

**Escola de Engenharia Civil
Universidade Federal de Goiás**

CAD.HPC
**“Projeto, Construção,
Pesquisa e Recordes”**

Paulo Helene

*Civil Eng., MSc, PhD, Full Professor, University of São Paulo
Deputy Chairman of fib (CEB-FIP) Commission 5 "Structural Service Life Aspects"
Chairman of REHABILITAR Network CYTED
Director of GLARilem
IBRACON Conseil Director*

02 de Julho de 2003

UFG

Goiânia, Goiás

1



Red REHABILITAR

Red XV.F

Programa XV

Corrosión e Impacto Ambiental sobre los Materiales

CYTED

Ciencia y Tecnología para el Desarrollo

15 países

más de 45 expertos

**Manual de Rehabilitación de Estructuras
(Reparación, Refuerzo y Protección)**

www.rehabilitar.pcc.usp.br

2



Universidade de São Paulo
Escola Politécnica
Programa de Pós Grado en Ingeniería Civil
Maestría y Doctorado
Materiales, Construcción, Estructuras, Medio
Ambiente, Cimentaciones, Urbanización, Gestión
Economica y de Producción

www.poli.usp.br
www.pcc.usp.br

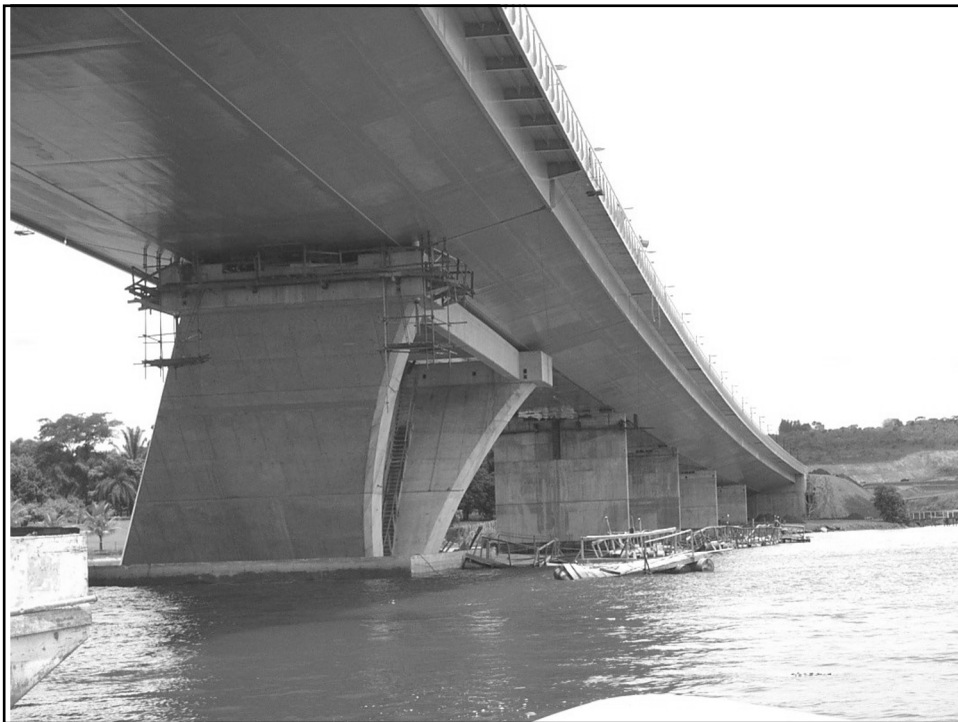
3



4



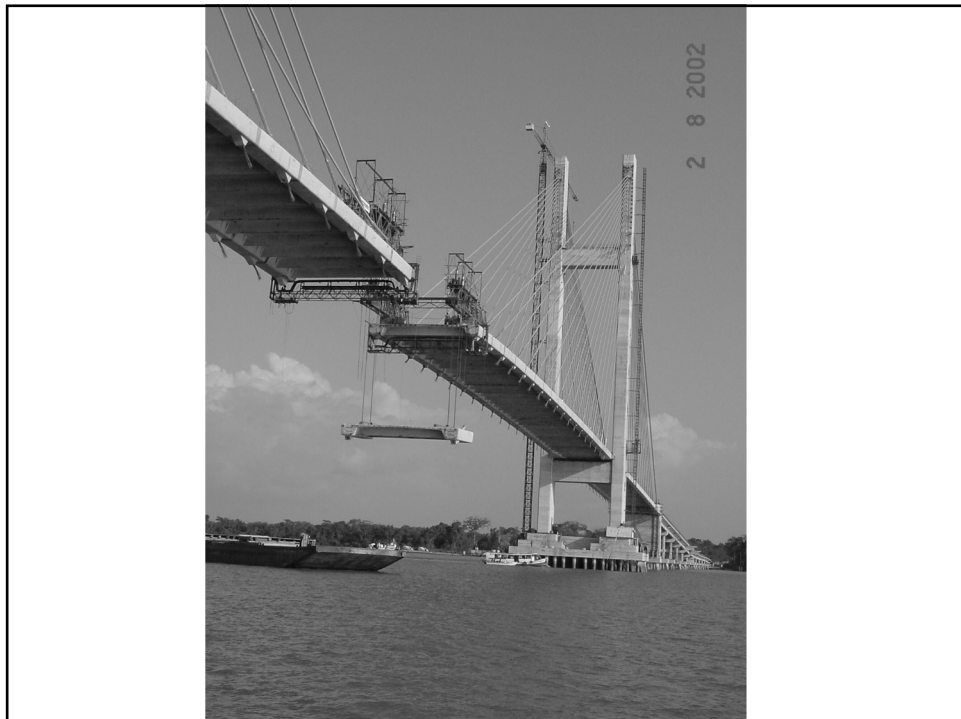
5



6



7



8



9



10



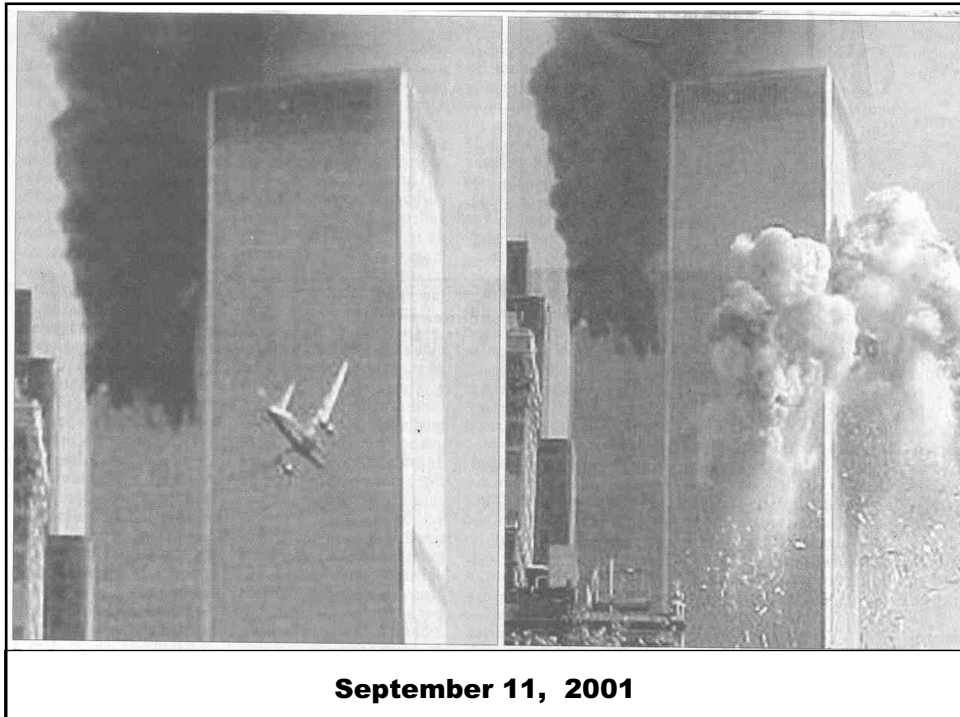
11



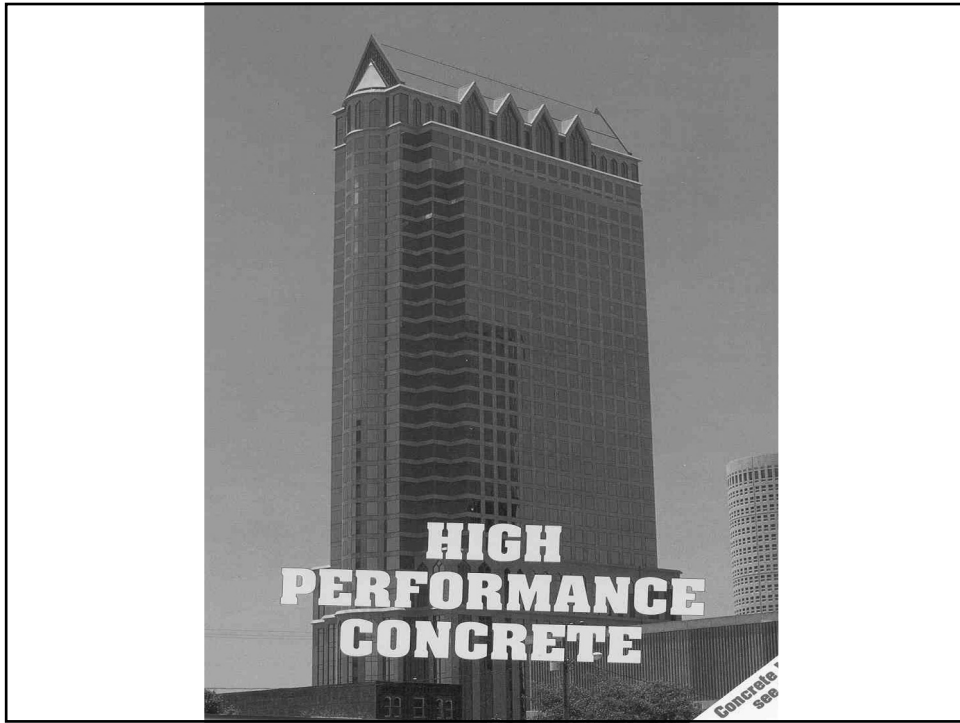
12



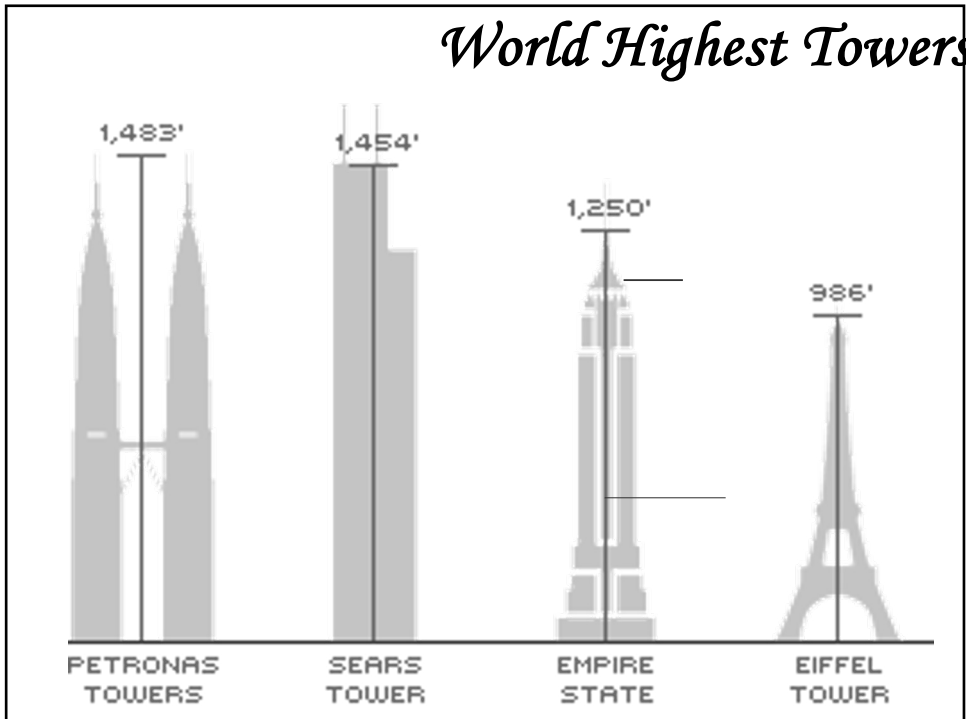
13



14



15



16



Petronas Towers

Kuala Lumpur

Malásia 1999

Altura 452 m

