

INFLUÊNCIA DA MASSA NA DEFORMAÇÃO VERTICAL DO AÇO ASTM A36 EM TEMPERATURAS ELEVADAS

Daniela de Brida Paulo (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) danidebridap@hotmail.com, (2) marciovito@unesc.net

RESUMO

O aço é um material que traz vantagens na construção civil, pois seu sistema construtivo permite maior flexibilidade e soluções estruturais que outros materiais não atendem, além de possibilitar um menor tempo de execução. Porém quando submetido a temperaturas elevadas como em uma situação de incêndio causam redução em sua resistência mecânica e rigidez podendo levar a estrutura ao colapso. O referido trabalho buscou analisar o aumento da massa do aço ASTM A36 MR250 em função da deformação vertical em temperaturas elevadas como também propor um modelo equacional de forma a ajustar sua seção para manter o patamar mínimo de 60 minutos exigidos pela NBR 14432:2001 em função do tempo de exposição à temperatura constante de 600°C. O estudo foi realizado com três grupos de amostras em situação limite de carregamento, denominados A, B e C com espessuras de 3,17mm, 4,76mm e 6,35 mm respectivamente, sob carga total de projeto, ensaiados no laboratório em um forno Mufla aos patamares de 200°C, 400°C, 600°C. Os resultados mostraram que de acordo com o aumento da massa do aço ocorre a redução da deformação.

Palavras-chave: Deformação. Resistência. Incêndio. Temperatura. Massa.

1. INTRODUÇÃO

A estrutura de aço é um dos sistemas construtivos mais utilizados em países desenvolvidos em função de apresentar vantagens, tais como, rapidez na execução com ganhos de produtividade, além de ser uma estrutura leve e totalmente sustentável.

No entanto o aço quando comparado a outros materiais, aplicados na construção civil, possui alta condutividade térmica para ambientes com elevada temperatura, conseqüentemente reduzindo sua capacidade resistente e elasticidade principalmente se considerarmos em situação de incêndio.

Nos países europeus pesquisas para prevenção de incêndio vêm sendo realizada a mais tempo do que no Brasil. Porém essa preocupação vem amadurecendo, em

função de constantes ocorrências de sinistros levando a danos irreparáveis tanto para edificação quanto à vida. A preocupação é intensificada visto que além dos materiais empregados na construção, vários outros objetos que fazem parte de um compartimento são inflamáveis.

Vários são os fatores que influenciam a intensidade e a duração de um incêndio. Alguns deles são a carga de incêndio (quantidade e tipo de material combustível) e sua distribuição no edifício, a ventilação no compartimento, propriedades térmicas de pisos e paredes, sistemas de detecção de incêndio, existência de brigada de incêndio, pontos de suprimento de água, chuveiros automáticos, disponibilidade de extintores de incêndio adequados, etc. (PANNONI, 2004).

Para Silva (2005) a produção e importação de materiais modernos de construção que são usados nas edificações levam à necessidade de conhecermos seus comportamentos em situação de incêndio. Os riscos podem variar muito com o uso de novos materiais sem controle de sua reação e resistência ao fogo; dessa maneira, torna-se necessário ensaiar todos os materiais e sistemas construtivos do mercado, o que nem sempre tem sido feito.

A NBR 14432:2001 estabelece condições a serem atendidas pelos elementos estruturais e compartimentos para situações de incêndio de forma a evitar colapso da estrutura. Esta norma também determina requisitos a serem atendidos como estanqueidade e isolamento por um tempo suficiente para possibilitar a fuga dos ocupantes da habitação em condições de segurança, das operações de combate ao incêndio e minimização de danos a edificações adjacentes à infraestrutura pública.

O aço por ser um material que atinge temperaturas elevadas rapidamente, quando comparados a outros materiais utilizados em sistemas estruturais, necessita de cuidados especiais.

Essa ação térmica acarreta aumento da temperatura nos elementos estruturais, causando-lhes redução de capacidade resistente e aparecimento de esforços adicionais, devidos às deformações térmicas. Esses esforços adicionais ocorrem apenas quando as deformações térmicas são impedidas e geralmente podem ser desprezados, tendo em vista uma redistribuição de esforços e redução de rigidez. (VARGAS; SILVA, 2003).

