

# Estudo do comportamento em incêndio real da estrutura de aço em perfis formados a frio de um edifício residencial

RICARDO HALLAL FAKURY  
FRANCISCO CARLOS RODRIGUES  
Escola de Engenharia da UFMG

FABIO DOMINGOS PANNONI  
Gerdau Açominas

VALDIR PIGNATTA E SILVA  
Escola Politécnica da USP

ALESSANDRO DE SOUZA CAMPOS  
USIMINAS / COSIPA

MAURI RESENDE VARGAS  
TECSTEEL

## 1. RESUMO

**Este trabalho apresenta o comportamento da estrutura de aço, constituída por perfis formados a frio, em seção caixão, de um apartamento situado no quarto e último andar do Conjunto Habitacional Juscelino Kubitschek, em Limeira, Estado de São Paulo, construído em 1988 e acometido por incêndio em 2002. Para isso, são descritos os ensaios realizados para a caracterização do aço empregado nas vigas e pilares, desconhecido por falta do projeto estrutural, e o ensaio metalográfico, para estimar a temperatura atingida pelo aço durante o incêndio. Posteriormente, são feitas considerações sobre o comportamento da estrutura em situação de incêndio.**

*Palavras-chave: Estruturas de aço. Perfis formados a frio. Comportamento em situação de incêndio.*

## 1. INTRODUÇÃO

O Conjunto Habitacional Juscelino Kubitschek (figura 1) foi construído em 1988 na cidade de Limeira, Estado de São Paulo, sendo formado por quatro blocos idênticos, geminados dois a dois, cada um dos blocos com quatro pavimentos e oito apartamentos por andar. Os apartamentos são do tipo popular, possuindo 44,29 m<sup>2</sup> de área total, com dois dormitórios, sala, banheiro, cozinha e área de serviço.

A edificação possui a estrutura principal constituída por vigas e pilares de perfis de aço formados a frio.



Figura 1 - Conjunto Habitacional Juscelino Kubitschek

Em janeiro de 2002, ocorreu um incêndio em um apartamento situado no quarto andar de um dos blocos do Conjunto Habitacional, o qual, apesar de não ter sido combatido com eficácia, não se propagou para outros apartamentos do edifício.

## 2. A ESTRUTURA DO EDIFÍCIO

Os pilares e vigas do Conjunto Habitacional Juscelino Kubitschek são constituídos por perfis de aço formados a frio, em seção caixão, conforme se vê na figura 2. Os pilares, com 200 mm de altura e 100 mm de largura, são formados por dois perfis Ue 200x50x30x5,0, justapostos e unidos por solda contínua de filete. As vigas, com dimensões externas idênticas às dos pilares, são formadas por dois perfis Ue 200x50x15xt, também justapostos e unidos por solda contínua de filete, com espessura de chapa (t) de 3,3 mm, 3,75 mm ou 4,75 mm.

VENIDAS MERCADO INTERNO

PRODUTOS	JAN/OUT		05/04 (%)	OUTUBRO		05/04 (%)
	2005	2004		2005	2004	
LAMINADOS	13.079,7	14.419,8	(9,3)	1.189,8	1.455,9	(18,3)
PLAVOS	8.175,7	8.711,8	(8,2)	672,0	947,1	(29,0)
LONGOS	4.904,0	5.708,0	(14,1)	517,8	508,8	1,8
SEMI-ACABADOS	503,2	591,1	(14,9)	51,8	61,8	(16,2)
PLACAS	159,9	210,7	(24,1)	18,3	21,2	(13,7)
BLOCOS E TARUGOS	343,3	380,4	(9,8)	33,5	40,6	(17,5)
TOTAL	13.582,9	15.816,9	(9,9)	1.241,6	1.517,7	(18,2)

Nota: Exclui as vendas para dentro do parque.

Fonte: IBIS

Figura 2 - Vigas e pilares

Todas as ligações entre pilares e vigas podem ser classificadas como rígidas, ou muito próximas de rígidas, uma vez que a união entre esses elementos é executada por meio de solda de filete em toda a volta do perfil da viga.

Os elementos estruturais não possuem revestimento contra fogo, mas podem ser considerados parcialmente protegidos pelo contato com a alvenaria, constituída por blocos de concreto revestidos por argamassa, em várias partes de suas superfícies externas, conforme a planta do apartamento, mostrada na figura 3.

As lajes são constituídas de vigotas pré-moldadas de concreto e lajotas cerâmicas, com 70 mm de altura e 50 mm de capa de concreto moldado in loco, perfazendo 120 mm de espessura.

