



DESEMPENHO TÉRMICO DE HABITAÇÕES DE INTERESSE SOCIAL COM DIFERENTES SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM SANTA CATARINA.

Thiago do Prado Lopes (1); Solange Goulart (2); Roberto Lamberts (3);

- (1) Departamento de Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC,
Brasil – e-mail: pradolopes@yahoo.com.br
- (2) Departamento de Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC,
Brasil – e-mail: solange@labeee.ufsc.br
- (3) Departamento de Engenharia Civil – PPGEC – Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC,
Brasil – e-mail: lamberts@labeee.ufsc.br

RESUMO

O estudo de desempenho térmico de habitações populares vem colaborar com o desenvolvimento de tecnologias de construção, regulamentação e fiscalização de edificações de interesse social que historicamente possuem o fator custo como prioridade sobre o desempenho, causando piora na qualidade da edificação. Esse artigo foi produzido a partir da dissertação de mestrado do autor, cuja pesquisa analisou o desempenho térmico de três edificações unifamiliares e três edificações multifamiliares de interesse social, construídas através de políticas públicas de habitação em cinco municípios do estado de Santa Catarina. As unidades habitacionais foram monitoradas durante sua utilização normal e foram registradas as temperaturas de bulbo seco do ar nos ambientes internos e externos às edificações. Foram também calculadas as propriedades térmicas dos elementos e sistemas construtivos e os valores encontrados verificados de acordo com os limites estabelecidos nas normas brasileiras de desempenho NBR 15.220 e NBR 15.575. As edificações multifamiliares foram monitoradas por nove meses (set 08 a jun 09) e as unifamiliares por sete meses (nov 08 a jun 09). As análises compreenderam o período de uma semana quente e uma semana fria, escolhidas dentro do período total monitorado, usando os parâmetros de distribuição de temperaturas, temperaturas máximas, mínimas e médias, amplitude térmica e amortecimento térmico. Considerando o período total de monitoramento, foram analisados os somatórios de graus-hora acima a abaixo de limites pré-estabelecidos e a relação entre o somatório de graus-hora interno e externo. Para o verão os piores desempenhos foram do sistema de alvenaria convencional para as edificações multifamiliares e o sistema de placas de concreto para as edificações unifamiliares. No inverno o pior desempenho foi verificado para o sistema de blocos estruturais de concreto entre as multifamiliares e na residência de madeira entre as unifamiliares.

Palavras-chave: Desempenho térmico. Medição. Habitação popular.

1 INTRODUÇÃO

O desempenho térmico satisfatório da edificação é uma das condições necessárias para que essa edificação ofereça conforto ambiental aos seus ocupantes e usuários na realização das suas diversas atividades.

Uma edificação na sua função mais primordial e básica deve prover condições de abrigo aos seres humanos que nela se encontram. A edificação deve ser pensada como um invólucro seletivo e corretivo das manifestações climáticas, enquanto oferece variadas possibilidades de proteção. (LEMOS 1989, apud RAHAL, 2006)

A adoção de estratégias de melhoria no desempenho térmico costuma elevar os custos da edificação prejudicando sua adoção em edificações para habitações populares, que costumam ser executadas com orçamento limitado e reduzido.

O estudo de desempenho térmico de habitações populares vem colaborar com o desenvolvimento de tecnologias de construção, regulamentação e fiscalização de edificações de interesse social que historicamente possuem o fator custo como prioridade, comprometendo assim a sua qualidade e seu desempenho.

A avaliação de desempenho térmico das edificações costuma ser realizada utilizando-se métodos de simulação ou através de medições de temperatura realizadas em seus ambientes. A medição in loco é um procedimento ainda não regulamentado de avaliação do desempenho térmico citado na norma de desempenho, NBR 15.575 (ABNT, 2008) como método de avaliação informativo.

Em países como o Brasil, onde não se tem climas muito extremos de frio ou calor, muitos projetistas desconsideram questões de desempenho ou conforto em virtude dos custos iniciais de implantação dos empreendimentos. (BRITO 2007)

Buscando atender às exigências e aos direitos dos usuários/consumidores, algumas normas de desempenho foram estabelecidas utilizando-se de quesitos e critérios previamente definidos que possam definir e avaliar os diferentes tipos de desempenho esperados de uma edificação.

As normas brasileiras de desempenho de edificações são:

- a) NBR 15.220 (ABNT, 2005) Desempenho Térmico em Edificações, publicada em 2005.
- b) NBR 15.575, (ABNT, 2008) Desempenho de Edifícios Habitacionais de até Cinco Pavimentos, publicada em 2008.

Na NBR 15.575 são estabelecidos critérios de desempenho térmico para edificações com até cinco pavimentos, onde são considerados os efeitos da transmissão de calor através dos sistemas de cobertura e de vedação (envoltória) em função das características físicas e funcionais dos materiais e dos sistemas de construção.

De acordo com a NBR 15.575 existem três métodos para cálculo do desempenho térmico de edificações: o método simplificado, o método de simulação e o método de medição.

