



## **INVESTIGAÇÃO DA INFLUÊNCIA DA FORMA DA PLANTA DO EDIFÍCIO NAS CONDIÇÕES DE CONFORTO TÉRMICO EM UNIDADES HABITACIONAIS DE INTERESSE SOCIAL NO MUNICÍPIO DE PORTO ALEGRE/RS**

**Josiane Reschke Pires (1); Eduardo Reuter Schneck (2); Marco Aurélio Stumpf González (3); Andrea Parisi Kern (4); Mauricio Mancio (5)**

(1) Arquiteta e Urbanista, Mestre em Engenharia Civil, josianepires@uol.com.br

(2) Arquiteto e Urbanista, Mestre em Engenharia Civil, eduardoschneck@gmail.com

(3) Doutor em Eng. Civil, Professor do PPGE, mgonzalez@unisininos.br

(4) Doutora em Eng. Civil, Professora do PPGE, apkern@unisininos.br

(5) PhD em Eng. Civil, Professor do PPGE, mancio@unisininos.br

UNISINOS - Universidade do Vale do Rio dos Sinos, PPGE (Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil), Prédio 6B, Av. Unisininos, 950, São Leopoldo/RS, 93022-000, Tel.: (51) 3591 1263

### **RESUMO**

Diversos são os fatores que influenciam e que devem ser considerados nas análises de conforto térmico das edificações. No entanto, pouco se relaciona os impactos que a forma da planta dos edifícios (tipo arquitetônico) promove no âmbito da qualidade do conforto no ambiente construído, especialmente em termos de habitação de interesse social (HIS). No entanto, visualiza-se no Município de Porto Alegre/RS e região ampla recorrência de edificações com forma de planta em H – o que, segundo princípios do Índice Econômico de Compacidade (IeC), tende a ser mais onerosa que outras formas possíveis, em função do maior perímetro de fachadas. Ainda, conforme diversos estudos, essa forma de planta tende a limitar quesitos de habitabilidade, por não proporcionar insolação adequada a todas as unidades habitacionais. Nesse sentido, este artigo tem como objetivo investigar a influência do tipo arquitetônico (forma da edificação) nas características de desempenho térmico em edifícios residenciais multifamiliares, com características típicas de habitação de interesse social (HIS), no Município de Porto Alegre/RS. Para tanto, partiu-se de um projeto de estudo de caso, denominado Projeto-base, com planta em forma H, e realizaram-se simulações de projeto com outras formas de planta possíveis, denominados Projetos-propostos, visando ao aumento do IeC mas mantendo-se a mesma área construída. Em seguida, realizou-se uma avaliação dos dados através do método graus-hora e uma análise do conforto térmico através do método da ASHRAE 55, com o uso do software de simulação *EnergyPlus*, simulando-se os dados climáticos internos das habitações. Apesar do desempenho térmico similar entre os projetos, a edificação em forma H foi a única a apresentar resultados dentro do limite de 1000 horas de desconforto. No entanto, através do método da ASHRAE, os Projetos-propostos (em forma de barra) apresentaram menores horas em desconforto térmico, se comparadas com o Projeto-base, especialmente por possibilitarem a ventilação cruzada nas unidades habitacionais.

Palavras-chave: tipo arquitetônico, índice econômico de compacidade, simulação, *EnergyPlus*, desempenho térmico.

### **ABSTRACT**

There are several factors that influence and should be considered in analyzes of thermal comfort of buildings. However, it is not common to related impacts that the shape of plant buildings (architectural type) promotes within the comfort of quality in the built environment, especially in terms of social housing design (SHD). However, we visualized in the city of Porto Alegre / RS and region wide recurrence of buildings with H-shaped design - which, under principles of Economic Index of Compactness (EIC), tends to be more expensive than other possible forms, due to higher perimeter walls. Still, according to several studies, this

type of plant tends to limit questions of habitability by not providing adequate insulation to all housing units. In this sense, this paper aims to investigate the influence of architectural type (shape of the building) in thermal performance characteristics in multifamily residential buildings, with features typical of social housing (SHD) in the city of Porto Alegre / RS. Therefore, broke up a project case study, called Project-based, with H-shaped plan, and performed simulations to design with other possible forms of plant, called Project-proposed, aiming to increase the EIC but maintaining the same building area. Then, we carried out an evaluation of the data using the degree-hour and an analysis of thermal comfort through the ASHRAE 55 method, using the simulation software *EnergyPlus*, simulating the climatic data of domestic dwellings. Despite the thermal performance among similar projects, the H-shaped building was the only one to deliver results within the limit of 1000 hours of discomfort. However, through the ASHRAE method, the Project-proposed (bar-shaped) lower thermal discomfort hours, compared with the Project-based, especially because they allow for cross ventilation in housing units.

Keywords: architectural type, economic index of compactness, simulation, *EnergyPlus*, thermal performance.

## 1. INTRODUÇÃO

Conforto térmico pode ser caracterizado como o estado que expressa a satisfação do homem com o ambiente térmico que o circunda (FRONTCZARK; WARGOCKI, 2011). Essa satisfação ocorre quando o balanço térmico entre o calor produzido pelo corpo e o calor perdido para o ambiente é estável. Conforme o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), o conforto térmico é a conformidade dos ambientes internos a um conjunto de requisitos estabelecidos em função das exigências humanas (IPT, 2011) e para a NBR 15220 (ABNT, 2005) é a satisfação psicofisiológica de um indivíduo com as condições térmicas do ambiente.

