



**XV ENCAC** Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído

**XI ELACAC** Encontro Latino-Americano de Conforto no Ambiente Construído

JOÃO PESSOA | 18 a 21 de setembro de 2019

## **A INFLUÊNCIA DO SOMBREAMENTO DE PAREDES E COBERTURA NO DESEMPENHO TERMOENERGÉTICO DE UMA EDIFICAÇÃO RESIDENCIAL**

**Thaís C. Rodrigues (1); Kelly F. Aires (2); Maximo A. U. Gutiérrez (3); Lisandra F. Krebs (4); Eduardo G. da Cunha (5)**

(1) Graduanda do curso de Arquitetura e Urbanismo, [thaisa.carvalho@ufpel.edu.br](mailto:thaisa.carvalho@ufpel.edu.br)

(2) Graduanda do curso de Arquitetura e Urbanismo, [kelly.aires21@hotmail.com](mailto:kelly.aires21@hotmail.com)

(3) Engenheiro Civil, [maxi\\_ugon@hotmail.com](mailto:maxi_ugon@hotmail.com)

(4) Dra., Arquiteta, Professora do Curso de Arquitetura e Urbanismo, [lisandra.krebs@ufpel.edu.br](mailto:lisandra.krebs@ufpel.edu.br)

(5) Dr., Arquiteto, Professor do Curso de Arquitetura e Urbanismo e do Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, [eduardo.grala@ufpel.edu.br](mailto:eduardo.grala@ufpel.edu.br)

(1, 2, 3, 4, 5) Universidade Federal de Pelotas, Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE), Cx Postal 1359, Pelotas-RS, 96010-020, Tel.: +55 (53) 3284-5508

### **RESUMO**

Este estudo teve o objetivo de analisar o efeito do sombreamento no desempenho termoenergético de uma residência unifamiliar, na cidade de Pelotas – RS. A investigação foi realizada através de simulações computacionais no programa *EnergyPlus*, feitas com duas diferentes alternativas de isolamento térmico do envelope: uma com maior e outra com menor transmitância térmica. Para isto, foram realizados estudos paramétricos no sombreamento das superfícies externas da edificação. As configurações de sombreamento apresentadas foram: sem sombreamento, com o sombreamento da cobertura, com o sombreamento de paredes e janelas, e com o sombreamento total. A residência foi analisada com ventilação natural e climatização artificial, conforme recomendado pelo RTQ-R. Concluiu-se que o consumo energético foi menor na edificação com o maior isolamento térmico quando a mesma esteve com as paredes e janelas sombreadas, principalmente no verão, exigindo menor consumo de energia para resfriamento. O pior desempenho foi obtido pela edificação com menor isolamento térmico, quando totalmente sombreada. A melhor situação de conforto térmico anual foi encontrada quando houve a ausência de sombreamento em ambos os níveis de isolamento térmico da edificação.

Palavras-chave: sombreamento, isolamento térmico, eficiência energética, simulação computacional.

### **ABSTRACT**

This study aimed to analyze the effect of shading on the thermal and energy performance of a single-family dwelling in the city of Pelotas – RS. The investigation was conducted through computer simulations with the software *EnergyPlus*, with two different alternatives for the building envelope's thermal insulation: with a higher and a lower thermal transmittance. Parametric studies were conducted about the buildings external surfaces. The shadowing variations were: without shadow, with the roof shaded, with walls and windows shaded, and total shaded. The dwelling was analyzed with a natural ventilation and with air conditioning, as indicated by the RTQ-R. It was concluded that the energy consumption was lower in the house with the higher thermal insulation when it had the walls and windows shaded, especially in the Summer, demanding less energy consumption for cooling. The lowest performance was obtained by the house with the lowest thermal insulation, when totally shaded. For both insulation levels, the highest comfort level was obtained when there was no shading.

Keywords: Shading, thermal insulation, energy efficiency, computer simulation.

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo a Agência Internacional de Energia (IEA, 2018), o setor residencial no ano de 2016 foi responsável mundialmente por 22% do consumo de energia primária. O Brasil ocupa o sétimo lugar na lista dos países que mais consomem energia primária no mundo (IEA, 2018). Segundo o Balanço Energético Nacional (EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA, 2018), as edificações representam 51% de consumo de energia elétrica. O setor residencial é responsável pelo maior consumo dentre as edificações, tendo uma participação de 25,5% (EPE, 2018). Uma das melhores maneiras para obtenção de edificações, com um nível otimizado de eficiência energética é através da adoção de estratégias passivas. Para Laustsen (2008) a utilização destas estratégias, em conjunto com as novas tecnologias, gera soluções que podem minimizar o consumo de energia de uma edificação até perto de zero.

Como consequência do baixo nível de planejamento urbano, atrelado a elevada velocidade de crescimento visto nas cidades, a morfologia do terreno é alterada incidindo diretamente no comportamento do microclima da região. Segundo Assis (2005), estudos descritivos do clima urbano em áreas tropicais e temperadas indicam que a mudança climática local está diretamente associada à ação antropogênica, tendo consequências severas em termos de estresse bioclimático e no consumo de energia para climatização artificial. Dentro deste contexto a verticalização urbana exerce uma elevada influência, criando locais de sombreamento contínuo e trazendo um alto uso de equipamentos elétricos para aumentar o conforto térmico interno.