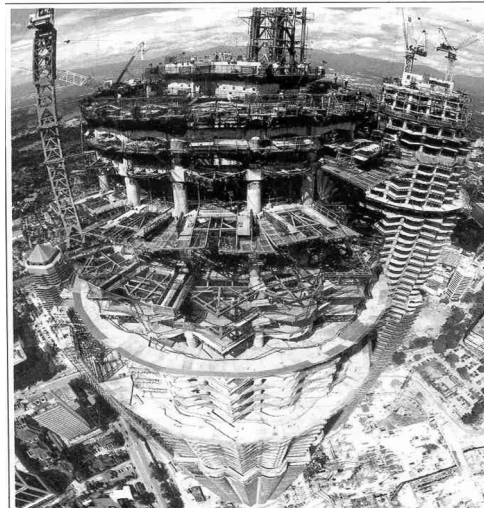
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

record mundial

17

Malasia rompe la barrera de los 450 mts. de altura*

Se proyecta al futuro construyendo torres de concreto



Nadine Post y i

Las torres más altas, más que por alcanzar, forman parte de i para transferir tecnología y tr todo un país. Dos rascacielos de ellos casi nueve metros m la torre Sears de 443 m qui récord de altura, se están co no en Chicago ni en Nueva y otro lado del mundo en Kua la capital de Malasia. Esta resi del sureste de Asia con 19 habitantes está venciendo toda en su búsqueda del desarrollo.

Un consumo voraz de nuev gías importadas y de experien jeras está ayudando a Malasi su ambición de llegar a ser naciones más desarrolladas p 2020. Por otro lado, el pro Centre de Kuala Lumpur (Kl cubre 1.7 millones de metros e incluye a las torres gemelas f 451.9 m de altura, sede de nacional petrolera, está cor ampliamente a alcanzar esa m

Además de las dos 218,000 m² cada una, la del desarrollo de un millón de

18



**Salvo Palace
Tower**

Montevideo

Uruguay 1926

Altura 103 m

$f_{ck} = ?$

record mundial

19

**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**

20

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”**

21

Torre de Babel

Iraque 580 A.C.