A norma não cita a avaliação do desempenho através da medição como um método normativo e sim informativo. A continuidade das pesquisas e aprimoramento dos métodos de medição pode contribuir para sua evolução, permitindo uma abordagem mais precisa dos procedimentos de avaliação do desempenho térmico de edificações.

Para a avaliação do desempenho térmico por medição, a NBR 15.575 estabelece ainda que a temperatura do ar deve ser medida no interior da edificação completamente fechada e sem utilização.

Dessa forma, apenas o desempenho da envoltória pode ser verificado, porém sem considerar os efeitos da ventilação proporcionados por suas aberturas e orientação. O padrão de uso dos moradores também não é considerado nesta avaliação informativa sugerida pela norma.

Esses fatores desconsiderados na avaliação por medição possuem grande influência no desempenho térmico da edificação e podem alterar significativamente o desempenho verificado quando se mede a

edificação fechada e sem uso.

2 OBJETIVO

O objetivo geral da pesquisa é realizar a avaliação do desempenho térmico de edificações de interesse social localizadas no estado de Santa Catarina, utilizando os resultados das medições de temperatura do ar e dos cálculos das propriedades térmicas dos elementos construtivos e componentes das edificações, que se encontram em condições normais de uso e foram executadas em diferentes sistemas construtivos.

3 METODOLOGIA

Foi pesquisado o desempenho térmico de três sistemas construtivos utilizados em edificações multifamiliares pertencentes ao PAR e três sistemas construtivos utilizados em residências unifamiliares construídas através do PSH, localizados em cinco municípios do Estado de Santa Catarina.

Os valores encontrados nas medições externas serviram de parâmetro para o estudo da amplitude da temperatura do ar no interior das edificações. Além das temperaturas internas, foram consideradas também, na avaliação do desempenho térmico das edificações, suas características físicas e propriedades térmicas dos seus elementos construtivos.

Os valores de aceitabilidade das propriedades térmicas sugeridos nas normas NBR 15.220 parte 3 (ABNT, 2005) e NBR 15.575 partes 4 e 5 (ABNT, 2008) também foram verificados para análise do desempenho térmico.

3.1 Escolha das unidades habitacionais

Considerou-se uma unidade habitacional a residência (edificação unifamiliar) ou o apartamento (edificação multifamiliar) onde reside uma família. O procedimento de escolha das unidades habitacionais monitoradas foi diferente para as edificações multifamiliares e unifamiliares.

3.1.1 Edificações multifamiliares

Para os condomínios multifamiliares a escolha da unidade habitacional monitorada foi realizada seguindo critérios de orientação solar e, principalmente, da disponibilidade prática no dia das visitas para a instalação dos equipamentos. A instalação dos equipamentos só pode ser feita na unidade habitacional em que o morador estava em casa e permitiu a realização do monitoramento.

As unidades habitacionais expostas às condições climáticas mais extremas são as do último pavimento, com fachadas Norte e Oeste e as do primeiro pavimento com fachadas Sul e Leste.

Dentre as seis unidades escolhidas para o monitoramento, apenas duas unidades obtiveram autorização dos moradores, as outras quatro foram escolhidas na hora, durante a visita técnica conforme a presença e autorização do morador responsável, porém mantendo o critério de uma unidade no térreo e outra no último pavimento de cada empreendimento.

3.1.2 Edificações unifamiliares

Nos loteamentos unifamiliares a residência monitorada escolhida foi aquela que apresentava menor interferência construtiva. Fato muito comum nas residências desse tipo de programa habitacional é a construção de puxados, anexos e agregados à edificação original descaracterizando assim o projeto e alterando o seu desempenho térmico.

Os municípios onde se localizam as residências são Jaraguá do Sul e São Bonifácio. As residências fazem parte de um loteamento específico em Jaraguá do Sul e estão espalhadas por diversas partes do município em São Bonifácio.

Foi monitorado apenas um ambiente, considerou-se não significante a diferença nas temperaturas dos ambientes internos. O ambiente monitorado foi a sala, pois é o maior ambiente da casa com maiores

fachadas externas e também está localizado na parte mais central da residência.

3.1.3 Equipamentos utilizados, instalação e período.

Foram utilizados 20 *dataloggers* da OnSet Corporation modelo HOBO H08-003-2 como medidores e gravadores dos valores da temperatura de bulbo seco do ar pertencentes ao Laboratório de Eficiência Energética em Edificações - LabEEE da UFSC.

A Figura 1 a seguir mostra a foto de um *datalogger* HOBO utilizado para monitorar a temperatura do ar no interior e exterior das edificações pesquisadas.



Figura 1: Datalogger modelo HOBO H08-003-2.

Os equipamentos foram fixados em móveis existentes no ambiente, normalmente mesas, armários ou outros móveis. O afastamento da parede que recebe os raios solares foi mantido para evitar interferência por radiação do calor incidente e acumulado pela parede exposta. Nas residências com apenas um equipamento, este foi mantido o mais próximo possível do centro do ambiente, também fixado em algum móvel ou suporte.