Em estudo desenvolvido por Duarte (2012) foi demonstrada a influência do sombreamento arbóreo no desempenho energético dos edifícios. A análise baseou-se nas variáveis termo-higrométricas através de simulações computacionais, tendo como objeto de estudo salas de aula próximas e com características construtivas de projeto iguais, localizadas na cidade de Cuiabá. Os resultados mostraram uma diminuição na temperatura interna das salas na ordem de 1,5°C e 2,0°C, dependendo da orientação da mesma, implicando numa redução de 50% e 18%, respectivamente, na demanda anual para climatização.

Chan (2012) estudou o efeito do sombreamento adjacente no desempenho térmico de edifícios residenciais em uma região subtropical, verificando que o sombreamento imposto pelo próprio edifício (advindo do layout de projeto), provoca uma alteração substancial no desempenho termoenergético das residências e GUPTA (2018), aponta que o melhor método para evitar o sobreaquecimento de edificações residenciais com alto nível isolamento térmico é através do sombreamento.

Pacheco (2013) avaliou o desempenho termoenergético, de uma edificação unifamiliar, sob diferentes situações de sombreamento, transmitância térmica e operações, em duas cidades com climas distintos. Na cidade de Belém (clima quente), a menor transmitância térmica do envelope e o sombreamento das áreas das paredes e superfícies transparentes apresentou melhores resultados de conforto térmico, para a situação de ventilação natural e, portanto, menor consumo com a climatização artificial. Na cidade de Curitiba (clima frio), o sombreamento das paredes e das superfícies transparentes com menor transmitância térmica reduziu o consumo energético. O sombreamento nulo e as menores transmitâncias térmicas reduziram o desconforto causado pela ventilação natural, entretanto, não garantiram situação de conforto na edificação.

Krebs (2018) comenta que soluções construtivas que visam estratégias passivas, podem gerar economia de energia no setor residencial, pelo aumento do conforto térmico interno. Assim como, relata em seu estudo a contribuição do sombreamento estratégico, sobre telhados verdes, para o aumento do desempenho térmico de uma edificação residencial, na cidade de Porto Alegre -RS.

Em consonância com Pacheco (2013), não são encontrados na literatura muitos trabalhos que tratem da temática do sombreamento de fechamentos opacos, considerando aqui, paredes e coberturas. Diferentemente dos fechamentos transparentes, os quais existem inúmeros trabalhos destacando o impacto dos sistemas de controle solar em aberturas zenitais e laterais.

Observa-se que nem sempre o sombreamento provocado pelo entorno verticalizado poderá resultar em edificações com menores índices de conforto térmico e maiores consumos de energia. A influência do sombreamento mudará de acordo com o grau de isolamento térmico do envelope e a Zona Bioclimática brasileira onde a edificação estiver inserida. O sombreamento gerado pela verticalização de zonas urbanas impacta de forma diferenciada edificações residenciais de um ou dois pavimentos com distintos níveis de isolamento térmico. No trabalho de Pereira et al (2016), observou-se que para uma edificação residencial de dois pavimentos orientada para norte com baixa transmitância térmica, o maior sombreamento dos planos verticais gerou o maior desempenho termoenergético do envelope. No trabalho de Pereira et al (2016) em decorrência de terem sido simulados condições diferenciadas de verticalização do entorno, não há um controle das condições de contorno das simulações no que diz respeito às variáveis sombreamento das paredes e sombreamento da cobertura. Nesse sentido, esse trabalho procura preencher esta lacuna e confirmar ou trazer novas contribuições nos resultados apresentados por Pereira et al (2016).

## 2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar a influência do sombreamento no desempenho termoenergético de uma residência unifamiliar inserida na cidade de Pelotas, Zona Bioclimática 2 (ZB2). O sombreamento foi efetuado na totalidade das superfícies externas, com duas situações de isolamento térmico. Na primeira, atendendo aos requisitos mínimos de transmitância térmica (U) para o envelope, estipulados pela NBR 15575 (U= 2,3 W/m<sup>2</sup>K) para cobertura e 2,5 W/m<sup>2</sup>K para paredes. Já na segunda, a edificação possui um alto nível de isolamento térmico, com valores de transmitância térmica (U) para o envelope de 0,3 W/m<sup>2</sup>K.

## 3. MÉTODO

O método de pesquisa se define em 6 etapas:

1. Caracterização do objeto de estudo;
2. Definição dos parâmetros de configuração e modelagem;
3. Configuração no *software* de simulação *EnergyPlus* (versão 8.7);
4. Configuração de sombreamento das superfícies externas;
5. Análise de resultados;
6. Discussão e conclusões.