Arquiteto Ninrode

**Jardins Suspensos da Babilonia
sobre colunas de 100m
Nabucodonosor & Anitis**

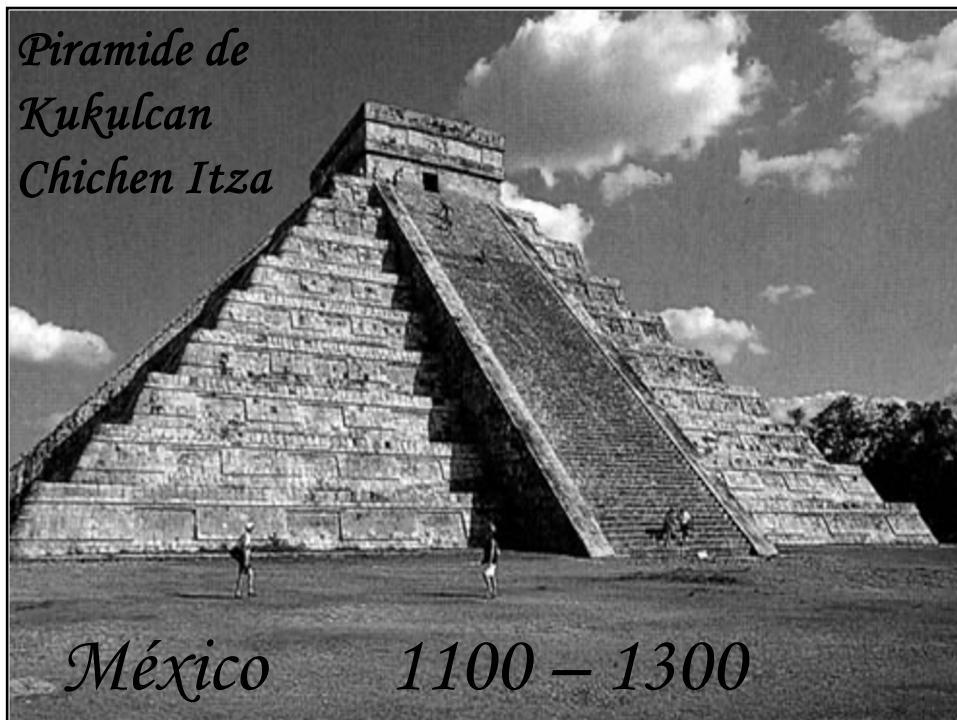
22



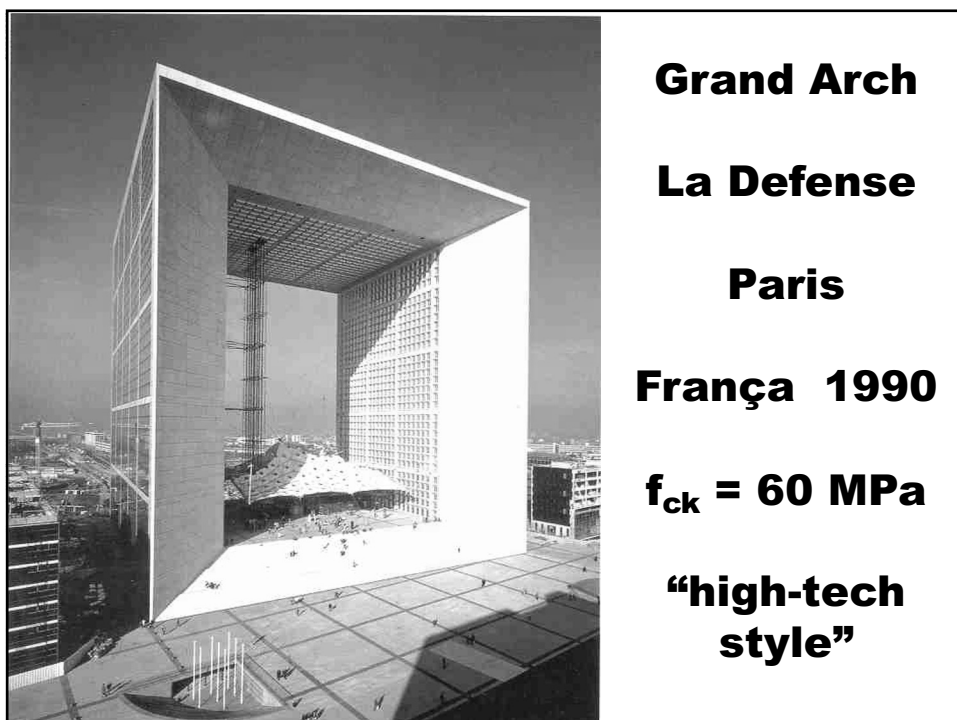
23



24



25



26

*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

27

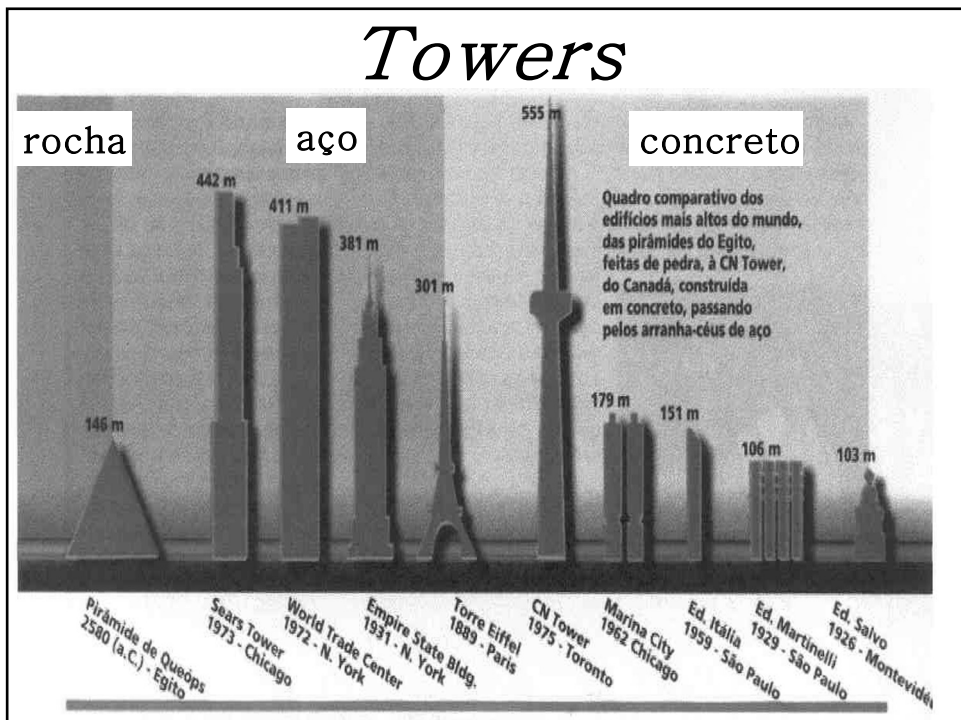
Los concretos que se usaron en su mayoría fueron diseñados para 350 kgf/cm², hubo muchos problemas en los vaciados de pantallas sobre todo en las de menor espesor (20 cm), en los sitios con cambios de sección, donde se requería mayor cantidad de acero de refuerzo, y en los que el concreto no lograba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

28



Buenos Aires, Argentina

29



30

satisfação espiritual mas também atender às necessidades atuais

- **Segurança estrutural**
- **Vida Útil**
- **Construtibilidade**
- **Economia**
- **Sustentabilidade**

31



Martinelli Building

São Paulo

Brasil 1928

Altura 106 m

$f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}$

32



Martinelli

Building

$f_{ck} = 13.5 \text{ MPa}$

75 anos!!!

HPC ???

33



Vida Útil

- Carbonatação
- Cloretos
- Fuligem
- Fungos
- Lixiviação
- Retração
- Sulfatos
- << pH
- Corrosão
- Fissuras
- Destacamento

34

Cloretos - difusão

$$t = \frac{c_{Cl}^2}{4 \cdot z^2 \cdot D_{ef,Cl}} \text{ (anos)}$$

$$c_{Cl} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$$

$$D_{ef,Cl} \rightarrow 0,15 \text{ a } 2,7 \text{ cm}^2/\text{ano}$$

35

Cloretos - difusão

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 4 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 23 \text{ anos}$$

36

Carbonatação

$$t = \frac{e_{co2}^2 \text{ (anosr)}}{k_{co2}^2}$$

➤ $e_{co2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{co2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

37

Carbonatação

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$

$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ anos}$

$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$

38



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

Torre Norte

**São Paulo
1998**

Altura 179 m

$f_{ck} = 50MPa$

39

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, integridade e durabilidade precisa do Engemix. Como o Engemix é produzido, segundo a receita e o desenvolvimento da Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, em São Paulo, o Engemix é o concreto de alta resistência que garante a segurança e a durabilidade da Torre Norte.

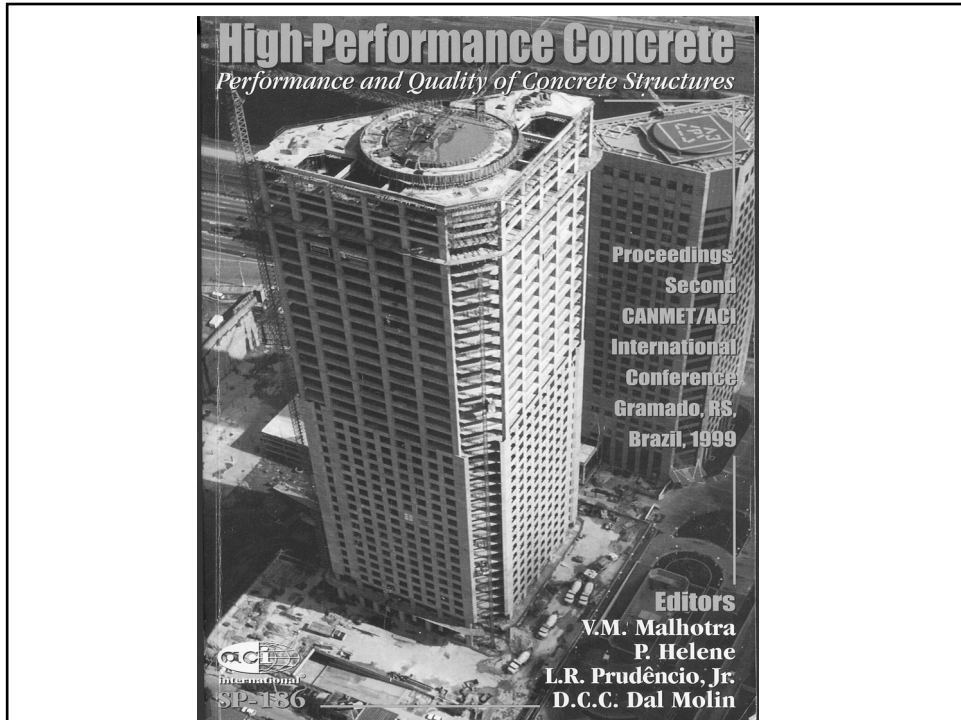
O resultado é que hoje o Centro Empresarial Nações Unidas é o edifício mais seguro e durável do mundo. E isso é graças ao Engemix.

Em meio de tudo, quem sabe qual é o melhor concreto? O Engemix. Porque o Engemix é o concreto de alta resistência que garante a segurança e a durabilidade da Torre Norte.