Nas áreas externas o equipamento foi protegido por uma barreira radiante para evitar a influência da radiação sobre as medições. A barreira radiante utilizada nos equipamentos das áreas externas foi feita com papelão e papel alumínio de maneira que protegesse os equipamentos das radiações e das intempéries e garantisse a livre circulação do ar, como mostra a Figura 2.



Figura 2: Preparação do dispositivo de proteção para os equipamentos da área externa.

O período de monitoramento utilizado para os empreendimentos multifamiliares foi de setembro de 2008 a junho de 2009. Para as edificações unifamiliares o período foi de novembro de 2008 a junho de 2009. O intervalo entre os registros utilizado foi de uma hora.

3.2 Cálculo das Propriedades Térmicas

Os sistemas construtivos utilizados tiveram suas propriedades térmicas calculadas em função de suas

características físicas dos seus elementos e de seus materiais. O procedimento para os cálculos foi aquele indicado na NBR 15.220, parte 2.

Foram calculados os valores das seguintes propriedades térmicas:

- Resistência térmica
- Transmitância térmica
- Capacidade térmica
- Atraso térmico
- Fator solar

As seções transversais consideradas no cálculo das paredes foram feitas considerando-se os materiais utilizados e as seções transversais dos elementos construtivos.

Para o cálculo das propriedades térmicas da edificação de alvenaria convencional, Buona Vita, por exemplo, foram utilizadas Seção A, Seção B e Seção C conforme descritas a seguir:

- a) Seção A: (reboco, argamassa, reboco)
- b) Seção B: (reboco, tijolo, reboco)
- c) Seção C: (reboco, tijolo, ar, tijolo, ar, tijolo, reboco)

Para a cobertura foi adotado 0,09 ($m^2 \cdot K$)/W para o valor de resistência térmica da laje, de acordo com a norma NBR 15.220 parte 3, na composição da resistência térmica de superfície a superfície.

Para calcular o fator solar, a absorção adotada foi 0,75 para telhas cerâmicas conforme a NBR 15.220 parte 2. Para as paredes, a absorção utilizada foi de 0,4 para pinturas em verde claro e azul claro.

3.3 Áreas das aberturas de ventilação

O valor das áreas de abertura das janelas também foi calculado e o resultado foi verificado de acordo com os valores indicados nas normas NBR 15.575 e NBR 15.220, assim como os valores das propriedades térmicas encontradas.

As áreas de abertura das janelas dos ambientes que foram monitorados foram calculadas e foi considerada para verificação apenas a área útil que é a área onde ocorre passagem do ar. Essa área de abertura útil foi comparada com a área do piso do mesmo ambiente. A razão entre esses valores foi verificada conforme as normas.

Os dados utilizados nos cálculos foram obtidos através de análise dos projetos do empreendimento e também durante as visitas técnicas, quando foram verificadas as informações e levantados os dados que não estavam disponíveis nos projetos.

3.4 Análise dos Resultados

Os resultados obtidos com as medições foram analisados observando seu sistema construtivo e suas unidades habitacionais, dentro dos agrupamentos multifamiliares e unifamiliares.

Os parâmetros utilizados para avaliação do desempenho térmico através dos resultados obtidos nas medições foram:

- Distribuição de temperatura
- Amplitude térmica
- Amortecimento térmico
- Somatório de Graus-hora
- Relação entre o somatório de graus- hora interno e externo

4 RESULTADOS

Apenas na edificação de blocos cerâmicos foi possível monitorar as unidades habitacionais previamente selecionadas de acordo com a orientação solar. Nos outros condomínios, a ausência dos moradores destas unidades no dia da visita obrigou a escolha de outras unidades conforme indicado na Tabela 1. Ainda assim, as duas unidades habitacionais monitoradas em cada edificação multifamiliar estão localizadas uma no primeiro pavimento e outra no último e possuem orientações solares diferentes.

No total foram utilizados vinte *dataloggers* HOBO, sendo quinze em ambientes internos e cinco em ambientes externos. Nas edificações multifamiliares, foram doze equipamentos instalados em ambientes internos, dois em cada unidade habitacional. Outros três equipamentos nas áreas externas de cada condomínio.

As edificações multifamiliares e unifamiliares monitorados estão localizadas em cinco cidades diferentes do estado de Santa Catarina pertencentes a duas zonas bioclimáticas, de acordo com a NBR 15.220 parte.3 (ABNT, 2005).

A Tabela 1 a seguir apresenta o resumo dos dados gerais do monitoramento dos três sistemas construtivos utilizados nas edificações multifamiliares de interesse social de Santa Catarina.

Tabela 1: Resumo geral das informações básicas sobre as edificações multifamiliares monitoradas.

EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES						
SISTEMA CONSTRUTIVO	Alvenaria convencional		Alvenaria estrutural Bloco de concreto		Alvenaria estrutural Bloco cerâmico	
NOME	Buona Vita		Vila Paraíso		Constantino Caetano	
CIDADE	Florianópolis		Chapecó		Joinville	
ZONA BIOCLIMÁTICA.	3		3		5	
UNIDADE HABITACIONAL.	BI19 Ap102	BI24 Ap201	B1A Ap103	BID Ap401	B16 Ap101	B14 Ap404
PAVIMENTO	Térreo	Último	Térreo	Último	Térreo	Último
ORIENTAÇÃO	NO	NE	NO	SE	SE	NO
Nº HOBOS	5 (4 int. + 1 ext.)		5 (4 int. + 1 ext.)		5 (4 int. + 1 ext.)	
PERÍODO	13/09/2008 03/06/2009	^a	13/09/2008 a 03/06/2009		13/09/2008 a 03/06/2009	

O monitoramento das edificações unifamiliares foi realizado em três residências térreas, uma de madeira, uma de PVC e uma de placas de concreto, cada uma com seu monitoramento externo.

Foram utilizados três *dataloggers* em ambientes internos e dois em ambientes externos, as residências de placas de concreto e PVC utilizaram o mesmo monitoramento externo, pois estão localizadas na mesma cidade.

A Tabela 2 a seguir apresenta o resumo dos dados gerais do monitoramento dos três sistemas construtivos utilizados nas edificações unifamiliares de interesse social de Santa Catarina.

Tabela 2: Resumo geral das informações básicas sobre as edificações unifamiliares monitoradas.

EDIFICAÇÕES UNIFAMILIARES					
SISTEMA CONSTRUTIVO	Madeira		Placas de concreto		PVC
CIDADE	São Bonifácio		Jaraguá do Sul		Jaraguá do Sul
ZONA BIOCLIMÁTICA.	3		5		5
UNIDADE HABITACIONAL.	1 residência		1 residência		1 residência
AMBIENTES	Interno	Externo	1 Internos	Interno	Externo
Nº HOBOS	2		1		2
PERÍODO	09/11/2008 03/06/2009	^a	09/11/2008 a 03/06/2009	13/09/2008 a 03/06/2009	

Será apresentado a seguir um gráfico com a distribuição semanal de temperatura durante uma semana quente para o empreendimento de alvenaria convencional. Esses gráficos de distribuição de temperaturas foram feitos para uma semana quente e uma semana fria para cada unidade habitacional monitorada, porém seus resultados completos, obtidos da mesma forma, não serão mostrados para reduzir o tamanho do artigo.

Um resumo da descrição de cada empreendimento monitorado será apresentado e ao final do capítulo serão mostradas tabelas resumo com as propriedades térmicas calculadas para os empreendimentos unifamiliares e multifamiliares e os gráficos com os valores do somatório de graus hora e a relação entre os somatórios internos e externos calculados para o período total de monitoramento.

4.1 Distribuição semanal de temperatura

Com os dados obtidos na semana do período quente (27/1 a 2/2 de 2009) e do período frio (13/9 a 19/9 de 2008) escolhidas dentro do período total de monitoramento das unidades habitacionais da edificação de alvenaria convencional, foram plotados nos gráficos da Figura 4 as distribuições de temperatura horária nessas semanas.

Esses gráficos foram feitos para todos os empreendimentos monitorados, porém apenas os gráficos da edificação de alvenaria convencional serão mostrados já que não é possível apresentar todos neste espaço. Os valores de temperaturas máximas, mínimas e médias, bem como a amplitude térmica e o amortecimento foram calculados também para todos os empreendimentos monitorados.

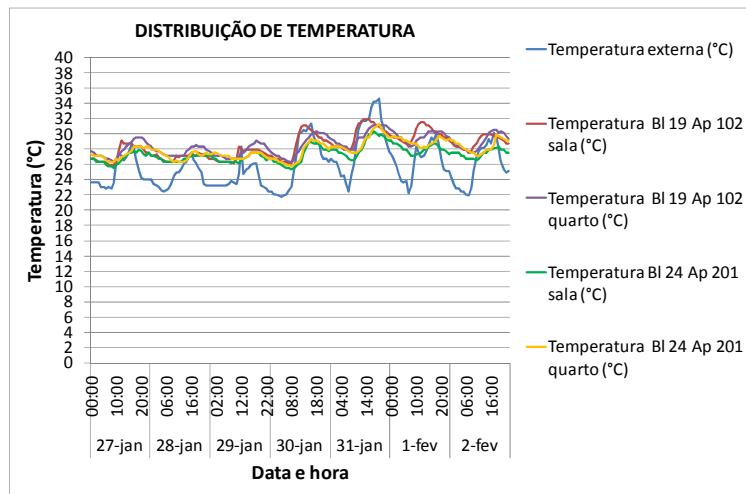


Figura 3: Distribuição de temperatura do ar na semana do período quente.