A fim de proporcionar dados necessários para o desenvolvimento do método, as seguintes considerações foram observadas:

Cumprindo a indicação do Regulamento Técnico da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edificações Residenciais de 2012 (RTQ-R) de configuração das temperaturas do solo. Os valores foram obtidos através do processador *Slab* (compatível com o *EnergyPlus*), para o caso base e para o edifício isolado conforme Tabela 1.

Tabela 1 – Temperaturas médias mensais [°C] do solo do Caso Base e do Caso Isolado.

	MÊS	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
Caso base	Temp. [°C]	23,89	23,45	21,78	20,71	18,15	16,93	16,75	16,73	17,50	19,2	21,07	22,17
Caso isolado	Temp. [°C]	28,79	29,74	27,58	26,41	23,06	19,33	19,54	19,6	21,1	24,55	26,71	27,85

O arquivo climático utilizado nas simulações foi o da cidade de Pelotas – RS, desenvolvido pelo Laboratório de Conforto e Eficiência Energética (LABCEE), da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade Federal de Pelotas, apresentado em Leitzke *et al.* (2018).

O dia típico da cidade de Pelotas, gerado a partir da curva de distribuição normal, com frequência de ocorrência de 0,4% e 99,6%, respectivamente. Caracterizado por uma data de inverno e uma data de verão, conforme Leitzke *et al.* (2018). Na Tabela 2 é apresentado as temperaturas de bulbo seco (TBS) e a velocidade média do vento, tanto para o inverno como para o verão. (Leitzke *et al.* 2018).

Tabela 2 – Dia Típico de cidade de Pelotas – RS (Leitzke *et al.* 2018).

Médias	Dia Típico de Inverno (5 de julho)	Dia Típico de Verão (10 de janeiro)
TBS média [°C]	16,8	25,5
TBS média das máximas [°C]	21,8	36,1
TBS média das mínimas [°C]	7,2	8,7
Velocidade média do vento [m/s]	6,9	8,3

### 3.1 Caracterização do objeto de estudo

As estratégias bioclimáticas utilizadas no projeto arquitetônico, foram apresentadas por Dalbem *et al.* (2015) na pesquisa “CASA BIOCLIMÁTICA NZEB E QUALIDADE DO LUGAR: Entrelaçando experiências: Portugal e Rio Grande do Sul/Brasil”. Trata-se de uma residência unifamiliar de 2 pavimentos, distribuída em uma área de 126,45m<sup>2</sup>. Dispondo dos seguintes compartimentos: dormitório 1, dormitório 2, cozinha com sala de estar integrada, solário, banheiro, área de trabalho, área técnica e lavabo.

A residência encontra-se com o maior percentual de abertura na fachada norte, conforme Figura 1.

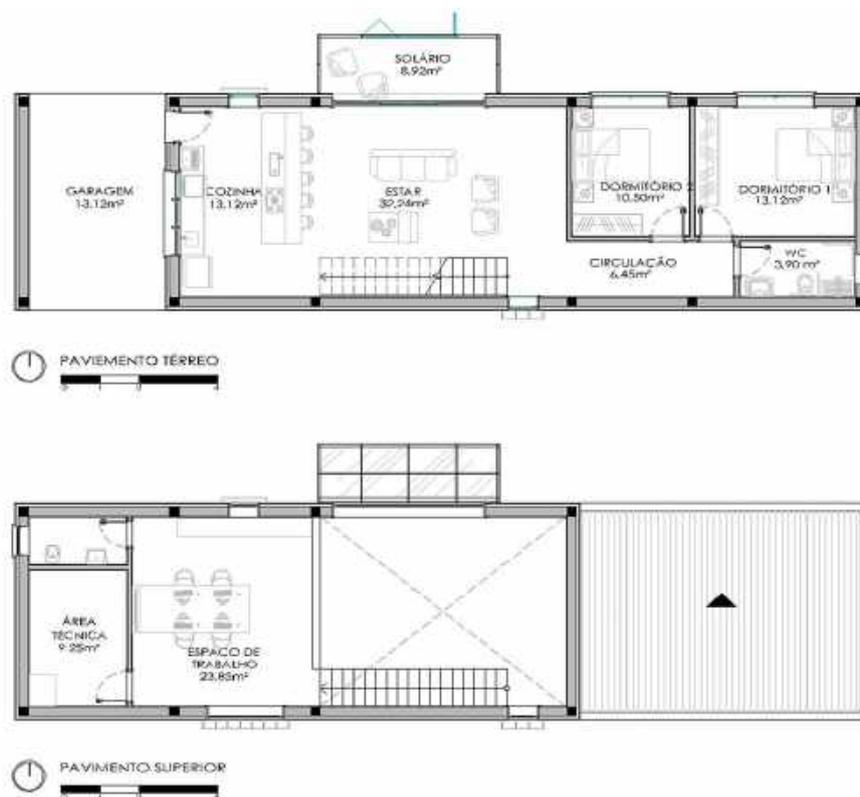


Figura 1 –Plantas baixas dos pavimentos térreo e superior (Dalbem et al. 2015).