Uma das opções para reduzir o consumo de energia de uma edificação é o uso de estratégias bioclimáticas de projeto. Cunha et al. (2006) e Roméro (2000) apontam que a bioclimatologia busca satisfazer as exigências de conforto térmico através da definição das condições ambientais – do meio natural e construído – e dos aspectos de lugar, história e cultura, para empregar no desenho arquitetônico soluções adequadas para a execução das obras.

A eficiência térmica da envoltória da edificação (conjunto de sistemas de vedações externas e de coberturas de edificações) é uma estratégia-chave na concepção e construção de edifícios que visem à diminuição do uso de sistemas de condicionamento artificial dos ambientes internos (MORRISSEY; HORNE, 2011). Segundo Lamberts e Triana (2007), as características da envoltória e dos sistemas construtivos empregados determinam o desempenho térmico da edificação. Os autores afirmam que diversas variáveis influem nesse desempenho, tais como os tipos e cores de materiais empregados, o uso ou não de isolantes térmicos, a orientação solar, área e tipo de esquadrias, cargas térmicas internas e o uso ou não de estratégias bioclimáticas.

Assim, torna-se imprescindível o conhecimento das decisões tomadas na etapa de projeto, uma vez que é nela que o produto é concebido (TZORTZOPOULOS, 1999). As decisões tomadas nessa etapa influenciarão diretamente o desempenho final da edificação.

Dentre os parâmetros de caracterização morfológica das edificações, cujas análises indicam alternativas mais ou menos econômicas a serem seguidas nas etapas iniciais de projeto, um dos mais conhecidos é o Índice de Compacidade (IC). É definido como a relação percentual que existe entre o perímetro de um círculo de igual área do projeto e o perímetro de suas paredes exteriores (ROSSO, 1978). A partir de uma revisão feita por Mascaró (2010), o índice teve incorporado o número de arestas e perímetros curvos de fachada, em função do maior custo de execução destes, passando à denominação de Índice Econômico de Compacidade (IeC).

Em contrapartida, visualiza-se no município de Porto Alegre e região metropolitana ampla recorrência do tipo arquitetônico com planta em H – que, segundo o princípio do IeC, tende a ser mais onerosa que outras formas possíveis, em função do maior perímetro de fachada para circundar determinada área de piso. Ainda, em função da sua geometria, essa forma de planta limita quesitos de habitabilidade, como ventilação cruzada e insolação adequada para todas as unidades habitacionais (SCHNECK, 2013).

Estudos confirmam o pressuposto do IeC, onde o aumento índice a partir de simulações de projetos resultaram em alternativas mais econômicas, com menores impactos ao meio ambiente (em função do menor consumo de materiais nas fachadas para a mesma área superficial) e ainda aprimoramento dos quesitos de habitabilidade. Dentre eles, os principais benefícios atingidos com a forma de planta retangular (com menor perímetro de fachada e número de arestas) foram a possibilidade de ventilação cruzada nas unidades

habitacionais e possibilidade de voltar os dormitórios de todos os apartamentos para a insolação mais adequada (SCHNECK, 2013).

Nos Estados Unidos, estudos realizados por Tuhus-Dubrow e Krarti (2010) indicam que a volumetria da edificação (forma da planta) influencia nas condições de conforto térmico de uma edificação. A análise foi feita com diferentes tipos arquitetônicos, com formas de plantas – retangular, L, T, cruz, U, H e trapezoidal – de forma holística, incluindo materiais de vedação, cobertura, tipo e dimensões das esquadrias. De acordo com os autores, as formas retangular e trapezoidal apresentaram a melhor desempenho em termos de otimização energética, proporcionando o menor custo do ciclo de vida.

Além disso, o tipo arquitetônico com forma de planta retangular apresentou menor consumo anual de energia elétrica e de gás com fins de conforto térmico (TUHUS-DUBROW e KRARTI, 2010). Independente das condições climáticas das simulações, esse tipo arquitetônico tem a vantagem de permitir a insolação mais adequada para todos os ambientes de permanência prolongada, quando assim a implantação viabilizar. Portanto, fatores relacionados à orientação, forma e proporção geométrica afetam o consumo de anual energia e, conseqüentemente, do custo de operação da edificação, mesmo que a área de piso permaneça a mesma. Entretanto, a variação dos resultados é pequena, ou seja, há flexibilidade na escolha da volumetria das edificações.

Já em análises feitas com o clima de Porto Alegre/RS, Grigoletti e Sattler (2010) apontaram a pouca variação entre as habitações analisadas quanto à efusividade térmica e a orientação solar dos ambientes em unidades com menos de 60 m<sup>2</sup>, e confirmaram a importância da cobertura e da inércia térmica da envoltória das edificações para o desempenho térmico das edificações térreas.

O método de horas de desconforto utiliza a zona de conforto de Givoni (1992) e consiste em verificar a quantidade de horas de desconforto, tanto pelo frio quanto pelo calor, que a edificação apresenta por um ano inteiro (BARBOSA, 1997). A metodologia Graus-hora, utilizada para a quantificação das horas de desconforto, é largamente utilizada em estudos climáticos. Este método apresenta resultados de fácil interpretação e é definida como a somatória da diferença de temperatura do ar que ultrapassa uma temperatura base estipulada. Através do total de graus-hora pode-se definir a quantidade de horas que o ambiente esteve fora da faixa de conforto (Equação 1) (MACHADO, 2010; GIGLIO e BARBOSA, 2006).

$$GH = \sum (T_b - T_h) \quad \text{Equação 1}$$

Onde: GH: índice de graus-hora;

T<sub>b</sub>: temperatura base, e;

T<sub>h</sub>: temperatura horária.

