



INFLUÊNCIA DA ESTRUTURA EM AÇO EXPOSTA NAS TEMPERATURAS SUPERFICIAIS INTERNAS DA ENVOLTÓRIA DE UMA EDIFICAÇÃO

Lucas F. Caetano

Henor A. de Souza

lucasfcaetano21@gmail.com

henorster@gmail.com

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, Brasil

Adriano P. Gomes

adriano.gomes@ifmg.edu.br

Departamento de Desenho e Projeto, Instituto Federal de Minas Gerais, Ouro Preto, Brasil

Resumo. O uso extensivo de estruturas de aço em edifícios leva a um aumento no grau de complexidade dos condicionantes de projeto. Quando um material de alta condutividade térmica como o aço é colocado em paralelo com um material menos condutor, a maior parte da transferência de calor ocorre através do aço, por condução. Esse fenômeno é conhecido como ponte térmica e reduz a resistência térmica do fechamento. Neste trabalho avalia-se as temperaturas superficiais internas da envoltória de ambientes ventilados naturalmente por meio de simulações computacionais utilizando o programa EnergyPlus. O estudo é feito para um edifício comercial típico considerando-se os dados climáticos de duas Zonas Bioclimáticas definidas pela norma NBR 15220. Os resultados obtidos mostram que a inserção dos perfis de aço com alma de 40cm resulta em uma diferença de até 4,8% na variação da temperatura interna dos ambientes no período de inverno e de 1,4% no verão. A temperatura superficial interna das vigas expostas em aço na envoltória da edificação aumenta até 6,7°C no período de inverno e até 6,3°C no verão. Fica evidente que o efeito das pontes térmicas deve ser considerado na avaliação do desempenho térmico de uma edificação uma vez pode gerar ambientes desconfortáveis termicamente.

Palavras chave: Estrutura em Aço Exposta. Temperatura Superficial. Ponte Térmica. Ventilação Natural. Conforto Térmico.

1. INTRODUÇÃO

Os edifícios comerciais estruturados em aço vêm se destacando no setor da construção civil, particularmente nos grandes centros urbanos. Durante sua fase de concepção arquitetônica, deve-se definir o projeto de uma maneira mais criteriosa, considerando, além dos condicionantes gerais, a eficiência energética da edificação. Neste contexto, a simulação numérica do comportamento térmico das edificações com o uso de programas computacionais tem gerado várias vantagens construtivas para o estabelecimento de uma edificação energeticamente eficiente (Gomes; Souza, 2013).

O desempenho térmico de uma edificação depende da adequação do seu sistema de fechamento externo e interno, da posição e tamanho das aberturas para ventilação natural, além de um projeto arquitetônico compatível com as condições climáticas locais e o entorno.

Ao se colocar materiais de alta condutividade térmica em paralelo com outros menos condutores, ou ainda, caso a área de estrutura em aço exposta seja relativamente grande, comparada à área do fechamento, a maior parte da transferência de calor ocorre através do aço, por condução, efeito conhecido por ponte térmica por meio da estrutura em aço ou da estrutura exposta. Este mecanismo implica em uma redução da resistência térmica do fechamento, o que acarreta uma alteração nas suas temperaturas superficiais internas, além de aumentar os gastos energéticos.

Sierra, Bai e Maksoud (2015) afirmam que uma ponte térmica oferece uma área menos resistente ao fluxo de calor através da envoltória do edifício, sendo que os efeitos adversos associados a ela são a maior perda de calor e a redução da temperatura da superfície interna na área afetada, o que pode aumentar também, além dos gastos energéticos, o risco de condensação e crescimento de fungos.

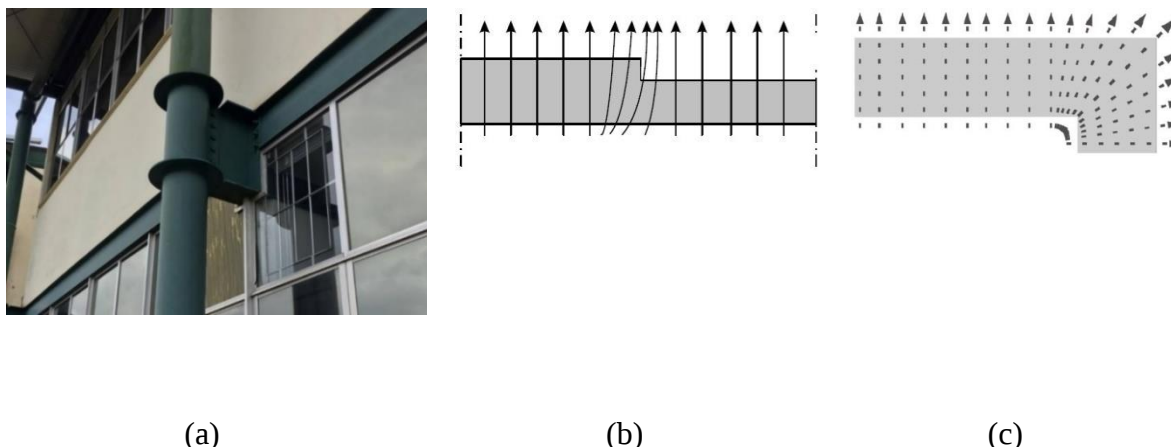
Uma vez que em muitos países as práticas construtivas não aplicam todas as medidas de isolamento previstas em seus regulamentos, as perdas térmicas tornam-se maiores do que as previstas na concepção do projeto, podendo chegar a ser cerca de 35% maiores do que as estimadas inicialmente. Este problema, portanto, não vem sendo tratado devidamente, uma vez que as perdas térmicas são subestimadas durante o processo de concepção do projeto (Theodosiou; Papadopoulos, 2008).