Quem precisa de solução segura em concreto não corre riscos. Corre o Engemix.

CONCRETO ENGEMIX

40



41



42

PLAZA CONTINENTAL
São Paulo Brasil

- **Caesar ark Hotel**
- **Apart Hotel**
- **Torre de escritórios**
- **Academia de Ginástica**

43

Plaza Continental

altura 100m

12 meses 34,000 m³

pilares $f_{ck} = 50$ MPa

lajes e vigas $f_{ck} = 35$ MPa

44

Por quê HPC. CAD?

Comparando com $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

▼ armadura:	- 13%
▼ concreto:	- 19%
▼ produtividade:	- 9%
▼ custo estrutura:	- 9%
▼ Economia:	
▼ US \$ 270,000	

45

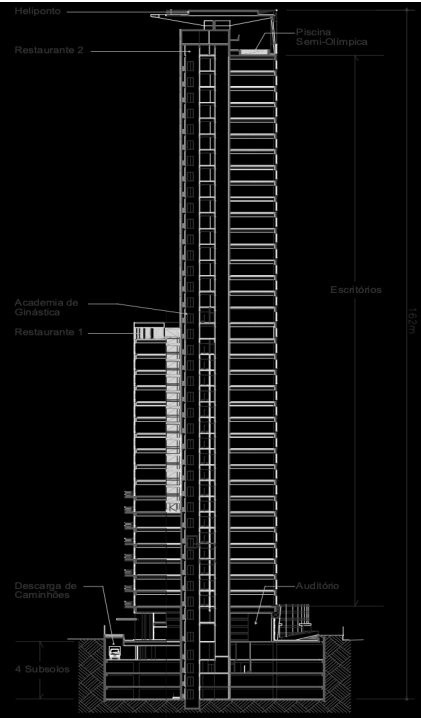


46

e-Tower

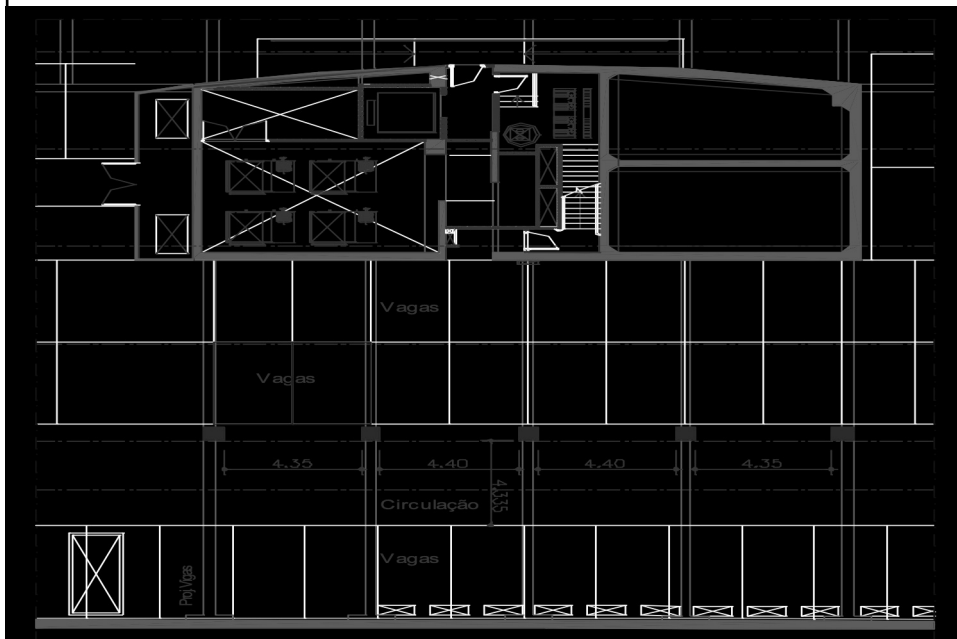
São Paulo

- 52.000 m² área construída
- 42 andares (4 sub solos)
- 800 vagas de garagem
- 02 restaurantes
- Acad. ginástica (19°)
- Piscina semi olímpica (38°)

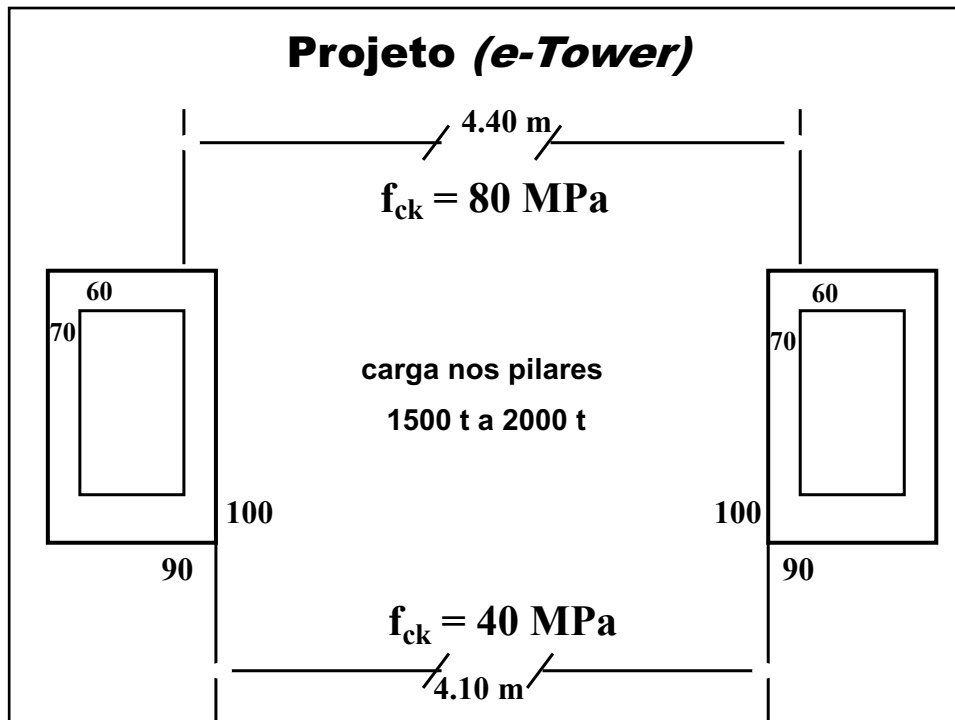


47

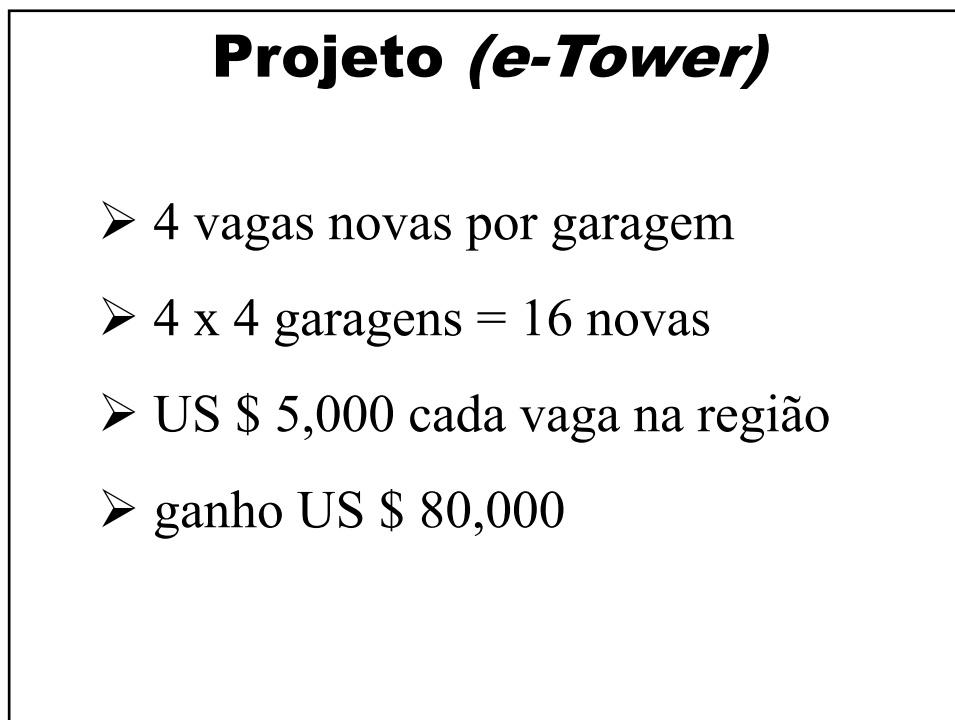
Projeto (*e-Tower*)



48



49



50

Projeto (*e-Tower*)

