

## METODOLOGIA UTILIZADA NO CÁLCULO DAS RESISTÊNCIAS TÉRMICAS SUPERFICIAIS SUGERIDAS PELA NBR 15220:2005 – ANÁLISE UTILIZANDO DADOS AMBIENTAIS TÍPICOS DO BRASIL<sup>1</sup>

**MARTINS, Monalisa Coelho (1); SCHMID, Aloísio Leoni (2); STANESCU, George (3)**

(1) LACTEC, e-mail: monalisa.martins@lactec.org.com.br; (2) UFPR, e-mail: iso@ufpr.br;  
(3) UFPR, e-mail: stanescu@ufpr.br

### RESUMO

O aprimoramento do desempenho térmico de edificações pode contribuir para o uso eficiente da energia e conservação do meio ambiente. Um dos parâmetros utilizados no cálculo do desempenho térmico é a resistência térmica superficial, cujo cálculo envolve diversos fatores, principalmente ambientais. Na "NBR 15220 - Desempenho térmico de edificações" são sugeridos valores médios de resistência térmica superficial que são utilizados em todo o país, independente das características ambientais da cada região. O objetivo do presente trabalho é comparar as diferentes equações para cálculo dos coeficientes de troca de calor por convecção e, assim, com os resultados encontrados, calcular a produção de calor no inverno e no verão. Foi utilizado como exemplo um edifício de múltiplos andares. Foi verificada uma superestimação dos coeficientes de troca de calor por convecção que levou a uma diferença de produção de calor de 258% no verão e de 34% no inverno. Esses resultados indicam que a NBR 15220 está mais adequada para as regiões com temperaturas baixas, visto que a diferença é maior quando aplicado em regiões com temperaturas mais elevadas.

**Palavras-chave:** Coeficiente de filme na convecção. Resistência térmica superficial. Desempenho térmico de edifícios.

### ABSTRACT

The improvement of the thermal performance of buildings can contribute to the efficient use of energy. One of the parameters used to calculate the thermal performance is the surface thermal resistance, which is influenced by several factors. The "NBR 15220 - Thermal performance of buildings" suggests average values of surface thermal resistance that are used in Brazil, without considering the environmental differences across the country. The objective of this study is to compare the different equations to calculate the convective heat transfer coefficients and with these values to calculate the required heat production in winter and summer. A theoretical building was used with sample. The results showed an overestimation of convective heat transfer coefficients. The heat production resulting difference was 258% in summer and in winter 34%. These results indicate that the NBR 15220 is most appropriate for regions with low temperatures, since the difference is greater when applied in areas with higher temperatures.

**Keywords:** Convection film coefficient. Superficial thermal resistance. Thermal performance of buildings.

<sup>1</sup>MARTINS, Monalisa Coelho; SCHMID, Aloísio Leoni; STANESCU, George. Metodologia utilizada no cálculo das resistências térmicas superficiais sugeridas pela NBR 15220:2005 – Análise utilizando dados ambientais típicos do Brasil. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

## 1 INTRODUÇÃO

Os vários parâmetros de entrada utilizados nas simulações computacionais do desempenho de edifícios têm origem empírica ou teórica. Entre esses parâmetros, estão os coeficientes de transporte de calor da superfície, que podem ser por radiação, ou por convecção (MIRSADEGHI *et al.*, 2013).

Com relação a esses coeficientes, estudos realizados demonstraram relações significativas da transferência de calor por convecção no balanço energético. Segundo Obyn e Moeseke (2015) existem divergências entre os programas de simulação térmica, que podem estar relacionadas aos diferentes métodos utilizados para determinar o coeficiente de troca de calor por convecção.

A partir de alguns estudos, foi verificado que as escolhas dos coeficientes de troca de calor por convecção externos podem resultar em diferenças de 20% a 40% no consumo de energia do edifício (EMMEL *et al.*, 2007; SHAO *et al.*, 2009). Para o coeficiente de troca de calor por convecção interno essas diferenças podem ser de até 8% (PEETERS *et al.*, 2011). Esses números são de grande interesse para as empresas do setor, justificando uma busca mais aprofundada desses coeficientes.

Através do coeficiente de troca de calor por convecção,  $h$ , é possível determinar a quantidade de calor que se transfere da superfície até o fluido ou meio. Esse coeficiente depende basicamente da geometria da superfície, da natureza do escoamento do fluido, propriedades termodinâmicas e do transporte do fluido (HOLMAN, 1981).