A zona de conforto da ASHRAE especifica limites constantes para a temperatura e umidade do ar, considerando pessoas em atividade sedentária. Foi desenvolvida para edifícios de escritórios com ar condicionado, podendo ser usada também em edificações residenciais. Sua aplicação ocorre, principalmente, em países com climas temperados, em ambientes internos de espaços com ar condicionado. Em climas tropicais sua aplicação não é aconselhada, devido aos costumes de vestimentas e à aclimação (BARBOSA, 1997).

Esta zona baseia-se em um modelo de equilíbrio do corpo humano, assumindo que a sensação térmica é exclusivamente influenciada por seis fatores, quatro ambientais (temperatura, radiação térmica, umidade e velocidade do ar) e dois pessoais (atividade e vestuário) (DEAR e BRAGER, 2002). Ao ser revisada, em 2004 e 2010, incluíram-se os métodos de cálculo de PMV e PPD e o conceito de adaptação. A norma ainda apresenta as metodologias para determinação e os valores aceitos para cada um dos fatores e para o cálculo de PMV e PPD (ANSI/ASHRAE, 2004; ANSI/ASHRAE, 2010).

Conforme Pereira e Assis (2010), a norma ASHRAE Standard 55 baseiam-se no modelo de PMV, proposto por Fanger, e são utilizadas em várias das regulamentações e selos de eficiência energética e de sustentabilidade de edificações no Brasil. Entretanto, há restrições ao uso do PMV, pois não estima a real sensação de conforto térmico, principalmente quando em climas tropicais, presumindo sensações de desconforto mais rigorosos.

## 2. OBJETIVO

Baseando-se nas referências acima apresentadas, entre outras, o objetivo deste artigo é investigar a influência do tipo arquitetônico (forma da edificação) nas características de desempenho térmico em edifícios residenciais multifamiliares, com características típicas de habitação de interesse social (HIS).

### 3. MÉTODO

O estudo fundamenta-se no método de simulação computacional, utilizando o programa *EnergyPlus*, com ênfase em análise térmica e eficiência energética. Para as simulações foram utilizados dados climáticos (TRY) da cidade de Porto Alegre, Rio Grande do Sul, localizada na zona bioclimática ZB3. Este arquivo foi elaborado por Roriz, a partir de dados horários, registrados em estação climatológicas do INMET entre os anos de 2000 e 2010 (RORIZ, 2011), disponibilizadas no sítio do LabEEE. O projeto e suas especificações foram inseridos em *BIM (Building Information Modeling)*, adotando-se a plataforma Autodesk Revit.

A Figura 1 apresenta, esquematicamente, o delineamento desta pesquisa, que será detalhada a seguir.

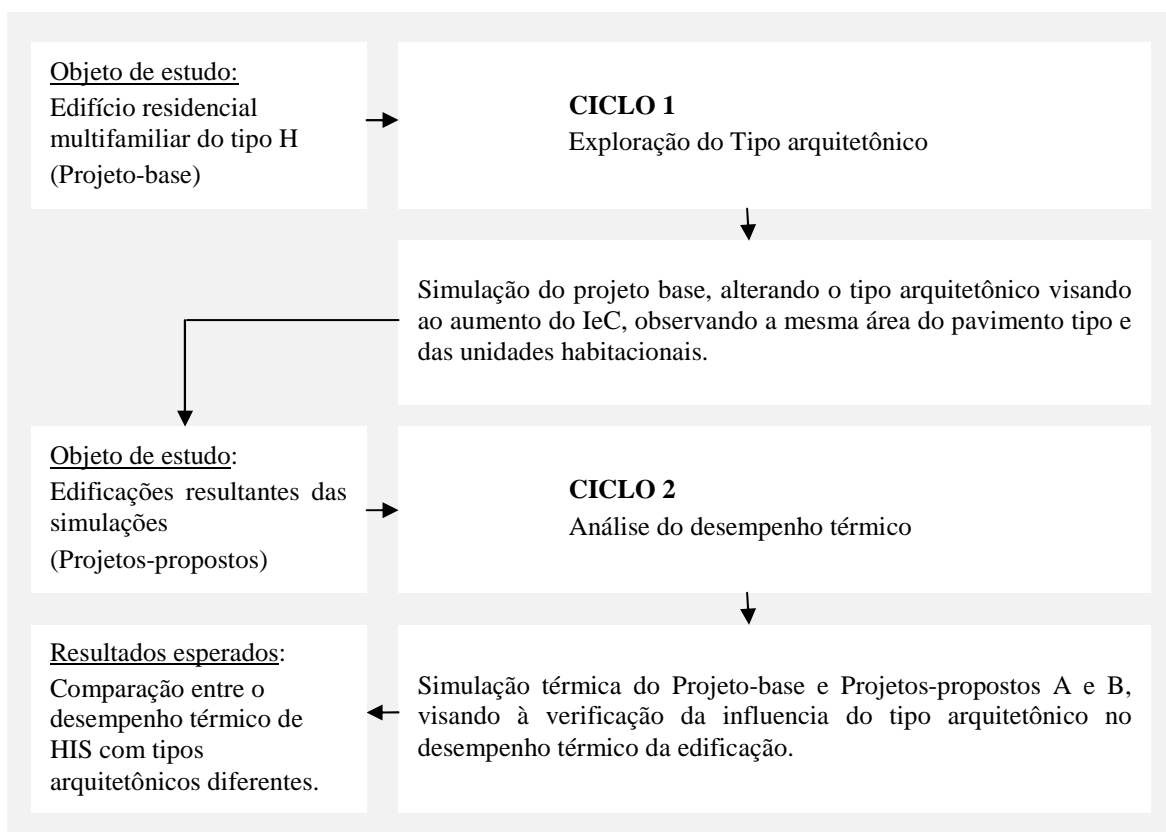


Figura 1 – Delineamento da Pesquisa.