- inicial seção transv. = $90 \times 100 = 0.9 \text{ m}^2$
- final seção transv. = $60 \times 70 = 0.42 \text{ m}^2$
- economia = $0.9 - 0.42 = 0.48 \text{ m}^2$
- 53% volume de concreto
- custo C80 = 45% mais que C40
- economia de 8% no concreto

51

Concrete Design

Materials & Lab. Tests

Concrete Lab. Composition

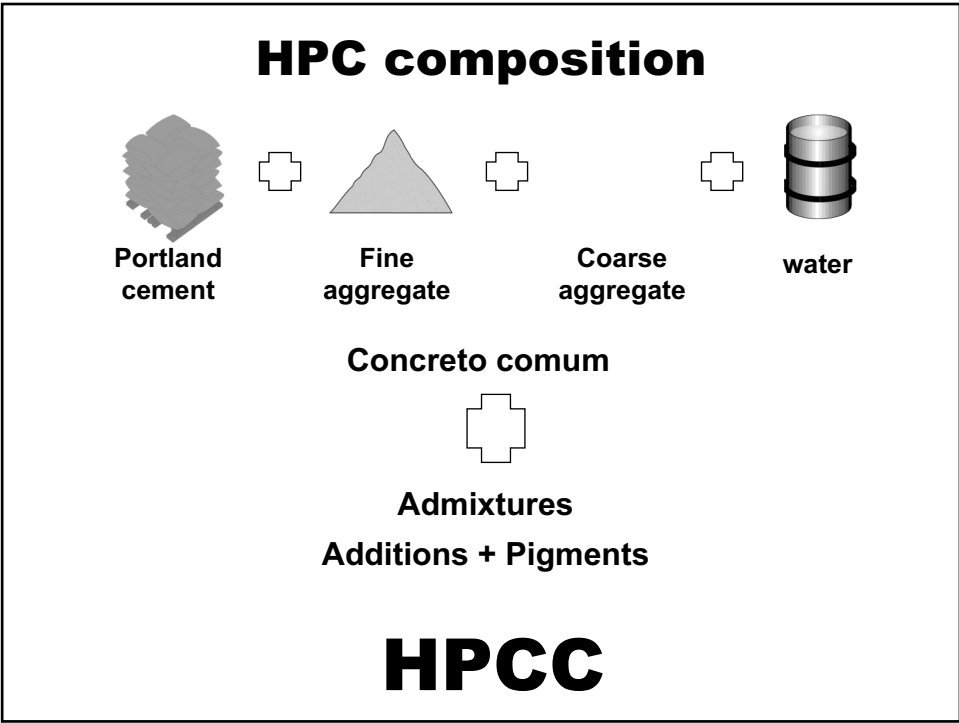
Concrete Mixed in Trucks

Casting Columns in Parking Area

Por quê ??

**Resistências, cor,
trabalhabilidade, temperatura**

52



53

POLICARBOXILATO

$$\left[\begin{array}{c} \text{CH}_2 - \text{CH} \\ | \\ \text{C=O} \\ | \\ \text{OCH}_3 \end{array} \right]_n - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \begin{array}{c} | \\ \text{C=O} \\ | \\ \text{OCH}_2\text{CH}_2(\text{EO})_{12}\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O} \end{array}$$

(a) Monômero de um policarboxilato

- Conhecidos comercialmente como de 3ª geração;
- Redução de até 40% de água da mistura
- Possuem grupos carboxílicos COOH;
- Cadeia lateral longa.

(b) Esquemática da molécula

54

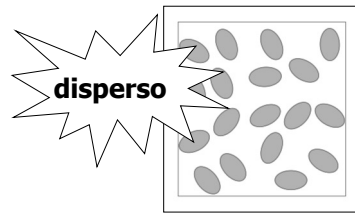
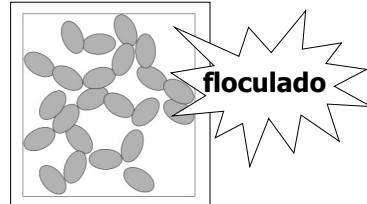
superplasticizer

Cimento Portland + Água

↓
Floculação

↓
aprisionamento de água
entre os grãos de
cimento

↓
redução da fluidez e da
área específica disponível
para hidratação



55

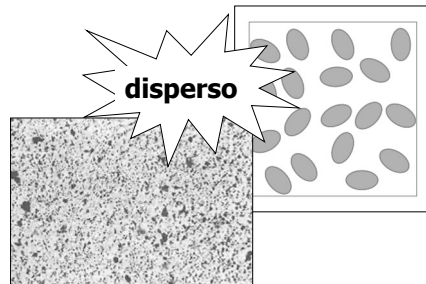
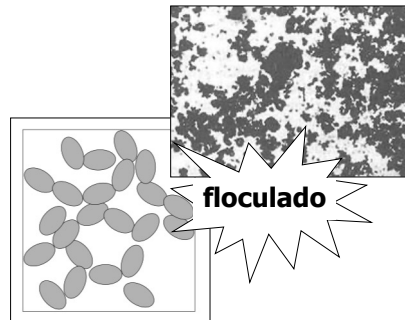
superplasticizer

Cimento Portland + Água

↓
Floculação

↓
aprisionamento de água entre os
grãos de cimento

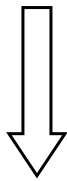
↓
redução da fluidez e da área
específica disponível para
hidratação



56

Mineral Additions

Para obter maior
compacidade e maior
resistência mecânica



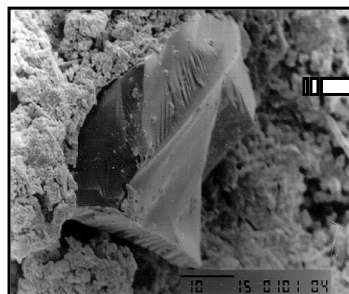
adição de minerais ativos

Metakaolim and silica fume

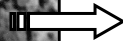
- estrutura mais compacta
- reagem com a cal livre melhorando a resistência e durabilidade.

57

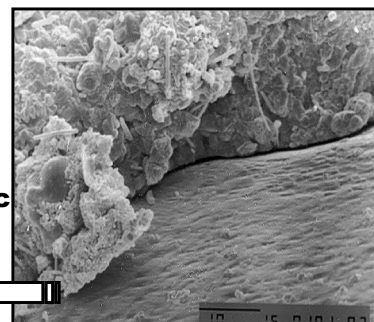
MINERAL ADDITIONS



Aumento 1500x

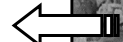


Conventional Concrete



Aumento 1500x

Concrete with
Metakaolin &
Silica Fume



58

RED PIGMENT

- ✓ Iron oxide Fe_2O_3 > 98%
- ✓ grau 8 de solidez a luz solar
- ✓ 0,5% de sais solúveis
- ✓ 99,95% diâmetro de partícula < 0,045mm (#325) 0,05% de retenção
- ✓ Densidade 4.500 kg/m³
- ✓ Formato Partícula: Esférica
- ✓ EN 12878 y ASTM C 979

59



60

Casting Columns in Parking Area

61

Materials



62



63



64



65



66



67



68

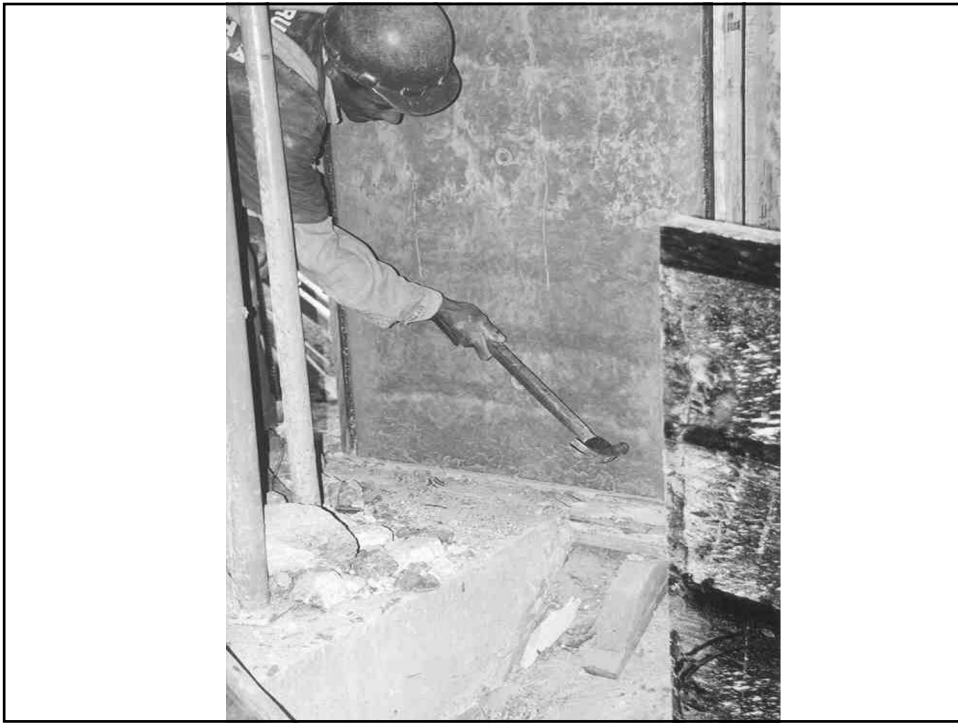


69

Tempo e temperatura

Controle de tempo	
Horário de início da mistura	12:55
Horário da saída da central	13:35
Horário chegada obra	14:30
Horário término da concretagem	16:00
Temperatura concreto na chegada na obra	
37,5 °C	