O inverso do coeficiente de troca de calor por convecção representa a resistência térmica superficial por convecção. Essa grandeza é normalmente utilizada na bibliografia ligada ao tema. A norma “NBR 15220 - Desempenho Térmico de Edificações” (ABNT 2005) sugere alguns valores típicos de resistência térmica superficial para a utilização no dimensionamento da perda ou ganho de calor da edificação. Esses valores sugeridos pela norma são amplamente utilizados em todas as zonas bioclimáticas do Brasil, sem diferenciação. Sabe-se que existem muitas incertezas e variáveis envolvidas, e os dados ambientais regionais poderiam influenciar os cálculos da resistência térmica superficial (OHLSSON *et al.*, 2016).

O Brasil está dividido em oito zonas bioclimáticas. Para os cálculos de resistência térmica superficial, com a utilização dos dados climáticos típicos de cada zona, seria possível obter um projeto mais próximo da realidade de cada uma delas. O objetivo do presente trabalho é apresentar o método utilizado que resultou nos valores de resistências térmicas sugeridas na NBR 15220 (ABNT 2005) e verificar qual a variação desses valores quando são inseridos os dados climáticos típicos do Brasil. Também serão apresentados outros procedimentos disponíveis na literatura para o cálculo de resistência térmica superficial para comparação, de modo a gerar contribuições para o seu aprimoramento.

## 2 MÉTODO

Para o desenvolvimento do presente trabalho foram levantadas as equações e os parâmetros utilizados que resultaram nos valores das resistências térmicas superficiais apresentadas na NBR 15220 (ABNT 2005). Com isso, é possível analisar se os parâmetros estão adequados às características climáticas do Brasil. Após, outras formas de cálculo disponíveis na literatura foram levantadas para comparação dos resultados. Os resultados foram aplicados em um exemplo de dimensionamento de produção de calor em um edifício.

### 2.1 Procedimento de cálculo para obtenção das resistências térmicas superficiais da NBR 15220

O fluxo de calor que um ambiente transfere ao outro depende da resistência térmica entre os ambientes, além da diferença de temperatura e da área de interface. A norma brasileira NBR 15220 (ABNT 2005), no item 4, apresenta algumas equações, tal como da resistência térmica total descrita na equação 1.

$$R_T = R_{se} + R_t + R_{si} \quad (1)$$

Onde

- $R_T$  representa a resistência térmica total em  $(m^2 \cdot K)/W$ ;
- $R_{se}$  representa a resistência do ar para a superfície externa em  $(m^2 \cdot K)/W$ ;
- $R_t$  representa a resistência da superfície externa até a superfície interna  $(m^2 \cdot K)/W$ ;
- $R_{si}$  representa a resistência superficial interna para o ar em  $(m^2 \cdot K)/W$ .

Para o caso de uma parede,  $R_t$  representa a resistência térmica da parede propriamente dita,  $R_{se}$  representa a resistência térmica da superfície externa da parede para o ar, e  $R_{si}$  a resistência térmica da superfície interna para o ar.

Com relação às resistências térmicas superficiais, na norma brasileira NBR 15220 (ABNT 2005) são apresentados alguns valores médios recomendados no seu anexo A, conforme a Tabela 1.

Tabela 1 – Resistência térmica superficial interna e externa

$R_{si} (m^2 \cdot K)/W$			$R_{se} (m^2 \cdot K)/W$		
Direção do fluxo de calor			Direção do fluxo de calor		
Horizontal	Ascendente	Descendente	Horizontal	Ascendente	Descendente
0,13	0,10	0,17	0,04	0,04	0,04

Fonte: NBR 15220 (ABNT 2005)

Vale ressaltar que os valores de resistência térmica superficial podem variar com a emissividade, temperatura e velocidade do ar sobre a superfície, e superfícies próximas.

Pode-se verificar a similaridade com a tabela 1 da norma ISO 6946:1997 "Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation methods", transcrita na Tabela 2.

