

ANÁLISE DO DESLOCAMENTO VERTICAL DO AÇO EM TEMPERATURAS ELEVADAS

Juliana Pavei (1), Márcio Vito (2)

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

RESUMO

A análise de estruturas em elevadas temperaturas começou a ser desenvolvida a pouco tempo no Brasil. As normas brasileiras e a literatura apenas analisam a resistência mecânica e a fluência de elementos estruturais de aço em temperaturas elevadas, ficando para este caso uma lacuna para o comportamento do aço em situação de deslocamento vertical máximo determinados pelas normas. Desta forma o presente trabalho tem por objetivo contribuir para estudo referente à deformação vertical do aço em temperaturas elevadas com a utilização de peças em aço do tipo ASTM 36, em situação de carregamento contínuo. Para execução dos ensaios foram definidas as curvas de temperatura, onde se obteve a relação temperatura, tempo e deformação. Os resultados mostraram que a deformação de projeto é inferior a deformação de ensaio e o tempo de resistência para incêndio de norma não foi cumprido.

Palavras-Chave: Deformação, aço, deslocamento, temperatura elevada no aço.

1. INTRODUÇÃO

As normas NBR 8800:2008 e a NBR 14762:2003 recomendam que as estruturas de aço utilizadas em locais com possibilidade de ocorrência de elevadas temperaturas, os perfis componentes sejam revestido com material do tipo isolante térmico, tais como manta de lã de rocha, fibra de carbono, gesso acartonado. No entanto pouco se verifica o cumprimento de tal recomendação, acreditando-se que o material mantenha sua capacidade de resistência mesmo após exposição a temperaturas superiores a inicialmente calculada.

As normas NBR 14432:2000 e NBR 14323:1999 apenas tratam da avaliação da resistência e fluência, sem analisar as deformações decorrentes das temperaturas elevadas.

Mesmo não havendo local com possibilidade de ocorrência de temperaturas elevadas, de acordo com Martins (2000), ao se projetar um edifício com estrutura de aço, deve-se levar em conta o desempenho desta estrutura em caso de ocorrência de incêndio. Durante um incêndio a temperatura pode chegar a 1050 °C, e o tempo



que a estrutura deve resistir é avaliada apenas pela possibilidade de colapso da estrutura.

A segurança em caso de incêndio depende principalmente da evacuação das pessoas, e das formas de combate ao fogo. Segundo Borchgraeve (2007), cerca de 90% das mortes em incêndio ocorrem em virtude do calor e da fumaça. E com isso as falhas estruturais recebem pouco valor, e só tem caráter relevante quando ocasiona problemas para a evacuação das pessoas. Porém não é analisado que a deformação da estrutura pode travar portas e janelas, dificultando a saída das pessoas e a troca de ar com o ambiente.

A deformação da estrutura em caso de temperaturas elevadas leva a um novo estado de tensão. De acordo com Pannoni (2012) a estrutura de um edifício encontra-se em um estado de tensão inicial, devido ao peso próprio e a sobrecarga, no início de um incêndio a estrutura está em um determinado estado de deformação. A este estado inicial se sobrepõe um novo estado de tensão, que é resultado do aquecimento a que os elementos estruturais estão submetidos.

As propriedades dos materiais que constituem os elementos estruturais podem se degradar com o aumento da temperatura. O Referido trabalho tem como objetivo realizar um estudo das propriedades mecânicas do aço em altas temperaturas, para saber até onde resiste a um ambiente de temperatura elevada e quando que se torna prejudicial o seu uso.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi feita com os seguintes passos.

- Definição da geometria das peças de aço;
- Definição do deslocamento máximo de projeto;
- Definição da temperatura do forno;
- Realização do ensaio;
- Análise da deformação do aço.

2.1. Geometria das peças de aço.

As peças de aço foram definidas baseadas no tamanho do forno de ensaio, foi utilizado forno Mufla, cujas dimensões internas é 19,9 x 16,3 x 30 cm. Foram analisadas 3 peças com dimensões conforme a Tabela 1. O tamanho das amostras obedece ao requisito da norma NBR 5628:1980, que cita para vigas o tamanho de ensaio, se não puder fazer o real, deverá ser inferior a 4 metros.