O município de Porto Alegre possui área de 496,827 km<sup>2</sup>, com população de 1.413.094 habitantes, com uma densidade de 2.844,237 hab./km<sup>2</sup> (IBGE, 2010). Sua atividade econômica está centrada em comércio e serviços. O relevo de Porto Alegre se destaca pelos morros com até 311 m de altitude, embora a altitude média da cidade seja de 14 m acima do nível do mar. Sua classificação climática é subtropical úmido, tipo Cfa (clima temperado úmido com verão quente), de grande variabilidade térmica. A precipitação pluviométrica média anual está em torno de 1.300mm, umidade relativa do ar de 76% e temperaturas médias anuais entre 31°C e 9°C (RIO GRANDE DO SUL, 2011).

A cidade de Porto Alegre, capital do estado do Rio Grande do Sul, apresenta um clima subtropical úmido, com ocorrências de chuvas bem distribuídas, umidade relativa do ar média de 76% e temperaturas médias anuais de 31°C a 9°C. Percebe-se que em 22,4% das horas haverá conforto e em 77,6% das horas haverá desconforto térmico, estes causados pelo frio em 51,7% do tempo e pelo calor, em 25,9%. Verifica-se, desta forma, que o clima é mais confortável no verão, mas que há necessidade de melhoria do desempenho térmico da edificação tanto para os períodos frios quanto para os períodos quentes do ano.

Ainda de acordo com a carta bioclimática da cidade de Porto Alegre (Figura 2), as principais estratégias a serem adotadas para proporcionar o conforto térmico são: (ii) sombreamento com 45,3% das horas; (i) alta inércia térmica, 33,8%; (iii) ventilação cruzada, 23,33%; (iv) aquecimento solar passivo, 11,8%, e; (v) aquecimento e resfriamento artificial, em 6,07% e 1,35% das horas, respectivamente.

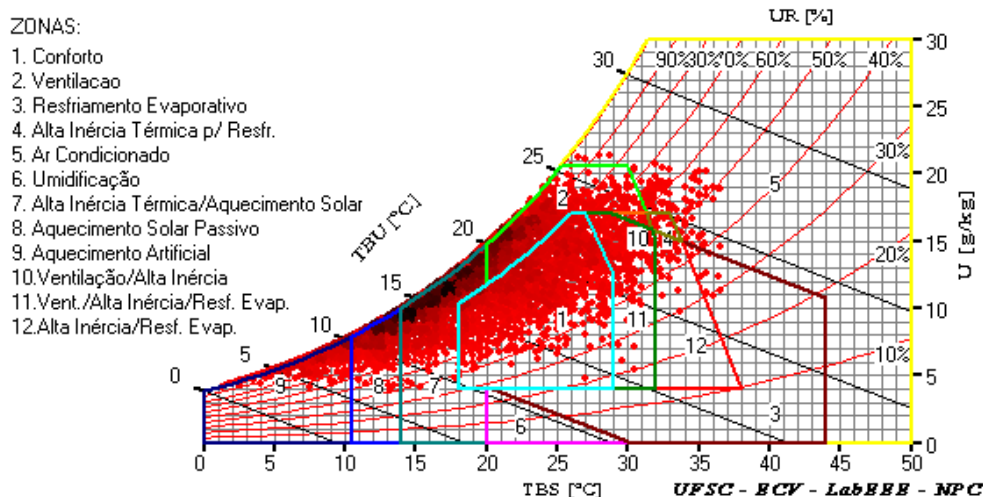


Figura 2 – Carta bioclimática de Porto Alegre/RS.

### 3.1. Ciclo 1: simulação do tipo arquitetônico

As simulações foram realizadas, inicialmente, para a edificação com tipo arquitetônico de planta em forma H (Figura 3), bastante recorrente em Porto Alegre e região em termos de HIS. Esse projeto, denominado Projeto-base, foi fornecido por uma empresa construtora do Município. Em termos gerais, essa forma de planta limita características básicas de conforto térmico, uma vez que somente metade das unidades poderia ter os ambientes de permanência prolongada voltados à melhor insolação (por exemplo, Norte ou Leste).

Posteriormente, foram simulados dois novos projetos visando ao aumento do IeC, denominados Projetos-propostos A e B (Figuras 4 e 5), com tipo arquitetônico diferenciado, com o intuito de melhorar a temperatura interna através de diferentes alternativas de envoltória. No entanto, manteve-se a mesma área construída (204 m<sup>2</sup> por pavimento, totalizando 1020 m<sup>2</sup>) e os mesmos materiais.