### 3. O INCÊNDIO E SUAS CONSEQÜÊNCIAS

A figura 3 mostra a planta do apartamento incendiado, com uma simulação do mobiliário existente, e com a indicação do local de início do incêndio, a sala, em tomada localizada atrás do televisor, conforme Certidão de Sinistro emitido pelo Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2003).

VENIDAS MERCADO EXTERNO (USINAS)

PRODUTOS	JAN/OUT		05/04 (%)	OUTUBRO		05/04 (%)
	2005	2004		2005	2004	
LAMINADOS	4.953,4	4.128,8	20,0	565,3	318,6	77,4
PLAVOS	2.904,5	2.642,0	9,9	347,6	172,7	101,3
LONGOS	2.048,9	1.486,8	37,8	217,7	145,9	49,2
SEMI-ACABADOS	4.513,2	5.005,8	(9,8)	439,3	382,2	14,9
PLACAS	2.844,8	3.473,4	(18,1)	279,5	279,5	100,0
BLOCOS E TARUGOS	1.688,4	1.532,4	8,9	159,8	159,8	100,0
TOTAL	9.486,6	9.134,6	3,8	1.094,6	1.094,6	100,0
VALOR (103 US\$ FOB)	4.884	3.978	22,8	447	447	100,0

Fonte: IBIS (vendas brutas)

2005

Figura 3 - Planta do apartamento com mobiliário e local de início do incêndio

Na região onde o incêndio se iniciou houve desprendimento de pedaços de lajotas de cerâmica da laje (figura 4). A estrutura de aço não entrou em colapso e não apresentou danos visuais importantes.

Os revestimentos das alvenarias se soltaram, o que também pode ser visto na figura 4. Nas paredes não houve fissuras e tampouco nas lajes, mantendo-se, assim, a estanqueidade desses elementos.



Figura 4 - Detalhe das lajotas cerâmicas danificadas

Não houve a propagação do incêndio para os dois dormitórios e para o banheiro; no entanto esses cômodos foram duramente atingidos pela fumaça, ficando completamente escurecidos. Evidentemente, o incêndio não se propagou pelo fato de que a compartimentação, apesar de imperfeita, foi eficaz.

### 4. ENSAIOS PARA DETERMINAÇÃO DO AÇO E DA TEMPERATURA

Como não foi possível localizar o projeto estrutural, houve a necessidade da realização de ensaios para a caracterização do aço empregado nos pilares e vigas. Assim, foram feitos ensaios para a determinação da composição química e dos valores da resistência ao escoamento, da resistência à ruptura e do alongamento após ruptura do aço. Foi feito ainda ensaio metalográfico, para estimar a temperatura atingida pelo aço durante o incêndio.

As amostras de aço utilizadas nos ensaios foram extraídas de elementos estruturais da sala, dependência

mais afetada pelo incêndio. Ao todo, foram retiradas sete amostras, sendo três de pilares e quatro de vigas, medindo cada uma 300 mm de comprimento e 60 mm de largura. A figura 5 mostra o local de extração das amostras (A1 no Pilar P1, A3 e A4 no Pilar P2, A2 na Viga V2, A6 e A7 na Viga V1 e A8 na Viga V3), e a figura 6 o pilar P2 após ter as amostras A3 e A4 retiradas.

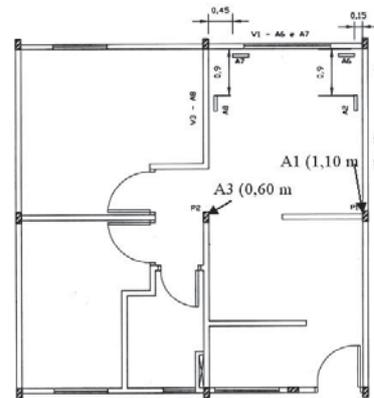


Figura 5 - Local de extração das amostras



Figura 6 - Pilar P2 após a retirada das amostras A3 e A4

#### Os ensaios:

- não detectaram alterações significativas na micro-estrutura, incluindo o tamanho de grão, e nas propriedades mecânicas do aço, e indicaram que os elementos estruturais foram submetidos a temperaturas máximas da ordem de 712°C;

- indicaram que o aço utilizado é compatível com aços estruturais do tipo patinável, com valor característico de resistência ao escoamento de 445 MPa.

## 5. VERIFICAÇÃO DA ESTRUTURA DE AÇO FRENTE AO FOGO

### 5.1 Análise Estrutural

A análise estrutural foi feita usando o programa computacional comercial SAP 2000 (2003), com a combinação excepcional da ABNT NBR 14323:1999 para obtenção dos esforços solicitantes de cálculo em situação de incêndio.