Dessa forma, percebe-se a importância de quantificar as perdas ou ganhos de calor causados devido a geração de uma ponte térmica na envoltória das edificações, uma vez que ela interfere diretamente no conforto dos usuários e no desempenho termoenergético da edificação, bem como na propensão de patologias.

1.1. Pontes térmicas

Valerio (2007) define uma ponte térmica como sendo uma zona da envoltória do edifício onde não é possível considerar a hipótese da transferência de calor como sendo um fenômeno unidirecional, podendo ser causada devido a uma heterogeneidade, seja de ordem geométrica ou de ordem estrutural:

- i. Transição entre materiais com diferentes condutividades térmicas, como no caso de encontros entre paredes e elementos metálicos ou varandas (Fig. 1a);
- ii. Variação local na espessura dos elementos, como mostrado na Fig. 1b;
- iii. Diferenças entre as áreas internas e externas, como no caso de encontros entre paredes, entre paredes e pisos e entre paredes e tetos (Fig. 1c).



Fonte: Valerio, 2007.

Fonte: Adaptado de Valerio, 2007.

Figura 1 – Tipos de pontes térmicas: condicionada ao material (a), devida à variação da espessura (b) e geométrica (c).

Tratando-se da presença de um material com condutividade térmica maior, ocorre uma significativa mudança na resistência térmica se comparada ao restante da envoltória do edifício. Dessa forma, as pontes térmicas podem aumentar as perdas de calor durante o inverno e os ganhos de calor no verão ocasionando gastos com aquecimento e resfriamento do ambiente, respectivamente. (Evola; Margani; Marletta, 2011).

Através de uma ponte térmica o calor é transferido a uma taxa maior do que em áreas circundantes, comprometendo o desempenho esperado do material isolante e tornando as temperaturas da superfície da envoltória irregulares.

Os lugares mais propensos a este problema são os cantos de janelas e portas, os cruzamentos entre paredes e tetos, as interfaces entre paredes e os dispositivos de ventilação e varandas, que também podem penetrar as camadas de isolamento. Além disso, os elementos estruturais que são montados durante a construção também podem produzir uma ponte térmica, uma vez que seus componentes se unem aos elementos construtivos da envoltória do edifício.

Seus efeitos estão, em geral, inversamente relacionados à qualidade do isolamento e ao desempenho energético de um edifício. A quantidade de troca de calor devido a uma ponte térmica é comparativamente baixa em prédios onde a proteção térmica não foi um fator preponderante no projeto, ou foi mal implementada.

A troca de calor resultante de uma ponte térmica não afeta apenas a eficiência do controle do clima interior. Uma de suas consequências é a diminuição das temperaturas da superfície interna da envoltória do edifício, o que pode levar a problemas de condensação nos cantos, pavimentos e cruzamentos de paredes, especialmente em climas úmidos, como no caso do Brasil, o que pode levar ao aparecimento de bolores, como observado na Fig. 2.



Figura 2 – Bolores provocados por condensação na região da ponte térmica.
Fonte: Valerio, 2007.

Estudos recentes mostram que ainda há uma grande incerteza sobre o comportamento térmico de pontes térmicas, 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.

As pontes térmicas nas envoltórias dos edifícios, portanto, permanecem um ponto fraco nas construções. Sendo assim, as exigências relativas ao isolamento térmico das envoltórias dos edifícios vêm se tornando cada vez mais rigorosas ao longo dos últimos anos, devendo tornar-se ainda mais exigentes no futuro, minimizando as perdas térmicas e melhorando a performance energética dos novos edifícios (Theodosiou; Tsikaloudaki; Kontoleon, 2015).

Neste sentido, uma das tarefas básicas para se alcançar um bom desempenho térmico em edifícios é a sua correta modelagem em programas de simulação numérica de edificações (Martin et al., 2012). Tais programas de simulação utilizam modelos matemáticos mais complexos que simulam o efeito do armazenamento térmico na envoltória e das trocas de calor por convecção e radiação que ocorre no interior de ambientes.

Diante do exposto, neste trabalho verifica-se a influência da estrutura em aço exposta nas temperaturas superficiais internas da envoltória de uma edificação, considerando como objeto de estudo um edifício comercial ventilado naturalmente.

2. MÉTODO

O método empregado engloba simulações computacionais por meio do programa *EnergyPlus* (versão 8.6.0). Este *software* fornece as temperaturas internas dos ambientes para a avaliação do seu desempenho térmico e as temperaturas superficiais internas do fechamento da edificação, considerando sua resposta global relativa às interações térmicas entre o ambiente externo e o ambiente construído. Isso permite que se faça uma análise da distribuição superficial das temperaturas internas ao longo do fechamento da edificação e do seu desempenho térmico.