O material de ensaio é o Aço ASTM 36, que é composto por uma liga de Ferro-Carbono. Chegou-se a utilização deste material porque segundo Pfeil (2011) este é o material de aço mais utilizado em construção civil e o mais conhecido.

Tabela 1: Amostras

Amostra	Peso (g)	Comprimento (mm)	Largura (mm)	Espessura (mm)
1	177,65	201,48	25,05	4,65
2	177,83	201,53	25,18	4,67
3	178,74	201,44	25,20	4,66
MÉDIA	178,07±0,60	201,48±0,05	25,14±0,09	4,66±0,01

Fonte: Autor (2013)

Figura 1: Amostra



Fonte: Autor (2013)

2.2. Definição do Deslocamento Máximo de projeto

A norma NBR 8800: 2007 recomenda que a flecha máxima, ou deslocamento máximo de projeto, seja segundo a Equação 1. Para isto foram classificadas as peças analisadas como uma viga de cobertura.

$$dmáx = \frac{L}{250}$$

Equação(1)

$$dmáx = \frac{17,7}{250}$$

$$dmáx = 0,07mm$$

Figura 2: Deslocamento vertical inicial



Fonte: Autor (2013)

2.3. Temperatura do forno.

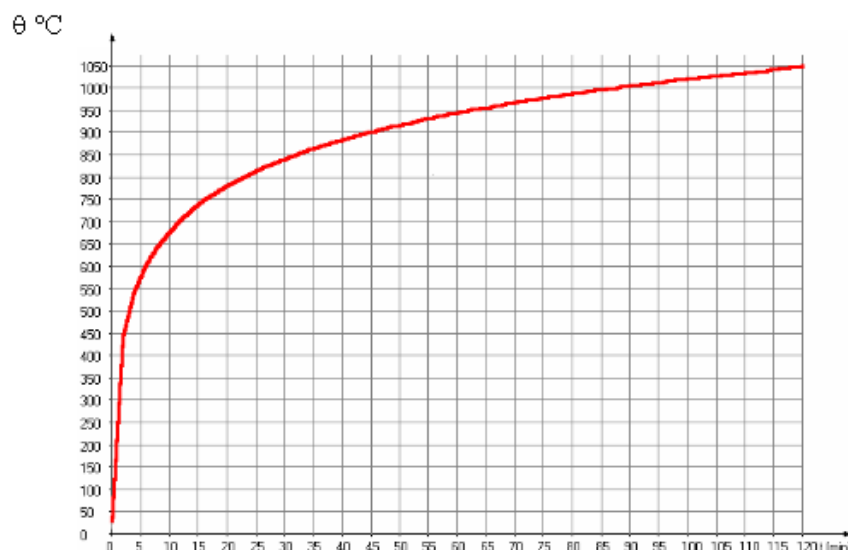
A temperatura do forno é uma fase crucial para a análise da deformação. Para isto é recomendada a norma NBR 14432:2000 parte 3.16 incêndio - padrão, que mostra a Equação 2.

$$\theta_g = \theta_o + 345 \log (8 t + 1) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde t é o tempo em minutos, θ_o é a temperatura do ambiente °C antes do aquecimento e θ_g é a temperatura dos gases no instante t em °C.

Martins (2000) definiu a curva de temperatura de calor, conforme a Figura 3.

Figura 3: Curva de incêndio padrão.



