

## Short steel and concrete columns under high temperatures

### *Pilares mistos curtos de aço e concreto sob altas temperaturas*



**A. E. P. G. A. JACINTHO**<sup>a</sup>  
anajacinto@puc-campinas.edu.br

**V. P. SILVA**<sup>b</sup>  
valpigss@usp.br

**J. A. V. REQUENA**<sup>c</sup>  
requena@fec.unicamp.br

**R. C. C. LINTZ**<sup>d</sup>  
rosacclintz@ft.unicamp.br

**L. A. G. BARBOSA**<sup>e</sup>  
gachet@ft.unicamp.br

**L. L. PIMENTEL**<sup>f</sup>  
lialp@puc-campinas.edu.br

### Abstract

The growing demand for knowledge about the effect of high temperatures on structures has stimulated increasing research worldwide. This article presents experimental results for short composite steel and concrete columns subjected to high temperatures in ovens with or without an axial compression load, numerically analyzes the temperature distribution in these columns after 30 and 60 minutes and compares them with experimental results. The models consist of concrete-filled tubes of three different thicknesses and two different diameters, and the concrete fill has conventional properties that remained constant for all of the models. The stress-strain behavior of the composite columns was altered after exposure to high temperatures relative to the same columns at room temperature, which was most evident in the 60-minute tests due to the higher temperatures reached. The computational analysis adopted temperature rise curves that were obtained experimentally.

**Keywords:** fire, composite columns, steel, concrete.

### Resumo

A composição de um concreto autoadensável (CAA) deve ser definida de forma a satisfazer um conjunto de requisitos, como a autocompactabilidade, resistência e durabilidade. O objetivo deste artigo é comparar três métodos de dosagem para CAA com materiais locais, a fim de determinar o mais econômico e racional, auxiliando a tomada de decisão por parte do executor e proporcionando a viabilidade econômica e técnica para aplicações. Os métodos utilizados no programa experimental foram: o de Nan Su et al., desenvolvido em 2001 [1], o de Repette-Melo, proposto em 2005 [2] e o de Tutikian & Dal Molin, elaborado no ano de 2007 [3]. A partir dos resultados obtidos no programa experimental, observou-se que o método que apresentou os menores custos e maiores resistências à compressão nas idades de 7, 28 e 91 dias foi o de Tutikian & Dal Molin e o que atingiu menor penetração de íons cloretos, melhor compactidade e maior módulo de elasticidade foi o de Repette-Melo. Nos ensaios realizados no estado fresco todos os métodos experimentados obtiveram misturas que se enquadraram na classe de autoadensabilidade requerida pela ABNT NBR 15823:2010 [4].

**Palavras-chave:** concreto autoadensável. métodos de dosagem. propriedades no estado fresco e endurecido.

<sup>a</sup> PUC-Campinas, Civil Engineering, anajacinto@puc-campinas.edu.br, Rodovia Dom Pedro km136 s/n 13086-900, Campinas-SP, Brazil;

<sup>b</sup> USP, POLI, PEF, valpigss@usp.br, São Paulo-SP, Brazil;

<sup>c</sup> UNICAMP, FEC, DES, requena@fec.unicamp.br, Campinas-SP, Brazil;

<sup>d</sup> UNICAMP, FT, rosacclintz@ft.unicamp.br, Limeira-SP, Brazil;

<sup>e</sup> UNICAMP, FT, gachet@ft.unicamp.br, Limeira-SP, Brazil;

<sup>f</sup> PUC-Campinas, Civil Engineering, lialp@puc-campinas.edu.br, Campinas-SP, Brazil.

## 1. Introdução

As estruturas perdem capacidade resistente quando expostas as altas temperaturas. O aço reduz a resistência e rigidez com a elevação da temperatura e o concreto, além de perdê-las, sofre redução de área, devido ao fenômeno chamado “spalling”.

O sistema misto composto por tubos de aço preenchidos com concreto, além de aumentar a capacidade resistente à temperatura ambiente, permite um maior tempo de exposição a altas temperaturas, se comparado aos mesmos materiais avaliados separadamente. O concreto, por estar confinado, não sofrerá o fenômeno chamado “spalling”, pois a parede do tubo de aço impede o deslocamento do concreto, não reduzindo sua área. Mesmo o concreto estando micro fissurado, ele ajuda a retardar a deformação e o aquecimento interno do tubo de aço carregado. O colapso desse tipo de estrutura mista ocorre quando o aço e o concreto perdem a capacidade resistente devido à redução da resistência e rigidez, deixando de ser capaz de suportar o carregamento aplicado.

Em virtude de pesquisas realizadas na Europa e Estados Unidos, chegou-se a conclusão de que a redução da capacidade resistente dos pilares mistos quando expostos às altas temperaturas depende dos seguintes fatores: tempo de exposição, temperatura,

Figura 1 - Curva de elevação da temperatura com pré-aquecimento

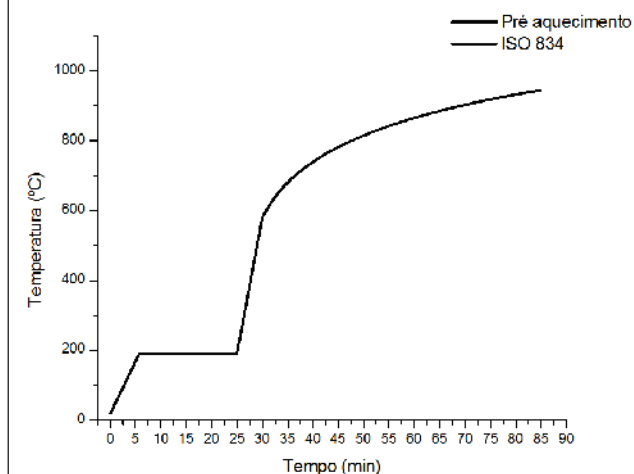


Tabela 1 - Características dos modelos ensaiados e da carga aplicada durante os ensaios