Segundo Vargas e Silva (2003) a segurança estrutural, visando à proteção social, econômica e humana, deve ser verificada de modo a evitar que a edificação colapse em um tempo inferior ao necessário para a desocupação do edifício.

Podemos citar vários pesquisadores tais como, WITTEVEEN J, TWILT L (1982), FRANSSEN et al., JM. (1994), SOUZA Júnior, V. (1998), ABREU, L. M. P. (1998), FAKURY, R. H. (1999), PANNONI (2004) que produziram diversos trabalhos relacionados ao comportamento dos materiais frente à condição de incêndio e propondo alternativas para aplicação de diversos tipos de proteção para os sistemas estruturais de maneira a se obter maior resistência ao colapso. No entanto aplicação de proteção térmica é ainda considerado como um material de alto custo e que a grande maioria dos projetos estruturais é elaborada de forma alheia às condições de incêndio, o que pode levar a rápida redução da resistência mecânica e à falha do projeto.

Segundo Silva (2005) muito ainda deve ser estudado, pesquisado, planejado e introduzido em nossas regulamentações para que possamos alcançar um nível aceitável de segurança contra incêndio para toda a população brasileira.

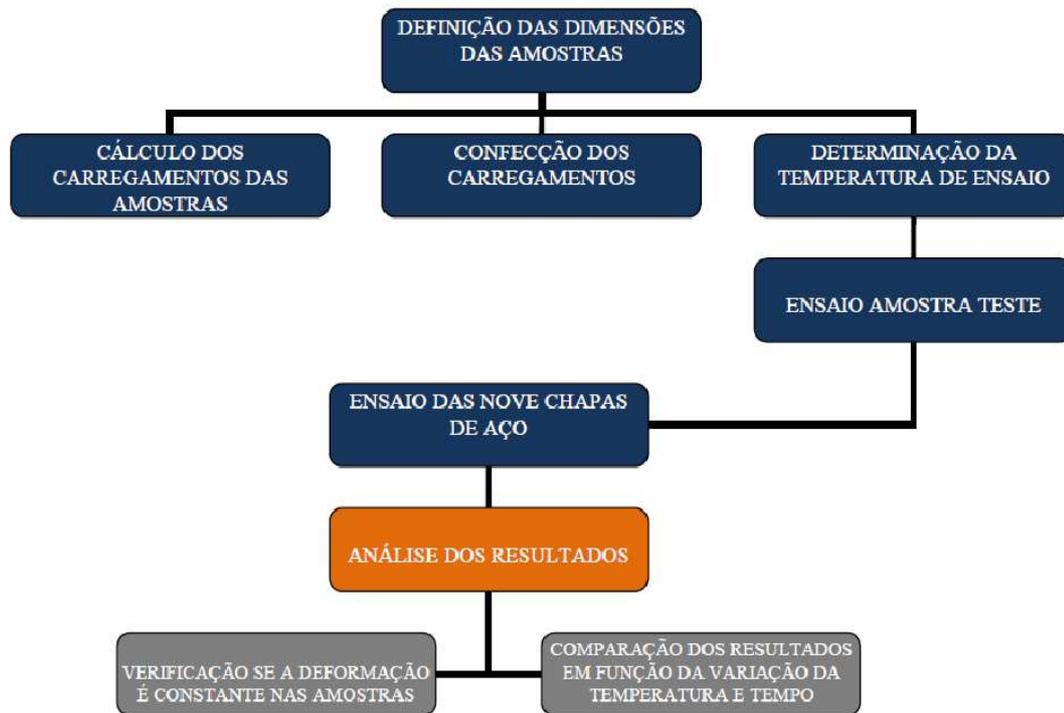
É neste sentido que o presente trabalho busca analisar se o aumento da massa do aço ASTM A36 MR250 sob carga total de projeto (condições raramente verificadas em pesquisas) influencia a deformação vertical com a elevação da temperatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O procedimento experimental foi realizado no laboratório de engenharia de materiais do I-Parque – Centro Científico e Tecnológico da UNESC. Para elaboração do ensaio foram utilizados um forno tipo Mufla, nove amostras de chapa de aço do tipo ASTM A36, peso cilíndrico de aço, um relógio medidor de deformação, e uma haste de alumina.