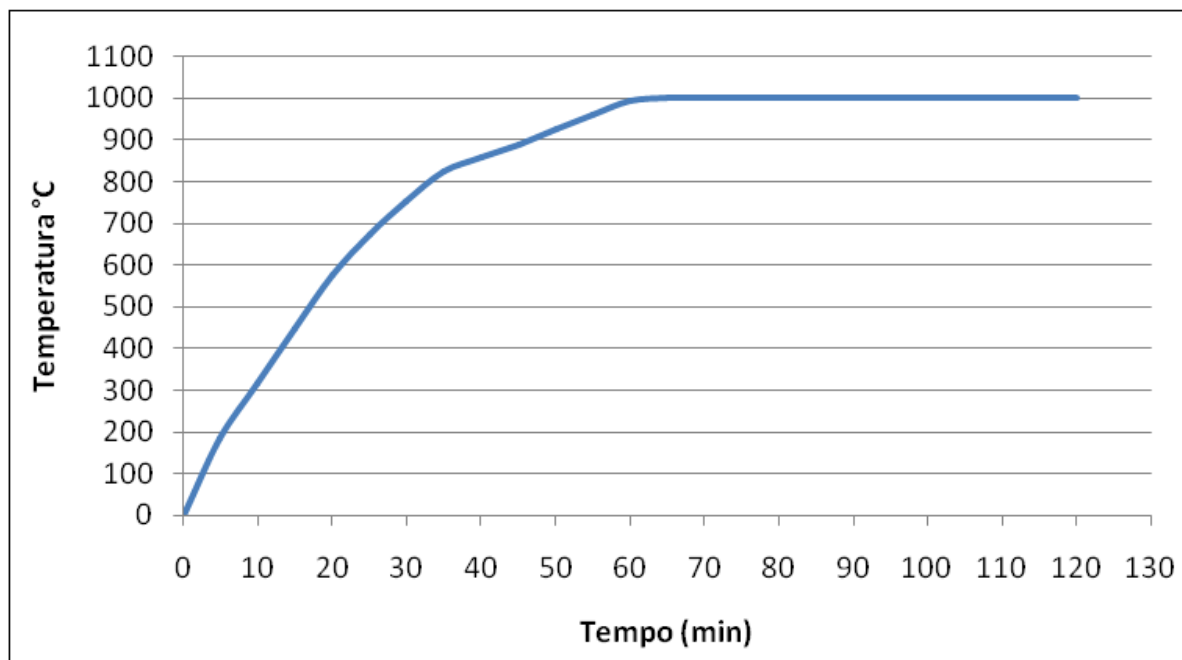
Fonte: Martins (2000)

Martins (2000) diz que a curva de incêndio pode se modificar de acordo com:

- A geometria do compartimento incendiado;
- As características térmicas dos materiais de vedação;
- A quantidade de material combustível;
- O grau de ventilação do ambiente.

Através da curva de incêndio da norma, e a capacidade do forno, adotou-se a curva de incêndio que varia da temperatura de 20 °C a 800 °C em 30 minutos, de 800 °C a 1000 °C em 30 minutos e 1000 °C permanecendo por 60 minutos. A Figura 4 mostra a curva de calor real do forno para os ensaios.

Figura 4: curva de calor do ensaio



Fonte: Autor (2013)

O tempo de 120 minutos é estipulado de acordo com a Norma NBR 14432 : 2000, como sendo o tempo máximo de resistência ao fogo que uma estrutura deve suportar, de acordo com a tabela de tempo requerido de incêndio, mostrada na Figura 5.

Figura 5 - Tempos requeridos de resistência ao fogo

Grupo	Ocupação/Uso	Divisão	Profundidade do Subsolo		Altura da edificação				
			Classe S ₂ h, > 10m	Classe S ₁ h, ≤ 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