Séries	D (mm)	e (mm)	D/e	$f_y$ (MPa)	$t$ (min)	$N_{fi,pIRd}$ (kN)	Força aplicada $0.5 \cdot N_{fi,pIRd}$ (kN)
C 6-30-1	114,3	6,0	19,05	305,1	30	233,74	116,87
C 6-30-2	114,3	6,0	19,05	305,1	30	233,74	116,87
C 6-60-1	114,3	6,0	19,05	305,1	60	78,20	39,50
C 6-60-2	114,3	6,0	19,05	305,1	60	78,20	39,50
C 8-30-1	114,3	8,6	13,29	331,5	30	295,98	150,92
C 8-30-2	114,3	8,6	13,29	331,5	30	295,98	150,92
C 8-60-1	114,3	8,6	13,29	331,5	60	87,51	45,48
C 8-60-2	114,3	8,6	13,29	331,5	60	87,51	45,48
C 63-30-1	141,3	6,3	21,41	324,8	30	389,67	194,84
C 63-30-2	141,3	6,3	21,41	324,8	30	389,67	194,84
C 63-60-1	141,3	6,3	21,41	324,8	60	159,25	79,63
C 63-60-2	141,3	6,3	21,41	324,8	60	159,25	79,63
S 6-30	114,3	6,0	19,05	305,1	30	233,74	-
S 6-60	114,3	6,0	19,05	305,1	60	78,20	-
S 8-30	114,3	8,6	13,29	331,5	30	295,98	-
S 8-60	114,3	8,6	13,29	331,5	60	87,51	-
S 63-30	141,3	6,3	21,41	324,8	30	389,67	-
S 63-60	141,3	6,3	21,41	324,8	60	159,25	-

D - diâmetro externo (mm);

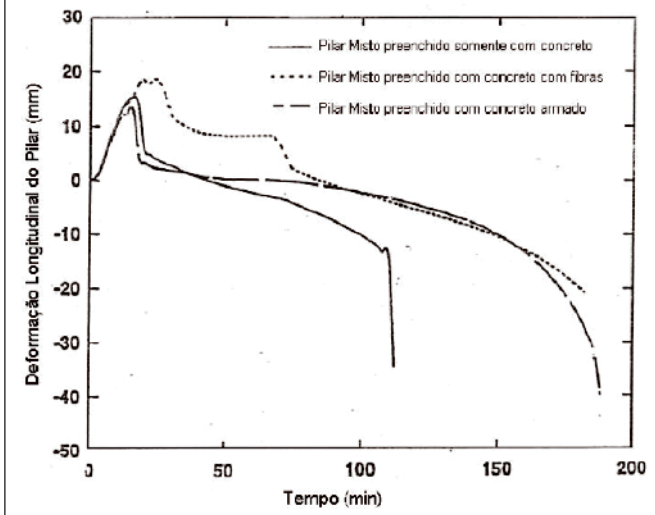
e - espessura do tubo (mm);

$f_y$  - resistência característica do aço (MPa);

$t$  - tempo

$N_{fi,pIRd}$  - valor de cálculo da força normal de compressão em situação de incêndio, obtida com o programa computacional SuperTempcalc(ANDERBERG (2)).

**Figura 2 – Deslocamento axial como função do tempo de exposição (KODUR(4))**



diâmetro do pilar, tipo de concreto, espessura do tubo de aço, resistência do aço e resistência do concreto.

O objetivo principal desta pesquisa foi analisar qual a perda da capacidade resistente dos pilares curtos, após serem submetidos a um incêndio, sendo pilares curtos aqueles em que a força normal resistente não é afetada pela sua esbelteza. Para isso estudou-se o comportamento de pilares mistos curtos de aço e concreto por meio de ensaios experimentais físicos, verificando a elevação da temperatura em pontos internos e superficiais desses pilares até 30 e 60 minutos de temperatura conforme curvas de elevação de temperatura próximas à curva ISO 834[1], conforme mostra a figura [1]. O pré-aquecimento de 200°C se fazia necessário para que o forno seguisse a curva ISO 834[1] após atingir esta temperatura.

## 2. Metodologia da pesquisa experimental

A resistência à compressão média do concreto foi de 28MPa, com módulo de elasticidade igual a 22.975MPa. A altura dos tubos, 30cm, foi a mesma para todos os modelos.

Para a denominação das séries estudadas, diferenciaram-se os modelos conforme o carregamento (C com carregamento e S sem carregamento – foram feitos 2 pilares com carregamento e 1 sem carregamento para cada tipo de tubo), e a espessura do tubo utilizado (6mm, 8mm e 6,3mm) e ainda se o tempo de exposição às altas temperaturas era de 30 min ou de 60 min. Os modelos estudados foram agrupados em séries da forma apresentada na tabela [1].

Foram aplicadas forças centradas com intensidade de 50% da força normal resistente da seção mista a altas temperaturas, durante o processo de aquecimento. Essa força resistente foi obtida para cada modelo, com o uso do programa SuperTempcalc (ANDERBERG [2]). Os modelos eram carregados antes do aquecimento com carregamento monotônico e assim permaneciam até atingida a temperatura no tempo fixado. Então os modelos eram esfriados até a temperatura ambiente e submetidos a ensaios estáticos de aplicação de força, até sua ruína. Com isso visou-se avaliar a redução

da força normal resistente após serem submetidos a um incêndio. Neste trabalho também foi determinada a distribuição de temperaturas na seção transversal dos pilares ensaiados por meio de análise numérica, realizada com o programa computacional SuperTempcalc(ANDERBERG [2]).