Tabela 2 – Resistência superficial ( $m^2 \cdot K/W$ )

	<b>Direção do fluxo de calor</b>		
	<b>Ascendente</b>	<b>Horizontal</b>	<b>Descendente</b>
$R_{si}$	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$	0,04	0,04	0,04

Fonte: ISO 6946:1997

A NBR 15220 (ABNT 2005) utilizou o mesmo procedimento de cálculo para a obtenção dos valores da tabela 1 da norma ISO 6946:1997. As equações de 2 a 5 descrevem como os valores da tabela 2 foram calculados.

$$R_s = \frac{1}{h_c + h_r} \quad (2)$$

Onde

- $R_s$  é a resistência térmica superficial em ( $m^2 \cdot K/W$ );
- $h_c$  é o coeficiente de troca de calor por convecção em  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $h_r$  é o coeficiente de troca de calor por radiação térmica em  $W/(m^2 \cdot K)$ .

Para o cálculo do coeficiente de radiação utiliza-se as equações 3 e 4.

$$h_r = \epsilon h_{ro} \quad (3)$$

$$h_{ro} = 4\sigma T_m^3 \quad (4)$$

Onde

- $h_r$  é o coeficiente de troca de calor por radiação térmica em  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $\epsilon$  é a emissividade da superfície;
- $h_{ro}$  é o coeficiente de radiação para uma superfície de corpo negro em  $(W/m^2 \cdot K)$ ;
- $\sigma$  é a constante de Stefan-Boltzmann  $[5,67 \times 10^{-8}]$  em  $W/(m^2 \cdot K)$ ;
- $T_m$  é a temperatura termodinâmica média da superfície e para os seus arredores em kelvin (K).

O coeficiente de troca de calor por convecção  $h_c$  possui duas formas de cálculo, e cada uma delas é utilizada dependendo de qual resistência superficial se quer encontrar, ou seja, se é resistência superficial interna ou externa. Para encontrar a resistência térmica superficial interna, o valor de  $h_c$  é tabelado, e depende da direção do fluxo de calor, conforme mostra a

Tabela 3, onde  $h_c$  é igual a  $h_{ci}$  (coeficiente de troca de calor por convecção interno).

Tabela 3 – Coeficiente de troca de calor por convecção interno

<b>Coeficiente de troca de calor por convecção interno <math>h_{ci}</math> [W/(m<sup>2</sup>·K)]</b>		
<b>Direção do fluxo de calor</b>		
<b>Ascendente</b>	<b>Horizontal</b>	<b>Descendente</b>
		
5,0	2,5	0,7

Fonte: Adaptado ISO 6946:1997

Para encontrar a resistência térmica superficial externa, o coeficiente convectivo é calculado e depende basicamente da velocidade do vento, conforme Equação 5, onde  $h_c$  é igual a  $h_{ce}$  (coeficiente de troca de calor por convecção externo).

$$h_{ce} = 4 + 4v \quad (5)$$

Onde

- $h_{ce}$  é o coeficiente de troca de calor por convecção da superfície externa em W/(m<sup>2</sup>·K);
- $v$  é a velocidade do vento adjacente à superfície em m/s.

Os dados utilizados nas equações que resultaram nos valores de resistências térmicas superficiais internas e da ISO 6946:1997 estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Dados utilizados nos cálculos

<b>Emissividade</b>	<b>Dados de entrada</b>		
	<b>Temperatura interna (°C)</b>	<b>Temperatura externa (°C)</b>	<b>Velocidade do vento (m/s)</b>
0,9	20	0	4

Fonte: Adaptado ISO 6946:1997

Os valores de  $h_{ro}$  foram retirados da ISO6946:1997 transcrita na Tabela 4 para as temperaturas de 0 °C e 20 °C e a Tabela 5 apresenta os resultados.

Tabela 5 – Dados utilizados nos cálculos

<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Temperatura (K)</b>	<b><math>h_{ro}</math> (w/m<sup>2</sup>·K)</b>
0	273,15	4,62
20	293,15	5,71

Fonte: Adaptado ISO 6946:1997

Percebe-se que os parâmetros ambientais utilizados são típicos de países com inverno rigoroso, onde a temperatura externa, considerada numa média anual, atinge facilmente 0 °C, pois esse foi o valor utilizado para

obtenção dos valores de resistência térmica superficial externa, conforme exposto na Tabela 1.