O primeiro ensaio foi em uma amostra teste com o objetivo de verificar os equipamentos utilizados e assim evitar possíveis problemas no ensaio principal. Com a verificação dos equipamentos os mesmos não apresentaram nenhum problema, portanto os resultados da amostra teste passaram a ser considerados, dando continuidade no ensaio com as demais amostras. Os ensaios seguiram as etapas especificadas na Figura 1.

Figura 1: Fluxograma das etapas para a realização do ensaio.



Fonte: Autor, 2014.

2.1. CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS

O forno utilizado para o ensaio experimental foi o Mufla modelo CT-095 da Servitech com dimensões internas de 480x530x530 mm (Figura 2). A temperatura máxima do forno é de 1200 °C, potência de 380 V, resistências metálicas espiraladas e isolamento térmico com fibra cerâmica.

Figura 2: Forno Mufla – (a) Vista interna; (b) Vista externa.



Fonte: Autor, 2014.

As chapas de aço ASTM A36 MR250 possuem características de resistência a ruptura (f_u) de 400 MPa e resistência ao escoamento (f_y) de 250 MPa. Foram definidas como amostras do Grupo A, B e C com espessura de 3,17 mm, 4,76 mm e 6,35 mm respectivamente, largura de 25,4 mm e um vão livre 620 mm.

Os carregamentos das amostras foram confeccionados com cilindro de aço disponível no laboratório ajustando-se altura e diâmetro até chegar ao carregamento necessário para cada amostra, simulando a deformação máxima de projeto. A Tabela 1 mostra os grupos de amostras ensaiados com suas respectivas dimensões e valores de carregamentos.

Tabela 1: Características das amostras e seus carregamentos

Amostras	Largura (mm)	Espessura (mm)	Comp. (mm)	Carregamento(g)
A	25,4	3,17	620	425,31
B	25,4	4,76	620	1943,75
C	25,4	6,35	620	4970,20

Fonte: Autor, 2014.

Para a medição da deformação vertical foi utilizado um relógio Teclock, modelo PC 440, com precisão de 0,01 mm e faixa de medição de 12,97 mm. A velocidade de medição do relógio é de 1000 mm/segundo, display LCD, ponto de contato com raio de 1,50 mm e peso de 160 g. Na Figura 3 podemos visualizar o relógio medidor utilizado no ensaio.

Figura 3: Relógio medidor de deformação vertical– (a) Escala inicial; (b) Escala final.



Fonte: Autor, 2014.

Junto ao relógio medidor de deformação vertical foi acoplada uma haste de alumina, com comprimento de 30 cm. Foi escolhido esse material pelo fato de resistir a altas temperaturas, já que a haste ficou instalada na parte interna do forno ligando o relógio, localizado na parte externa do forno, à amostra de aço.

2.2 CRITÉRIOS DE DIMENSIONAMENTO DAS AMOSTRAS E CARREGAMENTO

As dimensões das amostras foram definidas de forma a atender as dimensões internas do forno, procurando adotar valores de espessura que representassem um resultado significativo no experimento com auxílio de uma tabela de mercado.

Os carregamentos das amostras foram calculados para simular o deslocamento vertical máxima de projeto. O deslocamento vertical máximo admissível das amostras é de 2,5 mm de acordo com a NBR 8800: Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios – Procedimento, como mostra a equação (1).

$$dm_{\text{máx}} = \frac{L}{250} \quad \text{equação (1)}$$

Onde:

$dm_{\text{máx}}$. = Deslocamento máximo;

L = Vão livre da chapa de aço;

Para definirmos o peso dos carregamentos foram utilizadas as equações para deslocamento vertical de uma carga pontual que representa a carga variável na equação (2) e para carga distribuída que representa a carga permanente na equação (3), ou seja, o peso próprio da amostra. A seguir as equações utilizadas para encontrar o peso para o carregamento das amostras.

$$dm_{\text{máx}} = \frac{P \times L^3}{48 \times E \times I_x} \quad \text{equação (2)}$$

$$dm_{\text{máx}} = \frac{5 \times q \times L^4}{384 \times E \times I_x} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

$dmáx.$ = Deslocamento máximo;

P = Peso do carregamento;

q = Peso próprio da amostra;