Como pode ser visto na figura [2], para um caso genérico de pilar misto preenchido com concreto, com aplicação de força constante e variação da temperatura, no instante em que a curva de deslocamento axial versus tempo atinge o ponto de máximo (trecho I), o tubo de aço está absorvendo praticamente todo o carregamento aplicado. Após esse instante (trecho II), ele começa a perder capacidade resistente e plastificar, transferindo os esforços para o concreto.

Dessa forma, utilizando um carregamento de 50% da capacidade resistente da seção mista na temperatura de incêndio, não será atingido esse pico de deformação do trecho I e em consequência disso a não plastificação da seção. Os resultados dos ensaios à temperatura ambiente foram obtidos em Simões[3], cujos protótipos ensaiados tem dimensões idênticas à desta pesquisa.

## 3. Características dos pilares curtos

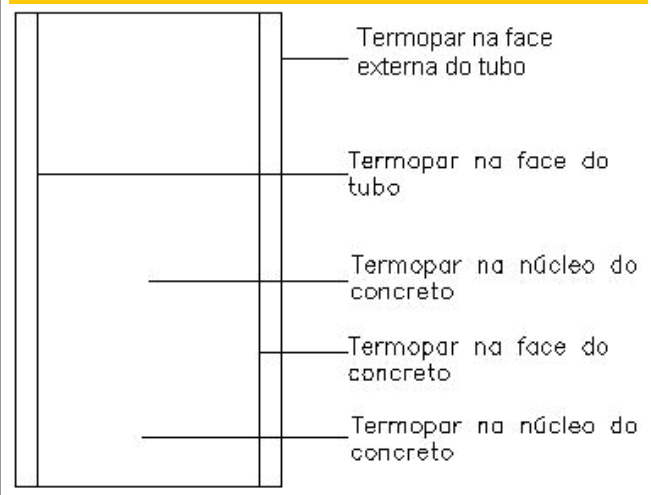
Foram feitos furos com diâmetros de 3/16” nos tubos de aço, antes da concretagem, cujo objetivo foi permitir a passagem dos termopares em pontos internos padronizados para todos os ensaios, conforme a figura [3]. Após a cura, os assessorios utilizados para impedir o fechamento dos furos durante a concretagem foram removidos deixando-os livres para passagem dos termopares.

Foram fixados 5 termopares para cada modelo, sendo dois no núcleo do concreto, dois na interface entre o aço e o concreto e um na superfície externa do tubo de aço.

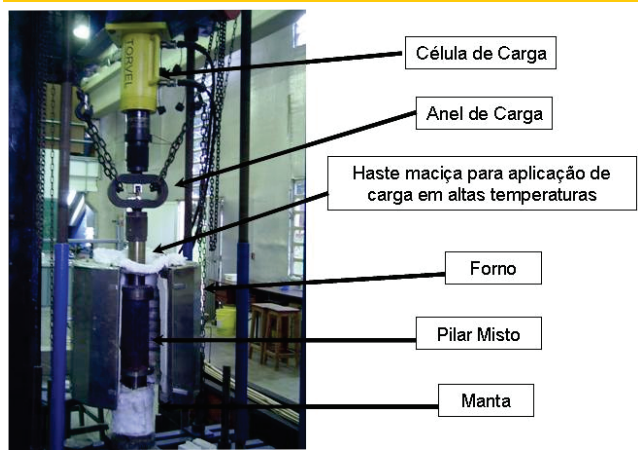
## 4. Ambiente e equipamentos

O ambiente para o desenvolvimento dos ensaios foi o Laboratório de Estruturas da Universidade Estadual de Campinas. Para

**Figura 3 – Posicionamento dos termopares**



**Figura 4 - Sistema de aplicação de carga com a exposição a altas temperaturas**



os ensaios utilizaram-se duas prensas, uma com capacidade para 5000kN e outra para 600kN, além de um forno para temperaturas de até aproximadamente 1200°C.

O forno utilizado nos ensaios tem capacidade de desenvolver

curvas de elevações de temperatura para diferentes casos, bem como de utilizar a curva de incêndio-padrão da ISO 834[1]. Foi implantado um sistema de ensaio em que o forno utilizado foi acoplado a prensa de 600kN, permitindo a aplicação de carregamentos estáticos e mantendo essa carga durante a variação da temperatura, conforme a figura [4].

A temperatura do forno era acompanhada por termopares de vareta internos acoplados a um sistema de aquisição de dados.

Após os ensaios no forno, os modelos eram resfriados e ensaiados na prensa de 5000kN, com carregamento monotônico.

## 5. Resultados experimentais e análise de dados

A tabela [2] apresenta os valores encontrados para a força que provoca o início de escoamento, à temperatura ambiente, obtido por SIMÕES[3], e a altas temperaturas, obtido por ARAÚJO[5]. Para fins de melhor visualização, elaborou-se o gráfico da figura [5]. Os valores da força de escoamento foram obtidos conforme procedimento apresentado em HAN et al [6].