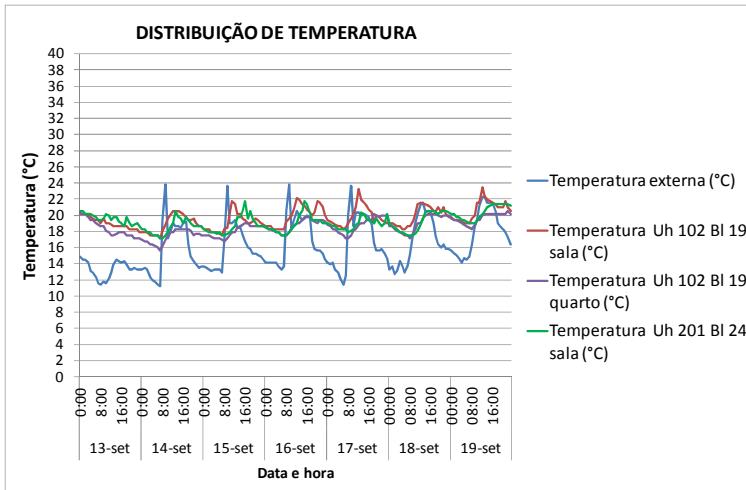


Figura 4: Distribuição de temperatura do ar na semana do período frio.

Os empreendimentos monitorados serão descritos a seguir.

4.2 Descrição dos empreendimentos monitorados

A Tabela 3 exibe o nome do empreendimento, seu sistema construtivo, uma descrição das características gerais e uma foto de cada edificação monitorada.

Tabela 3: Descrição dos empreendimentos monitorados.

Buona Vitta: ALVENARIA CONVENCIONAL	
Condomínio constituído por 25 blocos de dois pavimentos e quatro apartamentos por andar, sendo o térreo considerado o primeiro pavimento. Sem elevador. Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais de 56 metros quadrados, divididos em dois quartos, um banheiro, uma sala e uma cozinha. São 200 unidades habitacionais.	
Vila Paraíso: ALVENARIA ESTRUTURAL (blocos de concreto)	
Constituído por 9 blocos de quatro pavimentos e quatro apartamentos por andar. Sem elevador. Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais de 40 metros quadrados de área útil, divididos em dois quartos, um banheiro, sala e cozinha. Possui ao todo 144 unidades habitacionais	
Constantino Caetano: ALVENARIA ESTRUTURAL (blocos cerâmicos)	
Condomínio formado por sete blocos de quatro pavimentos e quatro apartamentos por andar. Sem elevador. Cada pavimento possui quatro unidades habitacionais de 43 metros quadrados de área útil, divididos em dois quartos, um banheiro, sala e cozinha. Total de 112 unidades habitacionais.	
Casa de Madeira	
Construída em São Bonifacio, possui 31 metros quadrados distribuídos em dois quartos, banheiro, sala e cozinha. A cobertura, sem laje, tem estrutura em madeira com telhas cerâmicas vermelhas do tipo francesa com projeção frontal e lateral de 40 cm. O forro também é de madeira. As esquadrias são em madeira com abertura total em duas folhas de vidro transparente sem venezianas.	
Casa de Placas Pré-Moldadas de Concreto	
Possui área útil de 39 metros quadrados e a cobertura, sem laje, tem estrutura em madeira com telhas cerâmicas vermelhas do tipo capa canal com projeção frontal e lateral de 60 cm. O forro é de PVC. As esquadrias são de alumínio com duas folhas de correr de vidro transparente 3mm sem venezianas.	

<p>Casa com fechamento de perfis de PVC, preenchidos com concreto. Possui 36 metros quadrados distribuídos em dois quartos, banheiro, sala e cozinha.</p> <p>A cobertura, sem laje, tem estrutura em madeira com telhas cerâmicas vermelhas do tipo capa canal com projeção frontal e lateral de 60 cm. O forro é de PVC. As esquadrias são de alumínio com abertura de correr lateral em duas folhas de vidro transparente sem venezianas e com abertura máxima de 50%.</p>	
--	---

4.3 Características físicas.

As áreas das aberturas de ventilação e as propriedades térmicas de cada sistema construtivo foram colocadas nas tabelas 4, 5, 6 e 7, juntamente com as condições de aceitabilidade sugeridas nas normas NBR 15.220 parte 3 e NBR 15.575 parte 4 e 5. Os sistemas construtivos estão agrupados em edificações multifamiliares e unifamiliares.

Tabela 4: Resumo dos resultados das aberturas de ventilação para edificações multifamiliares.

MULTIFAMILIARES							
Local	Ambiente	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)	% Área piso	NBR 15.220 15%<A<25%	NBR 15.575 A>8%
Buona Vita	Dorm	7,0	1,2	0,6	8,6	Não	Sim
	Sala	9,0	1,44	0,72	8,0	Não	Sim
Vila Paraíso	Dorm	8,3	1,2	0,6	7,2	Não	Não
	Sala	14,0	1,44	0,72	5,1	Não	Não
Constantino	Dorm	8,0	1,2	0,6	7,5	Não	Não
Caetano	Sala	9,5	1,44	0,72	7,5	Não	Não

As únicas aberturas que superaram os valores mínimos exigidos na norma NBR 15.575 foram as da edificação de alvenaria convencional, Buona Vita, porém de acordo com a NBR 15.220 essas aberturas ainda estão abaixo dos valores mínimos recomendados.

Tabela 5: Resumo dos resultados das aberturas de ventilação para edificações unifamiliares.

