



Colapso das Torres do World Trade Center

lições de segurança

Eng. Paulo Helene

*MSc, PhD, Prof. Titular da Universidade de São Paulo PCC.USP
Deputy Chairman of fib (CEB-FIP) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"
Chairman of Red REHABILITAR CYTED
Presidente do IBRACON*

MinasCon

Belo Horizonte, 25 Agosto de 2004

MG

1

**primeiros materiais
duráveis e o
reconhecimento da
profissão**

2

Arquiteto e médico Imhotep



Pirâmide escalonada de Djeser

3



4

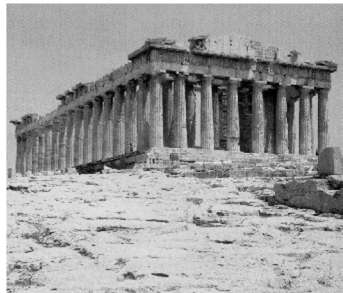
Pártenon

(século V a.C. 447 e 438 a.C.)

“século de Péricles”

Dedicado a Atenea Parthenos

Arquitetos Ictinos de Mileto e Calícrates (*escultor Fídias*)



5

Genesis, 11.4

O Povo de Deus disse:

**“ Vamos construir uma cidade e uma Torre
que alcance o Paraíso e deixe gravado
nosso nome na história antes de que
sejamos espalhados por toda a face da
Terra”**

6



7



8



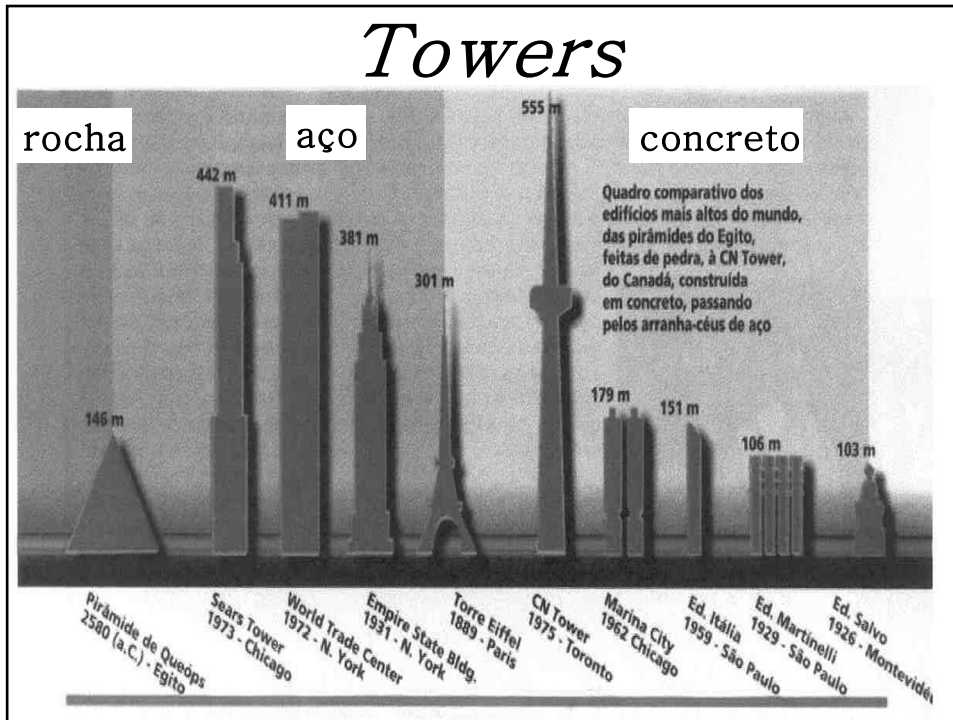
9

**O início dos arranhacéus na
idade contemporânea foi em
1890 com a construção do
edifício Wainwright
Chicago, USA.**

Conhecido Escola de Chicago

**Projetista
Arquiteto Louis Henry Sullivan**

10



11



**Salvo Palace
Tower**

Montevideo

Uruguay 1926

Altura 103 m

$f_{ck} = ?$

record mundial

12



Martinelli Building

São Paulo

Brasil 1928

Altura 106 m

$f_{ck} = 13.5$ MPa

13




Martinelli Building

75 anos!!!

HPC ???

14



*Torre
Parque Central
Caracas
Venezuela*

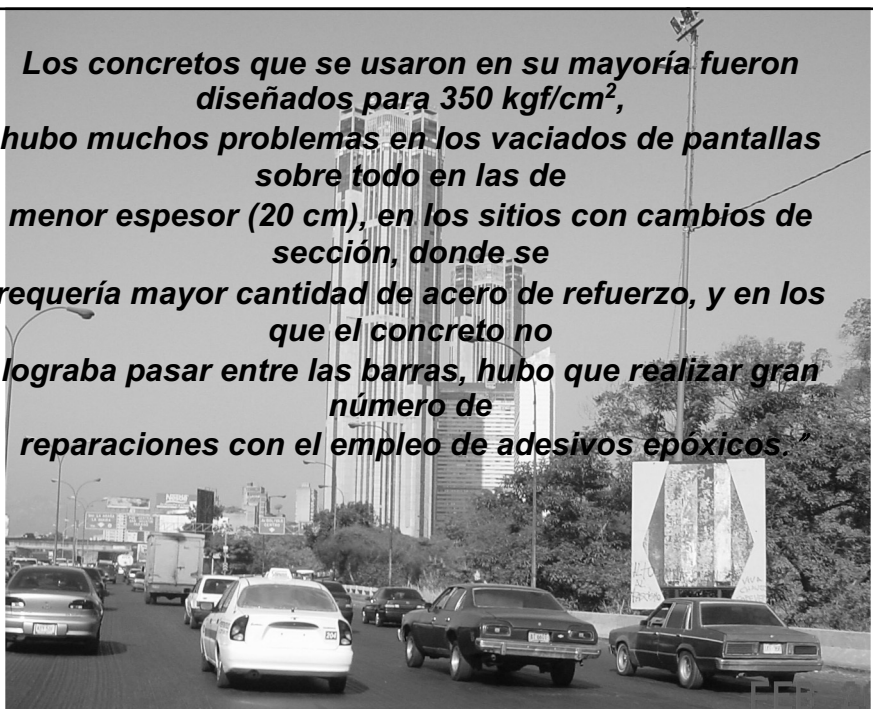
1984
Enrique Siso y Daniel F.
Shaw
*altura 221m
56 andares*