Pode-se perceber que para os pilares ensaiados até 30 min. e até 60 min., os quais foram resfriados e ensaiados sob carga estática, a força de início de escoamento foi menor do que aquela obtida para os mesmos pilares que ficaram em temperatura ambiente. Isso aconteceu principalmente para os pilares carregados duran-

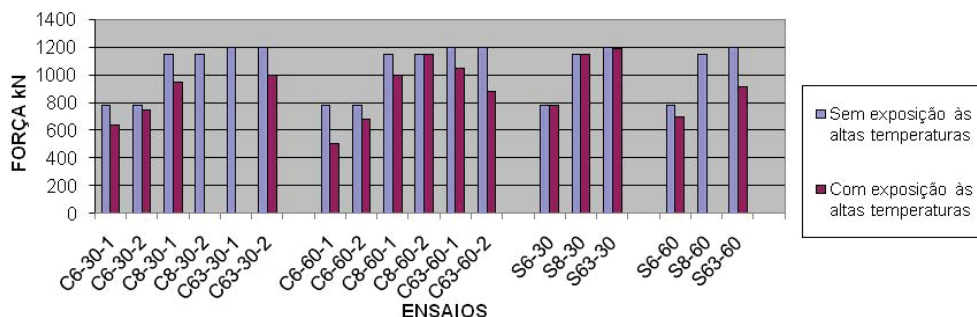
**Tabela 2 - Temperaturas máximas e forças de escoamento**

Grupo	Pilar misto	TRRF (min)	Forno Temp. (°C)	Steel Temp. (°C)	Concreto Temp. (°C)	$F_{esc}$ (kN)	$F_{esc, \theta}$ (kN)	$\frac{F_{esc, \theta}}{F_{esc}}$
C 6-30	1	30	890	800	290	780	640	0,821
	2	30	890	500	150	780	750	0,962
S 6-30	1	30	880	570	150	780	780	1
C 6-60	1	60	1,200	1,140	690	780	500	0,641
	2	60	940	630	370	780	680	0,872
S 6-60	1	60	940	670	440	780	700	0,897
C 8-30	1	30	750	700	170	1.150	950	0,826
	2	30	880	500	150	1.150	-	-
S 8-30	1	30	880	450	170	1.150	1.150	1
C 8-60	1	60	860	810	660	1.150	1.000	0,870
	2	60	940	630	380	1.150	1.150	1
S 8-60	1	60	900	640	470	1.150	-	-
C 63-30	1	30	750	550	125	1.200	-	-
	2	30	890	450	100	1.200	1.000	0,833
S 63-30	1	30	890	450	100	1.200	1.190	0,992
C 63-60	1	60	945	650	250	1.200	1.050	0,875
	2	60	940	590	230	1.200	880	0,733
S 63-60	1	60	950	700	330	1.200	910	0,758

$F_{esc}$  - Força de início de escoamento dos pilares à temperatura ambiente

$F_{esc, \theta}$  - Força de início de escoamento dos pilares após esfriados

**Figura 5 – Força de início de escoamento: pilares em temperatura ambiente X após a exposição à alta temperatura**



te a elevação de temperatura. Para os pilares sem carregamento durante o ensaio e com tempo de exposição de 30min., pode-se perceber que não houve diferenciação da força de início de escoamento para os pilares que não sofreram aquecimento.

A tabela [3] apresenta os valores encontrados para a força axial máxima resistida pelos pilares à temperatura ambiente e após aquecimento e esfriamento. Para fins de melhor visualização elaborou-se o gráfico da figura [5].

A figura [6] apresenta o diagrama Força – Deformação Linear Es-

pecífica do pilar 1 da série C63-60 (C63-60-1), como exemplo. Apesar da força de início de escoamento diminuir para o pilar que foi submetido ao forno antes do ensaio estático, o comportamento do pilar se modificou em relação ao pilar que permaneceu em temperatura ambiente, aumentando sua força última. Também o patamar de escoamento deixa de ser bem definido para o pilar que sofreu o aquecimento. Isto se repetiu para todos os ensaios. A possível causa seria uma modificação na microestrutura do aço, levando o pilar misto a ter este comportamento diferenciado.

**Tabela 3 – Temperaturas e forças máximas**

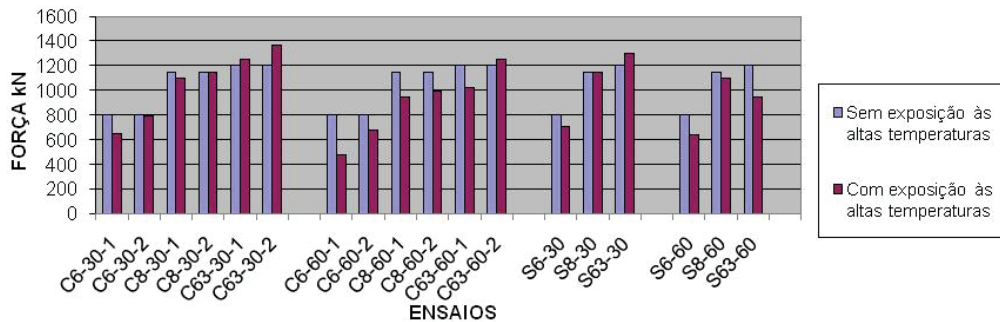
Grupo	Pilar misto	TRRF (min)	Forno Temp. (°C)	Aço Temp. (°C)	Concreto Temp. (°C)	F <sub>u</sub> (kN)	F <sub>u</sub> <sup>θ</sup> (kN)	F <sub>u</sub> <sup>θ</sup> / F <sub>u</sub>
C 6-30	1	30	890	800	290	900	850	0,944
	2	30	890	500	150	900	950	1,056
S 6-30	1	30	880	570	150	900	900	1
	2	30	880	570	150	900	900	1
C 6-60	1	60	1.200	1.140	690	900	500	0,556
	2	60	940	630	370	900	860	0,956
S 6-60	1	60	940	670	440	900	970	1,078
	2	60	940	670	440	900	970	1,078
C 8-30	1	30	750	700	170	1.200	1.000	0,833
	2	30	880	500	150	1.200	1.200	1
S 8-30	1	30	880	450	170	1.200	1.200	1
	2	30	880	450	170	1.200	1.200	1
C 8-60	1	60	860	810	660	1.200	1.040	0,867
	2	60	940	630	380	1.200	1.200	1
S 8-60	1	60	900	640	470	1.200	1.200	1
	2	60	900	640	470	1.200	1.200	1
C 63-30	1	30	750	550	125	1.400	1.400	1
	2	30	890	450	100	1.400	1.400	1
S 63-30	1	30	890	450	100	1.400	1.400	1
	2	30	890	450	100	1.400	1.400	1
C 63-60	1	60	945	650	250	1.400	1.400	1
	2	60	940	590	230	1.400	1.400	1
S 63-60	1	60	950	700	330	1.400	1.400	1
	2	60	950	700	330	1.400	1.400	1