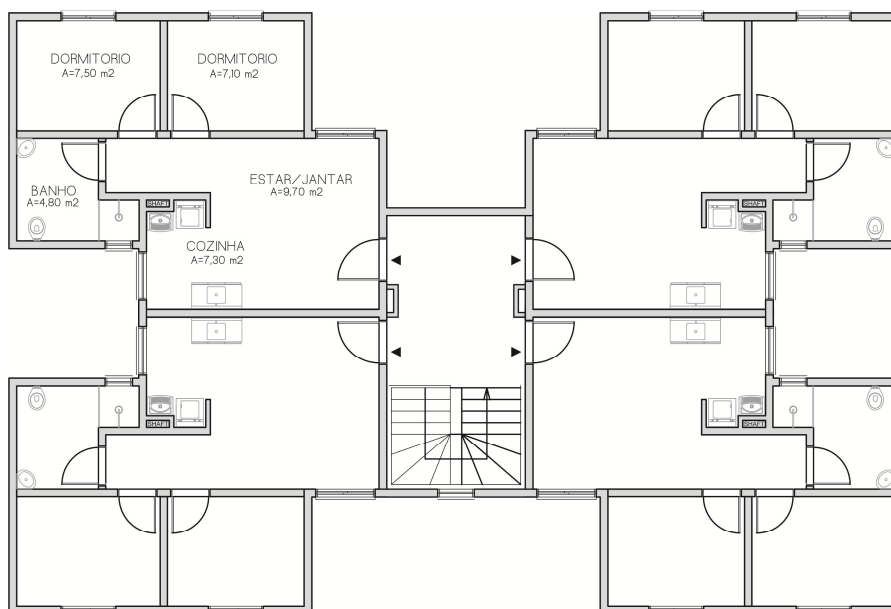


Figura 3 – Planta baixa do Projeto-base (escala indeterminada).

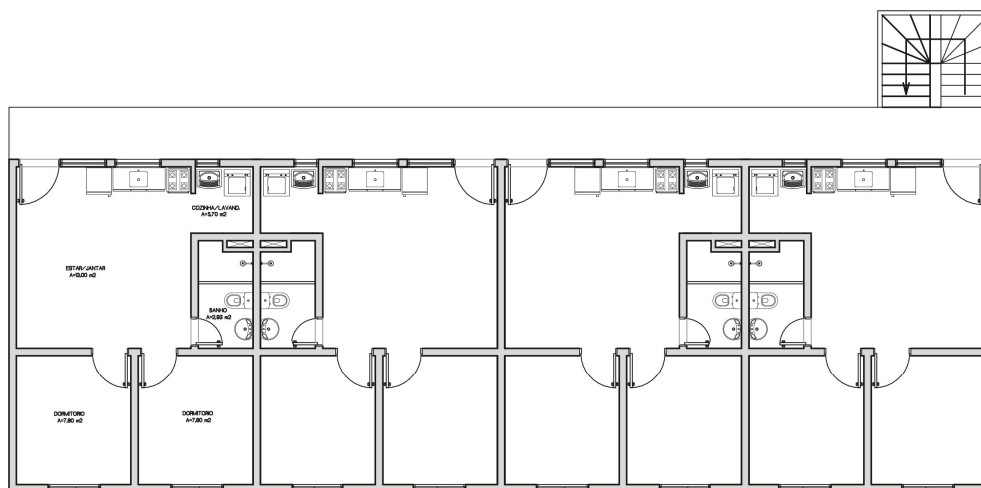


Figura 4 – Planta baixa do Projeto-proposto A (escala indeterminada).

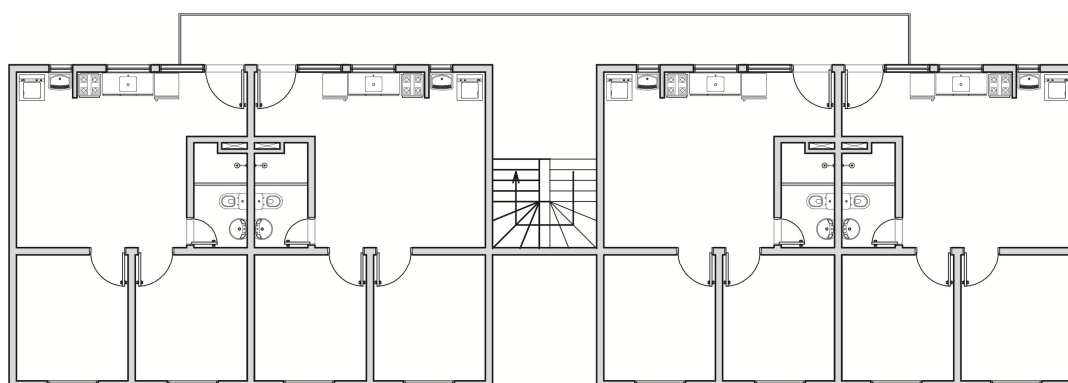


Figura 5 – Planta baixa do Projeto-proposto B (escala indeterminada).

### 3.2. Ciclo 2: análise do desempenho térmico

Para a simulação térmica selecionou-se o *EnergyPlus* (versão 7.2), devido sua capacidade de estimar trocas térmicas e consumo energéticos de edificações, através da modelagem e de padrões de uso da mesma. Além de ser o programa de simulação térmica mais utilizado em estudos científicos, sendo amplamente utilizado no Brasil.

Para a modelagem das edificações foi utilizado o plug-in *OpenStudio* para o Google *SketchUp* 8, pois permite a visualização do projeto modelado e possui um conjunto de ferramentas que facilitam a modelagem. Para a modelagem das zonas térmicas (espaço ou grupo de espaço suficientemente similares) optou-se por unificar em uma única zona os espaços não estudados nesta pesquisa (cozinhas, lavanderias e banheiros), quando em espaços contíguos. Desta forma, os espaços de permanência prolongada foram modelados como uma zona cada. O algoritmo de solução do *EnergyPlus* utilizado neste trabalho foi o CTF (*Conduction Transfer Function*), o qual considera apenas a troca de calor sensível, desconsiderando o armazenamento e difusão de umidade nos sistemas construtivos.