*Ibero
America
Record
35MPa*

*Ing. Mario
Paparoni &
Sergio Oloma*

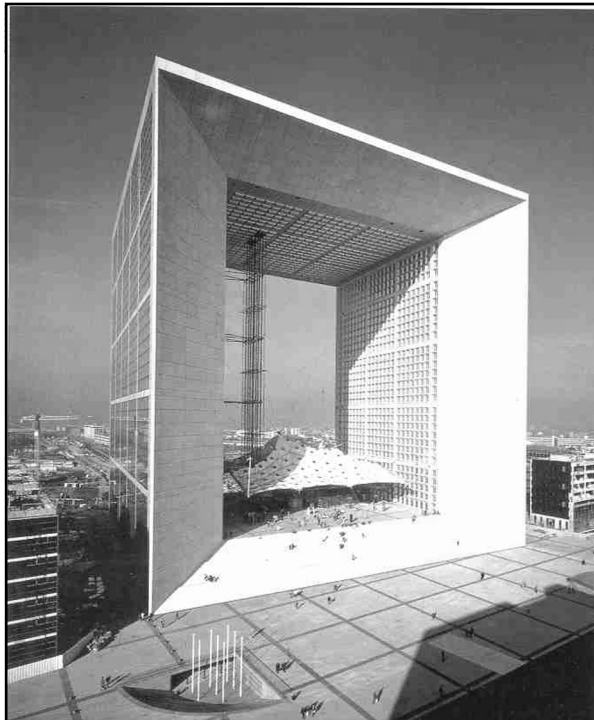
Arg. Enrique Siso & Daniel Shaw

15



*Los concretos que se usaron en su mayoría fueron
diseñados para 350 kgf/cm²,
hubo muchos problemas en los vaciados de pantallas
sobre todo en las de
menor espesor (20 cm), en los sitios con cambios de
sección, donde se
requería mayor cantidad de acero de refuerzo, y en los
que el concreto no
lograba pasar entre las barras, hubo que realizar gran
número de
reparaciones con el empleo de adhesivos epóxicos.”*

16



Grand Arch
La Defense
Paris
França 1990
 $f_{ck} = 60 \text{ MPa}$
“high-tech style”

17



Centro
Empresarial
Nações
Unidas
Torre Norte
São Paulo
1998
Altura 179 m
 $f_{ck} = 50 \text{ MPa}$

18

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, inteligência e competência precisa da Engemix. Como a Engemix Engenharia e Construção, quando foi fundada há 250 anos, em 1815, em São Paulo, Brasil. Hoje, a Engemix Engenharia e Construção atua em mais de 15 países, com uma rede de mais de 100 escritórios em todo o mundo. A Engemix Engenharia e Construção é uma empresa de capital aberto, listada na Bolsa de Valores de São Paulo (BVMF) sob o código ENGEM3.

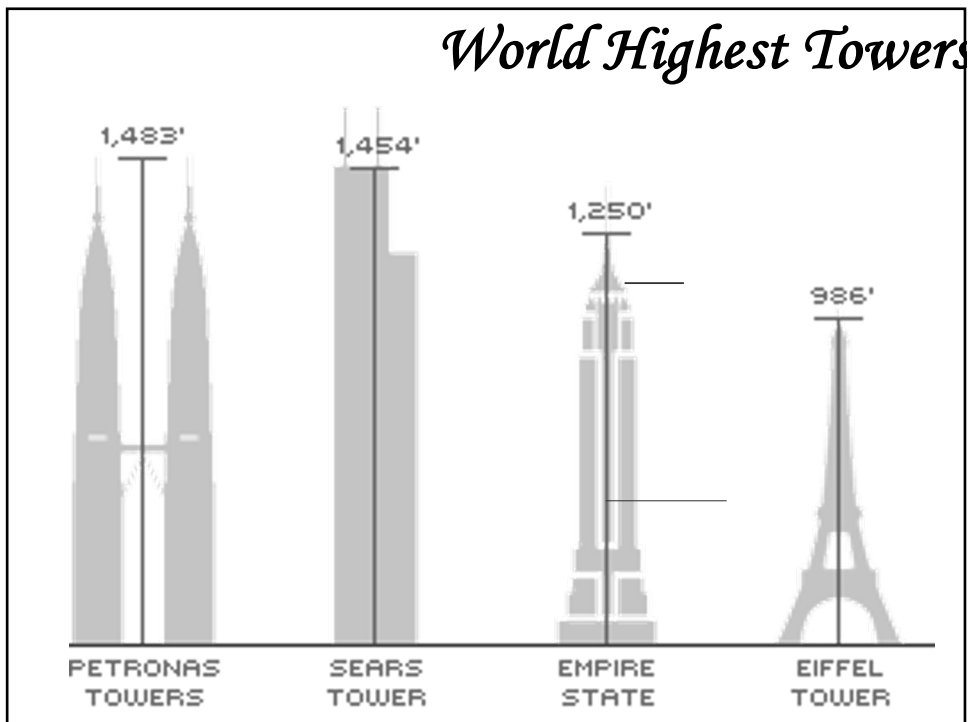
Com mais de 40 anos, temos mais de 40 mil m² de concreto. Para 30 milhões de habitantes de serviços de engenharia e construção civil, com uma área de atuação equivalente a 75 milhões.

O resultado é que, hoje, no Brasil, Engemix Engenharia e Construção é a maior empresa de concreto do país, com uma produção diária de 100 mil metros cúbicos de concreto.