F<sub>u</sub> – Força máxima resistida dos pilares em temperatura ambiente

F<sub>u</sub><sup>θ</sup> – Força máxima resistida dos pilares após esfriados



Figura 6 – Força axial máxima: pilares em temperatura ambiente X após a exposição à alta temperatura



As figuras 7 a 9 e 10 a 12 apresentam a elevação da temperatura na superfície do tubo de aço, na interface entre o aço e o concreto e no núcleo do concreto para os ensaios que tiveram duração respectivamente de 30min. e 60 min.

A figura [9] apresenta o comportamento da temperatura no núcleo de concreto e mostra um indicativo que a temperatura foi inferior nos tubos com maiores diâmetros e maiores espessuras.

As figuras de [10] a [12] apresentam os gráficos referentes ao tempo de exposição de 60 minutos para a elevação da temperatura na superfície do tubo de aço, na interface entre o aço e o concreto e no núcleo do concreto.

As figuras [9] e [12] apresentam o comportamento da temperatura no núcleo de concreto e é possível notar, como era esperado,

Figura 7 – Diagrama força-deformação dos pilares à temperatura ambiente e após exposição à alta temperatura

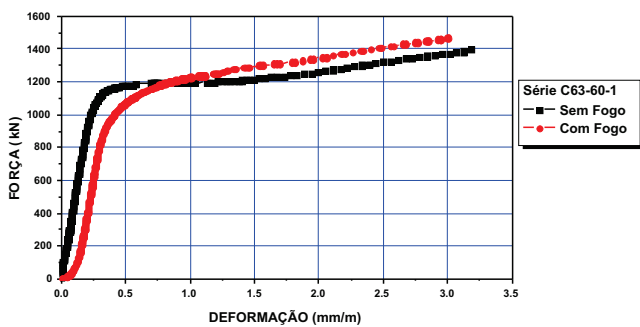


Figura 9 – Curvas temperatura x tempo na interface aço - concreto

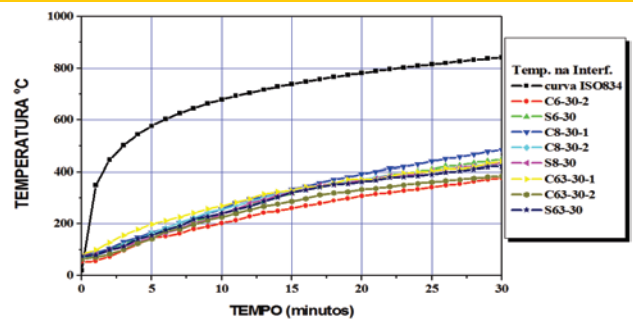


Figura 8 – Curvas temperatura x tempo no Aço

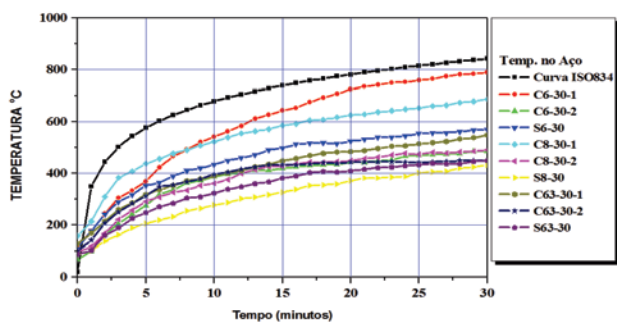
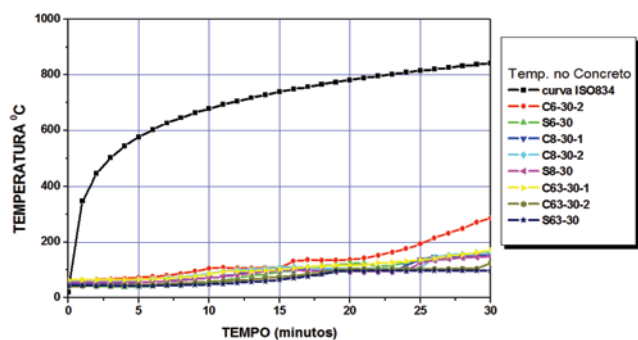


Figura 10 – Curvas temperatura x tempo no núcleo de concreto



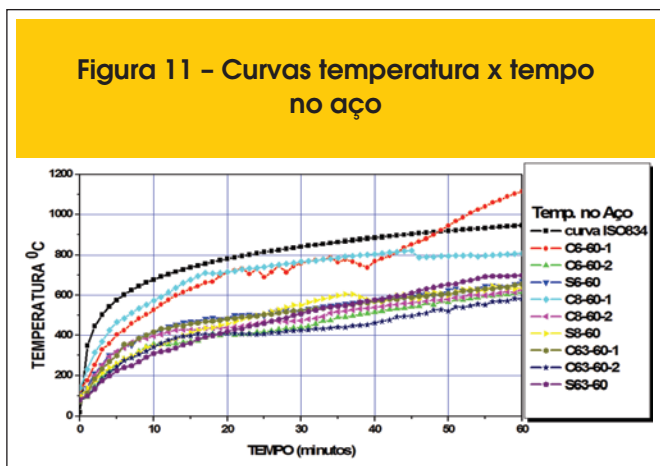
que a temperatura foi inferior nos tubos com maiores diâmetros e maiores espessuras.