2.1. Etapas do processo de avaliação do desempenho térmico

Neste trabalho, o método empregado de avaliação do desempenho térmico é baseado nos estudos de Akutsu (1998). Segundo a autora, para a avaliação do desempenho térmico de uma edificação via simulação numérica seguem as seguintes etapas principais:

- i. Verificação das exigências humanas: caracterizadas por intervalos de valores inter-relacionados das variáveis temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do ar e temperatura radiante média do ambiente. Seus valores são fixados em função das características do ocupante, dadas pela sua taxa metabólica, função da sua atividade, e pelo índice de resistência térmica da sua vestimenta.
- ii. Caracterização das condições de exposição ao clima: o clima é caracterizado pelos valores horários de temperatura e da umidade relativa do ar, da radiação solar global, direção e velocidade do vento predominante. Estas informações climáticas podem ser inseridas na simulação numérica por meio de arquivos climáticos, sendo o mais utilizado no Brasil o ano climático de referência – TRY (*Test Reference Year*), obtido pela eliminação de anos que contenham temperaturas médias mensais extremas. Outra forma de se considerar os dados climáticos se dá por meio dos dias típicos de projeto para verão e inverno, caracterizados por sua frequência de ocorrência e representam as condições mais significativas ao longo do período de verão e inverno (Akutsu, 1998; ABNT, 2013).
- iii. Caracterização da edificação e de sua ocupação: é preciso identificar os ambientes típicos, levantando-se as informações associadas às condições de ocupação (regime de ocupação, o número de ocupantes e os processos e equipamentos que liberam calor e vapor d'água) e aos materiais e componentes construtivos (propriedades dos materiais utilizados, suas formas, dimensões e orientações). Em posse dessas propriedades, é possível determinar a resistência térmica à passagem de calor da envoltória e das divisórias internas, pisos, forros e esquadrias, parâmetro imprescindível para a avaliação do mecanismo de condução através da envoltória da edificação e paredes internas.

2.2. Parâmetros de simulação utilizados

O modelo proposto é baseado em edifícios comerciais típicos de grandes centros urbanos. A maioria destas edificações é constituída por dois setores bem definidos: uma região central que compreende a circulação vertical e serviços (core) e o espaço para abrigo dos escritórios, conforme exemplificado na Fig. 3.

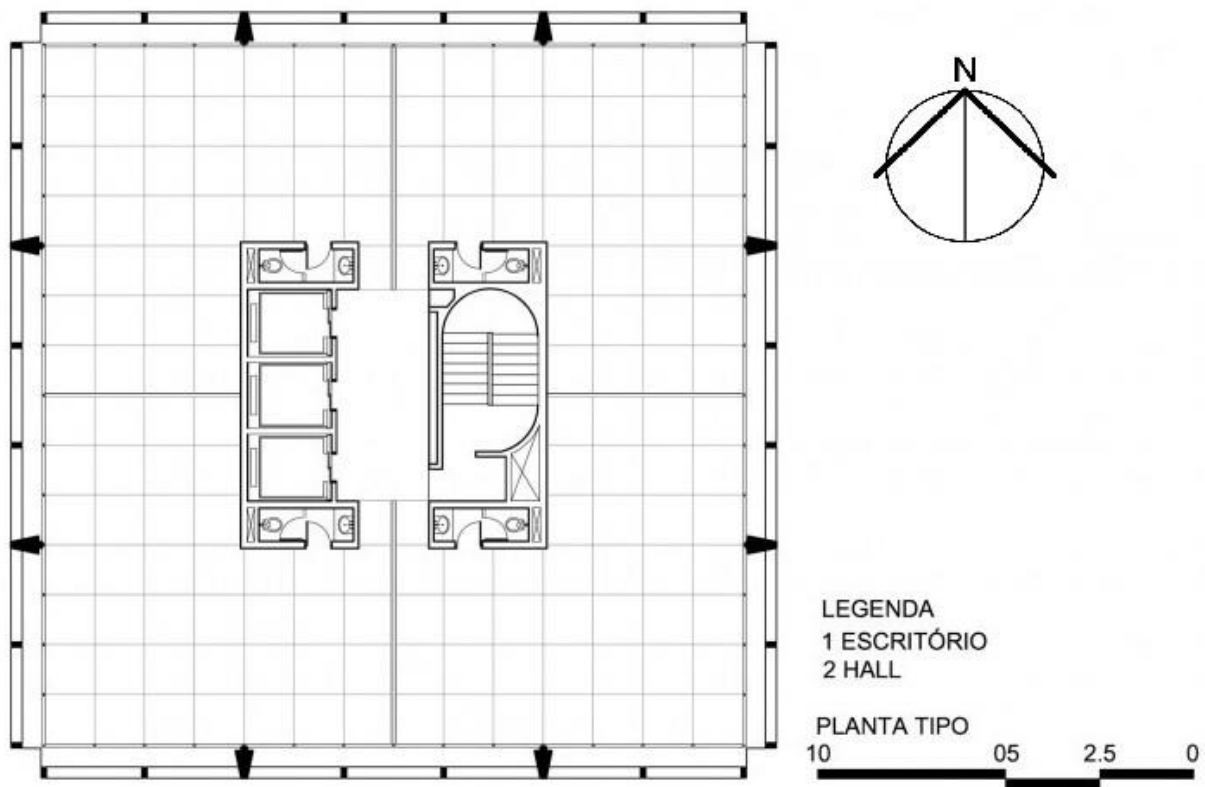


Figura 3: Edifício Acal.
Fonte: Edifício..., 1974.

A planta do pavimento tipo apresentada na Fig. 3 foi projetada considerando o sistema estrutural em concreto armado. Por isso, de forma a adaptar o modelo a um sistema estruturado em aço, foram feitas alterações nas suas dimensões e no lançamento estrutural, como observa-se na Fig. 4, na qual destaca-se a estrutura em aço exposta.