Quem precisa de solução segura em concreto não sabe mais. Chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX

19



20



Petronas Towers

Kuala Lumpur

Malásia 1999

Altura 452 m

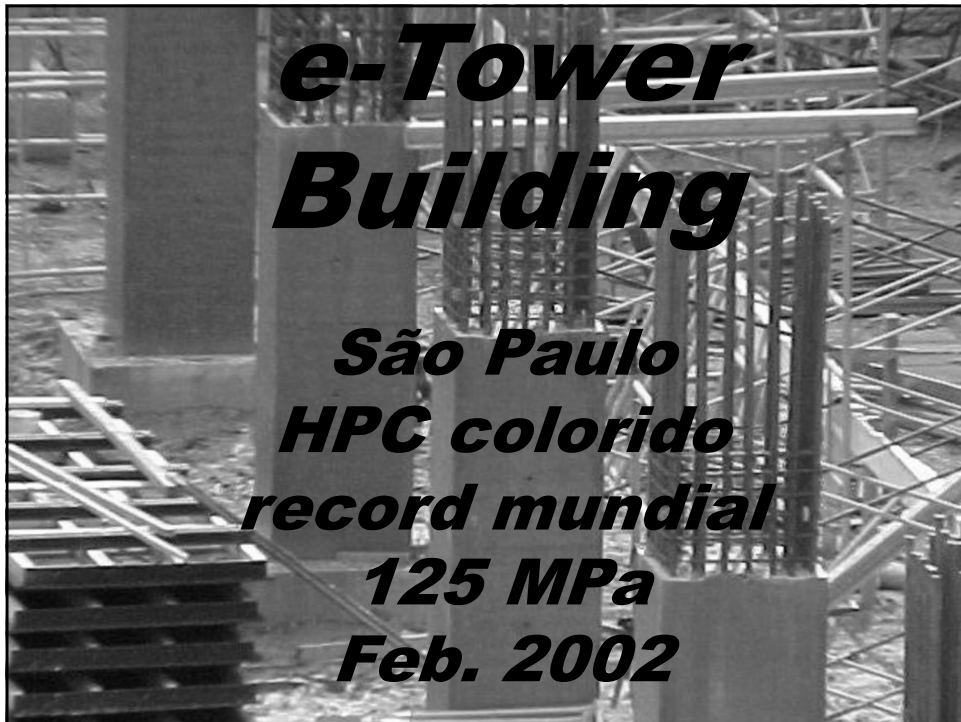
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