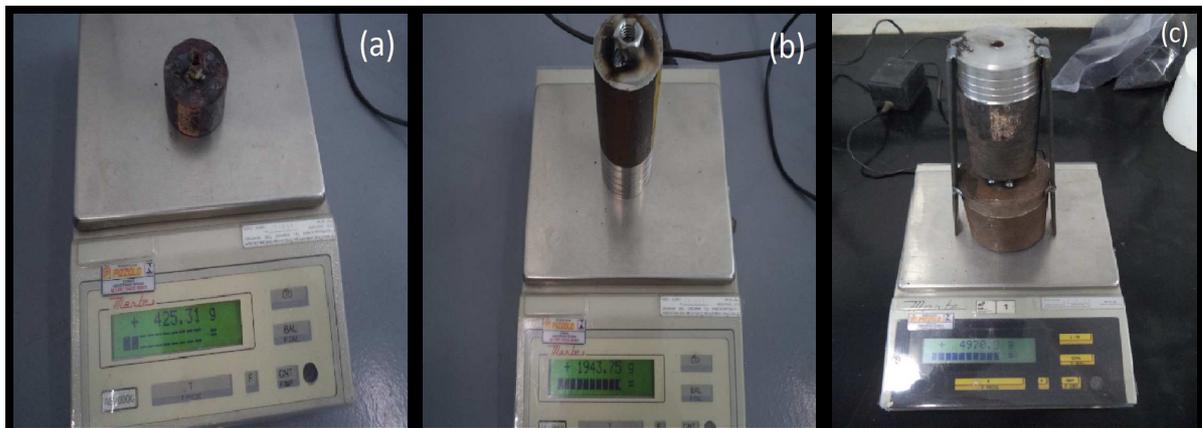
L = Vão livre da chapa de aço;

E = Módulo de elasticidade;

I = Momento de inércia.

Através das equações (2) e (3) foi encontrado o peso do carregamento de cada amostra, que resulta no deslocamento vertical máximo admissível de 2,50 mm. Para as amostras do Grupo A o carregamento foi de 425,31 g, Grupo B o carregamento foi de 1943,75 g e o Grupo C 4970,20 g. Os carregamentos das amostras foram colocados no centro da mesma, representando uma carga pontual. A Figura 4 mostra os carregamentos dos grupos de amostras A, B e C respectivamente.

Figura 4: Carregamento das amostras – (a) Grupo A; (b) Grupo B; (c) Grupo C.



Fonte: Autor, 2014.

2.2. DEFINIÇÃO CURVA DE TEMPERATURA

A temperatura do forno foi definida com base na NBR 14432:2001 onde recomenda que uma estrutura deve ser projetada para resistir à ação do fogo por um determinado tempo a uma temperatura constante de acordo com a sua altura e ocupação como demonstra a Figura 5.

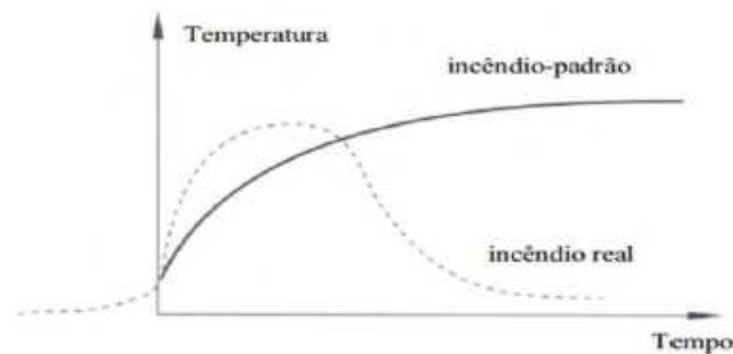
Figura 5: Tempos requeridos de resistência ao fogo (TRRF)