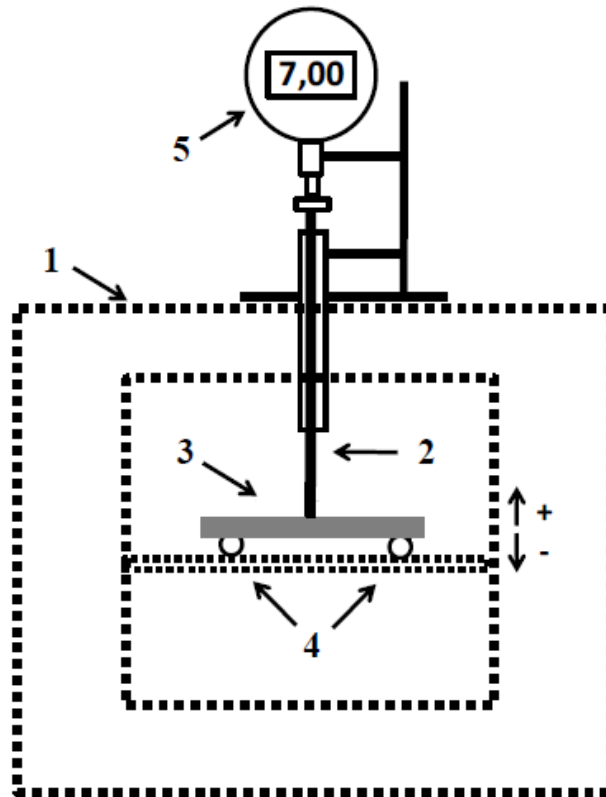
Fonte: NBR 14432:2000

2.4. Realização do ensaio

Os ensaios foram realizados no parque científico e tecnológico da Unesc - IPARQUE no laboratório de fornos do IDT. Como não há procedimentos pré-determinados para análise de deformação em temperaturas elevadas do aço, fez-se um estudo pré-determinado do ensaio.

Acoplado ao forno Mufla foi colocado um relógio comparador, de precisão de 0,01mm. O relógio analisa a deformação em tempo real do aço, através de um bastão de sílica vítrea de 3 mm de diâmetro e 300 mm de comprimento que é colocado horizontal, do centro da peça ao relógio de medição, a escolha deste material deve-se porque segundo Barazani (2011) a sílica vítrea resiste a temperaturas elevadas até 1250 °C com um baixo coeficiente de dilatação de 0,04 10⁻⁵ 1/K. O vão da peça é de 177 mm. A Figura 6 mostra a ilustração do ensaio feito por fleximetria térmica.

Figura 6 - Ilustração do ensaio de deformação do aço



Fonte: Adaptado de Henrique (2013)

Onde 1 é o forno Mufla; 2 o bastão de sílica vítrea ; 3 o corpo de prova; 4 o apoio de concreto celular; 5 o relógio comparador de precisão de 0,01mm.

Optou-se por carregamento horizontal para que o deslocamento inicial fosse o de projeto, e foi colocado no centro da peça. O carregamento para ensaio foi feito de acordo com a dimensão interna do forno Mufla, para que coubesse dentro do forno.

Para satisfazer estes fatores chegou-se a um tubo de aço de diâmetro externo de 50mm, diâmetro interno de 10mm e altura de 90mm, com uma porca de diâmetro interno de 10mm, diâmetro externo de 20mm e altura de 10mm, na ponta para centralizar o peso, de acordo com a figura 7. Juntos pesando 1150 g, somado ao peso próprio da barra o carregamento foi de 1320 g.

Para simular o apoio da peça de aço o material utilizado foi o concreto celular, que resiste a temperaturas elevadas.

Figura 7: Peso de aço



Fonte: Autor (2013)

Este peso ao ser colocado no centro da amostra gerou um deslocamento vertical inicial de 0,07mm. O diâmetro interno de 10mm é devido a passagem de um bastão de sílica vítrea, que mostra o deslocamento em tempo real.

Configurou-se a curva de calor do forno conforme o item 2.3 e foi ligado o forno. Ao deformar a peça de aço, o bastão de sílica vítrea se movia, movendo assim o relógio comparador. Conforme demonstrado nas Figuras 9 e 10.

Figura 8 : Relógio de medição



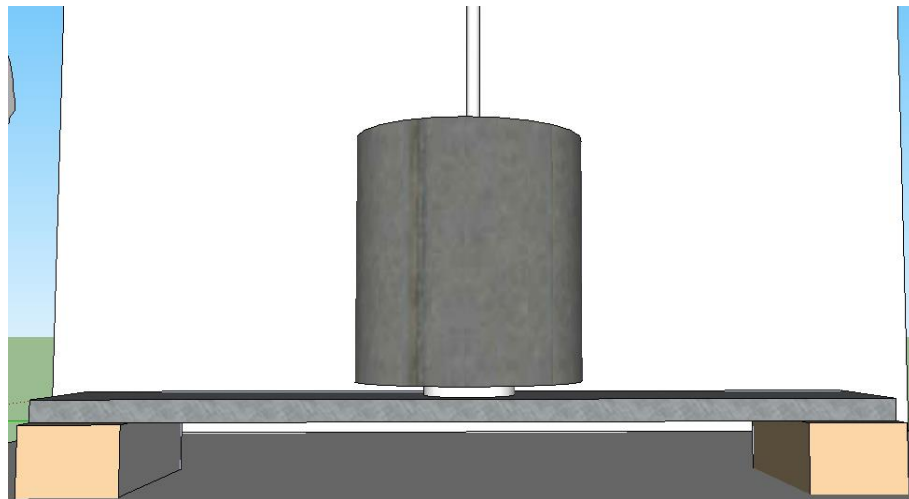
Fonte: Autor (2013)