### 3.2 Definição dos parâmetros de configuração

A configuração das agendas de ocupação, iluminação e equipamentos seguiram as recomendações dadas pelo RTQ-R, conforme tabela 3. O Regulamento estipula para a ocupação a presença de duas pessoas nos dormitórios, na sala de estar considera-se a soma de todas as pessoas (para este projeto, portanto, quatro pessoas no total). As rotinas de ocupação dos ambientes foram definidas com diferenciação de horários para os dias de semana e os finais de semana. No método de simulação computacional, de acordo com o RTQ-R, propõe-se a modelagem da geometria da edificação e as simulações para duas condições: uma para a edificação quando ventilada naturalmente e outra para quando condicionada artificialmente. Neste estudo, ambas as condições foram simuladas.

Tabela 3 – Parâmetros utilizados na simulação

Parâmetros	Valores Adotados			
	Dormitório 1	Dormitório 2	Sala de Estar / Cozinha	Escritório
Padrão de uso - Ocupação (pessoa/m²)	0,13	0,18	0,07	0,07
Densidade de potência instalada de iluminação (DPI) - Iluminação (W/m²)	5	5	6	6
Cargas internas de equipamentos (W/m²)	Desligado	Desligado	1,5	1,5
	Aquecimento		Resfriamento	
Coeficiente de Performance do sistema de condicionamento de ar – COP (W/W)	2,75		3,00	

#### 3.2.1. Modelagem tridimensional

Para a modelagem da geometria, foi utilizado o *software SketchUP Make 2017* (conforme ilustrado na Figura 2) com o uso do *plug-in Euclid*, que possibilitou a importação do modelo tridimensional para o *software EnergyPlus* (versão 8.7), no qual foi desenvolvido os processos de simulação.



Figura 2 – Modelagem do projeto arquitetônico no software SketchUp Make 2017.

O primeiro passo foi a criação de zonas térmicas: uma para cada ambiente da residência. Foram definidas sete zonas térmicas, da seguinte maneira: Dormitório de casal 1, Dormitório de casal 2, Banheiro, Sala de estar com cozinha integrada, Área técnica, Lavabo e Solário. Posteriormente, foram incluídos os fechamentos verticais e horizontais, assim como as janelas e sistemas de proteção solar. Para a simulação computacional do software *EnergyPlus*, foi considerado um desenho simplificado, utilizando as medidas em planta baixa de eixo a eixo das paredes.

### 3.3 Configuração da simulação no software *EnergyPlus*

O modelo geométrico utilizado para as simulações, foi o mesmo que o do projeto arquitetônico original, porém, foi alterado o nível de isolamento e o sombreamento do envelope. Dessa forma, houve a execução de oito simulações para todas as condições de isolamento proposto. Além disso, os casos foram analisados para condição de ventilação natural e condicionamento artificial. As configurações dos fechamentos opacos seguiram dois diferentes modelos: o Caso base, atendendo as transmitâncias térmicas (U) mínimas indicadas pela NBR 15575, e a Edificação isolada com valores reduzidos de U, obtidos através do estudo de Dalbem *et al.* (2017). As paredes e coberturas apresentam a cor branca, a composição e os valores de U destes dois modelos são apresentadas na Tabela 4 e na Figura 3.

Tabela 4 – Composição de paredes externas e cobertura do caso base e do caso isolado.

Sistemas de vedações	Caso base		Edificação isolada	
	Modelo compositivo	Transmitância térmica (U) [W/m <sup>2</sup> K]	Modelo compositivo	Transmitância térmica (U) [W/m <sup>2</sup> K]
<b>Paredes</b>	Reboco interno 2,5 cm Bloco cerâmico 9x14x24 cm Reboco externo 2,5 cm Pintura branca 0,02 cm	<b>2,5</b>	Reboco interno 2 cm Bloco cerâmico 14x9x24 cm EPS 8 cm Reboco externo 2 cm Pintura branca 0,02 cm	<b>0,3</b>
<b>Cobertura</b>	Laje maciça em concreto 10 cm 5 cm Ar Telha de fibrocimento 0,08 cm	<b>2,3</b>	Laje pré-moldada 25 cm EPS 8 cm Reboco de 2 cm 5 cm Ar Telha de fibrocimento 0,08 cm	<b>0,3</b>

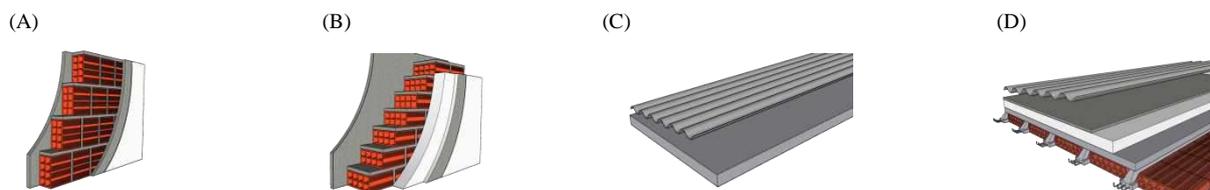


Figura 3 – Modelo compositivo: (A) Parede caso base; (B) Parede da edificação isolada; (C) Cobertura do caso isolado; (D) Cobertura da edificação isolada.