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do Subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h _s > 10m	Classe S ₁ h _s ≤ 10m	Classe P ₁ h ≤ 6m	Classe P ₂ 6m < h ≤ 12m	Classe P ₃ 12m < h ≤ 23m	Classe P ₄ 23m < h ≤ 30m	Classe P ₅ h > 30m
A	Residencial	A-1 a A-3	90	60 (30)	30	30	60	90	120
B	Serviços de Hospedagem	B-1 e B-2	90	60	30	60 (30)	60	90	120
C	Comercial Varejista	C-1 a C-3	90	60	60 (30)	60 (30)	60	90	120
D	Serviços Profissionais, Pessoais e Técnicos	D-1 a D-3	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
E	Educacional e Cultura Física	E-1 a E-6	90	60 (30)	30	30	60	90	120
F	Locais de Reunião de Público	F-1, F-2, F-5 e F-6	90	60	60 (30)	60	60	90	120
G	Serviços Automotivos	G-1 e G-2 não-abertos lateralmente e G-3 a G-5	90	60 (30)	30	60 (30)	60	90	120
		G-1 e G-2 abertos lateralmente	90	60 (30)	30	30	30	30	60
H	Serviços de Saúde e Institucionais	H-1 a H-5	90	60	30	60	60	90	120
I	Industrial	I-1	90	60 (30)	30	30	60	90	120
		I-2	120	90	60 (30)	60 (30)	90 (60)	120 (90)	120
J	Depósitos	J-1	90	60 (30)	30	30	30	30	60
		J-2	120	90	60	60	90 (60)	120 (90)	120

Fonte: NBR 14432:2001

Para o experimento foi considerado uma estrutura de ocupação residencial com $12m < h < 23m$, onde o tempo requerido de resistência ao fogo é de 60 minutos. A curva de temperatura seguiu o modelo do incêndio padrão (Figura 6) indicada para fornos de institutos de pesquisa com patamares de 200°C, 400°C, 600°C, 800°C e 1000°C.

Figura 6: Curva incêndio padrão



Fonte: Dias, 1997.

2.3. METODOLOGIA DO ENSAIO

Para a realização do ensaio foram utilizados os materiais descritos no item 2.2. As amostras foram ensaiadas uma por vez e cada uma delas submetidas à patamares de 200°C, 400°C, 600°C permanecendo 60 minutos em cada temperatura. Não foi possível chegar até a temperatura de 1000°C programada no forno, pois a partir de 800°C todas as amostras deformaram excessivamente e a escala do relógio medidor não alcançou tal deformação vertical.

A chapa de aço foi apoiada em tijolos refratários que possui resistência à temperaturas elevadas. No centro de cada chapa de aço foi colocado seu respectivo carregamento e junto do mesmo foi introduzida a haste de alumina que ligada ao relógio medidor localizado na parte externa do forno acompanhava a deformação da amostra em tempo real (Figura 7).

Figura 7: Disposição das amostras – (a) Grupo A; (b) Grupo B; (c) Grupo C.



Fonte: Autor, 2014.

Dado início ao experimento, eram anotados os dados de temperatura e deformação vertical a cada 5 minutos até o final do ensaio. O tempo era medido por um cronômetro, a temperatura era fornecida por um dispositivo acoplado ao forno e a deformação vertical pelo relógio medidor que ficava localizado na parte superior do forno ligado a haste de alumina (Figura 8).

Figura 8: Equipamentos acoplados ao forno – (a) Dispositivo temperatura; (b) Relógio medidor



Fonte: Autor, 2014.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os dados obtidos através desse experimento se baseiam no patamar de 600°C, pois nas temperaturas inferiores os grupos de amostras de aço não apresentaram nenhuma deformação vertical, e nas superiores a escala do relógio medidor não alcançou a deformação vertical excessiva das amostras. Na Figura 9 podemos observar como se encontrava as amostras do grupo A (3,17mm) e C (6,35mm) quando a temperatura do forno alcançou o patamar de 800°C

Figura 9: Amostras à temperatura de 800°C – (a) Grupo A; (b) Grupo C

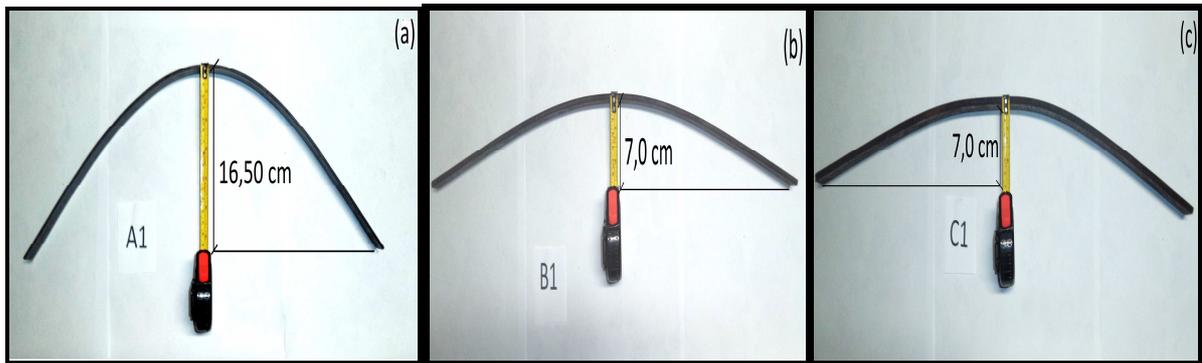


Fonte: Autor, 2014.