O gráfico da figura [13] apresenta as temperaturas dos pilares ensaiados no forno com e sem carregamento para os tempos de 30min. e 60min., indicando que para tempos de 30 minutos a superfície tubo de aço ficou entre os 400 e 500°C, não ocorrendo praticamente nenhuma perda da capacidade resistente para esse valor de temperatura. Entretanto, no caso do tempo de 60 minu-

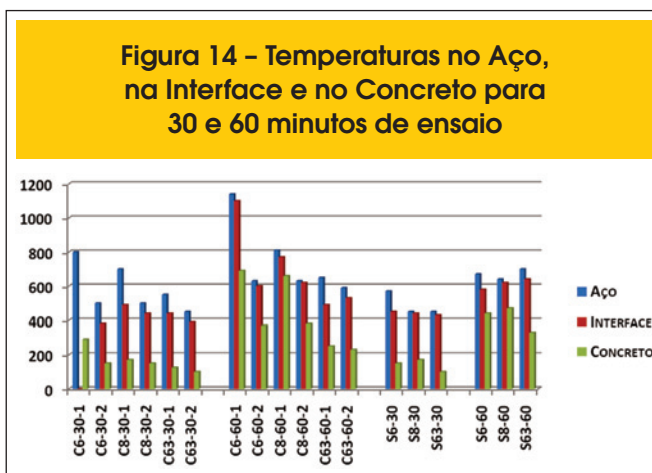
tos os pilares apresentaram temperaturas variando entre 600 e 700°C. Mostra também um indicativo da influência da espessura da parede do tubo, bem como do seu diâmetro na temperatura do núcleo de concreto.

Nota-se que houve um ligeiro aumento das temperaturas no núcleo de concreto nos pilares sem carregamento dentro do forno. Credita-se este fenômeno ao fato de que o carregamento dificultou a evaporação da água livre do concreto, retardando o aumento da

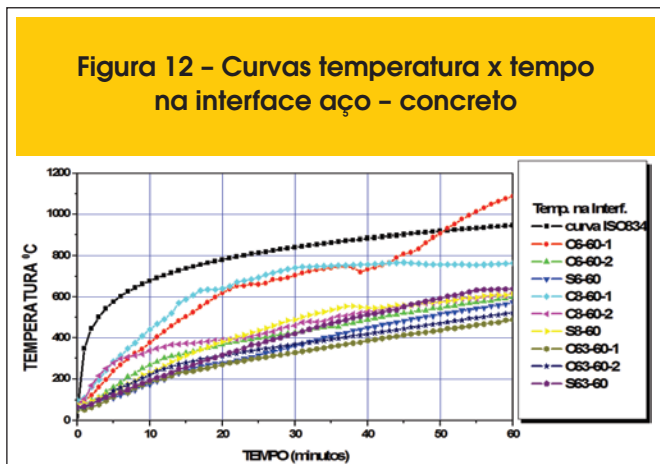
**Figura 11 - Curvas temperatura x tempo no aço**



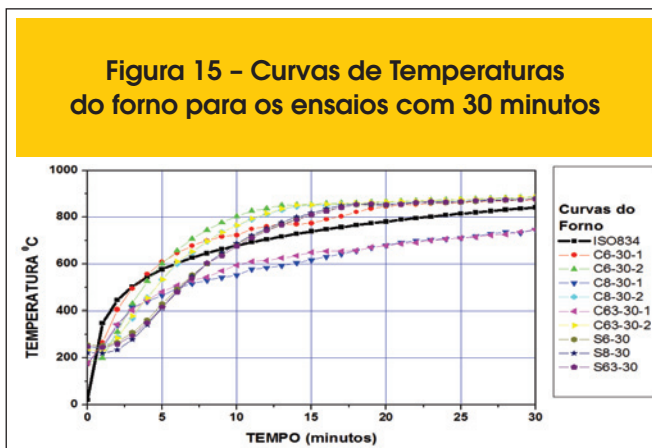
**Figura 14 - Temperaturas no Aço, na Interface e no Concreto para 30 e 60 minutos de ensaio**



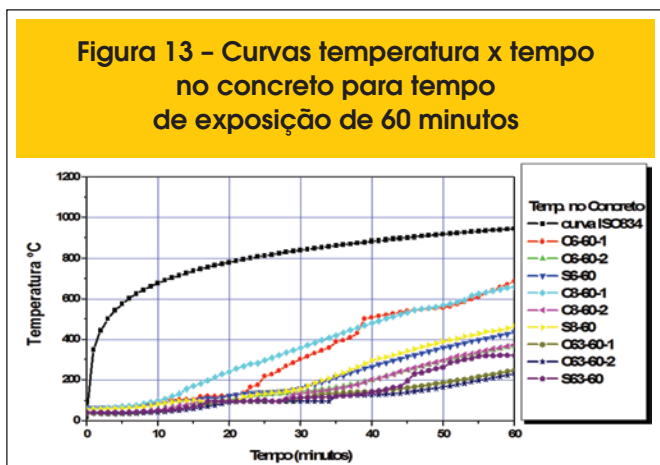
**Figura 12 - Curvas temperatura x tempo na interface aço - concreto**