#### 3.3.1 Configuração do edifício ventilado naturalmente

Para a obtenção dos resultados de conforto térmico, a ventilação natural foi configurada para o período de um ano com o funcionamento de 24 horas por dia. O *setpoint* de abertura de janelas esteve em 20°C, com percentual de abertura em 10%, alterando-se gradativamente até obtenção 25°C, onde as janelas apresentaram abertura de 100%.

#### 3.3.2 Configuração do edifício condicionado artificialmente

Para a obtenção dos resultados de consumo energético com a climatização artificial, foram considerados apenas os ambientes de permanência prolongada, visto que são os que mais exigem conforto térmico. Foram consideradas 8760 horas do ano, admitindo-se uma zona de conforto entre 20°C a 26°C, na qual o ar condicionado não estaria em funcionamento. O termostato foi ajustado, portanto, para aquecimento nos valores abaixo de 20°C, e para resfriamento nos valores acima de 26°C.

### 3.3.3 Configuração de sombreamento das superfícies externas

O sombreamento da edificação foi configurado diretamente no *software EnergyPlus*. Por causa ausência de entorno na simulação, observou-se quais superfícies externas quando sombreadas, podem impactar no desempenho termoenergético da edificação. Sendo assim, selecionadas faces externas da residência que não estariam expostas à radiação solar, através da opção *nosun* disponível no *EnergyPlus*. O estudo apresentou quatro condições de sombreamento, variando desde a edificação totalmente sombreada, até a ausência de sombreamento, situação reproduzida na Figura 4. Estas condições foram adotadas para os dois modelos de isolamento (Caso base e Edificação isolada).

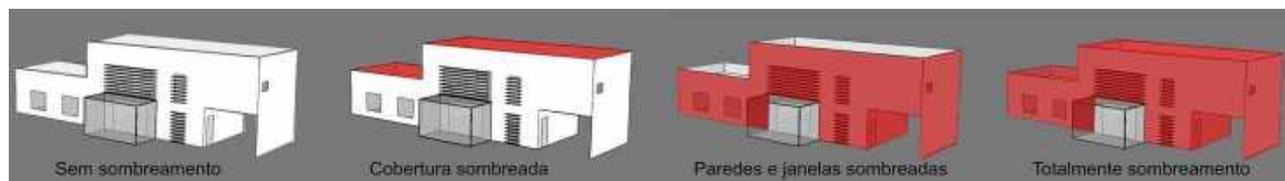


Figura 4 – Modelos tridimensionais das configurações de sombreamento das superfícies externas.

## 3.4 Método aplicado na análise de resultados

A análise foi feita com base nos resultados de desempenho termoenergético das duas configurações de residência, bem como em todas as condições de sombreamento. Como resultados das simulações, foram obtidos os seguintes consumos energéticos: para a climatização artificial, para o uso de equipamentos e para a iluminação. A simulação também forneceu, como dado de saída, o índice de conforto adaptativo (segundo o Modelo de Conforto Adaptativo do Standard ASHRAE 55) para os ambientes de permanência prolongada.

### 3.4.1 Resultados da simulação com ventilação natural por 24 horas:

A temperatura operativa e a temperatura externa das 8760 horas simuladas foram transformadas em médias mensais. Estas médias foram então empregadas na Equação 1, que calcula a Temperatura Neutra de Conforto ( $T_{oc}$ ) segundo o Modelo de Conforto Adaptativo do Standard ASHRAE 55 (2013).

$$T_{oc} = 17,8 + 0,31 T_{ext} \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$T_{oc}$  = Temperatura operativa de conforto [°C];

$T_{ext}$  = Temperatura média mensal externa [°C].

A análise dos resultados considerou um limite de aceitabilidade de 80%, considerado o mais adequado para ambientes pouco controlados (sem automações, o usuário tem maior autonomia para regular a abertura e o fechamento de aberturas). Este processo possibilitou a obtenção das horas em que a edificação esteve na condição de conforto no ano. Onde os valores em que as horas de temperatura operativa interna estiveram abaixo do limite de  $T_{oc} - 3,5$  °C, entraram na contagem de desconforto por frio e as horas que estiveram acima do limite de  $T_{oc} + 3,5$  °C, como desconforto por calor. Obtendo assim, então, um valor percentual das horas do ano em que a edificação esteve na condição de conforto e desconforto (por frio ou por calor).

### 3.4.2 Resultados da simulação com climatização artificial por 24 horas:

Os valores de consumo energético devido à climatização artificial foram obtidos através dos resultados de resfriamento, de aquecimento e de ventilação, informados pelo programa *EnergyPlus*. Em posse destes dados e com a soma dos valores consumo energético de iluminação e equipamentos, o consumo energético total da edificação foi obtido (tanto para o caso base, como para o caso isolado).