record mundial

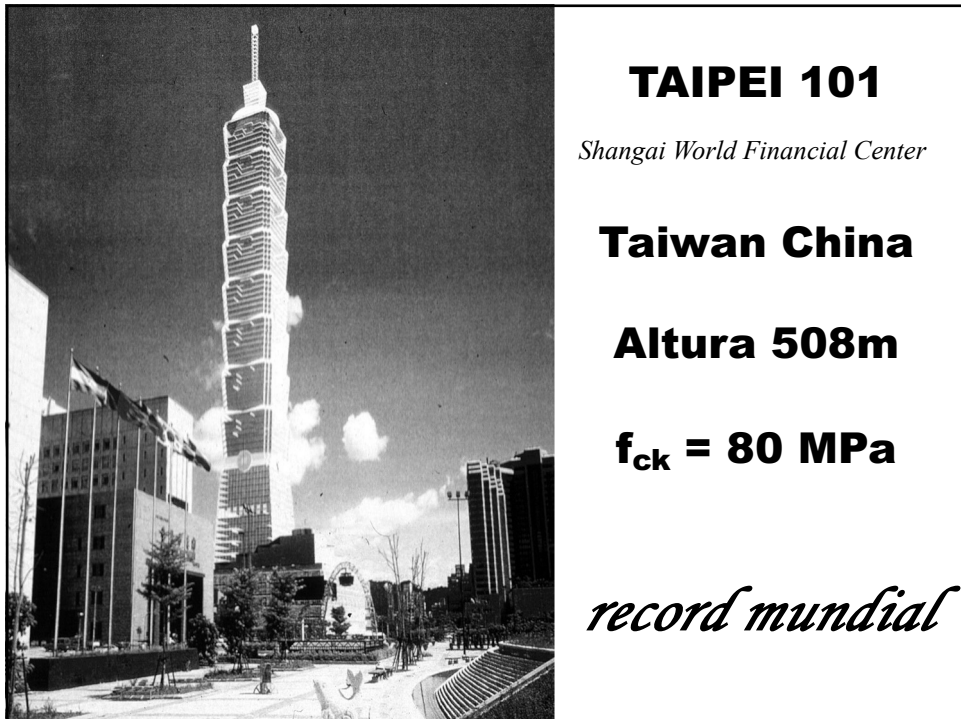
21



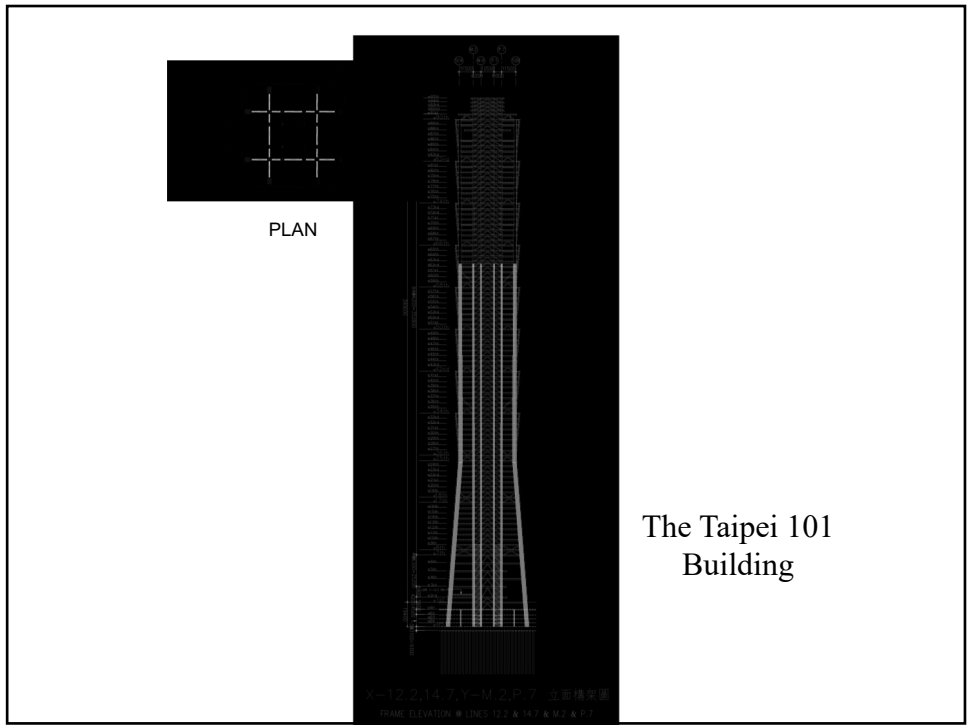
22



23

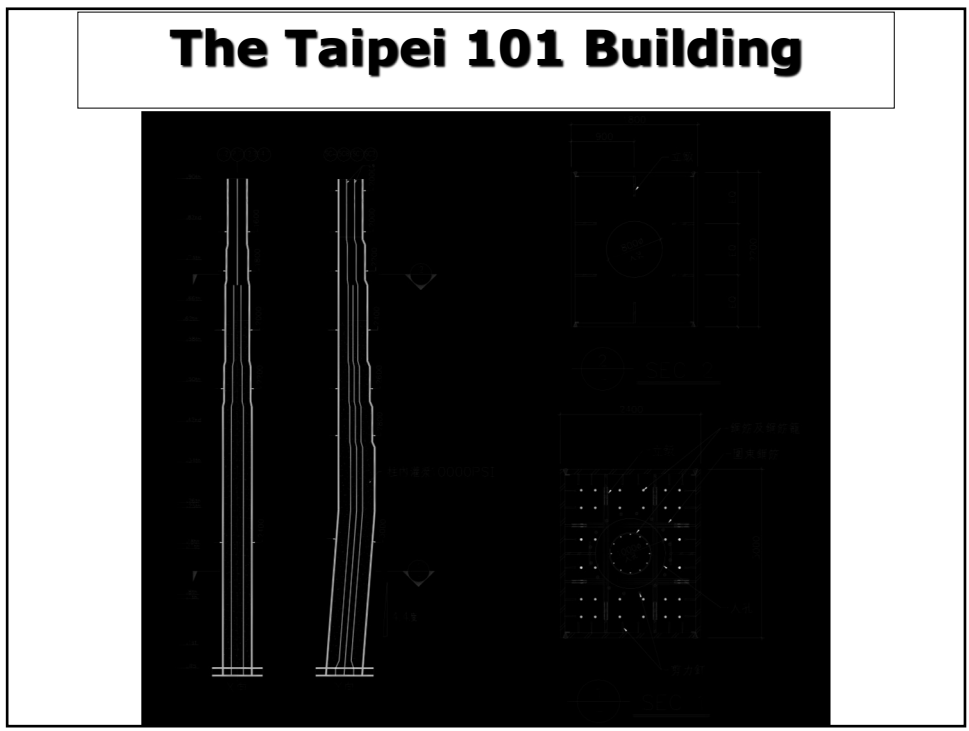


24

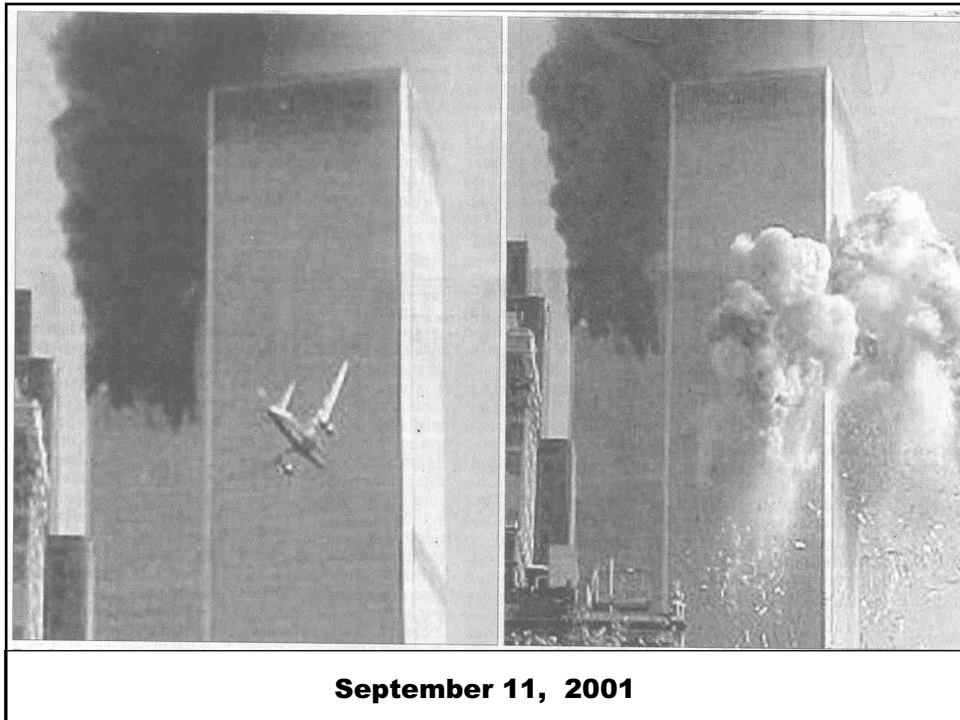


The Taipei 101 Building

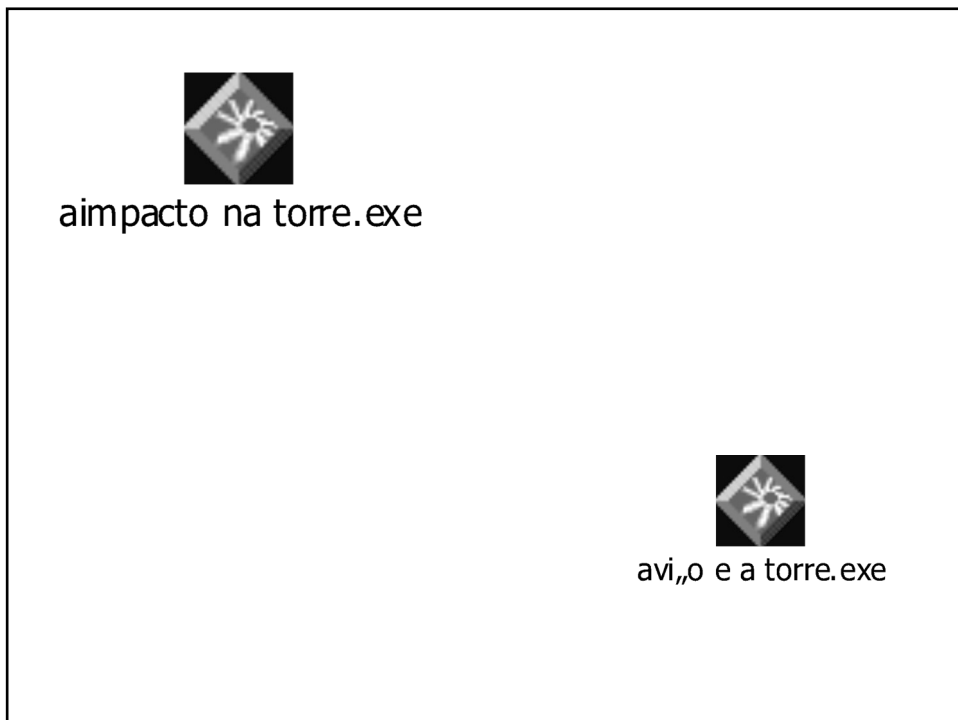
25



26



27



28

FEMA
Federal Emergency Management
Agency

www.fema.gov

NIST
National Institute of Standards and
Technology

wtc.nist.gov

Port Authority of New York
NYC Building Code

29

6.000 fotos

185 fotógrafos

150h de vídeo

15.000 pag. Depoimentos

17.000 ocupantes

8.500 cada (99% abaixo saíram)

93% nunca usaram escada

WTC 1 → 1560; WTC 2 → 599

bombeiros → 433

30

WTC 1 → 103 min

WTC 2 → 56 min

WTC 7 → 5h

Projeto WTC 1 e 2 → 1964

- **impacto boeing 707 a 960 km/h**
 - **sem incêndio**
- **1,25cm argamassa projetada → hoje é 5cm**
 - **inovador sem ensaios**
- **NYC Building Code adotava 1h → hoje 3h**

31

Resistência e Estabilidade

- **medidas indicaram que o impacto do Boeing 767-200ER acarretou vibração semelhante a de um terremoto de índice 2,4**
- **vibração induzida teve amplitude da ordem da metade da máxima considerada por efeito de vento**
- **período de oscilação equivalente ao do edifício íntegro**

32

Piores Consequências do Impacto

- **descolou proteção térmica**
- **comprometeu sprinkler e água**
- **espalhou combustível**
- **aumentou ventilação**

33

Incêndio

- **temperaturas altas da ordem de 1.100°C**
- **combustível queimou rápido**
- **carga térmica alta do prédio e do avião**
- **poucas paredes para cortar propagação**
- **transmissão rápida a vários pisos**
-

34

Incêndio

- **temperaturas altas da ordem de 1.100°C**
- **combustível queimou rápido**
- **carga térmica alta do prédio e do avião**
- **poucas paredes para cortar propagação**
- **transmissão rápida a vários pisos**
- **WTC 7 incêndio após queda 7, 8, 9, 11, 12, 13, 22, 29, 30 colapso progressivo**
-