UNIFAMILIARES							
Local	Ambiente	Área (m ²)	Área da Janela (m ²)	Área útil (m ²)	% Área piso	NBR 15.220 15%<A<25%	NBR 15.575 A>8%
Madeira	Sala.	12,5	2,4	2,4	19,2	Sim	Sim
Placas de concreto	Sala.	13,0	(0,8)x2	0,8	6,15	Não	Não
PVC	Sala.	13,0	(1,32)x2	1,32	10,15	Não	Sim

Para as edificações unifamiliares a residência de madeira, a única que utilizou janelas de abrir com duas folhas que proporcionam 100% de área útil, teve as aberturas aprovadas pelas duas normas.

4.4 Propriedades Térmicas

As propriedades dos sistemas de cobertura dessas edificações multifamiliares não foram aceitas pela norma NBR 15.575 conforme a tabela 6, pois os valores da transmitância térmica estavam acima do limite de 1,5 W/(m².K) recomendado para absorvância de superfície, $\alpha > 0,6$.

Tabela 6: Propriedades térmicas calculadas para as edificações multifamiliares.

PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS PARA AS EDIFICAÇÕES MULTIFAMILIARES										
Local	Elemento	Sistema	Rt (m ² .K)/W	Ct kJ/(m ² .K)	Ut W/(m ² .K)	Atraso Térmico	Fator Solar - %	α	NBR 15.220	NBR 15.575
Buona vita	Paredes	Alvenaria convencional	0,4288	157,19	2,33	3,7	2,8	0,4	Sim	Sim
	Cobert.	Cerâmica	0,6100	109,72	1,64	2,1	5,2	0,75	Sim	Não
Vila Paraíso	Paredes	Bloco de concreto	0,3402	155,01	2,94	3,4	4,7	0,4	Não	Sim
	Cobert.	Fibrocimento	0,5190	103,57	1,93	2,5	6,1	0,8	Sim	Não
Constantino Caetano	Paredes	Bloco cerâmico	0,3708	109,41	2,69	2,8	3,2	0,3	Sim	Sim
	Cobert.	Cerâmica	0,6100	109,72	1,64	2,1	5,5	0,8	Sim	Não

As residências unifamiliares não tiveram as propriedades térmicas de nenhum componente (paredes e cobertura) aceitas pelas duas normas de desempenho. As altas transmitâncias térmicas foram o principal fator de não conformidade de acordo com a tabela 7.

Tabela 7: Propriedades térmicas calculadas para as edificações unifamiliares.

PROPRIEDADES TÉRMICAS CALCULADAS PARA AS RESIDÊNCIAS UNIFAMILIARES										
Local	Elemento	Sistema	Rt (m ² .K)/W	Ct kJ/(m ² .K)	Ut W/(m ² .K)	Atraso Térmico	Fator Solar - %	α	NBR 15.220	NBR 15.575
São Bonifácio	Paredes	Madeira.	0,2569	3,45	3,89	0,4	4,7	0,3	Não	Não
	Cobert.	Cerâmica. Forro de madeira	0,3945	31,17	2,53	0,5	7,6	0,75	Não	Não
Jaraguá do sul	Paredes	Placas de concreto	0,1871	126	5,34	1,1	6,4	0,3	Não	Não
	Cobert.	Cerâmica. Forro de PVC	0,4100	31,17	2,44	0,5	7,6	0,75	Não	Não
Jaraguá do sul	Paredes	PVC	0,2300	249	4,34	5,5	5,2	0,3	Não	Não
	Cobert.	Cerâmica. Forro de PVC	0,4100	32,04	2,44	0,8	7,3	0,75	Não	Não

4.5 Somatório de graus hora

No gráfico da figura 4, observa-se que a edificação com maiores valores para o somatório de graus hora acima de 26°C foi na edificação de alvenaria convencional, onde os ambientes da unidade do

térreo chegaram a valores superiores a 3.200 graus hora acima de 26°C para o período total de monitoramento. Esse valor superou o valor do somatório de graus hora acima de 26°C externo entre 140% e 150%, conforme o gráfico da figura 5.

A orientação solar noroeste do apartamento térreo o faz receber a radiação solar da parte final da manhã e de toda a tarde quando a temperatura da edificação alcança seu valor máximo devido ao acúmulo de calor gerado pela radiação solar recebida desde o período da manhã.

A edificação de alvenaria estrutural de blocos de concreto teve registro de 4.500 graus hora abaixo de 18°C na área externa. Como consequência, em todos os ambientes internos o somatório de graus hora abaixo de 18°C foi superior ao somatório de graus hora acima de 26°C.

A unidade do térreo conseguiu reduzir o somatório interno acima de 26°C nos dois ambientes, essa redução chegou a mais de 90% na sala e próximo de 60% no quarto.

A maior influência da perda de calor pela cobertura é sofrida pela unidade da cobertura e mostra a necessidade de aumentar o isolamento da cobertura e aumentar a capacidade térmica dos elementos construtivos utilizados em regiões de clima mais frio.