A retirada das amostras do forno eram feitas somente um dia depois do ensaio para evitar riscos de queimadura pelo fato de o forno estar com temperatura muito

elevada. A Figura 10 mostra o estado das amostras quando retiradas do forno já resfriado.

Figura 10: Amostras após ensaio – (a) Grupo A; (b) Grupo B; (c) Grupo C



Fonte: Autor, 2014.

A Tabela 2 apresenta a média dos resultados juntamente com desvio padrão da deformação vertical de acordo com o tempo na temperatura de 600°C dos três grupos de amostras.

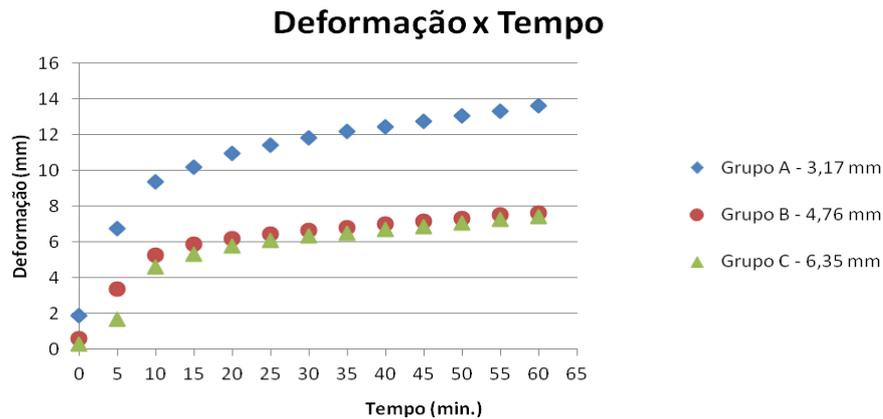
Tabela 2: Deformação vertical das amostras de acordo com o tempo à 600°C

Tempo (min.)	Deformação Grupo	Deformação Grupo	Deformação Grupo
	A (3,17mm)	B (4,76mm)	C (6,35mm)
0	1,86±0,79	0,59±0,15	0,31±0,76
5	6,77±1,35	3,38±0,33	1,67±2,25
10	9,37±0,83	5,28±0,21	4,57±1,50
15	10,21±0,59	5,86±0,19	5,31±1,55
20	10,95±0,67	6,18±0,18	5,76±1,52
25	11,43±0,70	6,43±0,20	6,06±1,49
30	11,85±0,67	6,63±0,23	6,32±1,54
35	12,18±0,74	6,81±0,23	6,5±1,60
40	12,46±0,81	6,99±0,21	6,69±1,59
45	12,76±0,82	7,15±0,17	6,85±1,58
50	13,08±0,83	7,32±0,14	7,05±1,52
55	13,31±0,82	7,49±0,13	7,25±1,51
60	13,62±0,94	7,65±0,12	7,41±1,55

Fonte: Autor, 2014.

De acordo com os resultados gerou-se o gráfico de Deformação x Tempo dos três grupos de amostras, como mostra a Figura 11, podendo verificar melhor a variação da deformação vertical de cada espessura.