35



Acrobat Document

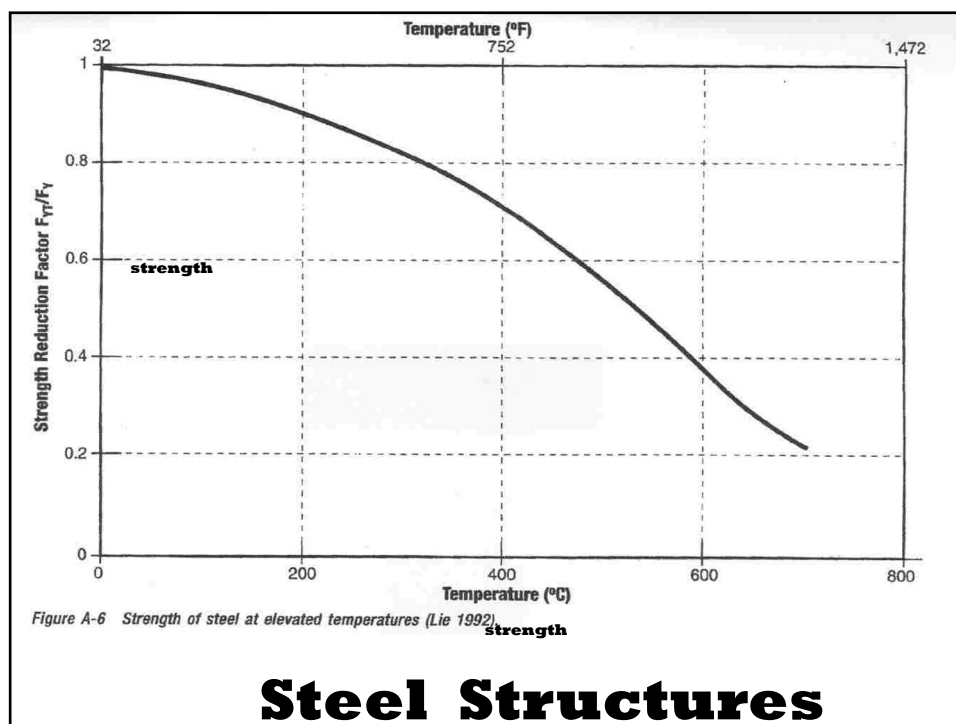


Acrobat Document

36

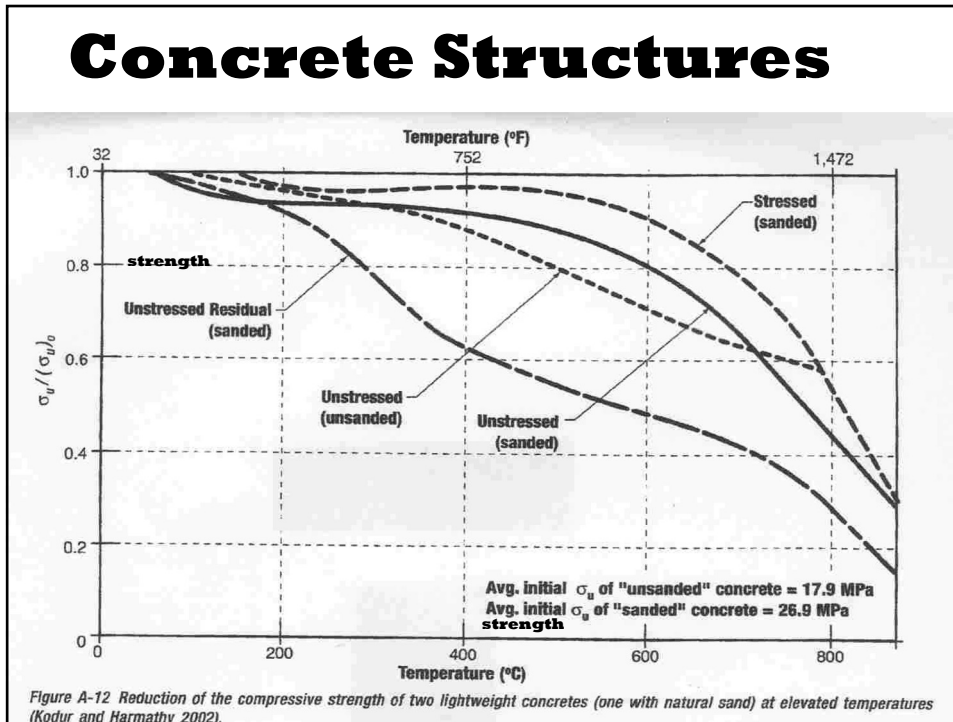
Resistência a Incêndio e Temperaturas Elevadas