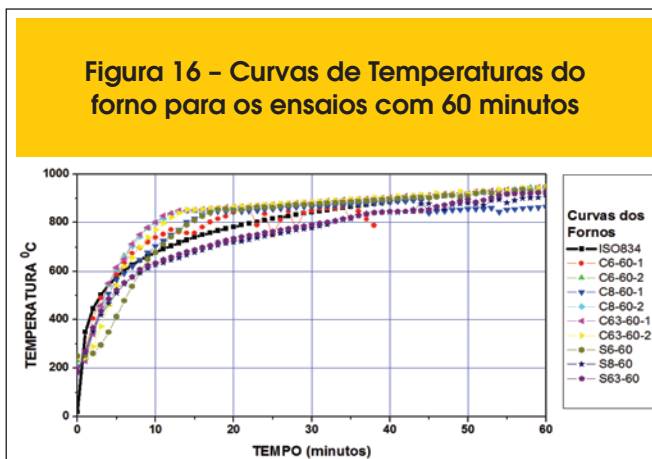
**Figura 15 - Curvas de Temperaturas do forno para os ensaios com 30 minutos**



**Figura 13 - Curvas temperatura x tempo no concreto para tempo de exposição de 60 minutos**

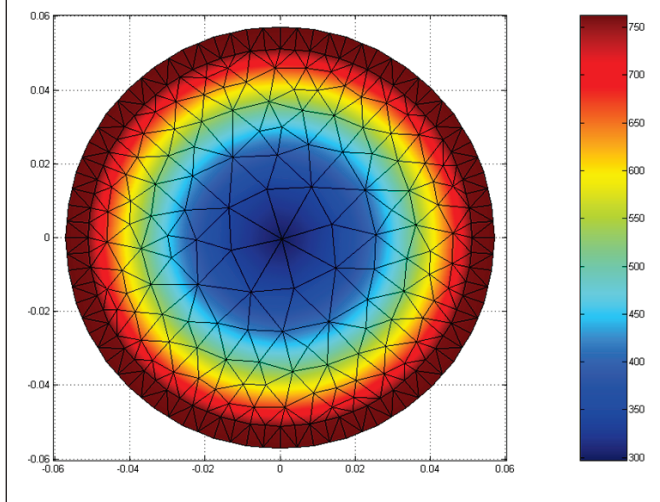


**Figura 16 - Curvas de Temperaturas do forno para os ensaios com 60 minutos**

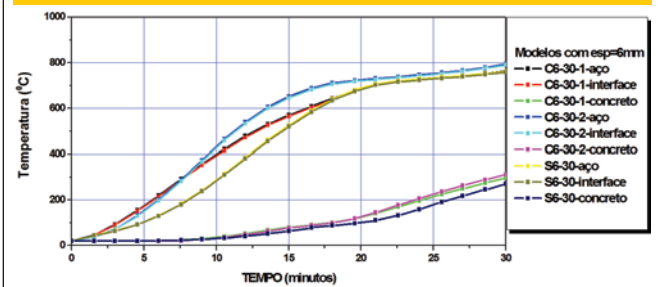


temperatura, devido ao sistema de prensa impedir essa evaporação pelas extremidades dos pilares mistos, mesmo com a presença de furos laterais nos tubos de aço que permitem a liberação do vapor.

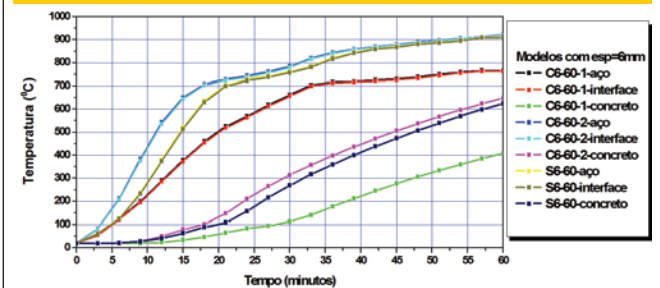
**Figura 17 – Distribuição de temperaturas na seção transversal do modelo C6-30-1**



**Figura 18 – Curvas de elevação da temperatura para os modelos com espessura do tubo de 6mm em 30 minutos de ensaio**



**Figura 19 – Curvas de elevação da temperatura para os modelos com espessura do tubo de 6mm em 60 minutos de ensaio**



Observa-se também, que para os pilares com maior diâmetro a temperatura do concreto foi inferior, como pode ser observado no pilar S63-60, que apresentou uma maior temperatura na superfície do tubo de aço (figura [10]), porém uma menor temperatura no núcleo de concreto (figura [12]).

Também é possível observar que houve um indicativo de que a espessura do tubo de aço influenciou no aumento de temperatura no núcleo de concreto (figura [13]).

As figuras [14] e [15] mostram as curvas do forno obtidas durante os ensaios, em comparação com a curva ISO 834 para os tempos de ensaio de 30 e 60min. Nota-se que as curvas obtidas nos ensaios ficaram bem próximas à curva normalizada pela ISO 834.

## 6. Resultados numéricos

Foi utilizado o programa SuperTempcalc(ANDERBERG[2]) para determinar a distribuição de temperaturas na seção transversal dos pilares e comparar àquelas medidas nos ensaios experimentais físicos.

Nessa análise numérica foram empregadas as curvas reais de elevação de temperatura do forno obtidas durante os ensaios experimentais. Os valores de condutividade térmica e calor específico do aço e concreto em função da temperatura tiveram por base a norma BS EN 1994[7] e [8]. Os valores adotados para emissividade e fator de convecção foram respectivamente 0,7 e 25W/m<sup>2</sup>. A densidade do concreto adotada foi de 25kN/m<sup>3</sup>.

A figura [16] apresenta a distribuição de temperaturas na seção transversal do modelo C6-30-1 como exemplo do que foi feito para todos os modelos.

Nas figuras [17] e [18] encontram-se os gráficos de elevação da temperatura com o tempo para os modelos com espessura do tubo de 6mm, com 30 e 60 minutos de exposição às altas temperaturas respectivamente.

Na figura [19], pode-se observar as temperaturas atingidas no aço, na interface e no núcleo de concreto, através da análise numérica. Observa-se que também neste gráfico é apresentado um índice da influência da espessura do tubo na temperatura final do núcleo de concreto.