Figura 9: Disposição da peça no forno



Autor (2013)

Figura 10: Ilustração da peça com carregamento no forno



Fonte: Autor (2013)

Figura 11: Peça com carregamento no forno ligado



Fonte: Autor (2013)

3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

A similaridade dos resultados conduz ao comportamento do material. A Tabela 2 mostra a deformação de cada temperatura. E a tabela 3 mostra a deformação de acordo com o tempo de ensaio. Todas as médias foram com 95% de confiança.

Tabela 2: Deslocamento de acordo com a temperatura

Temperatura (°C)	Deslocamento 1 (mm)	Deslocamento 2 (mm)	Deslocamento 3 (mm)	Média (mm)
600	0,07	0,07	0,07	0,07
650	0,07	0,07	0,07	0,07
700	0,07	0,07	0,07	0,07
750	0,07	0,07	0,07	0,07
800	0,32	0,37	0,37	0,35 ± 0,03
850	2,02	1,92	1,87	1,94 ± 0,09
900	3,40	3,14	3,45	3,33 ± 0,19
950	4,07	3,76	4,04	3,96 ± 0,19
1000	4,82	4,37	4,67	4,62 ± 0,26

Fonte: Autor (2013)

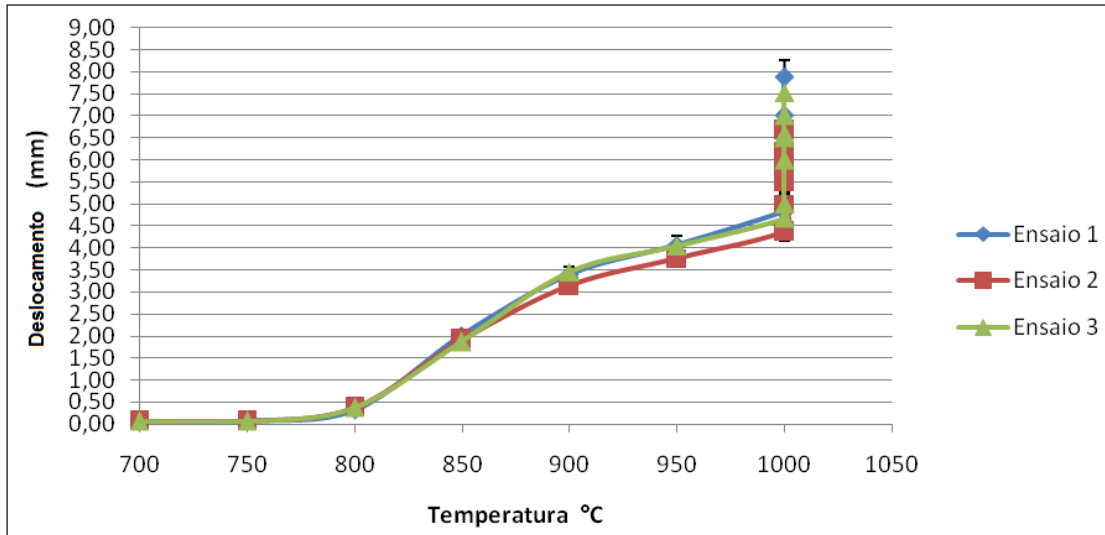
Tabela 3: Deslocamento de acordo com o tempo