## 2.2 Métodos de cálculo para obtenção das resistências térmicas superficiais

Na literatura, existem outros métodos para a determinação dos valores dos coeficientes de troca de calor por convecção, que podem ser divididos em métodos analíticos, aplicáveis para geometrias simples, estudos numéricos, através da Dinâmica de Fluidos Computacional (Computational Fluid Dynamics ou CFD) e estudos experimentais, podendo ser utilizados em escala reduzida (medidas em túnel de vento e pequenos modelos) e ensaios à escala real (medidas em fachadas de edifícios reais).

As Tabelas 6 e 7 apresentam algumas correlações disponíveis para o cálculo do coeficiente de troca de calor por convecção, linearizadas. As equações são bem conhecidas e frequentemente utilizadas em softwares de simulações.

Tabela 6 – Equações para determinação do coeficiente de troca de calor por convecção externo

<b>Modelos –em escala reduzida</b>	<b>Descrição</b>	<b>Equações</b>
McAdams (1954)	Medições em túnel de vento (aplicações diferentes para superfície lisa ou rugosa)	$h_{c,ext} = 5,678 \left[ m+n \left( \frac{V_f}{0,3048} \right)^p \right]$
CIBS (1979)	Medições em túnel de vento	$h_{c,ext} = 4,1 V_{loc} + 5,8$
Jayamaha (1996)	Medições em campo utilizando placa de alumínio	$h_{c,ext} = 1,444V + 4,955$
<b>Modelos completos</b>	<b>Descrição</b>	<b>Equações</b>
Sturrock (1971)	Superfície exposta	$h_{c,ext} = 6,1V_r + 11,4$
	Superfície normal	$h_{c,ext} = 6V_r + 5,7$
ASHRAE (1975)	Superfície externa - edifício de 6 andares em Tóquio	$h_{c,ext} = 18,6V_{loc}^{0,605}$
Nicol (1977)	Medições de campo noturnas para uma janela externa nas regiões árticas no Canadá	$h_{c,ext} = 7,55V_r + 4,35$
Hagishima & Tanimoto (2003)	Medições em um edifício composto por um bloco de 2 pisos (9,9 m), anexado ao e protegido por um bloco de 4 andares - Superfícies horizontais	$h_{c,ext} = 2,28V_r + 8,18$
	Medições em um edifício composto, por um bloco de 2 pisos (9,9 m), anexado ao e protegido por um bloco de 4 andares - Superfícies verticais	$h_{c,ext} = 10,21V_{loc} + 4,47$
Loveday mixe	Modelo para todos os tipos de superfícies desconsiderando tipo de construção, textura da superfície, orientação, acolhimento e tipos de terreno.	$h_{c,ext} = 16,7V_{loc}^{0,5}$

Modelos - diversos	Descrição	Equações
ISO 6946: (1997)	Nenhuma informação pode ser encontrada sobre o experimental - Este modelo não leva em conta as variações no tipo de construção, a superfície, orientação de superfície, condições de acolhimento e do tipo de terreno.	$h_{c,ext} = 4V + 4$

Fonte: MIRSADEGHI et al., (2013)

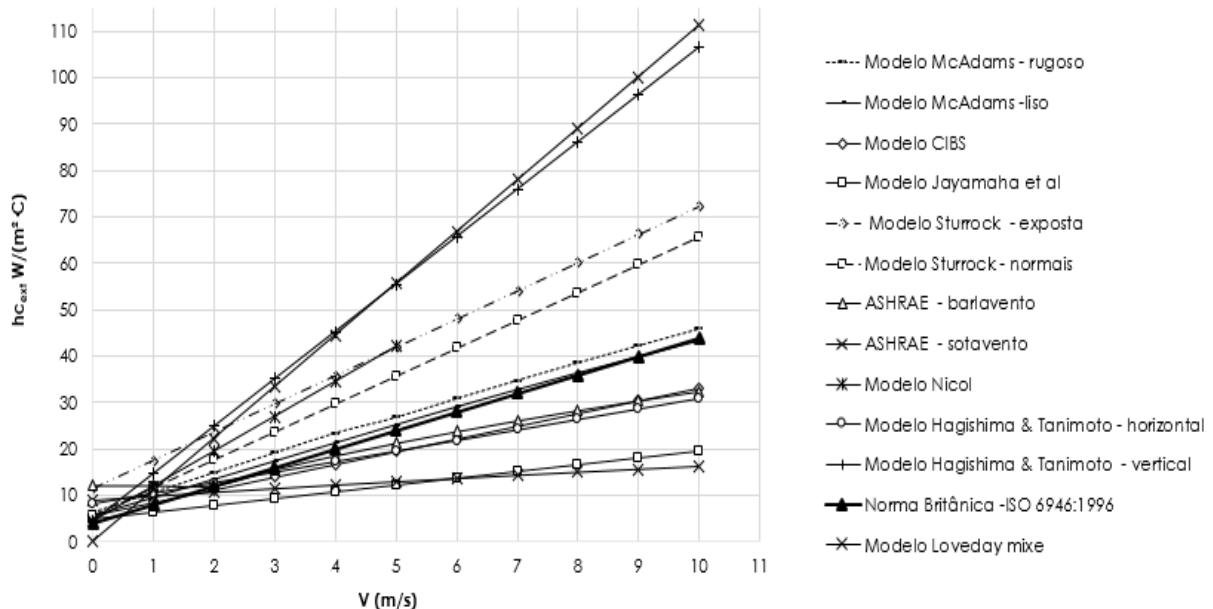
Tabela 7 – Equações para determinação do coeficiente de troca de calor por convecção interno