Para análise de desempenho térmico as simulações foram realizadas com ventilação natural. Para promover a ventilação, as esquadrias possuem *setpoint* de abertura em 20°C. A velocidade do ar foi baseada na norma ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730 (2005). Entretanto, em regiões de alta umidade o fluxo de ar é a principal forma de proporcionar o conforto térmico nos ocupantes das habitações. Portanto, a velocidade do ar utilizado para avaliação do conforto térmico foi baseada na relação entre a velocidade média do ar com temperatura do ar e o PDD. Para os períodos quentes (22/09 a 19/3) a velocidade média do ar é de 0,21m/s e para o período frio (20/3 a 21/9) foi de 0,12m/s.

O padrão de ocupação para as edificações é de quatro habitantes por unidade. Os quartos são ocupados por, no máximo, duas pessoas, cozinha e sala são utilizadas por toda família e a ocupação máxima

do banheiro é uma pessoa. A definição das atividades dos habitantes em cada ambiente foi baseada na ISO 7730 (2005): 45 W/m<sup>2</sup> de pele para os dormitórios; 60 W/m<sup>2</sup> para a sala; e 95 W/m<sup>2</sup> para a cozinha.

As resistências térmicas das vestimentas dos ocupantes foram baseadas nas normas ASHRAE 55 (2004) e ISO 7730 (2005), considerando-se os períodos quentes (22/09 a 19/03) e frios do ano (20/03 a 21/09). Para o verão o padrão de isolamento de vestimenta utilizado foi de 0,5 clo (roupas de baixo, camisa de mangas curtas, calças leves, meias e sapatos). Para o inverno o padrão de isolamento adotado foi de 1,2 clo (roupas íntimas, camisa de manga comprida, blusão grosso, jaqueta grossa, calças grossas, meias e sapatos). Considerou-se em ambos os períodos todos os dias da semana e horas.

O consumo de energia elétrica foi estimado em 200 kWh/mês, considerados na análise térmica da edificação apenas o calor gerado por equipamentos. A orientação solar dos modelos foi definida pela preferência dos dormitórios à Leste. As Tabelas 1 e 2 indicam as propriedades dos materiais utilizados para simulação em todos os projetos.

Tabela 1 – Propriedades do sistema construtivo (Fonte: ABNT, 2005).

Sistema construtivo		Parâmetros de projeto				
Ident.	Descrição	U [W/(m <sup>2</sup> K)]	CT [KJ/m <sup>2</sup> K]	φ [h]	α	FCS
P1	Blocos cerâmicos 8 furos, argamassa de revestimento e=2,5cm, pintura; Espessura total: 24cm.	1.80	231	5.5	0.2	1.44
P interna	Blocos cerâmicos 6 furos; argamassa de revestimento e=2,5cm; Espessura total: 14cm.	2.48	159	3.3	0.2	1.98
C1	Laje maciça e=10,0cm, câmara de ar (≥ 5,0cm) e telha de fibrocimento pintada e=7mm.	2.06	233	4.0	0.2	1.64
Lajes e pisos	Laje mista e=12cm, piso cerâmico e=1,0cm; Espessura total: 13cm.	2.578	-	-	0.7	7.22

Definiram-se três fatores de abertura para a modelagem das janelas: zero para janela fechada; 0,5 para a abertura de 50% da janela; e, 1 para a abertura completa da janela. Para as portas, dois fatores de abertura, zero e 1. A proteção dos vãos foi realizada utilizando um sistema de sombreamento tipo veneziana externa móvel, de alumínio, cor branca, com fechamento automático quando a temperatura externa atinge 29°C. Permitindo, assim, que permaneça aberto durante os períodos frios, quando há a necessidade de radiação solar interna.

Tabela 2 – Propriedades dos vidros (Fonte: Optics 5.2a, 2010 apud POZZA, 2011).

Sistema construtivo				Parâmetros térmicos					
Descrição	e [m]	Ts	Rs	Rs	Tv	Rv	Tir	ε	k [W/m.K]
Vidro claro	0,003	0,837	0,075	0,075	0,898	0,081	0	0,84	0,9

Para a definição da temperatura de solo de Porto Alegre utilizou-se o programa *Slab*, software auxiliar do *EnergyPlus*. Este programa calcula as temperaturas médias do solo para cada mês do ano, com base nos valores médios de temperaturas externas e internas da edificação. Na Tabela 3 apresentam-se os valores de temperatura do solo calculados pelo programa para o projeto-base.

Tabela 3 – Temperatura de solo (valores em °C)

Clima	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
PA	22,02	22,00	21,97	21,57	20,90	20,62	20,63	20,38	20,45	20,99	21,27	21,75

Realizou-se uma avaliação dos dados através do método graus-hora. Para este estudo, a temperatura base foi definida através da zona de conforto de Givoni (1992) para países em desenvolvimento com umidade relativa do ar alta, com temperaturas variando entre 18°C e 29°C. Foi realizada, ainda, uma análise do conforto térmico através do método da ASHRAE 55 (2004) com o uso do software de simulação *EnergyPlus*, simulando-se os dados climáticos internos das habitações. Este software gerou uma resposta térmica de aceitabilidade das edificações analisadas no período de um ano, em horas.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a análise dos dados horários obtidos pelas simulações, as temperaturas internas máximas e mínimas alcançadas no interior de cada unidade das edificações, a avaliação através do método de graus-hora e da ASHRAE 55 (2004) são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que as temperaturas mínimas são mais altas na edificação em H do que as demais edificações, apresentando até 14°C no interior do ambiente. Este resultado se inverte quando nas

temperaturas máximas, chegando a 30,5°C. As edificações A e B apresentaram as temperaturas internas mais extremas, com  $T_{i_{min}}$  de 11,4°C e  $T_{i_{máx}}$  de 32,2°C, respectivamente. Assim, todas as edificações possuem temperaturas fora da faixa de conforto térmico utilizada, de 18°C a 29°C.