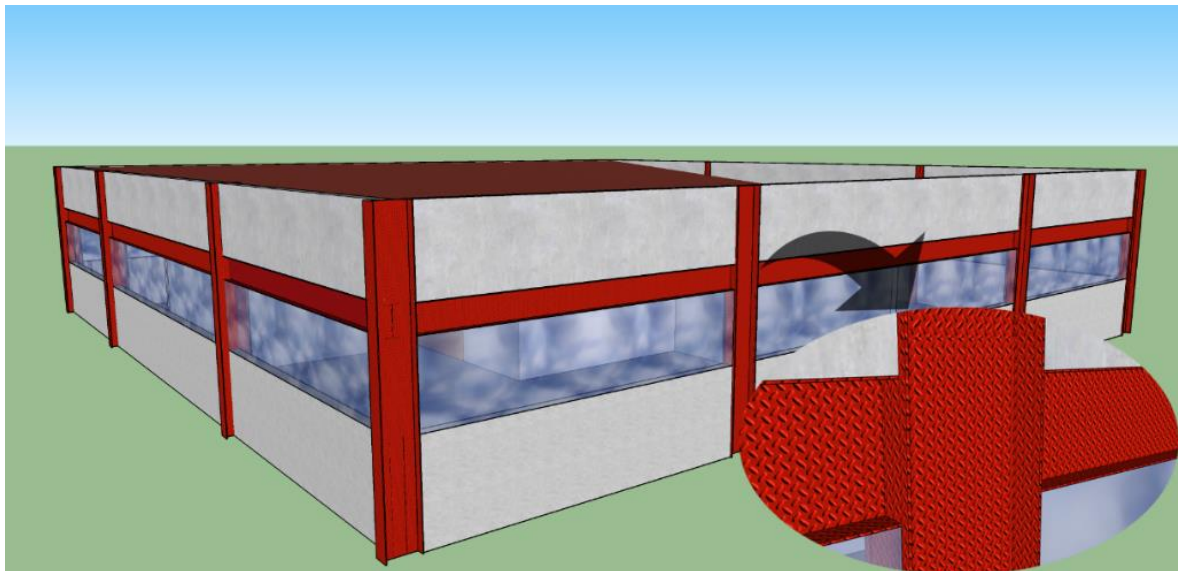


Figura 4: Perspectiva do último pavimento do edifício com estrutura adaptada em aço.

De qualquer modo, o modelo 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 core central ou zona de circulação (Fig. 5).

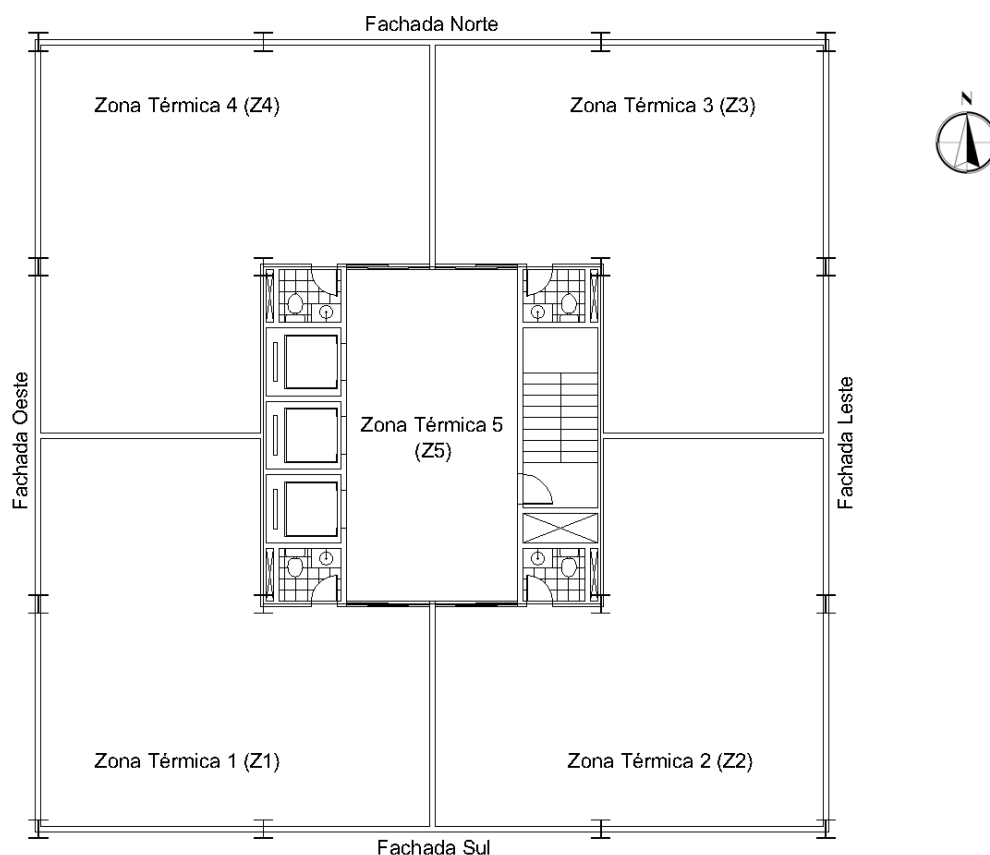


Figura 5: Zonas Térmicas do último pavimento.

A escolha do perfil metálico que é utilizado nas simulações é feita a partir de um pré-dimensionamento da estrutura, considerando-se que a estrutura atingirá o Momento de Plastificação, o que representa a melhor situação em termos de economia de material. Dessa forma, após fazer as verificações no Estado Limite Último (ELU), opta-se por adotar o perfil em aço com alma de 40 cm (VS 400x30), onde o valor 400 indica a altura da alma do perfil (mm) e o valor 30 indica a massa linear do perfil (kg/m).

O sistema de fechamento externo e interno é composto por paredes com uma camada externa de reboco em argamassa comum (1,5 cm de espessura) seguida por uma camada de tijolos em concreto celular autoclavado (15 cm de espessura) e por uma camada interna de reboco em argamassa comum (1,5 cm de espessura), totalizando 18 cm de espessura final. As propriedades termofísicas dos materiais utilizados no sistema de fechamento da edificação, além das paredes detalhadas anteriormente, foram retiradas da norma NBR 15220 (ABNT, 2005) e são especificadas na Tabela 1.