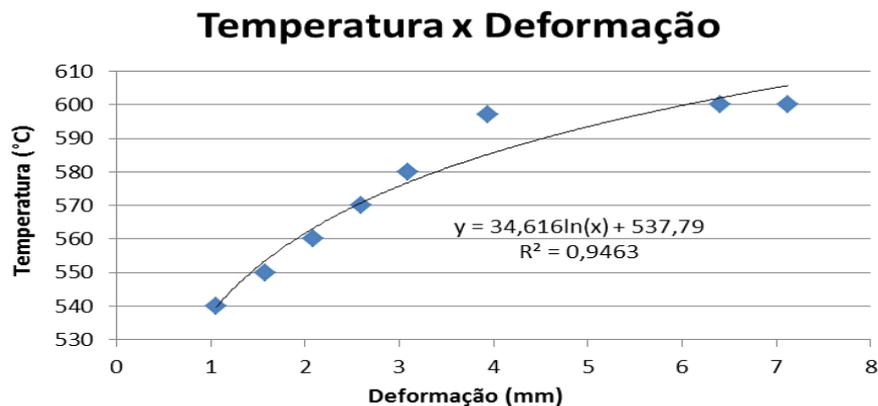
Figura 11: Gráfico Deformação x Tempo - Patamar de 600°



Fonte: Autor, 2014.

Os dados das amostras foram anotados em um intervalo de tempo de cinco minutos, porém não foi detectado no momento do ensaio o instante exato em que as amostras começaram a deformar. No entanto utilizando a curva de cada grupo e sua média foi elaborado um gráfico Temperatura x Deformação (Figura 12) de forma a se obter o ponto exato do início da deformação em função da temperatura.

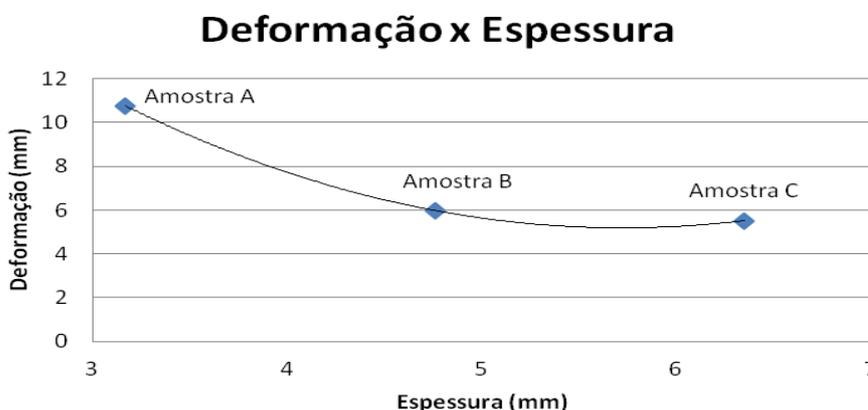
Figura 12: Gráfico Temperatura x Deformação - Patamar 530 a 600°C.



Fonte: Autor, 2014.

Segundo Panoni (2004) Uma seção de baixa esbeltez, de grande massa, se aquecerá mais lentamente do que uma seção esbelta. Assim, uma seção massiva terá uma resistência maior ao fogo. O que ficou evidente ao gerar o gráfico de Deformação x Espessura (Figura 13) com a média final das deformações e das espessuras para cada amostra ensaiada no patamar de 600°C. Este gráfico mostra a redução da deformação vertical de acordo com o aumento da espessura para um mesmo patamar de 600°C.

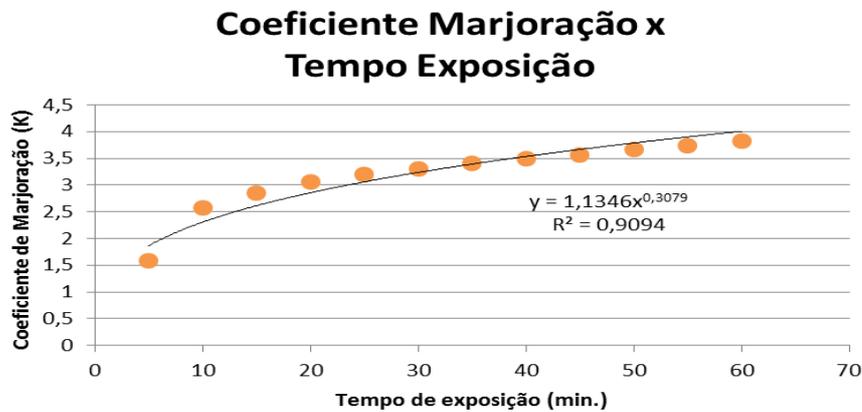
Figura 13: Gráfico Deformação x Espessura - Patamar 600°C



Fonte: Autor, 2014

Com os resultados obtidos nos ensaios foi possível determinar um coeficiente de majoração, de forma a considerar os requisitos da NBR 14432:2001 onde define que uma estrutura deve ser projetada para suportar 60 minutos a uma temperatura constante, para o caso em estudo de 600°C e deslocamento máximo vertical de 2,5 mm. Sendo este modelo válido para aumentar a espessura das chapas de forma a manter o equilíbrio do patamar de resistência mínima de 60 minutos de exposição à temperatura de 600°C de acordo com a Figura 14 e equação (4).