Foi modelada a estrutura completa do Conjunto Habitacional Juscelino Kubitschek, incluindo seus quatro blocos, em três dimensões, com as lajes simuladas como diafragmas infinitamente rígidos em seu plano e com rigidez nula no plano perpendicular. As bases dos pilares foram consideradas engastadas nas duas direções principais e todas as ligações entre vigas e pilares foram supostas rígidas.

Como ações permanentes, foram considerados os pesos próprios dos materiais estruturais e construtivos, obtidos a partir dos pesos específicos fornecidos pela ABNT NBR 6120:1985 e como ação decorrente do uso uma sobrecarga de 1,5 kN/m<sup>2</sup> nos pisos, de 0,5 kN/m<sup>2</sup> na cobertura e de 3,0 kN/m<sup>2</sup> nas escadas.

### 5.2 Estrutura do Apartamento Incendiado

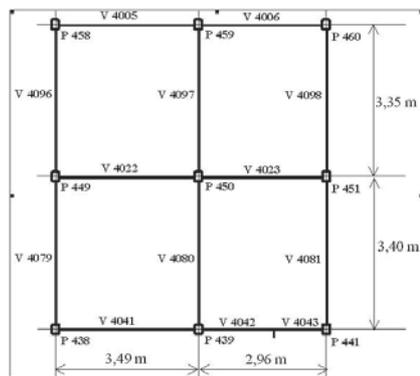


Figura 7 - Esquema da estrutura do apartamento incendiado

Na figura 7, vê-se o esquema da estrutura do apartamento incendiado, retirada da estrutura completa da edificação, com a identificação das vigas e dos pilares (com a numeração usada na análise estrutural) que foram verificados.

Conforme o item 2, todos os pilares são constituídos por dois perfis Ue 200x50x30x5,0 soldados entre si, formando uma seção fechada. As vigas são constituídas por dois perfis Ue 200x50x15xt também soldados entre si formando seções fechadas, sendo que V4005, V4006, V4041 e V4042/4043 têm espessura de 3,30 mm, V4079, V4096, V4081 e V4098 espessura de 3,75 mm e V4022, V4023, V4080 e V4097 espessura de 4,70 mm.

### 5.3 Procedimentos e Resultados

#### 5.3.1 Normas e Programa Computacional

Os pilares e vigas foram verificados em situação de incêndio obedecendo-se à ABNT NBR 14762:2001, adaptada para a condição de temperatura elevada, usando o programa DIMEPEFF (Dimensionamento de Perfis Formados a Frio), desenvolvido no Departamento de Engenharia de Estruturas da UFMG com base nos trabalhos de Barros Jr. (2001) e Soares (2002).

Tendo em vista a eficácia da compartimentação, citada no item 3, e à troca de calor entre o aço da estrutura e paredes e laje, a temperatura varia na seção transversal dos elementos estruturais. No entanto, por simplicidade, essa variação não foi considerada, e por consequência, foram desprezados os esforços solicitantes decorrentes do gradiente térmico. Assim, a temperatura foi considerada constante na seção transversal, com valor igual a 712°C, conforme o item 4 deste trabalho. Também por simplicidade, foram desprezados os esfor-

ços solicitantes advindos do impedimento das expansões térmicas.

A adaptação da ABNT NBR 14762:2001 consistiu do uso de sua formulação para determinação dos esforços solicitantes resistentes de cálculo, multiplicando-se os valores da resistência ao escoamento e do módulo de elasticidade do aço respectivamente pelos fatores de redução  $k_y, \theta$ , igual a 0,12, e  $k_E, \theta$ , igual a 0,11, para a temperatura de 712°C. Os fatores de redução foram obtidos das recomendações do Eurocode 3 - Part 1.2 (1995), para elementos classe 4. Além disso, foram inseridos na formulação os diversos coeficientes e ajustes adicionais para dimensionamento em situação de incêndio, exigidos pela ABNT NBR 14323:1999 com base no Eurocode 3 - Part 1.2 (1995).

#### 5.3.2 Pilares

Considerando o aço estrutural com a resistência ao escoamento encontrada nos ensaios (445 MPa), para a atuação conjunta de força axial de compressão e momentos fletores, são obtidos os seguintes valores de cálculo dos esforços solicitantes e resistentes no pilar P 438, que se encontra em pior condição estrutural:

- força axial de compressão:  $N_{fi, Sd} = 25$  kN,  $N_{fi, Rd} = 174$  kN (para escoamento) e  $N_{fi, Rd} = 64$  kN (para instabilidade);
- momento fletor em relação ao eixo de maior momento de inércia da seção transversal (eixo x):  $M_{fi, Sdx} = 5,87$  kN.m e  $M_{fi, Rdx} = 9,30$  kN.m (o momento fletor em relação ao eixo de menor momento de inércia é desprezável).

