INFLUÊNCIA DA ÁREA DE ESTRUTURA EM AÇO EXPOSTA NO DESEMPENHO TÉRMICO DE EDIFICAÇÕES[1]

CAETANO, L., Universidade Federal de Ouro Preto, email: lutano21@hotmail.com; SOUZA, H., Universidade Federal de Ouro Preto, email: henorster@gmail.com; GOMES, A., Instituto Federal de Minas Gerais, email: adriano.gomes@ifmg.edu.br

ABSTRACT

When a material with high thermal conductivity, such as steel, is placed in parallel with a less conductive material, most of the heat transfer occurs through the steel by conduction, characterizing an effect known as thermal bridging through the steel profile or exposed structure. The thermal bridge reduces the thermal resistance of the closings and increases energy costs for environmental heating or cooling. Taking into account these considerations, this paper aims to evaluate the thermal performance of naturally ventilated and artificially conditioned environments by means of computational simulations using the EnergyPlus program. The results show that there was an increase of about 12,5% in the building energy consumption considering a typical summer design day as a function of the exposed steel area of the building structure. There was a maximum increase of 10,6% in the environment total thermal cooling load, evidencing that the larger the exposed steel area in the building closed system, the greater the effect caused by this thermal bridge.

Keywords: *Thermal performance. Steel structure. Thermal bridge. Natural ventilation. Thermal load.*

1. INTRODUÇÃO

Quando se coloca materiais de alta condutividade térmica, como o aço, em paralelo com outros materiais menos condutores na envoltória de uma edificação, ocorre o efeito conhecido como ponte térmica. Neste caso, a maior parte da transferência de calor ocorre através do material mais condutor (no caso o aço) por condução. Este efeito caracteriza uma redução da resistência térmica do fechamento (SIERRA; BAI; MAKSOUD, 2015).

Em um estudo sobre o impacto das pontes térmicas na demanda energética de edifícios construídos em paredes duplas de tijolo na Grécia, verificou-se que as perdas térmicas reais nos edifícios analisados foram cerca de 35% maiores do que as estimadas inicialmente (THEODOSIOU; PAPADOPOULOS, 2008).

[1]CAETANO, L.; SOUZA, H.; GOMES, A. Influência da área de estrutura em aço exposta do desempenho térmico de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 17., 2018, Foz do Iguaçu. **Anais**... Porto Alegre: ANTAC, 2018.

As pontes térmicas nas envoltórias dos edifícios permanecem um ponto fraco nas construções, uma vez que os modelos utilizados para caracterizá-las em programas de simulação de edifícios geralmente não levam em conta sua inércia térmica e são baseados na transmitância térmica linear (MARTIN et al., 2012).

A simulação numérica do desempenho térmico das edificações com o uso de programas computacionais tem gerado várias vantagens construtivas para o estabelecimento de uma edificação energeticamente eficiente. Por meio desses recursos é possível simular o consumo de energia elétrica e o pico da carga térmica de resfriamento da edificação, otimizando o funcionamento do sistema por meio de estratégias mais eficientes (GOMES; SOUSA, 2013).

Diante do exposto, este artigo visa verificar a influência da área de estrutura em aço no desempenho térmico de edificações comerciais naturalmente ventiladas e condicionadas artificialmente.

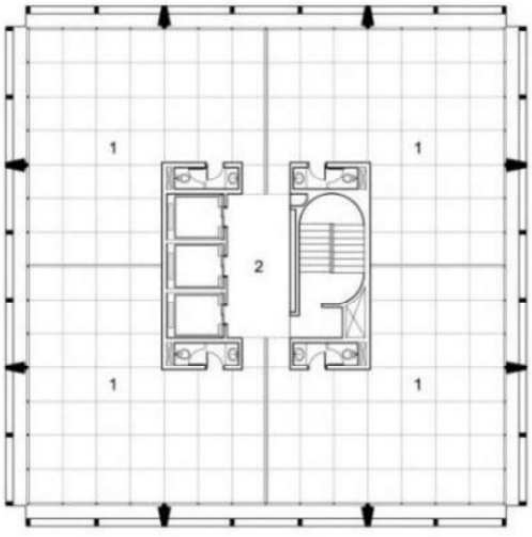
2. MÉTODOS

O método empregado engloba simulações computacionais por meio do programa *EnergyPlus,* que fornece as temperaturas internas dos ambientes para a avaliação do seu desempenho térmico e o consumo anual de energia elétrica da edificação.