## 4. ANÁLISE DE RESULTADOS

### 4.1. Análise dos resultados de consumo

A partir da análise do comportamento da edificação sob condicionamento artificial foram gerados dados do consumo energético em kWh/m<sup>2</sup>.ano. A Figura 6 apresenta um infográfico com os dados obtidos para as variáveis que envolvem o funcionamento da edificação sob dita condição para os oito casos de análise. A partir da análise do comportamento da edificação sob ventilação natural gerou-se o valor percentual de conforto térmico relativo a todas as horas do ano (apresentado na Figura 5).

DESEMPENHO ENERGÉTICO - ZB2 PELOTAS - AR CONDICIONADO 24 hrs								
Sombreamento das superfícies								
	Sem sombreamento		Cobertura		Paredes e janelas		Paredes, janela e cobertura	
TOTAL kWh/m² (anual)	CASO BASE	CASO ISOLADO	CASO BASE	CASO ISOLADO	CASO BASE	CASO ISOLADO	CASO BASE	CASO ISOLADO
TOTAL	54,80	27,75	56,59	25,56	59,19	25,34	61,45	25,87
Iluminação	7,94	7,94	7,94	7,94	7,94	7,94	7,94	7,94
Equipamentos	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96	6,96
Ar condicionado para aquecimento	35,79	2,28	39,24	3,39	42,45	5,11	45,39	9,46
Ar condicionado para resfriamento	3,52	10,36	1,88	7,12	1,26	5,20	0,60	1,40
Ar condicionado para ventilação	0,59	0,21	0,57	0,15	0,58	0,13	0,56	0,13

Figura 5 - Infográfico de consumo energético.

Para o caso base, o qual conta com fechamentos de acordo com os mínimos estabelecidos pela NBR 15575 (2013), evidenciou-se um aumento do consumo total de energia relacionado ao aumento da porção sombreada da edificação. Na situação de sombreamento total, houve a necessidade de maior consumo para aquecimento e menor consumo para resfriamento, comparada com a situação em que esteve sem sombreamento, causando uma elevação do consumo relativo em 12,1%. A melhor situação se encontrou quando a edificação esteve sem sombreamento, apresentando 21,1% de redução de consumo para aquecimento e 10,8% a menos de consumo total, comparado com a edificação totalmente sombreada.

Para a edificação isolada, na ausência de sombreamento, necessitou de 86,5% a mais de consumo para resfriamento e 24,1% a menos de consumo para aquecimento, do que a edificação totalmente sombreada. A melhor situação se encontrou quando o sombreamento se deu sobre as paredes e janelas, onde reduziu o consumo total em 8,7%, reduzindo em 49,8 % de consumo para resfriamento, comparado a situação sem sombreamento e 46,0 % de consumo para aquecimento, comparado com sombreamento total. O que é consonante aos resultados de Pereira et al (2016), em que uma edificação residencial com alto nível de isolamento térmico, quando esteve com os planos verticais completamente sombreados, por um entorno edificado de 6 pavimentos, apresentou o maior desempenho energético, comparada com o sombreamento causado pelos entornos de 2, 4, 8, 10 e 14 pavimentos.

Equiparando as duas situações, o caso isolado, onde a edificação esteve com menor transmitância térmica (U), teve melhor desempenho energético, apresentando uma redução de consumo em cerca de 53,8%. Concordando com o estudo de Pacheco (2013), que indica que apenas o sombreamento quando aliado a uma menor transmitância térmica pode acarretar em menores consumos energéticos.

#### 4.2. Análise dos resultados de conforto

A Figura 6 mostra o percentual de horas em conforto, em desconforto por frio e em desconforto por calor para as quatro situações de sombreamento, para o Caso base e para o Caso isolado.

DESEMPENHO TÉRMICO - ZB2 PELOTAS - VENTILAÇÃO NATURAL 24 hrs								
Sombreamento das superfícies								
	Sem sombreamento		Cobertura		Paredes e janelas		Totalmente sombreado	
	CASO BASE	CASO ISOLADO	CASO BASE	CASO ISOLADO	CASO BASE	CASO ISOLADO	CASO BASE	CASO ISOLADO
CONFORTO	52,41	89,00	31,59	84,73	34,21	74,64	23,24	53,93
DESCONFORTO POR FRIO	47,51	8,71	68,41	14,23	64,79	24,02	76,76	46,07
DESCONFORTO POR CALOR	0,07	2,30	0,00	1,04	0,00	1,34	0,00	0,00

Figura 6 - Infográfico de conforto térmico.

No Caso base, o melhor desempenho térmico caracterizou-se pela ausência de sombreamento, demonstrando 29,17 % a mais de conforto, do que a residência totalmente sombreada e menor percentual de horas em desconforto por frio. Na Edificação isolada, a melhor situação se encontrou quando o edifício esteve sem sombreamento, apresentando 89,00% das horas do ano em conforto térmico, com 35,07% a mais de conforto térmico e 37,36% a menos de desconforto por frio, em relação à quando houve sombreamento total.