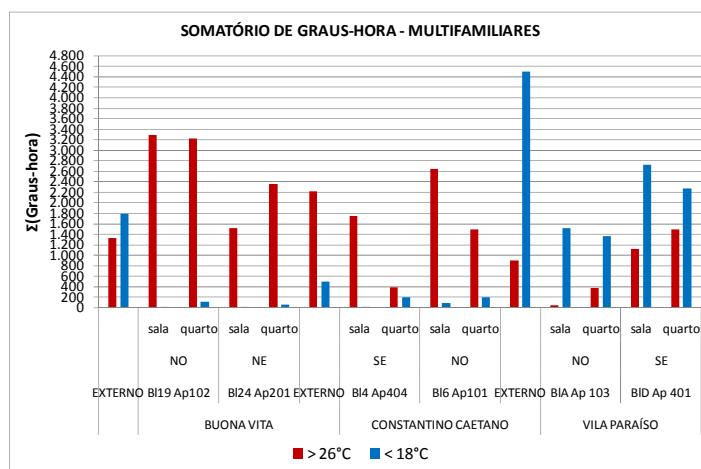


Figura 5: Somatório de Graus –Hora interno e externo para as edificações multifamiliares.

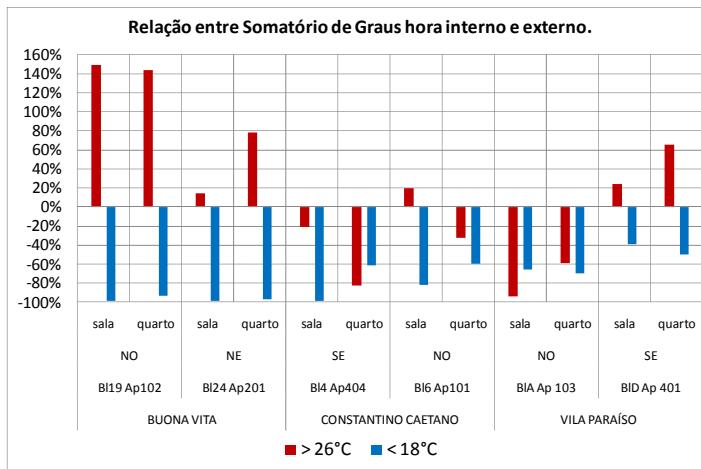


Figura 6: Relação entre os valores do Somatório de Graus –Hora interno e externo para as edificações multifamiliares

No gráfico de somatório de graus hora das edificações unifamiliares mostrados na Figura 7, observa-se que o interior da residência de madeira teve o valor do somatório abaixo de 18°C um pouco acima dos 2.200 graus hora indicando uma redução de 58% em relação ao valor externo de acordo com o gráfico que apresenta a relação entre os valores do somatório de graus hora internos e externos mostrado na Figura 8.

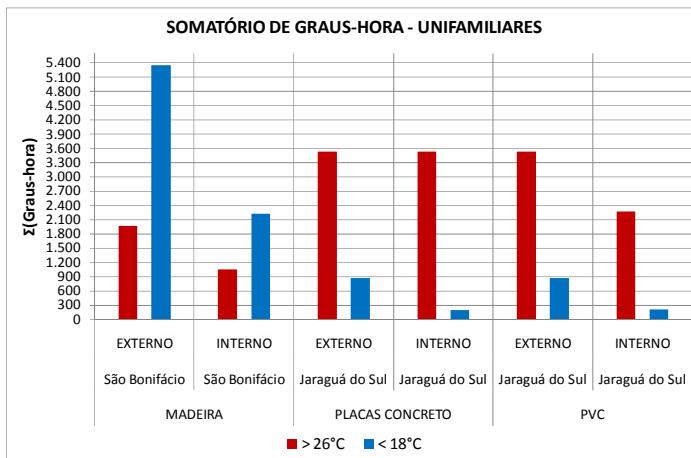


Figura 7: Somatório de Graus -Hora interno e externo para as edificações unifamiliares.

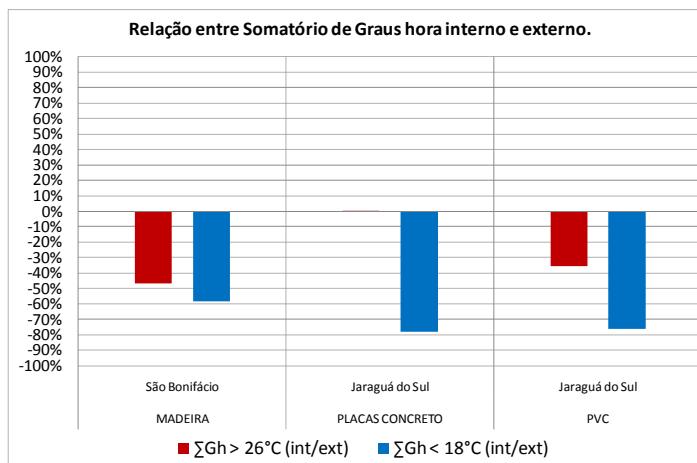


Figura 8: Relação entre os valores do Somatório de Graus -Hora interno e externo para as edificações unifamiliares

O desempenho térmico da residência de madeira não foi satisfatório em períodos de frio nem em período de calor. A baixa capacidade térmica das paredes e a alta transmitância térmica em conjunto com características físicas como grandes aberturas de ventilação e piso elevado do solo prejudicam sobremaneira o isolamento térmico da edificação e fez as temperaturas internas oscilarem bem próximas das temperaturas externas.