Tabela 1. Propriedades termofísicas dos materiais utilizados no fechamento.

Material	Espessura (m)	Massa Específica ρ (kg/m ³)	Calor Específico c (J/kgK)	Condutividade Térmica λ (W/mK)
Concreto Celular Autoclavado	0,035	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	0,003	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

Fonte: NBR 15220 (ABNT, 2005).

O vidro que compõe as janelas da edificação foi escolhido de forma a garantir máximo isolamento térmico nas Zonas Térmicas, reduzindo-se os ganhos térmicos dos ambientes internos por meio desse material. Suas propriedades termofísicas são especificadas na Tabela 2.

Tabela 2. Propriedades térmicas do vidro utilizado no sistema de fechamento da edificação.

Nome	REF A CLEAR LO 6MM
Espessura (m)	0,006
Massa Específica ρ (kg/m ³)	2500
Condutividade Térmica λ (W/mK)	0,9
Calor Específico c (J/kgK)	0,84
Transmitância Solar em Incidência Normal	0,066
Refletância Solar em Incidência Normal (face externa)	0,341
Refletância Solar em Incidência Normal (face interna)	0,493

Fonte: LBNL, 2011; NBR 15220 (ABNT, 2005).

2.2.1. Dados Climáticos de Referência

Para a realização das simulações computacionais são utilizados como referência climática os dados brasileiros fornecidos pela norma NBR 15220 (ABNT, 2005), sendo que, para a

geometria do modelo de simulação numérica, considera-se a edificação como um todo, adotando cada um dos cinco ambientes do pavimento tipo como uma zona térmica.

As simulações são realizadas considerando as cidades de Curitiba (PR) e Brasília (DF) como representativas das Zonas Bioclimáticas 1 (ZB1) e 4 (ZB4), respectivamente, Tabela 3.

Tabela 3 - Dados de dias típicos de verão e de inverno das cidades simuladas.

ZONA BIOCLIMÁTICA		Estação	Te,máx diária (°C)	Amplitude diária de temperature (°C)	Te bulbo úmido	Radiação solar (Wh/m²)	Nebulosidade (décimos)
ZB1	Curitiba (PR)	Verão	31,4	10,2	21,3	4.988	8
		Inverno	0,7	11,6	11,0	3.211	6
ZB4	Brasília (DF)	Verão	31,2	12,5	20,9	4.625	4
		Inverno	10	12,2	14,8	4.246	3

Fonte: NBR 15575 (ABNT, 2013).

2.2.2. Rotinas de uso e ocupação

O perfil de ocupação de uma edificação, caracterizado pelo número de ocupantes, número de equipamentos, perfil de utilização dos equipamentos, nível de iluminação e período de ocupação, influencia diretamente no seu desempenho térmico. Apesar disso, como são verificados apenas os requisitos mínimos sugeridos pela norma NBR 15575 (ABNT, 2013), a presença de fontes internas de calor é desprezada. Pressupõe-se que a edificação, nas duas cidades representativas, está posicionada a 0° do eixo Norte de coordenadas geográficas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. Influência da área de aço exposta

Em um primeiro momento, foi feito uma avaliação da influência da área de estrutura em aço exposta na temperatura interna do ar ambiente. Nas Tabelas 4 e 5 são apresentados os resultados das porcentagens de aumento e/ou queda da temperatura interna do ar ambiente, comparando-se os resultados obtidos para os fechamentos com perfis em aço e sem perfis em aço para um dia típico de inverno e verão, considerando-se as cidades representativas das Zonas Bioclimáticas ZB1 e ZB4, respectivamente.

Tabela 4. Porcentagem de queda e/ou aumento da temperatura para um dia típico de inverno e verão na Zona Térmica Z4.
Zona Bioclimática 1 - ZB1

Perfil alma 40 cm - Inverno - % aumento e/ou queda de Temperatura				
Estação	Renovações de ar	$\alpha=0,3$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,7$
Inverno	1 ren/h	-4,5%	-4,7%	-4,8%
	5 ren/h	-3,7%	-3,9%	-4%
Verão	1 ren/h	1,1%	1%	1%
	5 ren/h	0,8%	0,7%	0,7%

Tabela 5. Porcentagem de queda e/ou aumento da temperatura para um dia típico de inverno e verão nas Zonas Térmicas Z1 e Z4.

Zona Bioclimática 4 - ZB4				
Perfil alma 40 cm - Inverno - % aumento de Temperatura				
Estação	Renovações de ar	$\alpha=0,3$	$\alpha=0,5$	$\alpha=0,7$
Inverno	1 ren/h	2%	1,9%	1,9%
	5 ren/h	1,2%	1,2%	1,2%
Verão	1 ren/h	1,4%	1,3%	1,3%
	5 ren/h	0,9%	0,9%	0,8%

Os resultados mostram que entre as zonas bioclimáticas avaliadas para o dia típico de inverno, a que apresenta maior variação no comportamento da temperatura interna dos ambientes é a cidade representativa da Zona Bioclimática ZB1 (Tabela 4). Houve uma queda de 4,8% da temperatura interna na Zona Térmica 4. Esta diferença de temperatura ocorreu na parte da manhã, por volta das 06h00. Este resultado mais expressivo pode ser explicado pelo fato de a cidade localizada na Zona Bioclimática ZB1 apresentar temperaturas muito baixas no período de inverno, ocasionando em uma diferença maior entre a temperatura interna e a externa.