Quando comparada às duas condições de transmitâncias térmicas diferentes, nota-se que a edificação com menor transmitância térmica possibilitou maior conforto térmico: com 36,59% a mais de horas em conforto do que a melhor situação da edificação com maior transmitância térmica, apresentou uma redução de 38,80% no desconforto por frio e um aumento de desconforto por calor em 2,23%.

### 4.3. Análise comparativa do conforto térmico e consumo energético

A partir dos dados obtidos para a residência isolada quatro gráficos foram gerados: um onde a edificação encontrou-se totalmente sombreada e outro onde a edificação esteve sem sombreamento, considerando o dia mais quente e o mais frio do ano. Os gráficos demonstram as temperaturas do índice de conforto térmico adaptativo da ASHRAE 55, os *setpoints* do ar condicionado e a temperatura operativa, juntamente com os resultados obtidos para conforto térmico e consumo energético.

Embora tenhamos mais desconforto térmico por frio na edificação isolada sombreada, na situação de inverno as temperaturas internas ficam mais baixas, caracterizadas pelo maior consumo de aquecimento, conforme expresso na Figura 7. Porém, no verão, a edificação isolada sombreada apresenta a temperatura operativa próximo da temperatura neutra, e o respectivo consumo de resfriamento é de 1,40 kWh/m<sup>2</sup> ano de acordo com a Figura 8. Já no caso da edificação sem sombreamento, embora o consumo de resfriamento seja mais que dobro da situação sombreada (10,36 kWh/m<sup>2</sup> ano, apresentado na figura 10), já que o *setpoint* de resfriamento do ar condicionado é de 26°C, o limite superior do índice de conforto adaptativo da ASHRAE 55 indica que a edificação apresenta um maior nível de conforto térmico.

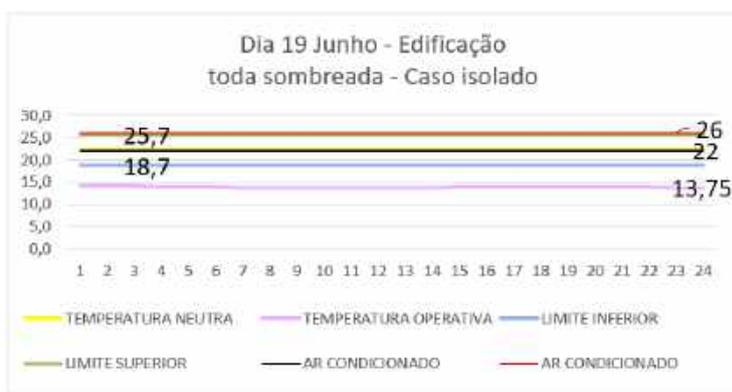


Figura 7- Gráfico do dia de inverno com sombreamento.



Figura 8 - Gráfico do dia de verão com sombreamento.



Figura 9 - Gráfico do dia de inverno sem sombreamento.

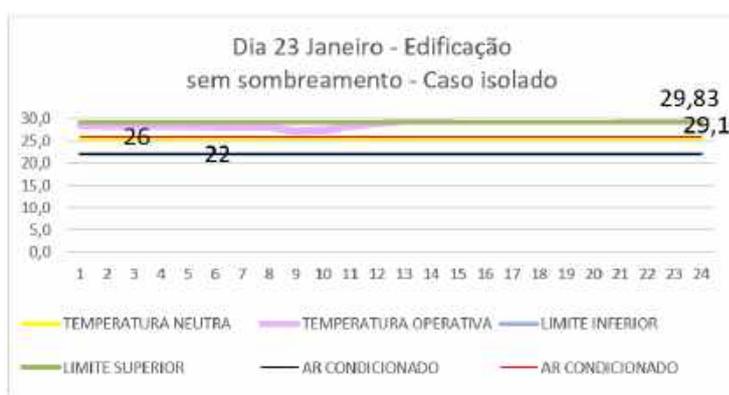


Figura 10 - Gráfico do dia de verão sem sombreamento.

## 5. CONCLUSÕES

Há necessidade de analisarmos as questões vinculadas ao sombreamento das edificações no entorno, com um olhar no nível de isolamento térmico das edificações residenciais, já que a mesma habitação com diferentes transmitâncias do envelope apresentou diferentes comportamentos quanto à necessidade de sombreamento. A intensidade de uso de energia, em kWh/m<sup>2</sup> ano, permitiu analisar de forma mais concreta a influência do sombreamento nas edificações com elevada e baixa transmitância térmica.

O melhor desempenho energético foi obtido para o envelope com menor transmitância térmica e sombreamento das superfícies verticais (paredes e janelas). O melhor desempenho térmico foi obtido para o envelope com menor transmitância, quando esteve com ausência sombreamento. Observou-se, porém, que quando a edificação esteve sombreada, no verão, o consumo foi menor para obter a situação de conforto térmico, devido a temperatura operativa estar próxima da temperatura neutra, apresentando uma menor necessidade de consumo energético para resfriamento. Assim como foi apresentado por Pacheco (2013), para a cidade de Curitiba (clima frio), a ausência sombreamento em edificações isoladas, reduziu o desconforto causado por ventilação natural, entretanto, o sombreamento de paredes e superfícies transparentes, aliado à baixa transmitância, resultou no menor consumo energético.