Modelos	Descrição	Equações W/(m² C)
	Placas grandes verticais – fluxo turbulento	$h_{c,nat} = 0,19(\Delta T_{sa})^{0,33}$
	Placas pequenas verticais – laminar	$h_{c,nat} = 0,29 \left( \frac{\Delta T_{sa}}{L} \right)^{0,25}$
	Placas grandes horizontais, voltadas para cima quando o ar é aquecido ou virados para baixo quando é resfriado – turbulento	$h_{c,nat} = 0,22(\Delta T_{sa})^{0,33}$
ASHRAE (1997)	Placas grandes horizontais, voltadas para cima quando o ar é aquecido ou virados para baixo quando é resfriado – fluxo laminar	$h_{c,nat} = 0,27 \left( \frac{\Delta T_{sa}}{L} \right)^{0,25}$
	Placas pequenas horizontais, voltadas para cima quando o ar é resfriado ou virados para baixo quando o ar é aquecido	$h_{c,nat} = 0,12 \left( \frac{\Delta T_{sa}}{L} \right)^{0,25}$
ISO 6946:1997	Fluxo ascendente (tabelado)	5,0
	Fluxo horizontal (tabelado)	2,5
	Fluxo descendente (tabelado)	0,7
TRNSYS	Superfícies verticais	$h_{c,nat} = 1,5\Delta T^{0,25}$
Fohanno e Polidori	Superfícies verticais – interno - laminar	$h_{c,nat} = 1,332 \left( \frac{\Delta T}{H} \right)^{1/4}$
	Superfícies verticais – interno - turbulento	$h_{c,nat} = 1,235 \exp(0,0467H)(\Delta T)^{0,316}$
Min	Todas as superfícies	$h_{c,nat} = 1,646 \left( \frac{\Delta T^{0,32}}{H^{0,05}} \right)$
Awbi and Hatton	-	$h_{c,nat} = 1,832 \left( \frac{\Delta T^{0,293}}{H^{0,121}} \right)$

Fonte: HARKOUESS (2013) e WANG (2000)