70

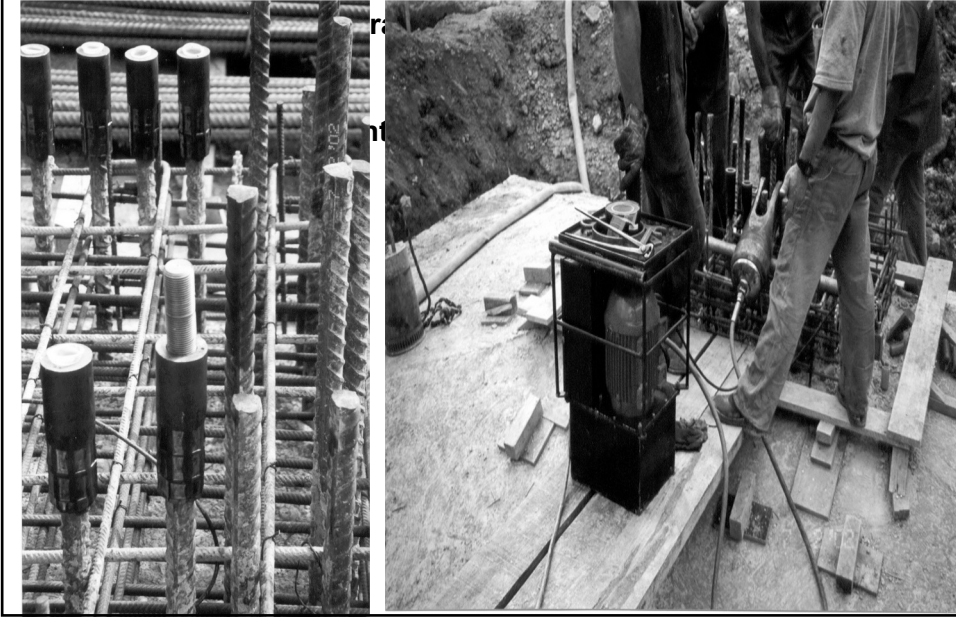


71



72

ARMADURA



73

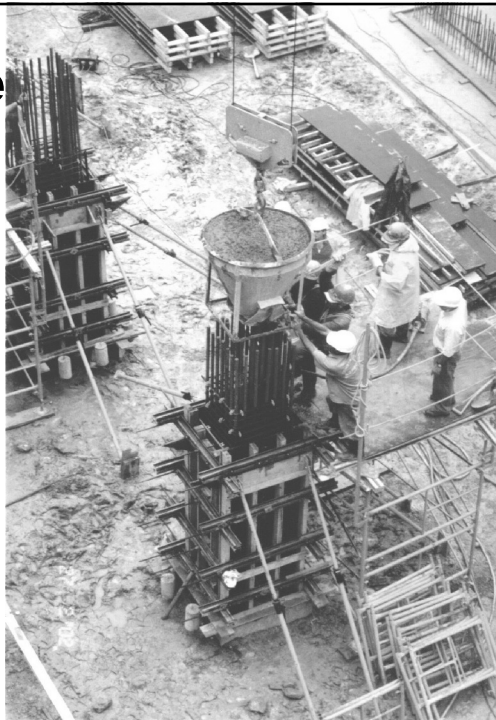
Construtibilidade



74

produtividade

- ✓ **5.5 m lançamento**
- ✓ **zero bicheiras**
- ✓ **rapidez**
- ✓ **acabamento**