Figura 14: Coeficiente de majoração da espessura em função do tempo de exposição a temperatura de 600°C



Fonte: Autor, 2014

Com base nos resultados calculou-se a função de ajuste para determinação do coeficiente “K” utilizando-se a equação (4).

$$K = 1,1346t^{0,3079} \quad \text{equação (4)}$$

Onde:

t = Tempo em minutos.

4. CONCLUSÕES

A principal finalidade da segurança contra incêndio em edificações é minimizar o risco à vida das pessoas expostas ao sinistro, como também a garantia do patrimônio.

Os ensaios foram realizados dentro dos padrões nacionais e internacionais com as amostras em situação de carregamento máximo e mostrou que nos patamares das temperaturas iniciais de 200°C e 400°C nenhum grupo apresentou deformação. Somente a partir do patamar de 600°C as amostras apresentaram uma deformação vertical considerável, desprezando-se os patamares superiores 800°C e 1000°C. O grupo A que possuía amostras de menor espessura obteve maior deformação

vertical que os grupos B e C, como é possível observar na Figura 11 e 13, podendo-se afirmar que o aumento da massa do aço ASTM A36 MR250 quando submetido a temperaturas elevadas influencia na deformação vertical.

O que podemos afirmar também com base na NBR 14432:2001 que a estrutura sem proteção térmica deverá ser acrescida de massa na seção transversal de forma a atender ao tempo exposto a uma temperatura constante de forma a garantir a integridade da estrutura. Dessa forma foi proposto uma formulação a corrigir e manter o patamar mínimo de 60 minutos exigidos pela norma.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar o mesmo ensaio partindo da temperatura de 600 à 1000 °C;
- Verificar a deformação vertical em chapas de aço com espessura superior à ensaiada;
- Analisar a resistência das amostras de chapa de aço após submetida à temperaturas elevadas;

5. REFERÊNCIAS

ABREU, L. M. P. E FAKURY, R. H. **Elevação de Temperatura em Elementos Estruturais de Aço de Edifícios em Incêndio**, VII Semana de Iniciação Científica da UFMG, p.318, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8800: Projeto e execução de estruturas de aço em edifícios - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **“Exigências de Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações”** – NBR 14432, Rio de Janeiro, 2001.

DIAS, Luís Andrade de Mattos. **Estruturas de aço: conceitos, técnicas e linguagem**. 5. ed. São Paulo: Ziguarte, 2006. 159 p.

FAKURY, R. F. **Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio**, II Seminário Internacional - O uso de estruturas metálicas na construção civil, Nov/1999.

FRANSSEN et al., JM. **A comparison between five structural fire codes applied to steel elements.** Proceedings of the Fourth International Symposium of Fire Safety Science, Ottawa, International Association for Fire Safety Science, June 1994.

PANNONI, Fabio Domingos. **Princípio da proteção de estruturas metálicas em situação de corrosão e incêndio.** Belo Horizonte, MG, 2004. 3. ed. v. 2.

SILVA, V. P. **Determination of the steel fire protection material thickness by analytical process - A simple derivation.** Engineering Structures. Reino Unido, v. 27, n. 14, p. 2036-2043, 2005.

SOUZA JÚNIOR, V. **Análise de Pórticos de Aço sob Altas Temperaturas, Dissertação de Mestrado,** UFOP, 1998.

VARGAS, Mauri Resende; SILVA, Valdir Pignatta. **Manual de construção em aço: Resistência ao fogo das estruturas de aço.** Rio de Janeiro: Instituto Brasileiro de Siderurgia – IBS/ Centro Brasileiro da Construção em Aço – CBCA, 2003.

WITTEVEEN J, Twilt L. **A critical view on the results of standard fire resistance tests on steel columns.** Fire Safety J 198182;4:259–70.