37

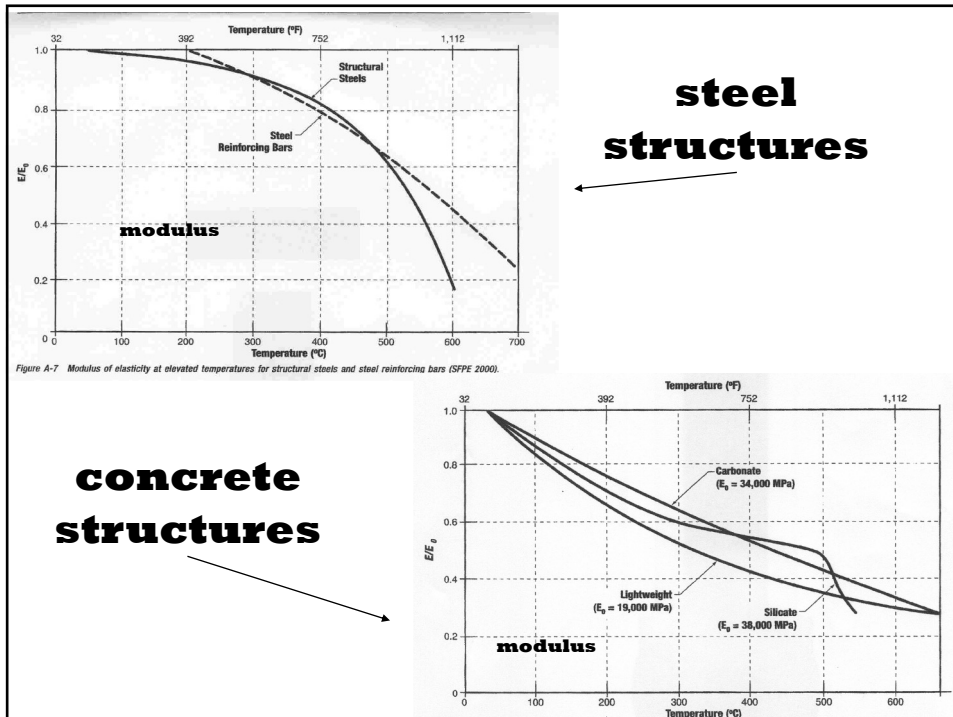


38

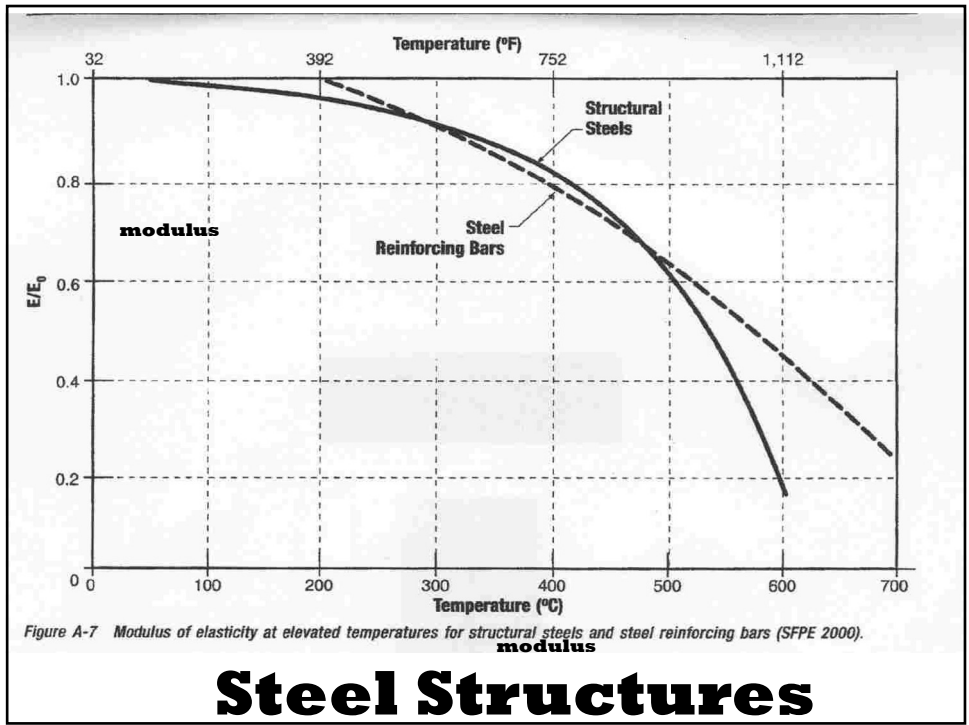
Concrete Structures



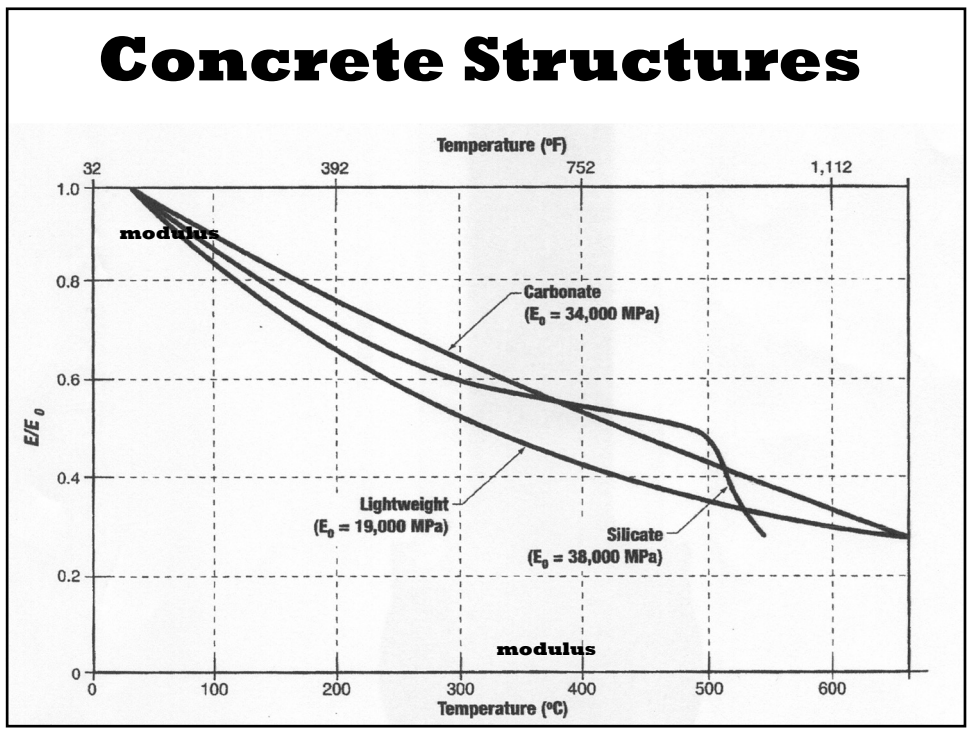
39



40

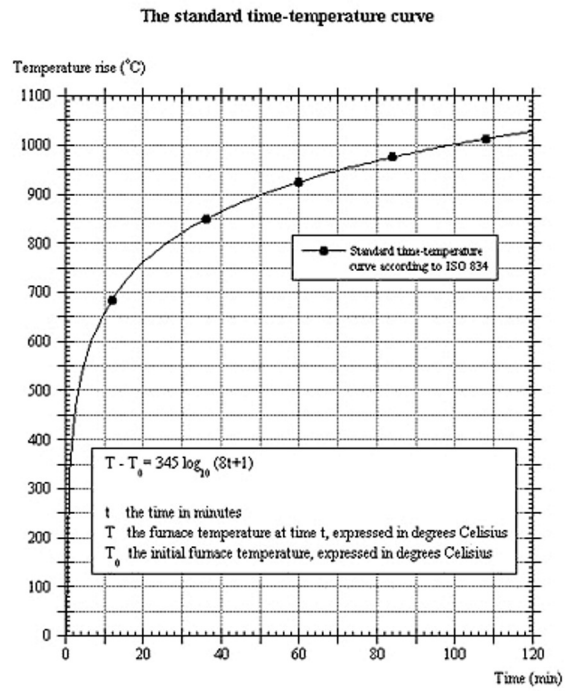


41



42

**Crescimento
da
Temperatura
ASTM E 119**



43

Distribuição da temperatura nos perfis metálicos