2.1 Parâmetros de Simulação

O modelo proposto baseia-se em edifícios comerciais típicos de centros urbanos, com duas áreas bem definidas: a de serviços e a de escritórios, conforme exemplificado na Figura 1.

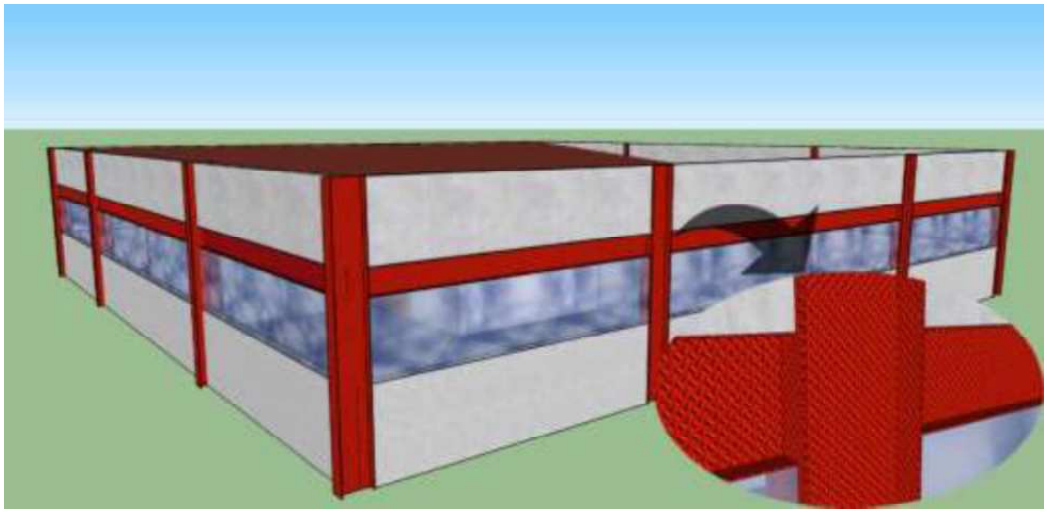
Figura 1: Planta baixa do pavimento tipo S/E



Fonte: EDIFÍCIO..., 1974

A planta do pavimento tipo apresentada na Figura 1 foi projetada considerando o sistema estrutural em concreto armado. Por isso, de forma a adaptar a planta ao sistema estruturado em aço, foram feitas adaptações nas dimensões dos elementos estruturais e na sua modulação, como observa-se na Figura 2.