Esses dados corroboram com o resultado do método de graus-hora. A edificação H apresenta horas de conforto acima das demais edificações, conseqüentemente, desconforto devido ao frio e ao calor são menores que as demais edificações em barra. A edificação H apresenta até 89% das horas em conforto térmico (7827,3 horas), sendo a única a apresentar resultados dentro do limite de 1000 horas de desconforto estipulada por Barbosa (1999). Já os Projetos-propostos A e B apresentam, respectivamente, 87% e 85% das horas em conforto.

Tabela 4 – Nível de desempenho térmico (Fonte dos parâmetros de projeto: ABNT, 2005).

Ident.	unidade	Resultados [°C e horas]					
		$T_{i_{máx}}$	$T_{i_{min}}$	Frio	Calor	Conforto	ASHRAE
Projeto-Base	01	30,5	13,7	1057,7	64,7	7637,67	3274
	02	30,5	13,7	1007,3	63,7	7689,0	3683
	03	30,7	14,1	921,0	73,7	7765,3	3239
	04	30,8	14,1	858,0	74,7	7827,3	3239
Projeto-proposto A	01	31,9	11,4	1378,3	151,7	7230,0	3237
	02	31,8	12,5	968,7	146,3	7645,0	3112
	03	32,1	11,7	996,7	157,7	7605,7	3111
	04	31,9	11,5	1315,7	152,7	7291,7	3216
Projeto-proposto B	01	32,1	11,3	1378,3	178,0	7203,7	3224
	02	32,0	11,8	1178,3	161,7	7420,0	3166
	03	31,9	11,8	1182,7	158,0	7419,3	3170
	04	32,2	11,5	1291,0	185,3	7283,7	3187

Verifica-se que com a diminuição de área de paredes, houve uma redução da área de ganho de calor solar. Além disso, com as fachadas principais em orientação solar Leste-Oeste há um desequilíbrio de insolação, tornando os ambientes mais quentes no verão e frios no inverno. O que ocorre nas edificações A e B, apesar de utilização de circulação como forma de proteção solar da fachada Oeste.

Ainda de acordo com a Tabela 4, pode-se obter, através do método da ASHRAE, a quantidade de horas em desconforto térmico de cada unidade da edificação. Ao contrário dos demais métodos, as edificações A e B apresentaram menores horas em desconforto térmico, se comparadas com a edificação H. Esta diferença entre métodos deve-se ao fato da ASHRAE utilizar dados de velocidade de ventilação, radiação solar e vestimenta para calcular o conforto térmico do ambiente. Dessa forma, através deste método pode-se perceber o aumento do conforto térmico através da promoção da ventilação cruzada na edificação, que não ocorre na edificação com forma de planta H.

A vantagem do tipo arquitetônico dos Projetos-propostos A e B é que se pode, quando viável na implantação, voltar os dormitórios de todas as unidades habitacionais para a melhor insolação. Além disso, essa forma de planta permite a ventilação cruzada nos apartamentos, contribuindo para redução do uso de ar condicionado em dias quentes e colaborando para a redução de mofo e bolor nos ambientes, características de espaços mal ventilados.

## 5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste estudo, verificou-se que o pressuposto inicial de que a alteração do tipo arquitetônico teria grande interferência nas características do conforto térmico das unidades habitacionais, não se confirmou. Apesar da vantagem dos Projetos-propostos viabilizarem a ventilação cruzada e também adequação à melhor insolação aos ambientes de permanência prolongada, quando viável na implantação, as temperaturas no interior das unidades habitacionais se mantiveram similares. Desta forma, os resultados deste trabalho corroboram os resultados de Tuhus-Dubrow e Krarti (2010) e Grigoletti e Sattler (2010) apresentados na Introdução.

Uma vez que os três projetos analisados ficaram fora dos padrões de conforto estabelecidos, levanta-se a hipótese de que para se aprimorar as condições de conforto térmico, é necessário investimento e análise criteriosa na etapa de projeto, com as especificações de materiais mais adequados, especialmente na envoltória (uma vez que a influência da cobertura é menor em edifícios residenciais multifamiliares, diferente de empreendimentos térreos).

Ainda, a reduzida área das unidades habitacionais também pode ter influenciado para que não houvesse alterações significativas na temperatura do ar interno. No entanto, destaca-se a importância deste



estudo no que tange à análise da forma da edificação e suas características térmicas, assim como o estudo dos materiais de forma integrada, abrangendo as propriedades dos materiais utilizados nas paredes, esquadrias, cobertura, etc.