Já os resultados obtidos na análise feita para o dia típico de verão não foram tão significativos, sendo que a cidade representativa da Zona Bioclimática ZB4 apresentou maior variação no comportamento da temperatura interna dos ambientes, em torno de 1,4% (Tabela 5).

Percebe-se que as piores situações avaliadas em função de maior queda e/ou aumento de temperatura interna do ar, comparando-se os fechamentos que possuem sistema estrutural com perfis em aço e sem perfis em aço, foram as simulações numéricas feitas para o dia típico de inverno nas duas Zonas Bioclimáticas. Além disso, os resultados apresentados são mais expressivos nas Zonas Térmicas Z1 e Z4 da edificação (Fig. 5), devido ao fato de os fechamentos externos das Zonas Térmicas Z1 e Z4 estarem orientados de forma a receber maior radiação solar no período da tarde (fachada Oeste), o que resulta em temperaturas mais elevadas.

Conforme o esperado, isso evidencia o fato de que quanto maior a área em aço exposta no fechamento da edificação, ou seja, quanto maior a área com menor resistência térmica à condução de calor, maior é o efeito causado por esta ponte térmica.

3.2. Distribuição das temperaturas superficiais

Faz-se uma comparação entre a distribuição superficial da temperatura interna ao longo da viga em aço exposta e do fechamento da edificação, Fig. 6 à Fig. 9. A viga e a parede analisadas são as que estão localizadas na fachada Oeste da edificação (Z4), a qual mostrou-se como sendo a pior situação em termos de maior queda e/ou aumento de temperatura interna do ar em função do aço exposto. Os resultados mostram a evolução temporal do comportamento das temperaturas superficiais internas da envoltória da edificação ao longo do dia típico de projeto de inverno e de verão para as duas Zonas Bioclimáticas avaliadas, considerando $\alpha=0,3$ e uma taxa de renovação do ar de 1 ren/h, uma vez que estas foram as situações que proporcionaram as maiores diferenças na temperatura da face interna da envoltória.

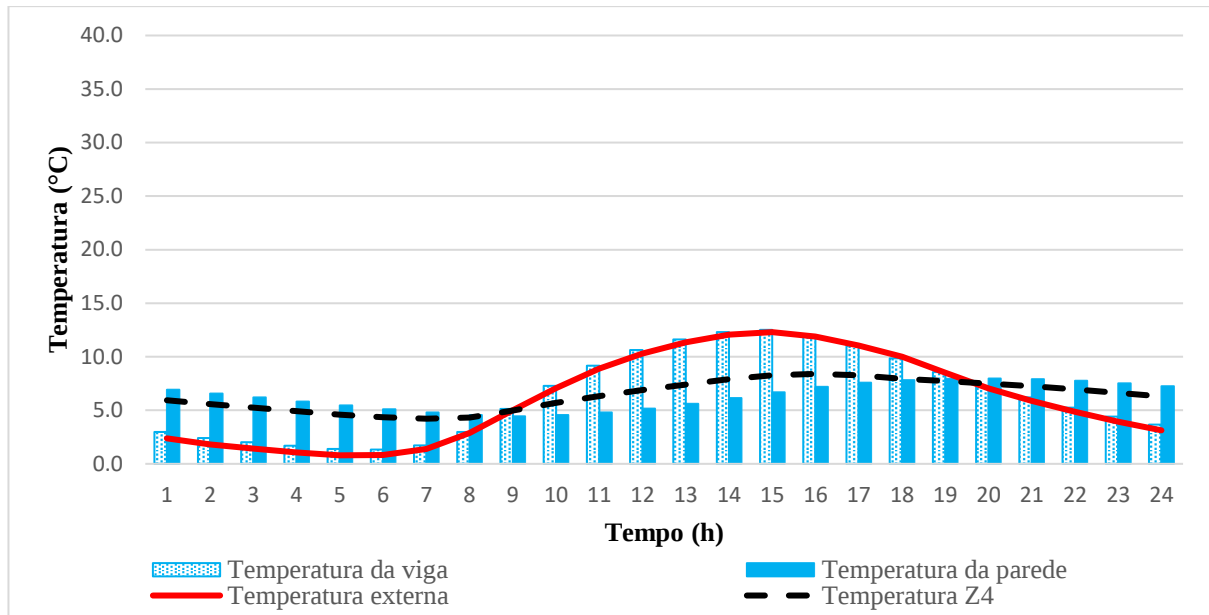


Figura 6: Evolução temporal das temperaturas superficiais internas (Inverno – ZB1) - $\alpha=0,3$ e 1 ren/h.