Além das questões já expostas, a pesquisa também possibilitou identificar uma incompatibilidade entre o limite superior de 25,5°C da NBR 16401 (ABNT 2008) (ambiente artificialmente condicionado) e o limite superior do índice de conforto térmico da ASHRAE 55 (ambiente naturalmente ventilado), limite de 29,1°C no verão (mês de janeiro), para a cidade de Pelotas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15.220**: Norma Brasileira de Desempenho Térmico de Edificações. Rio de Janeiro, 2005.
- \_. **NBR 15.575**: Edifícios Habitacionais - Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.
- \_. **NBR 16401**: Instalações de Ar Condicionado: Sistemas Centrais e Unitários. Rio de Janeiro, 2008.

- INMETRO – INSTITUTO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **RTQ-R**. Requisitos Técnicos da Qualidade para o Nível de Eficiência Energética de Edifícios Residenciais. INMETRO, Rio de Janeiro, 2009.
- ANSI/ASHRAE – AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE / AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING ENGINEERS. **Standard 55**: Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy. Atlanta, 2013.
- ASSIS, E. S. de. **A abordagem do clima urbano e aplicações no planejamento da cidade**: reflexões sobre uma trajetória. In: ENCONTRO NACIONAL DE CONFORTO DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. 7., Maceió, 2005. Anais... Maceió: ANTAC, 2005.
- CHAN, A. L. S. Effect of adjacent shading on the thermal performance of residential buildings in a subtropical region. **Applied energy**, v. 92, p. 516-522, 2012.
- GUPTA, R.; GREGG, M. Preventing the overheating of English suburban homes in a warming climate. **Building Research & Information**, v. 41, n. 3, p. 281–300, 2013.
- PEREIRA, Silvia Ruzicki ; Duarte, Carolina de Mesquita ; CUNHA, Eduardo G. da ; KREBS, Lisandra Fachinello ; EITZKE, R. K. ; BENINCA, L. ; SILVA, A. C. S. B. da . **Efeitos do sombreamento no desempenho de edificação com envelope isolado na ZB2**. PARC : PESQUISA EM ARQUITETURA E CONSTRUÇÃO, v. 7, p. 145, 2016.
- DALBEM, Renata ; FREITAS, J.R. ; CUNHA, Eduardo Grala da. **Conceito Passivhaus Aplicado ao Clima Brasileiro**. Revista de Arquitetura IMED, Passo Fundo, v. 4, p. 26-36, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.18256/2318-1109/arqimed.v4n1p26-36>>. Acesso em: 15 abril 2019
- DALBEM, R.; CUNHA, E. G. da; VICENTE, R.; FIGUEIREDO, A. J.; SILVA, A. C. S. B. da. **Discussão do desempenho da envoltória de uma passive house adaptada à zona bioclimática 2 em acordo com o RTQ-R**. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 201-222, jan./mar. 2017. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/ac/v17n1/1678-8621-ac-17-01-0201.pdf>>. Acesso em: 20 abril 2019.
- DUARTE, Luciane Cleonice; NOGUEIRA, Marta Cristina de J. A. **Sombreamento arbóreo e desempenho termoenergético de edificações**. In: Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Anais. Juiz de Fora, ENTAC, 2012.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2018**. Disponível em: <[http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018\\_\\_Int.pdf](http://epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-303/topico-419/BEN2018__Int.pdf)>. Acesso em: 19 abril 2019.
- INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). **Energy Efficiency Indicators 2018**: Highlights. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/energy-efficiency-indicators-2018-highlights>>. Acesso em: 19 abril 2019.
- LAUSTSEN, Jens, **Energy Efficiency Requirements in Building Codes**, Energy Efficiency Policies for New Buildings, Organisation for Economic Co-operation and Development/International Energy Agency, Paris, France, 2008.
- LEITZKE, R. K.; BELTRAME, C. M.; FREITAS, J. R. de; SEIXAS, J. N.; MACIEL, T. S.; CUNHA, E. G. da; RHEINGANTZ, P. A. **Optimization of the Traditional Method for Creating a Weather Simulation File: The Pelotas.epw Case**. JOURNAL OF CIVIL ENGINEERING AND ARCHITECTURE (ONLINE), v. 12, p. 741-756, 2018.
- PACHECO, Miguel. **Ventilação Natural e Climatização Artificial: Crítica ao modelo Super-isolado para residência de energia zero em Belém e Curitiba**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- KREBS, Lisandra Fachinello. **Extensive green roofs in Porto Alegre, Brazil: Effect on indoor thermal comfort in residential buildings**. Tese (Doutorado em Arquitetura). Lund University Department of Architecture and Built Environment, Universidade de Lund, Lund, 2018.

## AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio na realização da pesquisa.