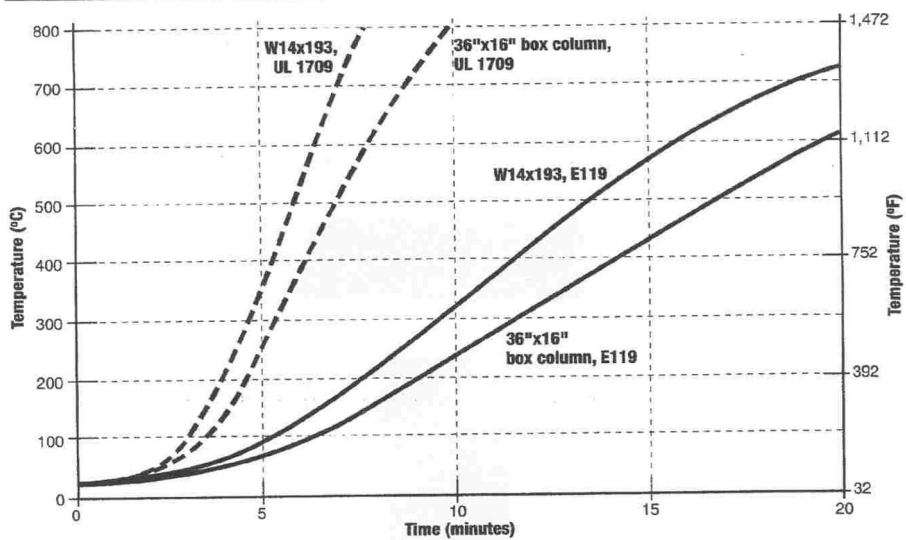
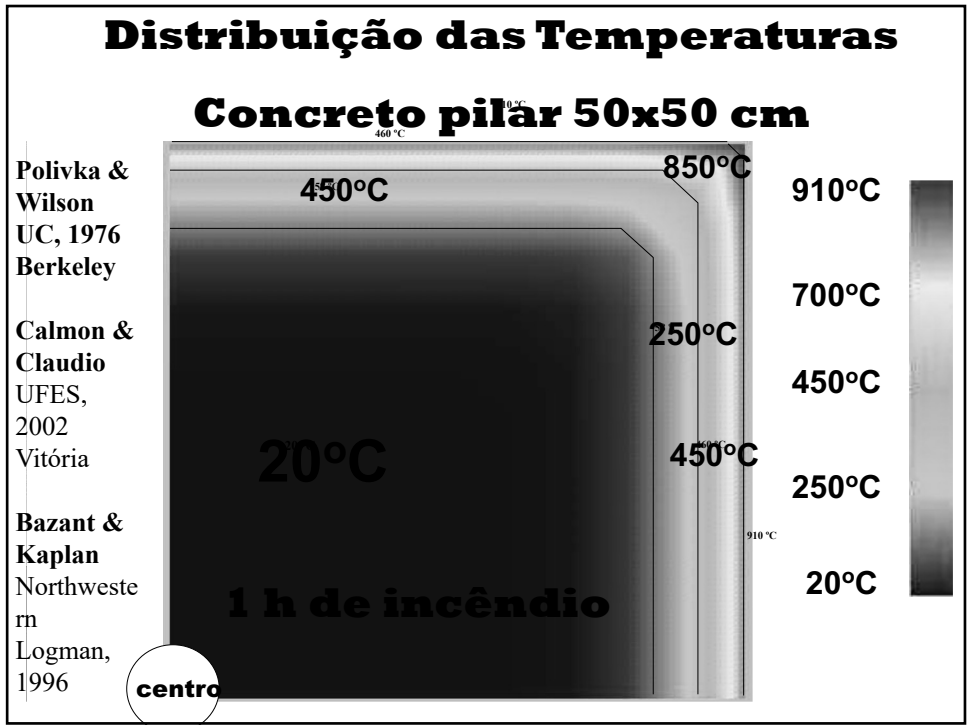
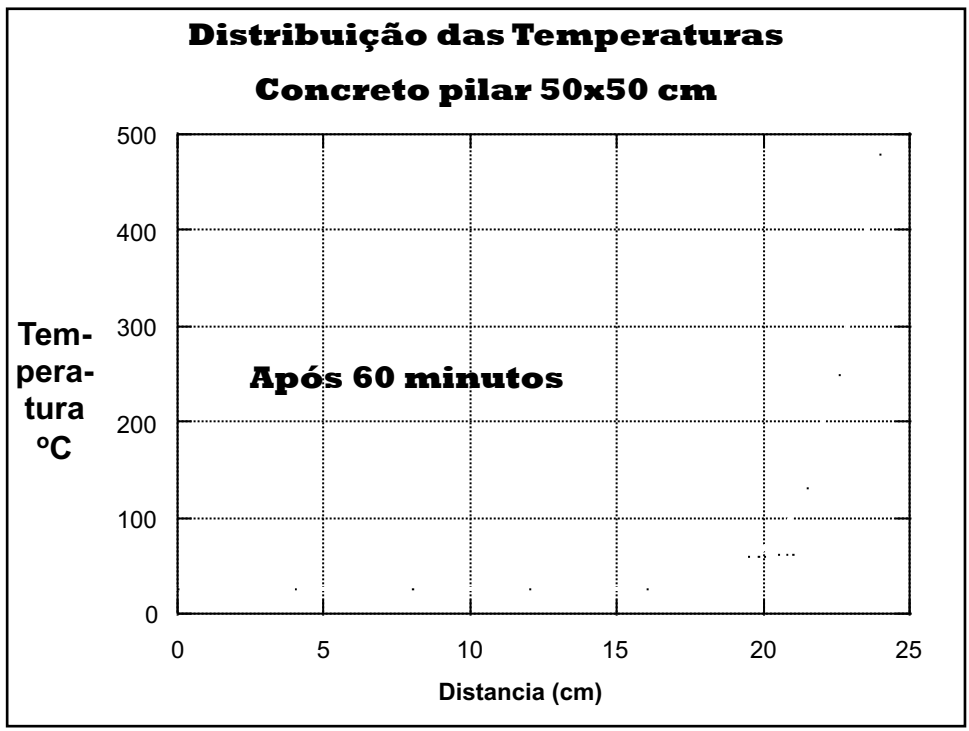


Figure A-9 Steel temperature rise due to fire exposure for unprotected steel column.

44



45



46

**Soluções
Inovadoras
Ensaio de
Incêndio
Colapso
Progressivo
Compartimentação**

47