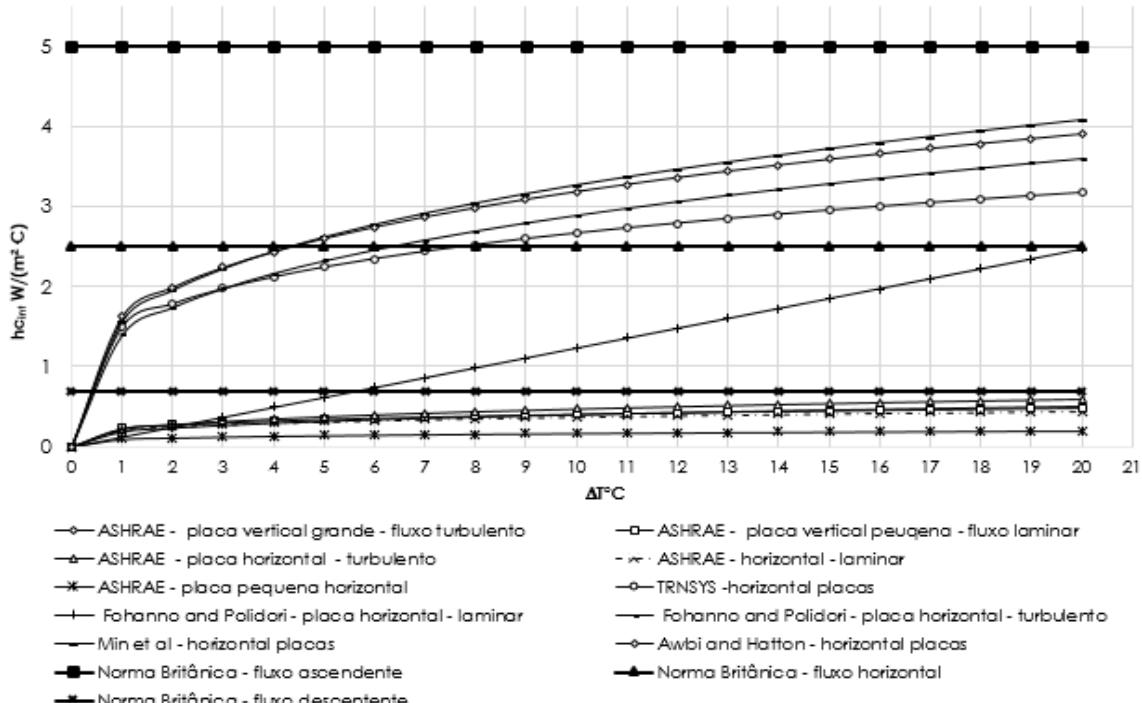
### 2.3 Comparação dos valores de resistências térmicas superficiais para diferentes métodos

Com as equações descritas anteriormente foram realizados diversos cálculos para que fosse possível se obter maior sensibilidade com relação ao impacto da utilização de diferentes valores da velocidade do ar e de temperatura no cálculo de  $h_c$  externo e interno. A Figura 1 mostra os resultados para os coeficientes convectivos externos.

Figura 1 – Equações para o cálculo do  $h_{c_{ext}}$ 

Fonte: Os autores

Conforme a Figura 1 existe uma grande variedade de modelos de cálculos de  $h_{c_{ext}}$  que, se utilizado da maneira correta, contribui para atingir o valor mais adequado para cada situação específica. As equações são classificadas conforme o tipo do experimento para a obtenção do modelo, podendo ser escala reduzida ou escala real. A Figura 2 mostra os resultados para os coeficientes convectivos internos em função da temperatura.

Figura 2 – Equações para o cálculo do  $h_{c_{int}}$ 

Fonte: Os autores

Verifica-se ao analisar as figuras 1 e 2 que os resultados podem variar significativamente dependendo do método empregado.

## 2.4 Exemplo de aplicação

Para verificar o impacto de se usar diferentes valores para  $hc_{int}$  e  $hc_{ext}$ , adotou-se um edifício de múltiplos andares. Tal edificação possui área retangular e dimensões de 5,5 m de largura, 9 m de profundidade e altura do pé direito de 2,5 m.

Segundo a NBR 15220 (ABNT 2005), o Brasil é dividido em oito diferentes zonas bioclimáticas definidas por semelhanças climáticas, as quais possuem diretrizes construtivas específicas para cada uma delas, para garantir um maior conforto térmico aos usuários.

Para análise de alguns desses parâmetros foram realizados cálculos para duas situações típicas, verão e inverno referente as características da zona bioclimática brasileira 1 para a cidade de Curitiba no Paraná. Os valores utilizados de temperatura externa e interna foram para períodos de verão respectivamente 31,4 °C e 23 °C (diferença de -8,4 °C) e para períodos de inverno respectivamente 0,7 °C e 23 °C (diferença de 22,3 °C). Considerando-se o fluxo de ar na ventilação dado pelo valor mínimo por pessoa de 27 m<sup>3</sup>/h, conforme Portaria 3523 (BRASIL, 1998), com duas pessoas.

Para a edificação não foi considerado o uso de condicionamento mecânico e, portanto, sujeito somente à perda natural de calor. Apenas uma superfície de área  $A_s$  esteja em contato com o exterior, composta de parede de alvenaria, de área  $A_p$ , e duas janelas de vidro temperado, sem esquadria, simples, de área  $A_j$ . Outras superfícies são consideradas adiabáticas, já que separam a unidade em análise dos pavimentos acima e abaixo, das unidades ao lado e ainda o corredor de circulação, que se encontram sob mesmas condições térmicas.