Por fim, uma vez que os resultados em termos de horas de conforto se mostraram similares para os prédios com forma em H e em barra com unidades habitacionais de áreas reduzidas, torna-se pertinente a análise de outros quesitos como forma de definição de estratégia projetual. Dentre elas, citam-se o menor custo para produção dos edifícios retangulares (com IeC mais alto) e a possibilidade de ventilação cruzada e insolação adequada dos Projetos-propostos, reduzindo horas de utilização de condicionamento térmico e gerando, conseqüentemente, economia de energia elétrica.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220-2**: Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- ANSI/ASHRAE Standard 55-2004. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2004.
- ANSI/ASHRAE Standard 55-2010 ADDENDA. **Thermal environmental conditions for human occupancy**. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, 2010.
- BARBOSA, M. J. **Uma metodologia para especificar e avaliar o desempenho térmico de edificações residenciais unifamiliares**. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia), Curso de Pós-graduação em Engenharia da Produção, UFSC, Florianópolis.
- CUNHA, E. G.; ZECHMEISTER, D.; MELO, E. Q.; MASCARÓ, J. J.; VASCONCELLOS, L. de; FRANDOLOSO, M. A. L. **Elementos de arquitetura de climatização natural: Método projetual buscando a eficiência nas edificações**. 2. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2006.
- DEAR, R. de; BRAGER, G. Thermal Comfort in Naturally Ventilated Buildings: revisions to ASHRAE Standard 55. **Energy and Buildings**, v. 34, n. 6, p. 549-563, 2002.
- DOE. U. S. **Department of Energy**: Energy Efficiency & Renewable Energy – Building Energy Software Tools Directory. Disponível em: < <http://www.eere.energy.gov/>>. Acesso em: 19 dez. 2012.
- FRONTCZARK, M.; WARGOCKI, P. Literature survey on how different factors influence human comfort in indoor environments. **Building and Environment**, v.46, n.4, p. 922-937, abr. 2011.
- GIGLIO, T. G. F.; BARBOSA, M. J. Aplicação de métodos de avaliação do desempenho térmico para analisar painéis de vedação em madeira. **Ambiente Construído**, v.6, n.3, p. 91-103, jul./set. 2006.
- GIVONI, B. Comfort Climate Analysis and Building Design Guidelines. **Energy and Buildings**, v. 18, n. 1, p. 11-23, 1992.
- GIVONI, B. **Climate Considerations Buildings an Urban Design**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1998.
- GRIGOLETTI, G. de C.; SATTLER, M. A. **Método de avaliação global de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social para Porto Alegre – RS – Brasil**. **Ambiente Construído**, v.10, n.2, p. 101-114, abr./jun. 2010.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Síntese de indicadores sociais** – Uma análise das condições de vida da população brasileira. Estudos e pesquisa, Informação demográfica e socioeconômica, n. 27. Rio de Janeiro, 2010.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (IPT). **Avaliação do desempenho térmico e energético de edificações e projetos**. Disponível em: <<http://www.ipt.br>> Acesso em: Agosto de 2011.
- INTERNACIONAL STANDARDIZATION ORGANIZATION (ISO). **ISO 7730** – Ergonomics of the thermal environment – Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria. 3. ed. Genebra, Suíça, 2005.
- LAMBERTS, R.; DUTRA, L.; PEREIRA, F. O. R. **Eficiência Energética na Arquitetura**. 2ª edição. São Paulo: ProLivros, 2004.
- LAMBERTS, R.; TRIANA, M. A. Levantamento do estado da arte: energia. Projeto: Tecnologias para construção habitacional mais sustentável. **Relatório Projeto Finep**. São Paulo, 2007.
- LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa eficiente: bioclimatologia e desempenho térmico**. Florianópolis: UFSC, 2010.
- MACHADO, F. E. F. **A eficiência de técnicas sustentáveis na construção civil medida através do conforto térmico: Estudo em escola no município de Feliz**. 2010. Monografia (Graduação em Engenharia Civil), Curso de Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, Brasil. 2010
- MASCARÓ, J. L. **O Custo das Decisões Arquitetônicas**. 5. ed. Porto Alegre: Masquatro, 2010.
- MENDES, N.; WESTPHAL, F. S.; LAMBERTS, R.; NETO, J. A. B. C. **Uso de instrumentos computacionais para análise do desempenho térmico e energético de edificações no Brasil**. **Ambiente Construído**, v.5, n.4, p. 47-68, out./dez. 2005.
- MORRISSEY, J.; HORNE, R. E. Life cycle cost implications of energy efficiency measures in new residential buildings. **Energy and Buildings**, v. 43, n.4, p. 915-924, abr. 2011.
- PEREIRA, I. M.; ASSIS, E. S. **Avaliação de modelos de índices adaptativos para uso no projeto arquitetônico bioclimático**. **Ambiente Construído**, v.10, n.1, p. 31-51, jan./mar. 2010.
- RIO GRANDE DO SUL. **Atlas Socioeconômico do Rio Grande do Sul**. Edição eletrônica. Disponível em: < <http://www.scp.rs.gov.br/atlas/default.asp>> Acesso em: Dezembro 2011.
- ROMÉRO, M. A. B. **Princípios bioclimáticos para o desenho urbano**. 2. ed. São Paulo: ProEditores, 2000.
- RORIZ, M. Arquivos climáticos de municípios brasileiros. **Relatório de pesquisa**. ANTAC/DECiv, UFSCar, São Paulo/ São Carlos, Brasil, 2011.
- ROSSO, T. **Aspectos geométricos do custo das edificações**. Simpósio sobre barateamento da construção habitacional. Trabalho nº 83. Salvador, mar., 1978.

- SCHNECK, E. R. **Tipo arquitetônico em empreendimentos habitacionais de interesse social: impactos ambientais, diferenças no custo e em quesitos de habitabilidade.** São Leopoldo, 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Unisinos, São Leopoldo. 2013.
- TUHUS-DUBROW, D.; KRARTI, M. Genetic-algorithm based approach to optimize building envelope design for residential buildings. **Building and Environment**, Estados Unidos, v. 45, n. 12, p. 1574-1581, dez. 2010.
- TZORTZOPOULOS, P. **Contribuições para o desenvolvimento de um modelo do processo de projeto de edificações em empresas construtoras incorporadoras de pequeno porte.** 1999. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre.

## **AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem à CAPES pela concessão das bolsas de mestrado.