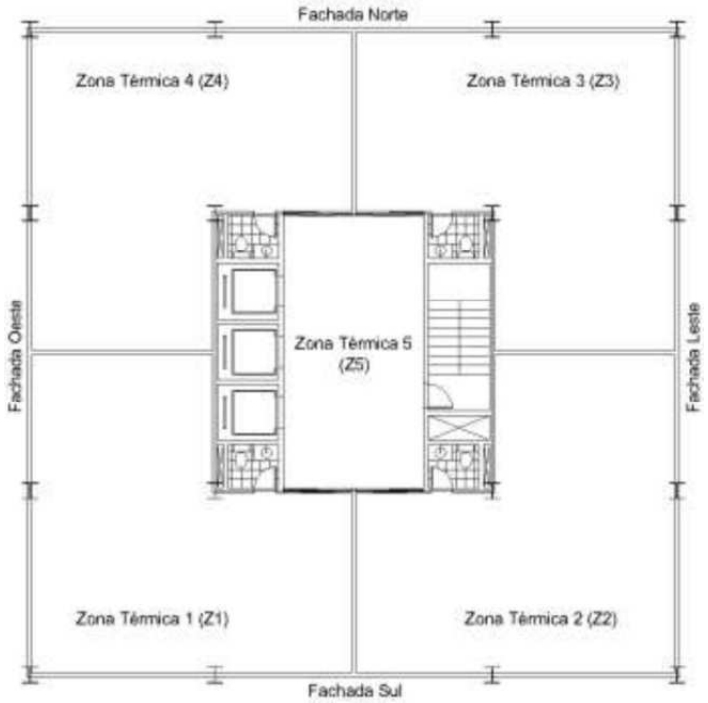
Figura 2: Estrutura adaptada em aço



Fonte: Os autores

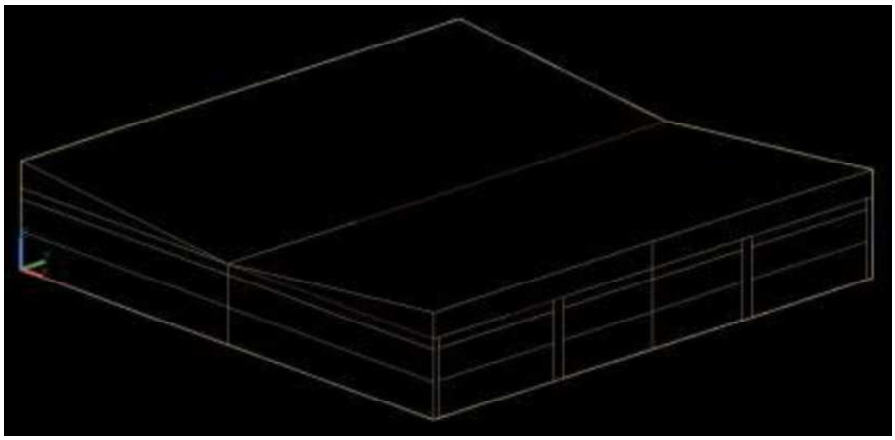
O modelo computacional é constituído por cinco zonas térmicas: Zonas Térmicas de 1 a 4 (Z1, Z2, Z3 e Z4), como áreas de escritórios, e Zona Térmica 5 (Z5), como zona de circulação (Figura 3) e a geometria do pavimento da edificação no programa EnergyPlus pode ser verificada na Figura 4.

Figura 3: Zonas Térmicas



Fonte: Os autores

Figura 4: Geometria da edificação no EnergyPlus.



Fonte: Os autores

Para este estudo é considerado apenas o efeito das pontes térmicas nas vigas e pilares da edificação e são estudados três casos base em função das alturas dos perfis em aço das vigas, que variam entre 30, 35 e 40 cm. Assume-se, portanto, que os pilares constituídos por perfis em aço possuem altura do perfil em aço fixa e equivalente a 50 cm. As propriedades termofísicas dos materiais utilizados no fechamento da edificação são especificadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Propriedades termofísicas dos materiais

Material	**Espessura (m)**	**Massa Específica ρ (kg/m³)**	**Calor Específico c (J/kgK)**	**Condutividade Térmica λ (W/mK)**
Concreto Celular Autoclavado	0,15	500	1000	0,17
Argamassa Comum	0,015	2100	1000	1,15
Compensado	0,15	550	2300	0,15
Concreto Laje	0,1	2400	1000	1,75
Piso Cerâmico	0,011	2000	920	1,05
Aço Estrutural	0,00475	7800	460	55
Telha Cerâmica	0,01	2000	920	1,05
Forro	0,01	1400	100	0,2
Vidro	0,006	2500	840	0,9

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005)

Seguindo as recomendações da norma NBR 15575 (ABNT, 2013), adota-se algumas diretrizes para a padronização das simulações computacionais: taxa de ventilação do ambiente e da cobertura de 1 ren/h; simular para três alternativas de cor do fechamento externo (cor clara - a = 0,3; cor média - a= 0,5; cor escura - a = 0,7). As simulações numéricas são feitas considerando-se as condições para um dia típico de verão, que é a condição climática predominante no Brasil.

2.2.1. Dados Climáticos de Referência

São utilizados como referência climática os dados brasileiros fornecidos pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005). As simulações são realizadas considerando as cidades de Curitiba (PR), São Lourenço (MG), São Paulo (SP), Brasília (DF), Vitória da Conquista (BA), Campo Grande (MS), Cuiabá (MT) e Manaus (AM) como representativas das Zonas Bioclimáticas 1 (ZB1), 2 (ZB2), 3 (ZB3), 4 (ZB4), 5 (ZB5), 6 (ZB6), 7 (ZB7) e 8 (ZB8), respectivamente.

2.2.2. Rotinas de uso e ocupação

Como são verificados os requisitos mínimos sugeridos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a presença de fontes internas de calor é desprezada. Adota-se como padrão de uso o ar condicionado funcionando de 8h às 18h. Define-se a temperatura constante limite para resfriamento dos ambientes em 24°C.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Edificação não condicionada artificialmente

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados das porcentagens de aumento da temperatura interna do ar ambiente, comparando-se os resultados obtidos para os fechamentos com perfis em aço e sem perfis em aço para a situação mais crítica verificada (vigas com alma de 40 cm). Simplificou-se o modelo sem perfis em aço para realização das simulações computacionais, substituindo o aço pelo material usado no sistema de fechamento externo e interno.