Em condição livre da radiação solar, a perda de calor pela parede externa é dada pela Equação 6.

$$q = \frac{(T_i - T_e)}{R_e} \quad (6)$$

Onde

- q é o fluxo de calor em W/m<sup>2</sup>;
- $T_i$  é a temperatura da face interna da parede em kelvin (K);
- $T_e$  é a temperatura da face externa da parede em kelvin (K);
- $R_e$  é a resistência térmica da parede em m<sup>2</sup>.K/W.

$R_e$ , por sua vez, é a combinação em paralelo das resistências térmicas da parede e do vidro. O Quadro 1 mostra as características dos materiais utilizados.

Foi considerando, também, que o fluxo de calor perdido devido à ventilação no verão  $q_v$  é igual a 164 W e no inverno  $q_v$  igual a 435 w. Para o cálculo da produção de calor foram utilizados diversos valores de  $hc_{int}$  e de  $hc_{ext}$  para verificação dos impactos nos resultados.

Quadro 1 – Valores dos materiais utilizados

Componente	Espessura (m)	Condutividade térmica (W/(m K))	Área (m <sup>2</sup> )	Resistência térmica (m <sup>2</sup> K)/W
Alvenaria	0,150	0,600	11,670	0,250
Vidro	0,004	1,000	2,080	0,004

Fonte: Os autores

### 3 RESULTADOS

#### 3.1 Produção de calor para diferentes valores de $h_c$

A produção de calor  $q$  [W] no exemplo proposto para o verão e para diversos valores de  $hc_{int}$  e de  $hc_{ext}$  estão apresentados no Quadro 2. No inverno, utilizando a mesma variação dos valores do  $hc_{int}$  e  $hc_{ext}$  para o exemplo do edifício, os valores de produção de calor  $q$  [W] são apresentados no Quadro 3.

Percebe-se, ao analisar o Quadro 2, que uma superestimação hipotética de  $hc_{int}$  e  $hc_{ext}$ , por exemplo, 8 (W/m<sup>2</sup>K) e 25 (W/m<sup>2</sup>K) respectivamente, comparado com valores de 4 (W/m<sup>2</sup>K) e 10 (W/m<sup>2</sup>K), pode resultar em uma diferença de extração de calor de 258 % no verão.

Quadro 2 – Valores de produção de calor no verão  $q$  [W] para manter -8,4 °C de diferença entre o ar interior e o exterior, para diferentes valores de  $hc_{int}$  e  $hc_{ext}$ 

$hc_{ext}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$hc_{int}$ (W/m <sup>2</sup> K)					
	3	4	5	6	7	8
5	6	-15	-30	-42	-52	-60
10	-19	-49	-72	-90	-106	-119
15	-30	-64	-90	-112	-131	-147
20	-36	-72	-101	-125	-146	-164
25	-40	-77	-108	-134	-156	-176
30	-42	-81	-112	-140	-163	-184

Fonte: Os autores

Tal superestimação dos coeficientes de troca de calor por convecção levaria, no verão, a um erro grosso de subdimensionamento do sistema de refrigeração, contrário à segurança.

Fazendo uma análise similar percebe-se uma diferença de produção de calor de 34% no inverno, portanto, no inverno, existe a possibilidade de leve superdimensionamento, contrário à economicidade, porém em favor da segurança.

Quadro 3 – Valores de produção de calor no inverno q [W] para manter 22,3 °C de diferença entre o ar interior e o exterior, para diferentes valores de  $hc_{int}$  e  $hc_{ext}$

$hc_{ext}$ (W/m <sup>2</sup> K)	$hc_{int}$ (W/m <sup>2</sup> K)					
	3	4	5	6	7	8
5	854	909	950	982	1008	1029
10	922	1000	1061	1110	1151	1186
15	950	1039	1110	1169	1219	1262
20	966	1061	1138	1203	1259	1307
25	976	1075	1156	1225	1285	1337
30	982	1085	1169	1241	1303	1358