Tempo (min)	Deslocamento 1 (mm)	Deslocamento 2 (mm)	Deslocamento 3 (mm)	Média (mm)
5	0,07	0,07	0,07	0,07
10	0,07	0,07	0,07	0,07
15	0,07	0,07	0,07	0,07
20	0,07	0,07	0,07	0,07
25	0,07	0,07	0,07	0,07
30	0,07	0,07	0,07	0,07
35	0,12	0,87	0,92	0,64±0,51
40	1,67	2,22	2,22	2,04±0,36
45	3,07	3,02	3,32	3,14±0,18
50	3,50	3,40	3,75	3,55±0,20
55	3,97	3,87	4,12	3,99±0,14
60	4,50	4,27	4,56	4,44±0,17
65	4,72	4,55	4,67	4,65±0,10
70	5,27	4,76	5,17	5,07±0,31
75	5,52	4,95	5,53	5,33±0,38
80	5,79	5,13	5,72	5,55±0,41
85	6,07	5,31	5,85	5,74±0,44
90	6,31	5,50	6,00	5,94±0,46
95	6,56	5,70	6,15	6,14±0,49
100	6,79	5,92	6,47	6,39±0,50
105	7,05	6,13	6,86	6,68±0,55
110	7,32	6,37	7,07	6,92±0,56
115	7,60	6,61	7,40	7,20±0,59
120	7,87	6,77	7,52	7,39±0,64

Autor(2013)

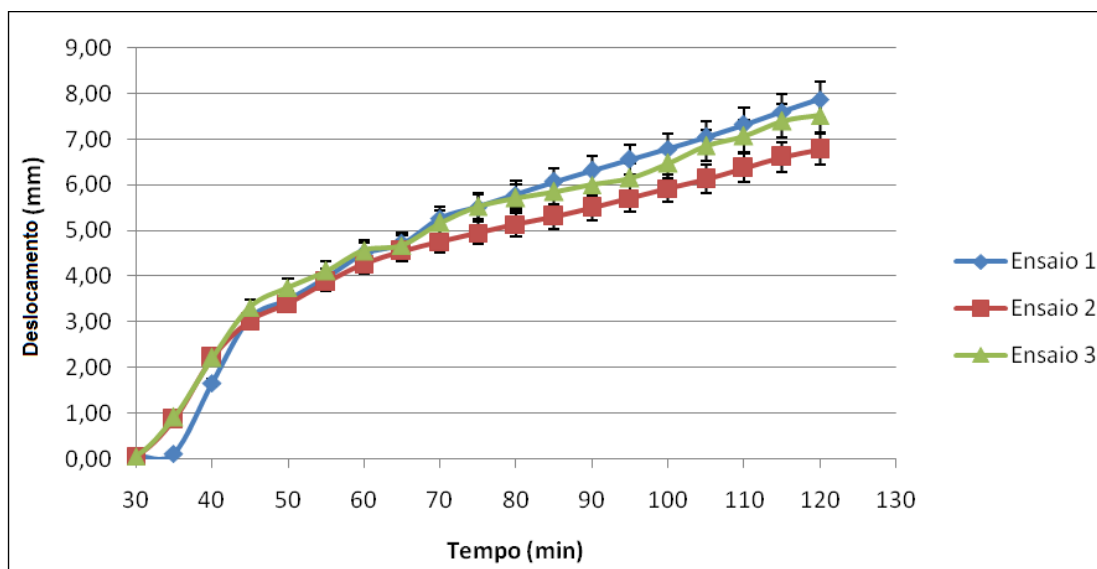
Desta forma gerou-se o gráfico temperatura deformação, conforme a figura 12 e o gráfico de tempo e deformação, conforme Figura 13.

Figura 12: Gráfico Temperatura x Deslocamento



Fonte: Autor (2013)

Figura 13: Gráfico Tempo x Deslocamento



Fonte: Autor (2013)

Figura 14: Peça após o ensaio.



Fonte: Autor (2013)

4. CONCLUSÕES

A norma NBR 14432:2000 demonstra o tempo de resistência de incêndio que uma edificação deverá suportar para garantir a fuga dos ocupantes da edificação em condições de segurança, a segurança das operações de combate ao incêndio e a minimização de danos a edificações adjacentes e à infra-estrutura.