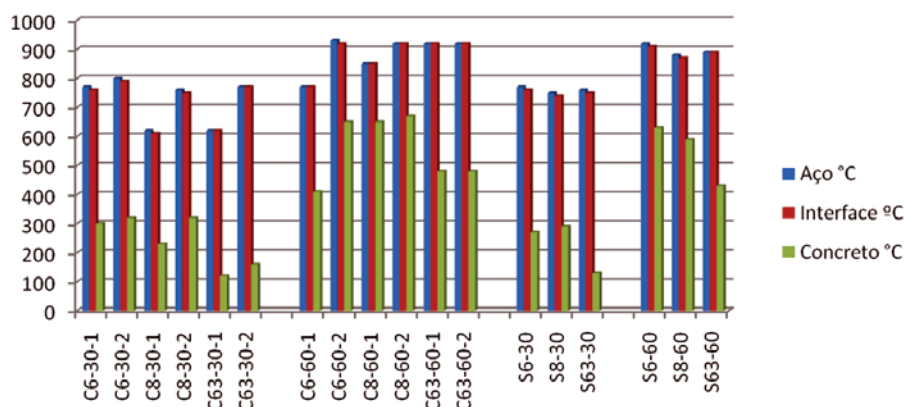
## 7. Conclusão

Foi observado que a capacidade resistente dos pilares mistos sofreu uma pequena redução quando foram submetido à altas temperaturas. Isto aconteceu apenas para aqueles modelos que foram ensaiados nos tempos de 60 minutos, onde as temperaturas no núcleo de concreto atingiram de 300°C a 400°C. Os pilares que permaneceram no forno por 30 minutos tiveram sua capacidade resistente praticamente inalterada quando comparados com os pilares que ficaram em temperatura ambiente.

O comportamento força – deformação dos pilares mistos foi alterado após exposição à altas temperaturas em relação aos mesmos pilares em temperatura ambiente, sendo mais evidente nos ensaios de 60 minutos, os quais atingiram temperaturas mais elevadas. Quando comparamos esses ensaios com os de temperatura ambiente, as forças de escoamento e o limite de proporcionalidade foram menores para os pilares que foram submetidos à alta temperatura, em relação aos mesmos pilares que ficaram em temperatura ambiente, mas em compensação a capacidade última teve um ligeiro aumento.



**Figura 20 – Temperaturas atingidas no aço, na interface e no núcleo de concreto para todos os modelos**



No que se refere à aplicação de carga nos pilares dentro do forno, pôde-se concluir que o nível de carregamento aplicado não interferiu nas temperaturas finais atingidas pelo núcleo de concreto e nem na sua capacidade resistente residual.

Nos ensaios onde o diâmetro do tubo é o mesmo, mas as espessuras são diferentes, pôde-se observar que a temperatura máxima na interface entre o tubo metálico e o concreto foi menor, quanto maior a espessura. Isto também foi observado na análise numérica para todos os modelos C6 e C8, com diâmetro de 114,3mm. Verificou-se também que o diâmetro influenciou a temperatura final no núcleo de concreto, quando foram comparados os resultados desses mesmos modelos citados.

Os pilares mistos com tubos de aço de diâmetros maiores (141,3mm) apresentaram resistências de início de escoamento inferior aquelas dos tubos de menor diâmetro (114,3mm) mas com mesma espessura. Isto aconteceu para os ensaios com 60 minutos de exposição.

Os resultados numéricos ficaram próximos dos experimentais com relação aos seguintes pontos da seção transversal analisados: no aço na parte externa do modelo e no núcleo de concreto, evidenciando que os coeficientes utilizados pelo programa e balizados pela norma BS EN 1994[7] e [8], foram adequados para a análise teórica.

Os resultados obtidos para a interface entre o aço e o concreto divergem um pouco entre a análise numérica e os dados experimentais. A explicação para esta divergência pode estar no fato de que a medida experimental foi feita colocando-se o termopar de fora para dentro do modelo, em um furo efetuado no tubo metálico antes da concretagem. Dessa forma o termopar ficava encostado no concreto.

## 8. Agradecimentos

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo pelo financiamento do Projeto de Auxílio à Pesquisa que financiou a parte experimental deste trabalho e também pelo Projeto Temático do mesmo órgão que deu condições de prosseguimento com a pesquisa.

## 9. Referências

- [01] INTERNATIONAL STANDARDIZATION FOR ORGANIZATION – Fire resistance tests – Elements of building construction. ISO 834. Genève. 1994.
- [02] ANDERBERG, Y.; TCD 5.0 - User's Manual. Fire Safety Design, Lund, 1997.
- [03] SIMÕES, R. (2008). Efeito do confinamento em pilares misto curtos de aço e concreto. [Effect of confinement on short composite columns of steel and concrete]. Master's Dissertation. FEC-UNICAMP. São Paulo.
- [04] KODUR, V.K.R. Performance-based fire resistance design of concrete-filled steel columns. Journal of Constructional Steel Research 51 (1999) 21-36.
- [05] ARAÚJO, C.J.R.V. (2008). Estudo experimental do efeito do fogo em pilares mistos curtos de aço e concreto. [Experimental study of the effect of fire on composite columns of steel and concrete]. Master's Dissertation. FEC-UNICAMP. São Paulo.
- [06] HAN, L.N. et al. Compressive and flexural behaviour of concrete filled steel tubes after exposure to standard fire. Journal of Constructional Steel Research 61 (2005) 882-901.
- [07] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN). Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures – part 1.2: General rules – Structural fire design. prEN 1994-1-2. CEN: Brussels, 2005.
- [08] EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Eurocode 4: Design of composite steel and concrete structures - part 1-1: General rules and rules for buildings. prEN 1994-1-1 CEN: Brussels, 2001.