Fonte: Os autores

## 4 CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou algumas equações para determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção externo e interno, com foco no procedimento utilizado pela norma NBR 15220 (ABNT 2005). O  $hc_{ext}$  é influenciado principalmente pela rugosidade da superfície, velocidade do vento e direção do vento. O modelo utilizado na norma brasileira foi baseado na ISO 6946:1997, contudo, assim como citado por outros autores, não foi possível encontrar informações sobre o projeto experimental utilizado para a metodologia, porém, foi possível verificar que o cálculo do coeficiente externo não leva em conta as variações do tipo de construção, da rugosidade da superfície, orientação da superfície e tipo de terreno. O coeficiente de troca de calor por convecção interno na ISO 6946:1997 é apresentado em forma de tabela dependendo somente da direção fluxo de calor não considerando variações da temperatura da superfície e do ar. Os dados ambientais utilizados também não correspondem aos climas típicos de verão e inverno do território brasileiro pois, para o cálculo da norma ISO 6946:1997, foi aplicado o valor de 0 °C na temperatura externa anual média, o que corresponde ao clima de países com invernos rigorosos. Conforme apresentado existem discrepâncias entre os valores desses coeficientes, dependendo da equação empregada, o que pode levar a incertezas significativas no cálculo de produção total de energia. Através de um cálculo simplificado foi possível ter uma sensibilidade da superestimação dos coeficientes de troca de calor por convecção. Mostra-se, que a superestimação de  $hc_{ext}$  em 25 W/m<sup>2</sup>.K quando poderia ser 10 W/m<sup>2</sup>.K e de  $hc_{int}$  em 8 W/m<sup>2</sup>.K quando poderia ser 4 W/m<sup>2</sup>.K pode levar a um desvio significativo nos cálculos do calor a ser gerado ou retirado, no exemplo aplicado foi encontrado no inverno e no verão, respectivamente, 34 % e 258 % de diferença. Com isso, foi verificado que há evidências de que a norma está mais adequada para regiões mais frias.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Construção Civil - PPGCC da Universidade Federal do Paraná – UFPR e aos Institutos Lactec pelo apoio na elaboração deste projeto, na forma de bolsa para a autora.

## REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15220**: Desempenho térmico de edificações. Rio de Janeiro, 2005.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria Ministerial 3523, de 28.8.98. Dispõe sobre Ar Condicionado. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 31 Ago. 1998. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523\\_28\\_08\\_1998.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/1998/prt3523_28_08_1998.html)>. Acesso em 4 março 2016.

EMMEL, M. G.; ABADIE, M. O.; MENDES, N. New external convective heat transfer coefficient correlations for isolated low-rise buildings. **Energy and Buildings**, Elsevier 2007. p. 335-342.

HARKOUESS, F. **Sensitivity study of building thermal simulations to some input parameters**. Final year project. Mechanical Engineering Branch III. Lebanese University. Líbano, 2013.

HOLMAN, J. P. **Heat Transfer**, 5<sup>th</sup> ed, McGraw-Hill Book, 1981.

ISO INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 6946 – Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method**. British, 1997.

MIRSADEGH M.;CÓSTOLA D.; BLOCKEN B.; HENSEN J.L.M. Review of external convective heat transfer coefficient models in building energy simulation programs: Implementation and uncertainty. **Building Physics and Services**. Eindhoven University of Technology. Volume 56. Netherlands, 2013.

OBYN, S.; MOESEKE, V. G. Variability and impact of internal surfaces convective heat transfer coefficients in the thermal evaluation of office buildings. **Applied Thermal Engineering**. Elsevier. 2015. p. 258 e 272.

OHLSSON, A. K. E.; ÖSTIN, R.; OLOFSSON, T. Accurate and robust measurement of the external convective heat transfer coefficient based on error analysis. **Energy and Buildings**. Elsevier. 2016. p. 83–90.

PEETERS, L.; BEAUSOLEIL-MORRISONB, I.; NOVOSELAC, A. Internal convective heat transfer modeling: Critical review and discussion of experimentally derived correlations. **Energy and Buildings**. Elsevier. 2011. p. 2227–2239.

SHAO, J. LIU J.; ZHAO J.; ZHANG W.; SUN D.; FU Z. A novel method for full-scale measurement of the external convective heat transfer coefficient for building horizontal roof. **Energy and Buildings**. Elsevier. 2009. p. 840–847

WANG, K. S. **Handbook of air conditioning and refrigeration.** 2nd ed. McGraw-Hill.  
United States of America, 2000.