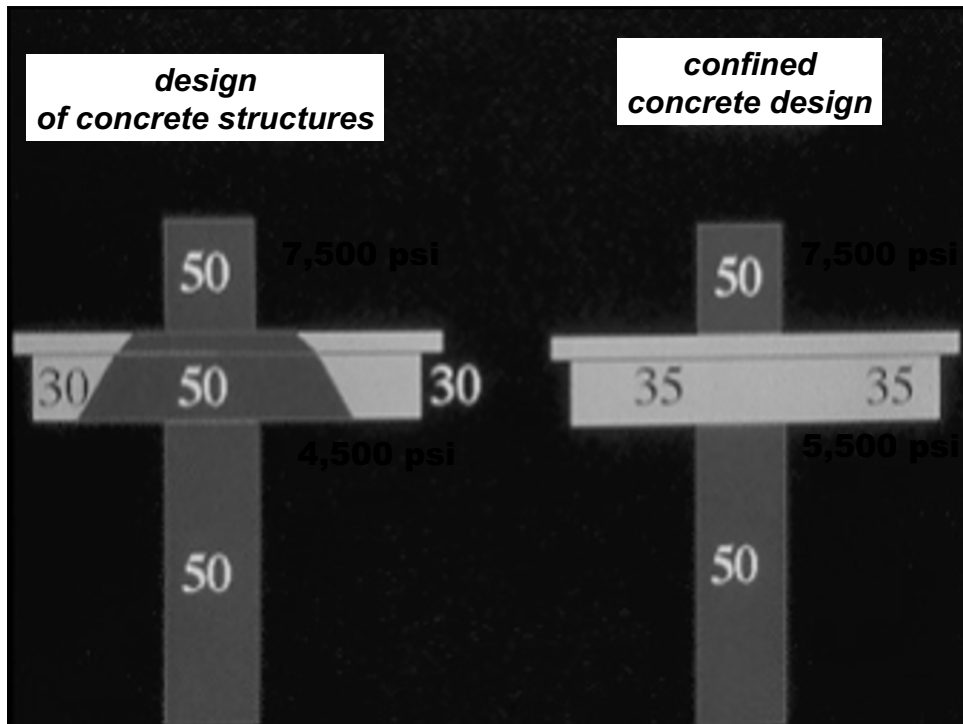


75

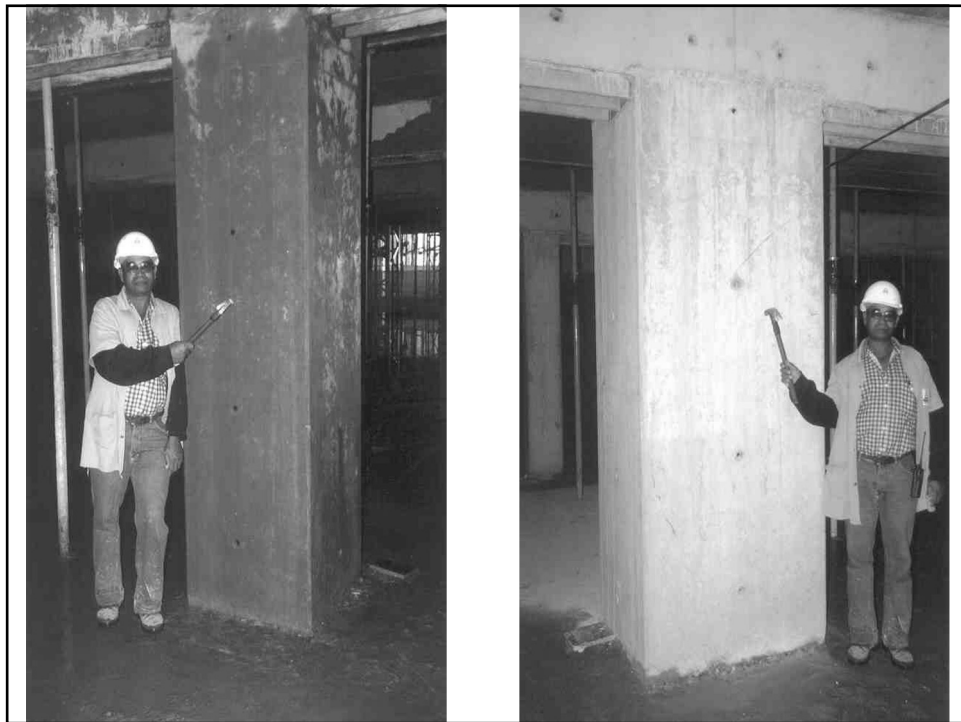
Pilares em concreto de alto desempenho



76

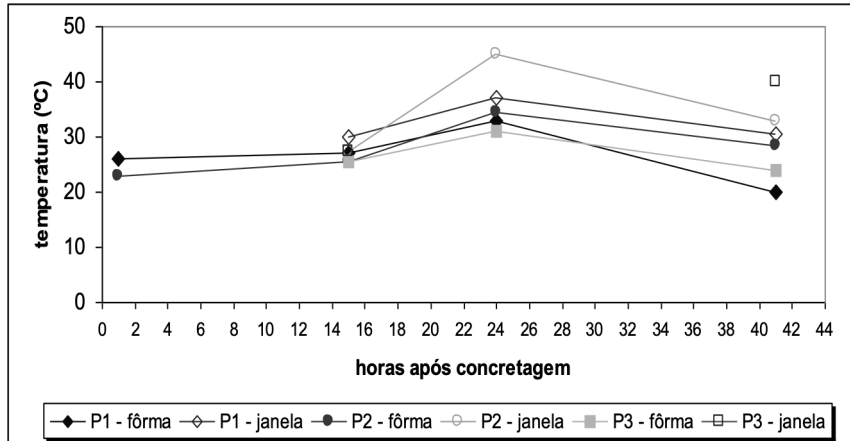


77



78

Temperatura



P1 = 133 P2 = 134 P3 = 135

79

Dosagem

materiais	teor	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m ³	460 cim. + 163 escória
adição	0,15	93 kg/m ³	silica & metacaulim
agregado graúdo	1,65	1.027 kg/m ³	basalto, 19mm, MF 6,9, 3.020 kg/m ³
agregado miúdo	0,88	550 kg/m ³	quartz, 2,4mm, MF 2,0, 2.670 kg/m ³
pigmento	0,04	25 kg/m ³	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m ³	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m ³	acido hydrocarboxálico
água	0,19	135 kg/m ³	A / C = 0,19

80

Two Union Square Seattle 1998

f'_{ca}	119 MPa
Cement	513 kg/m³
Microssilica	41 kg/m³
Coarse aggregate	1,195 kg/m³
Fine aggregate	682 kg/m³
Superplasticizer	16 kg/m³
Retarder	nihil
Water	130 kg/m³
W / C	0.25
W / C_m	0.23

81



82

CONTROLE



Resistência
à compressão

Módulo
de Elasticidade



83



84

Resistência à Compressão							
Lote	Local	f_{ck} (MPa)	exemplar	Média	Desvio padrão	Coef. Variação	fck est
1	4º SS	80	4	142,6	7,0	5%	133
2	3º SS	80	4	127,0	5,0	4%	122
3	2º SS	80	4	124,6	7,5	6%	119
4	1º SS	80	4	126,6	5,5	5%	120
5	Térreo	80	8	128,4	7,5	6%	123
6	1º pavimento	80	7	127,4	7,9	6%	110
7	2º pavimento	80	4	125,4	7,1	6%	118
Desvio padrão e coef. variação médio ponderado					7,0	5,5	118

85



86

Claim ID: 22678
Membership Number: 22322

Thursday, May 16, 2002

Thank you for sending us the details of your recent record proposal for 'Best concrete resistance in a building'. After having examined the information you sent, and given full consideration to your proposal, I am afraid we do think that this item is a little too specialised for a body of reference as general as ours. We receive many thousands of record claims every year and we think you will appreciate that we are bound to favour those which reflect the greatest interest.

Yours sincerely,

Scott Christie
Records Research Services
Guinness World Records

87

Dear Paulo,

I have appreciated to read your letter and description of your very high concrete strength achieved in the very beautiful high rise.

At this stage fib is not really focused on selecting and documenting "World Records" in concrete, concrete structures, height of buildings or free spans of bridges.

However, we have full confidence and trust in the documentation prepared and presented by you.

Therefore, I really would recommend you to write a well documented technical paper for the fib Magazine "Structural Concrete" that could be one very relevant place to publish this fascinating story.

Steen Rostam
fib (CEB-FIP)

88

Paulo:

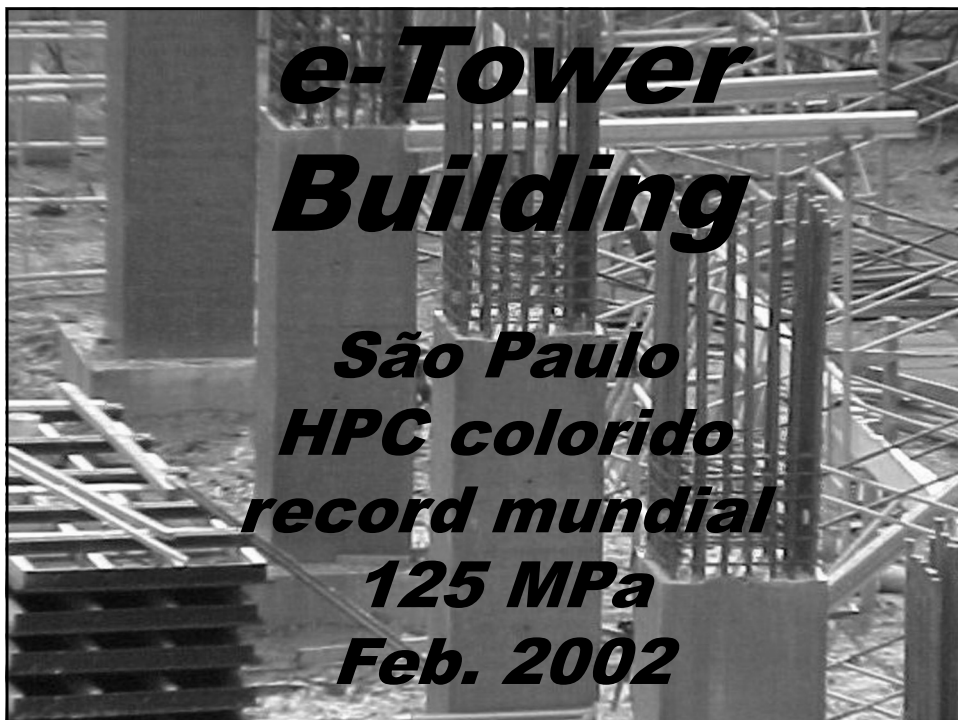
I have received your letter regarding the high-strength concrete record.

You have certainly gotten into HSC in a very big way!

We can discuss later which can be the best way....

**Terry
ACI President**

89



90

Propriedades mecânicas

□ $f_{ck} = 118 \text{ MPa}$ □ $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$

□ $f'_c = 17,000 \text{ psi}$ □ $f'_c = 3,600 \text{ psi}$

f_c	7 days	111	18
f_c	28 days	125	32
f_c	63 days	139	37
f_c	91 days	155	39
E_{ci}	28 days	50	30
f_{ct}	28 days	10	3,1
Ultrassom m/s		4950	3250
esclerometria		52	23

91

Durabilidade

	f_{ck} 125 MPa	f_{ck} 25 MPa
Carbonatação 28+63d 25°C 65% 5%	zero	29mm
Absorção H₂O	0,40%	7,5%
Volume vazios	1%	17,5%
Densidade kg/m³	2530	2310
Absorção capilar	0,1 g/cm ²	2,7 g/cm ²
Ascensão capilar	0 cm	30 cm
Cloretos	43 C	8.400 C
Abrasão cm³/cm²	0,019	0,051