Usando as expressões de interação adaptadas da norma brasileira ABNT NBR 14762:2001, vem:

- resultado da expressão de resistência = 0,77;
- resultado da expressão de estabilidade = 1,20.

Na determinação da força axial de compressão resistente, foram usados os mesmos coeficientes de flambagem da

verificação à temperatura ambiente, conforme admite a ABNT NBR 14323:1999.

Nota-se portanto que, pelo procedimento adotado no dimensionamento, o pilar em questão encontra-se, em situação de incêndio, em condição de colapso estrutural por instabilidade. Fazendo-se a verificação dos outros pilares, é possível constatar que, com exceção do pilar P 458, cujo resultado da expressão de estabilidade fornece o valor 1,02, todos encontram-se com reserva de resistência.

As forças cortantes não foram consideradas por apresentarem valores muito reduzidos.

### 5.3.3 Vigas

Do dimensionamento em temperatura elevada, obtém-se que a maior relação entre os momentos fletores solicitante e resistente de cálculo atinge 0,78, na viga V 4081, para resistência ao escoamento do aço de 445 MPa ( $M_{fi,Sdx} = 7,23 \text{ kN.m}$  e  $M_{fi,Rdx} = 9,27 \text{ kN.m}$ ). Verifica-se assim que as vigas conseguiram manter uma reserva de resistência.

As forças cortantes solicitantes são

baixas, como ocorre usualmente no tipo de estrutura em estudo.

## 6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi descrito um incêndio ocorrido em 2002 em um apartamento do Conjunto Habitacional Juscelino Kubitschek, em Limeira, Estado de São Paulo, que possui vigas e pilares constituídos por perfis de aço formados a frio, em seção caixão. Observou-se que o incêndio iniciou-se na sala do imóvel e que, devidos às boas condições de compartimentação, usuais nesse tipo de edifício, não houve propagação das chamas para os outros cômodos e nem para os apartamentos vizinhos. Foram feitos ensaios para caracterização do aço estrutural e para avaliação da temperatura atingida pelo incêndio. A estrutura de aço foi verificada em situação de incêndio, usando-se procedimentos de normas de projeto.

Com a temperatura máxima de 7120C e resistência ao escoamento de 445 MPa, valores obtidos por ensaios, os cálculos mostraram que no pilar P 438 ocorreu

uma clara condição de colapso estrutural e que os demais componentes estruturais mantiveram reserva de capacidade resistente. Deve-se destacar que tais resultados não levaram em conta os efeitos das deformações térmicas, que poderiam elevar ligeiramente os esforços solicitantes em alguns componentes da estrutura incendiada, mas também que não foram observados quaisquer danos na mesma. Conclui-se portanto que os procedimentos de cálculo normatizados são conservadores para o dimensionamento das estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio, demandando mais estudos e pesquisas, a fim de se otimizar as soluções de projeto para esse tipo de perfil em situação de incêndio.

## Agradecimentos

Ao CBCA, Centro Brasileiro da Construção em Aço, e ao CNPq, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, por terem tornado possível a elaboração deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- ABNT NBR 6120:1985: Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edificações - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 14323:1999: Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- ABNT NBR 14762:2001: Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas por Perfis Formados a Frio - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro.
- Corpo de Bombeiros da Polícia Militar do Estado de São Paulo (2003). Certidão de Sinistro número 015/130/03, expedido pelo 16o GB - 1o SGB - 3o/4o PB, Limeira, SP.
- Barros Jr., P. M. (2001), Verificação e Dimensionamento e Perfis Formados a Frio Segundo a ABNT e o AISI/96. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de estruturas, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, MG.
- Eurocode 3 - Part 1.2 (1995): Design of Steel Structures-Structural Fire Design. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- SAP 2000 Nonlinear (2003), Version 8.2.7, Computers and Structures, Inc., Berkeley, CA, USA.
- Soares, C. H. (2002), Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio em situação de incêndio. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia de estruturas, Escola de Engenharia da UFMG, Belo Horizonte, MG.

***A Revista Construção Metálica comunica que os Artigos Técnicos enviados para esta Seção deverão conter informações técnicas gerais, não configurando propaganda. E-mail: imprensa@abcem.org.br***