Tabela 2 - Aumento da temperatura interna do ar

ZB	Trocas de ar	a=0,3			a=0,5			a=0,7		
		Temp. com aço	Temp. sem aço	%	Temp. com aço	Temp. sem aço	%	Temp. com aço	Temp. sem aço	%
ZB1	1 ren/h	28,3	28,0	1,14%	28,4	28,1	1,09%	28,5	28,2	1,05%
	5 ren/h	29,2	29,0	0,75%	29,3	29,1	0,73%	29,4	29,2	0,71%
ZB2	1 ren/h	29,6	29,2	1,53%	30,0	29,6	1,39%	30,2	29,9	1,29%
	5 ren/h	30,1	29,8	1,03%	30,3	30,1	0,96%	30,5	30,3	0,91%
ZB3	1 ren/h	29,2	28,9	1,03%	29,4	29,1	0,97%	29,5	29,2	0,93%
	5 ren/h	30,0	29,8	0,69%	30,1	29,9	0,66%	30,2	30,0	0,63%
ZB4	1 ren/h	26,8	26,4	1,38%	26,9	26,6	1,32%	27,0	26,7	1,27%
	5 ren/h	27,7	27,4	0,89%	27,8	27,5	0,86%	27,8	27,6	0,84%
ZB5	1 ren/h	29,1	28,8	1,26%	29,4	29,0	1,16%	29,5	29,2	1,09%
	5 ren/h	29,8	29,6	0,86%	30,0	29,8	0,81%	30,1	29,9	0,76%
ZB6	1 ren/h	30,8	30,5	1,09%	31,0	30,7	1,02%	31,2	30,9	0,70%
	5 ren/h	31,6	31,4	0,73%	31,8	31,6	0,69%	31,9	31,7	0,66%
ZB7	1 ren/h	33,9	33,6	1,15%	34,1	33,8	1,10%	34,3	33,9	1,05%
	5 ren/h	35,1	34,9	0,74%	35,3	35,0	0,71%	35,3	35,1	0,69%
ZB8	1 ren/h	33,4	33,0	1,13%	33,7	33,3	1,03%	33,9	33,6	0,95%
	5 ren/h	**33,8**	**33,5**	0,77%	34,0	33,7	0,72%	34,1	33,9	0,68%

Fonte: Os autores

Os resultados mostram que entre as 8 Zonas Bioclimáticas avaliadas, a que apresenta maior variação no comportamento da temperatura interna dos ambientes é a cidade representativa da Zona Bioclimática 2, considerando-se uma taxa de renovação do ar de 1 ren/h e paredes em cor clara (a = 0,3), uma vez que absortâncias menores propiciam menores temperaturas internas. Houve um aumento de cerca de 1,50% da temperatura interna na Z4 (Figura 3) no período da tarde. Isso se deve ao fato de os fechamentos desta zona térmica estarem orientados de forma a receber maior radiação solar no período da tarde (fachada oeste), o que resulta em temperaturas mais elevadas durante o verão. De modo geral, observa-se que o efeito da ponte térmica é mais evidente em ambientes mais fechados (1ren/h) e para climas mais frios.

3.2. Edificação condicionada artificialmente

Na Tabela 3 apresentam-se as cargas térmicas totais de resfriamento da zona térmica Z1 (ilustrada anteriormente na Figura 3) e os percentuais de aumento da carga térmica quando se compara a influência do sistema estrutural nos resultados, considerando-se perfis metálicos com almas 40 cm.

Tabela 3: Aumento da carga térmica total de resfriamento – Z1

Zona Biclimática	Estrutura exposta em aço	Carga térmica total de resfriamento (W)
ZB1	Não	46264,06
	Sim	48786,58
	%	5,45%
ZB2	Não	48416,51
	Sim	51308,66
	%	5,97%
ZB3	Não	55758,22
	Sim	58127,68
	%	4,25%
ZB4	Não	28993,21
	Sim	32064,64
	%	10,59%
ZB5	Não	49588,15
	Sim	52053,16
	%	4,97%
ZB6	Não	70350,14
	Sim	72956,44
	%	3,70%
ZB7	Não	103246,45
	Sim	106533,07
	%	3,18%
ZB8	Não	92240,69
	Sim	95222,33
	%	3,23%