Na residência de placas de concreto, o somatório de graus hora acima de $26^\circ C$ no ambiente externo foi de 3.523,9 graus hora, praticamente o mesmo valor do somatório de graus hora acima de $26^\circ C$ registrado no ambiente interno da residência. Assim, não houve redução do valor do somatório de graus hora interno em relação ao externo para temperaturas acima de $26^\circ C$. Esse resultado mostra a dificuldade de residência dissipar o calor ganho durante o dia, mesmo utilizando cobertura leve, as pequenas aberturas de ventilação e a alta capacidade térmica da parede mantêm por mais tempo o calor interno da residência, prejudicando seu resfriamento.

5 CONCLUSÕES

As edificações multifamiliares tiveram as propriedades térmicas das paredes aceitas pelas duas normas, porém as propriedades térmicas das coberturas das três não estavam conforme a NBR 15.575, a mais recente norma brasileira de desempenho publicada. As unifamiliares não estavam conforme exigem as normas em nenhum item verificado das propriedades térmicas.

Mesmo com as propriedades térmicas das paredes aceitas pelos critérios das normas de desempenho, o desempenho térmico ao calor das edificações multifamiliares não se mostrou satisfatório.

Segundo a NBR 15.575, para coberturas com superfícies expostas que possuam absorância $\alpha > 0,6$ o

valor limite da transmitância térmica se reduz de 2,3 W/(m².K) para 1,5 W/(m².K). Assim, as coberturas das edificações multifamiliares que tiveram a transmitância térmica abaixo de 2,3 W/(m².K) poderiam ter sido aceitas por essa norma se fosse utilizada em sua superfície uma cor clara com absorvância $\alpha < 0,6$.

Nas edificações multifamiliares, as unidades do último pavimento e com orientação solar noroeste sofrem especial influência da radiação solar recebida pela cobertura que não possuía barreira radiante em nenhuma edificação estudada, aumentando as temperaturas máximas internas e a amplitude térmica, prejudicando assim o seu desempenho térmico no verão.

Utilizando a relação dos somatórios de graus hora acima de 26°C internos com os externos, pode-se observar que o sistema de alvenaria convencional, entre as edificações multifamiliares, foi o que apresentou o pior desempenho térmico para o calor durante o período total monitorado, com o valor do somatório de graus-hora interno acima de 26°C na unidade da cobertura quase 150% maior que o somatório externo.

Entre as edificações unifamiliares, todas apresentaram mais de 1.000 graus-hora registrados acima de 26°C durante os sete meses monitorados, porém o pior desempenho térmico ao calor ficou com a edificação de placas de concreto. Esse sistema construtivo possui alta transmitância térmica na cobertura e alta capacidade térmica nas paredes, o tamanho reduzido das janelas sem grades faz diminuir o tempo que permanecem abertas. Dessa forma, essa residência apresentou as maiores temperaturas máximas internas verificadas na semana quente e o maior somatório de graus-hora acima de 26°C (3.526,9), com redução quase nula em relação ao somatório de graus-hora externo.

A residência de PVC apresentou esse valor cerca de 35% menor para as mesmas temperaturas externas. A cobertura era do mesmo sistema, porém a capacidade térmica das paredes era 97% maior que as de placas de concreto.

A casa de madeira apresentou pior desempenho térmico ao frio entre as edificações unifamiliares analisando-a tanto pelos parâmetros do período semanal quanto do período total. Esse baixo desempenho foi causado por fatores específicos deste sistema construtivo. Paredes muito finas com baixa resistência e capacidade térmica, o piso elevado do solo e as grandes aberturas de ventilação são fatores que aumentam as trocas de calor da edificação que por estar localizada em região de clima frio tem seu desempenho térmico prejudicado nessas condições climáticas.

6 REFERÊNCIAS

- ABNT, ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220** Desempenho Térmico Em Edificações. 2005.
- _____. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS **NBR 15.575** Desempenho em Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos. 2008.
- BARBOSA, Miriam Jerônimo. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. Tese. UFSC, Florianópolis, 1997.
- BARBOSA, Mirian Jerônimo; LAMBERTS, Roberto. **Uma Metodologia Para Especificar E Avaliar O Desempenho Térmico De Edificações Residenciais Unifamiliares, Aplicada a Londrina - Pr. AMBIENTE CONSTRUÍDO**, Porto Alegre, V2 N1, p. 15-28, 2002
- BRITO, Adriana Camargo de. **Recomendações para projetos habitacionais com pré-fabricados leves de concreto visando otimização do desempenho térmico**. Dissertação. IPT. São Paulo, 2007.
- PAPST, Ana Lígia. **Método estimativo da temperatura interna de edificações residenciais em uso**. Tese. UFSC, Florianópolis, 2004.
- RAHAL, M. S. (2006). **O conforto térmico nas Residências de Rino Levi**. Dissertação – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2006.