O requisito 4.10.1. da NBR 5628:1980 cita "considera-se inutilizado o componente que , sob carregamento definido e com a ação de calor, sofra ruptura ou deslocamento transversal maior que o máximo estipulado em projeto".

Neste trabalho foi feito a análise de deformação vertical do aço em temperaturas elevadas, e verificou-se que a deformação do aço começa na temperatura de 750 °C e em 30 minutos de ensaio.

As normas brasileiras ignoram a deformação da estrutura para estruturas elevadas, ignorando o fato de que estes deslocamentos podem levar ao colapso da estrutura, ou modificar os estados de tensões.

O ensaio demonstrou que em apenas 30 minutos de temperatura elevada a chapa de aço deformou, mais do que a deformação estipulada em projeto, desta forma após este tempo a estrutura de aço não resiste a temperatura elevada,



comprometendo assim, as condições de segurança determinadas pela norma, tendo que haver algum tipo de proteção.

A peça de aço deformou a partir da temperatura de 750 °C, , onde ultrapassa a deformação de projeto, chegando em duas horas de ensaio, a 105 vezes maior deformação do que o valor de projeto .

Na curva de incêndio padrão, figura 1, da norma NBR 14434:2000, o ambiente chegaria a esta temperatura em 15 minutos, comprometendo ainda mais a estrutura e inutilizando o tempo mínimo requerido de resistência ao incêndio de 30 minutos, citada na norma NBR 14432:2000 conforme a figura 3.

O ensaio comprovou que, como cita Pfiel(2011) as temperaturas elevadas modificam as propriedades mecânicas do aço. E que é necessário para dimensionamento do aço, em temperaturas acima de 750 °C ou tempo requerido de resistência ao incêndio superior a 15 minutos, proteger a estrutura, revestindo-a com material do tipo isolante térmico.

5. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

De acordo com a pesquisa deste trabalho, sugerem-se linhas de pesquisa para aprimorá-lo e complementá-lo.

- Realizar ensaios com peças de aço em tamanho real;
- Análise da deformação dos apoios;
- Análise da deformação das estruturas ligadas de aço;
- Realizar ensaios com a curva de incêndio padrão;
- Realizar ensaios com diferentes tipos de perfil de aço.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). “**Componentes Construtivos Estruturais – Determinação da Resistência ao Fogo**” – NBR 5628, Rio de Janeiro, 1980;



ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).
“**Dimensionamento de Estruturas de Aço de Edifícios em Situação de Incêndio**”
– NBR 14323, Rio de Janeiro, 1999;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). “**Ações e
Segurança nas Estruturas**” - NBR 8681, Rio de Janeiro, 1984;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). “**Projeto e
Execução de Estruturas de Aço de Edifícios**” - NBR 8800, Rio de Janeiro, 2008;

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). “**Exigências de
Resistência ao Fogo de Elementos Construtivos de Edificações**” – NBR 14432,
Rio de Janeiro, 2000;

BARAZANI, Bruno. “**Investigação sobre a sinterização de sílica vítrea por
plasma pulsado**”.2011.98p. Tese (mestrado em Engenharia Mecânica). Escola
politécnica de São Paulo;

BORCHGRAEVE.P. et al, “**Steel and Fire Safety, a Global Approach**”. Steel
Promotion Committee of Europe.2007;

HENRIQUE, Patrick. “**Fleximetria térmica como técnica para medição de
planaridade de revestimentos cerâmicos durante a queima**” . 2013. 93p. Tese
(mestrado em engenharia dos materiais) curso de Pós- graduação em ciência em
Engenharia de materiais. Universidade do Extremo Sul Catarinense , Criciúma.

MARTINS, Michele Mendonça. “ **Dimensionamento de estruturas de aço em
situação de incêndio**” .2000. 213p. Tese (mestrado em Engenharia de Estruturas).
Curso de Pós- graduação em Engenharia de Estruturas. Universidade Federal de
Minas Gerais, Belo Horizonte;

PANONI, Fabio Domingos. “**Proteção de estruturas metálicas frente ao fogo**”
.2012.

PFEIL, Michele;PFEIL, Walter. “**Estruturas de Aço - Dimensionamento prático de
acordo com a norma NBR 8800:2008**”. 2011.