Fonte: Os autores

Os resultados mostram que as simulações numéricas realizadas para a cidade representativa da Zona Bioclimática 4 apresentam as maiores variações das cargas térmicas totais de resfriamento para os três casos estudados. Isto se deve ao fato de as temperaturas internas das Zonas Térmicas não terem oscilado muito em relação às temperaturas de operação dos aparelhos de ar condicionado, resultando em cargas térmicas mais baixas e, consequentemente, em percentuais de aumento maiores. Na avaliação da Zona Bioclimática 4, houve um aumento de cerca de 10,60% na carga térmica total de resfriamento considerando as vigas com alma de 40cm, o que representa um aumento significativo nos gastos energéticos para resfriamento do ambiente.

3.3. Consumo energético

O consumo de energia elétrica da edificação é influenciado diretamente pela estrutura em aço exposta no seu sistema de fechamento. Na Tabela 4 apresentam-se os consumos de energia para resfriamento, a uma taxa de renovação do ar de 1 ren/h e paredes em cor clara (a = 0,3) para todas as Zonas Bioclimáticas.

Tabela 4: Consumo energético – Perfil com alma de 40 cm

Zona Bioclimática	Consumo energético (kWh)		% aumento
	Fechamento com aço	Fechamento sem aço	
ZB1	91,67	86,11	6,45%
ZB2	100,00	91,67	9,09%
ZB3	119,44	113,89	4,88%
ZB4	50,00	44,44	12,50%
ZB5	105,56	97,22	8,57%
ZB6	161,11	152,78	5,45%
ZB7	250,00	238,89	4,65%
ZB8	227,78	219,44	3,80%

Fonte: Os autores

Os resultados apresentados na Tabela 4 mostram que, para o objeto de estudo deste trabalho, a desconsideração do sistema estrutural em vigas aparentes de aço pode acarretar em um aumento de até 12,50% no consumo de energia para resfriamento, considerando-se a avaliação de desempenho térmico da cidade representativa da Zona Bioclimática 4.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho avaliou-se a influência da área de estrutura exposta em aço no desempenho térmico de edificações comerciais naturalmente ventiladas e condicionadas artificialmente.

Dentre os casos avaliados, a inserção dos perfis de aço com alma de 40cm na simulação numérica dos ambientes naturalmente ventilados apresentou

uma maior influência na variação da temperatura interna dos ambientes (1,50% de aumento).

Entretanto, os efeitos das pontes térmicas ficaram mais evidentes na avaliação de ambientes condicionados artificialmente. Houve um aumento de 10,60% na carga térmica total de resfriamento, considerando-se as vigas com alma de 40cm, na avaliação da cidade representativa da Zona Bioclimática 4, acarretando em um aumento máximo de 12,50% no consumo de energia.

Dessa forma, destaca-se que a estrutura em aço deve ser considerada nas simulações numéricas horárias de desempenho térmico de edificações, principalmente em ambientes condicionados artificialmente, devido aos efeitos das pontes térmicas e consequente aumento nos gastos para resfriamento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CAPES, à FAPEMIG e à UFOP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

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

_____. **NBR 15575**: Edificações habitacionais **–** Desempenho. Rio de Janeiro, 2013.

EDIFÍCIO Acal. São Paulo, SP, 1974. Disponível em: <http://www.vitruvius.com.br/>. Acesso em: 04 mai. 2016.

Gomes, A. P.; Souza, H. A. A influência da estrutura de aço aparente no consumo de energia e na carga térmica para o resfriamento em ambientes escolares. **Revista Sul-Americana de Engenharia Estrutural**, Passo Fundo, v. 10, n. 3, p. 5-23, jul./dez. 2013.

MARTIN, K.; CAMPOS-CELADOR, A.; ESCUDERO, C.; GÓMEZ, I.; SALA, J. M. Analysis of a thermal bridge in a guarded hot box testing facility**. Energy and Buildings**, n. 50, p. 139-149, 2012.

Sierra, F.; Bai, J.; Maksoud, T. Impact of the simplification of the methodology used to asses the thermal bridge of the head of an opening. **Energy and Buildings**, n. 87, p. 342-347, 2015.

Theodosiou, T. G.; Papadopoulos, A. M. The impact of thermal bridges on the energy demand of buildings with double brick wall constructions. **Energy and Buildings**, n. 40, p. 2083-2089, 2008.