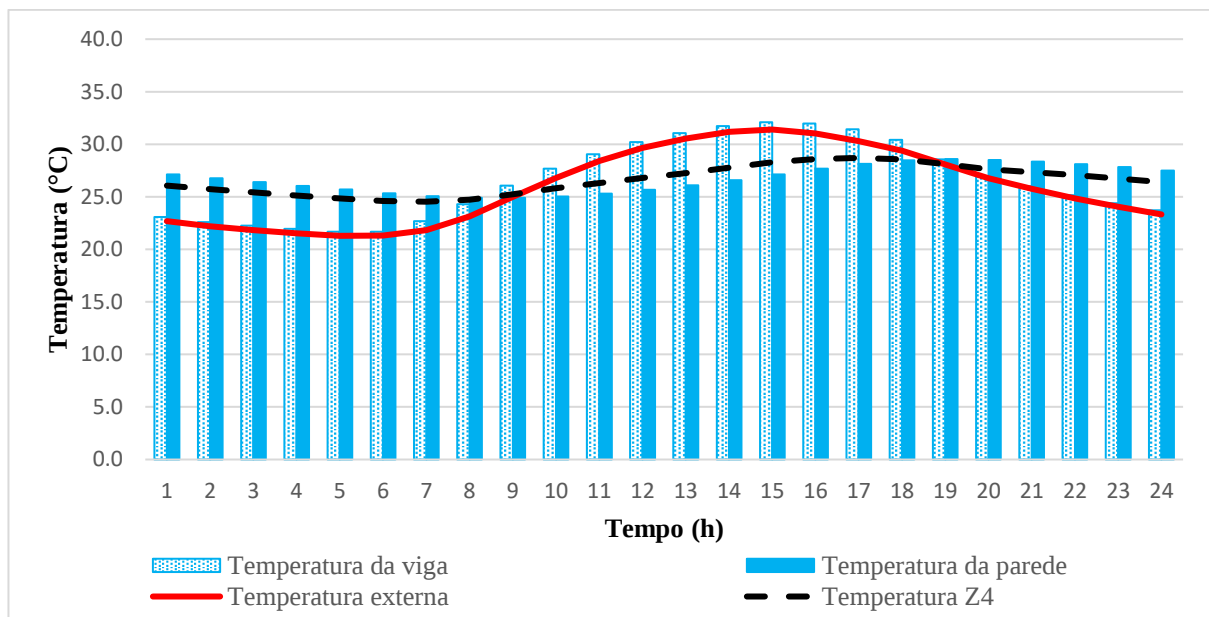


Figura 7: Evolução temporal das temperaturas superficiais internas (Verão – ZB1) - $\alpha=0,3$ e 1 ren/h.

Na avaliação feita para a cidade representativa da Zona Bioclimática 1 houve uma diferença de temperatura que chegou a 6,2°C no período de inverno e 5,2°C no período de verão.

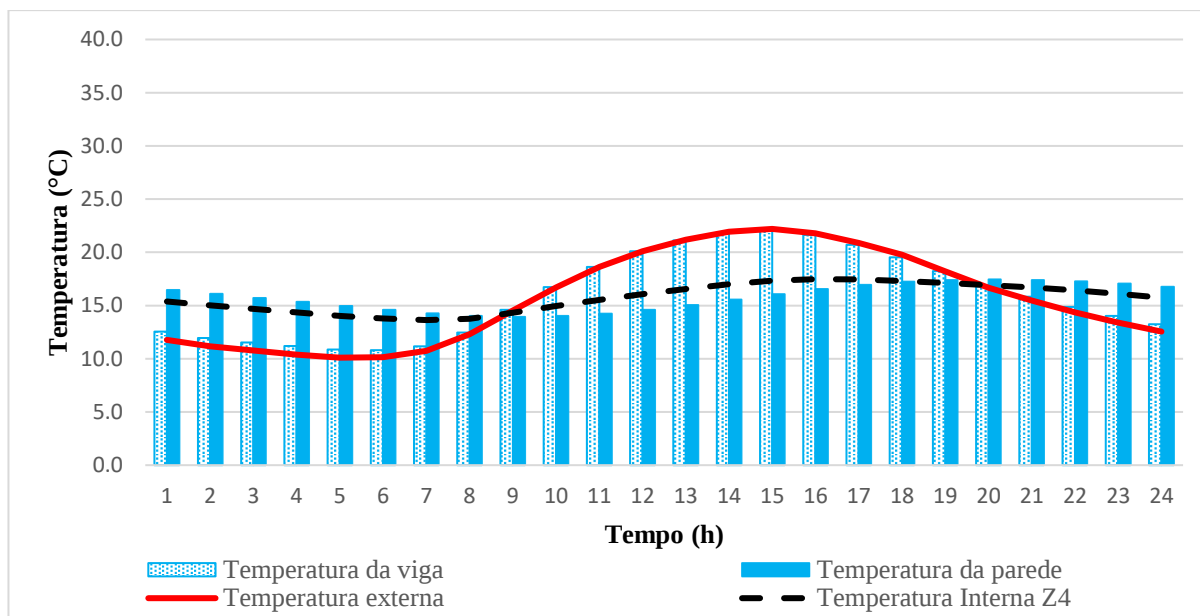


Figura 8: Evolução temporal das temperaturas superficiais internas (Inverno – ZB4) - $\alpha=0,3$ e 1 ren/h.

