliação do comportamento térmico do protótipo habitacional Alvorada**. 2005. 178f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.win2pdf.com>.  
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.  
This page will not be added after purchasing Win2PDF.