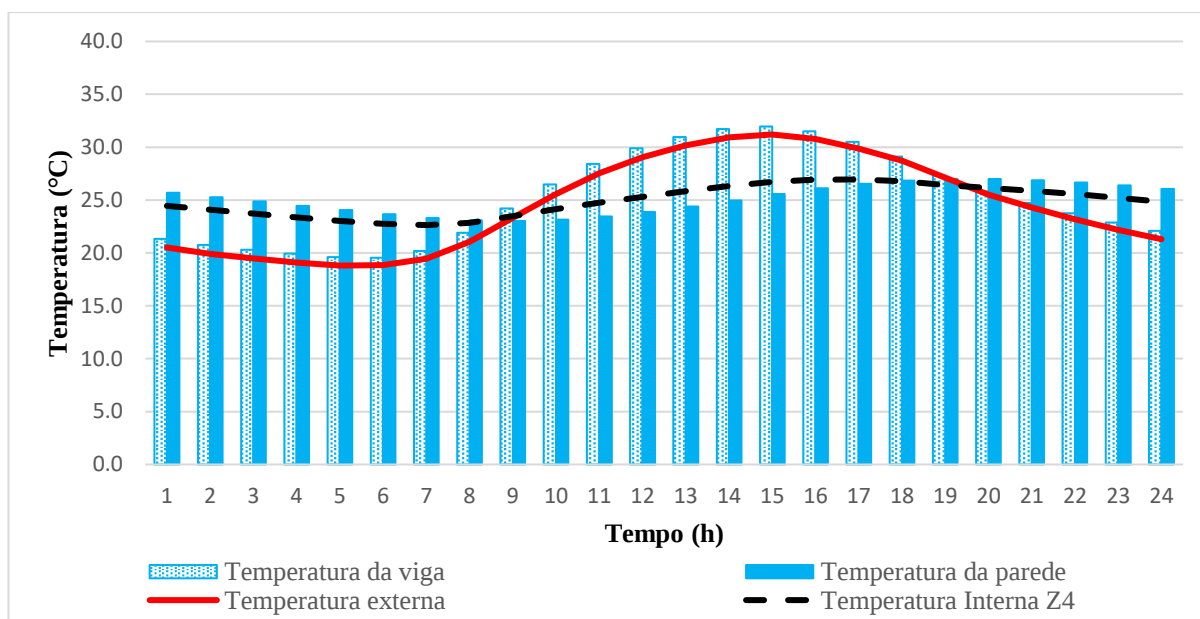


Figura 9: Evolução temporal das temperaturas superficiais internas (Verão – ZB4) - $\alpha=0,3$ e 1 ren/h.

Já a cidade representativa da Zona Bioclimática 4 apresentou uma diferença que chegou a 6,3°C entre a temperatura superficial da face interna da viga e da parede avaliada no período de inverno e 5,7°C no verão.

Percebe-se que os picos de diferença de temperatura ocorrem no período da tarde, às 14h00, para todas as simulações. Isso mostra que, tanto para o verão quanto para o inverno, a incidência solar influencia diretamente na distribuição superficial das temperaturas ao longo do fechamento da edificação.

Observa-se também que a temperatura superficial da viga em aço acompanha a evolução da temperatura externa e, no caso da análise feita para o dia típico de verão chega a ultrapassá-la, o que está diretamente relacionado à baixa resistência térmica do aço que funciona como ponte térmica entre o meio externo e o ambiente interno da edificação, uma vez que este material facilita as trocas de calor através da envoltória do edifício. Esse fato fica evidente também quando se observa nos gráficos anteriores a diferença entre a temperatura interna da Zona Térmica 4 avaliada e a temperatura superficial da viga em aço.

Essa diminuição brusca da temperatura da superfície de aço, em relação ao restante do fechamento do edifício, pode também gerar condensação superficial. Como consequência direta da condensação superficial, na maioria das vezes há formação de patologias em função da ocorrência de fungos por exemplo. Além disso, a transmissão excessiva de calor pode agravar as perdas ou ganhos de calor, o que poderá suscitar em maiores gastos energéticos.

4. Conclusões

Neste trabalho avalia-se a influência da estrutura em aço exposta no comportamento térmico dos ambientes e na distribuição das temperaturas superficiais internas da envoltória de uma edificação, considerando como objeto de estudo um edifício comercial ventilado naturalmente.

A inserção dos perfis de aço com alma de 40cm na simulação numérica dos ambientes naturalmente ventilados apresentou uma significativa influência na variação da temperatura interna dos ambientes, sendo que, na Zona Bioclimática 1 houve uma queda de até 4,8% na temperatura no período de inverno.

O efeito das pontes térmicas nas temperaturas superficiais internas do fechamento da edificação ficou mais evidente na avaliação da cidade representativa da Zona Bioclimática 4, que apresentou uma diferença de 6,3°C entre a temperatura superficial da face interna da viga e da parede avaliada no período de inverno e 5,7°C no período de verão. Essa queda brusca de temperatura na superfície interna do aço agrava o risco de condensação superficial, o que pode provocar o aparecimento de fungos, interferindo diretamente no conforto dos usuários.

Os resultados obtidos não podem ser expandidos para outras tipologias, uma vez que os edifícios comerciais possuem características próprias tais como: área de circulação ampla e bem definida, ambientes com pé-direito elevado, divisórias internas leves, fachadas com grandes áreas em vidro e outros. No entanto, ficou evidente que no projeto estrutural também deve ser considerado como fator condicionante o comportamento térmico do fechamento como um todo na escolha da estrutura.

Este estudo indica que a estrutura em aço deve ser considerada nas simulações numéricas do comportamento térmico das edificações, devido aos diversos efeitos das pontes térmicas, que podem afetar o conforto dos usuários e provocar um aumento nos gastos energéticos.

Agradecimentos

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

REFERÊNCIAS

- Akutsu, M. Método para avaliação do desempenho térmico de edificações no Brasil. 1998. 156 f. Tese (Doutorado em Arquitetura) – Faculdade de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1998.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). NBR 15220: *Desempenho térmico de edificações*. Rio de Janeiro, 2005.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). 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.
- Evola, G.; Margani, G.; Marletta, L. Energy and cost evaluation of thermal bridge correction in Mediterranean climate. *Energy and Buildings*, n. 43, p. 2385-2393, 2011.
- 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.
- Lawrence Berkeley National Laboratory (LBNL). *EnergyPlus Input Output Reference: The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, 2011a.
- 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.
- Theodosiou, T. G.; Tsikaloudaki, A. G.; Kontoleon, K. J. Thermal bridging analysis on cladding systems for building facades. *Energy and Buildings*, n. 109, p. 377-384, 2015.
- Valerio, J. Avaliação do Impacte das Pontes Térmicas no Desempenho Térmico e Energético de Edifícios Residenciais Correntes. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Instituto Superior Técnico, Universidade técnica de Lisboa, Lisboa, 2007.