92

**Vida Útil usando
segunda lei de Fick
para agressividade
por carbonatação
980 anos!!!!**

93

**Resistência a
Incêndio e
Temperaturas
Elevadas**

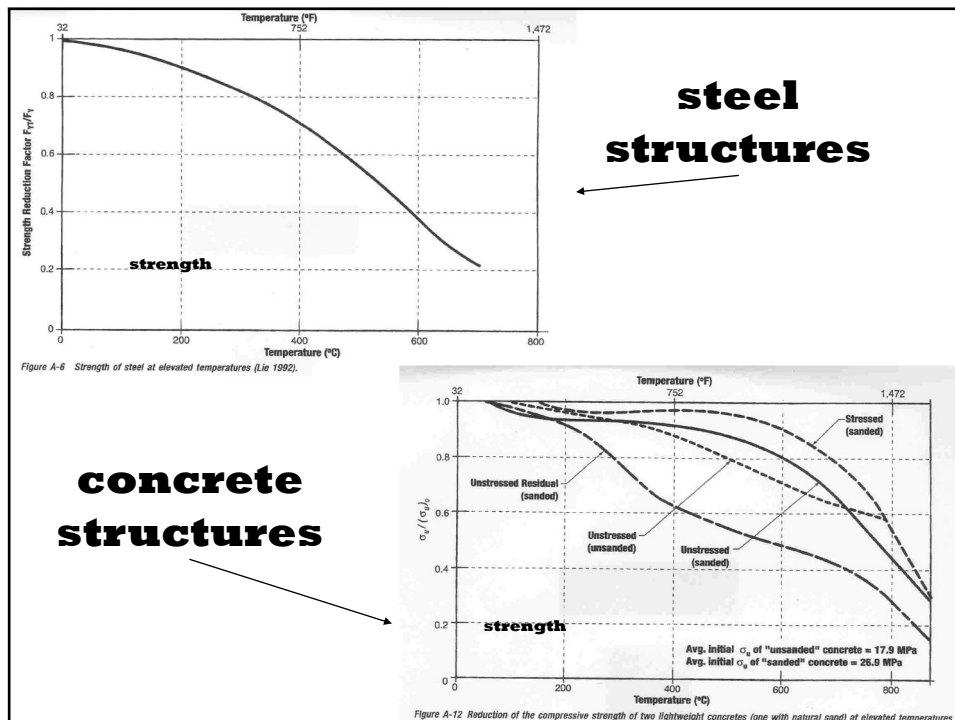
94

NISTIR 6726. National Institute of Standards and Technology, 2001.

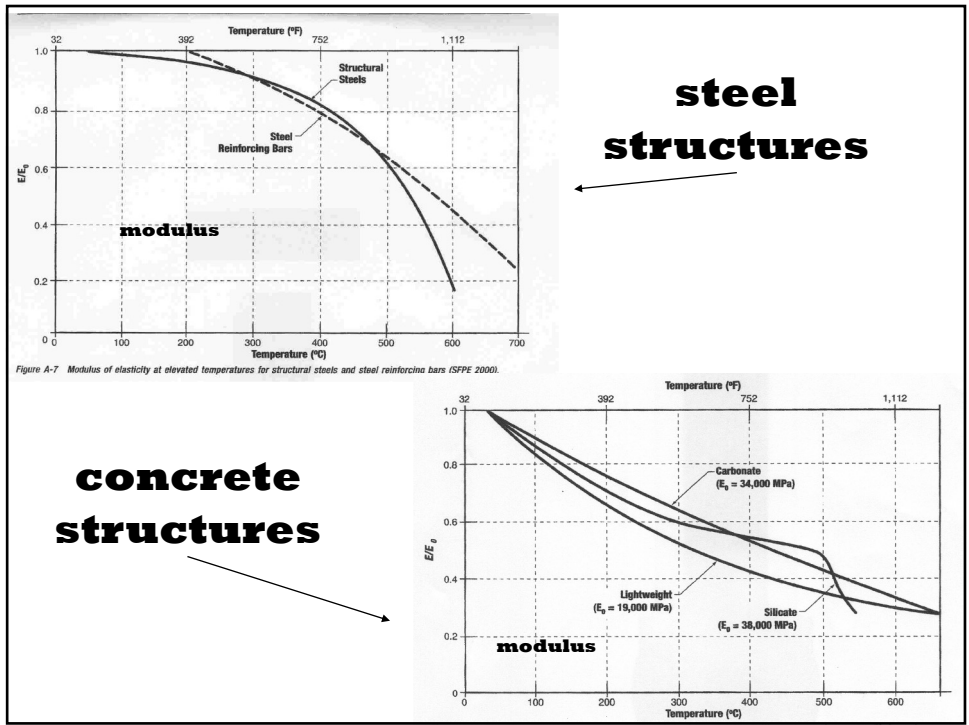
HSC water-cement ratio 0.22 to 0.57, 51 to 93 MPa.

1. High-strength mixtures made with very low w/cm (0.22) showed less strength loss than with 0.33 w/cm.
2. Explosive spalling was observed when the temperature of the specimen center was in the range of 200 and 325 C.
3. Preload seems to have a mitigating effect on the development of explosive spalling.
4. Concrete samples cast with 0.22 w/cm had a greater potential for spalling under unrestrained condition than samples cast with 0.33 w/cm. However, when the test was conducted under restrained conditions, explosive spalling only occurred with samples cast with 0.33 w/cm.

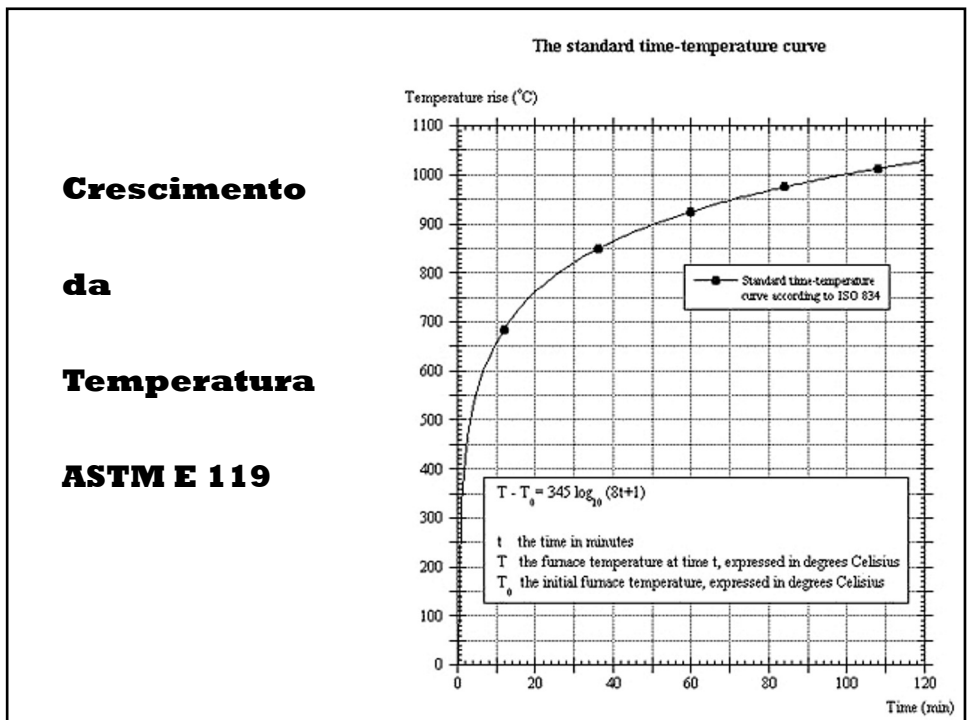
95



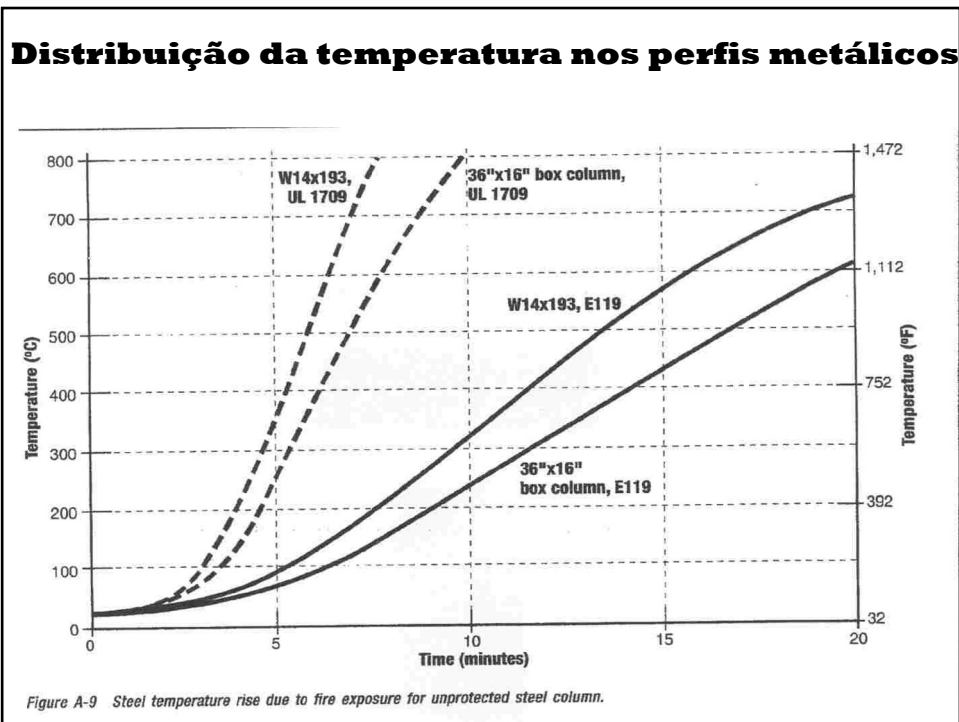
96



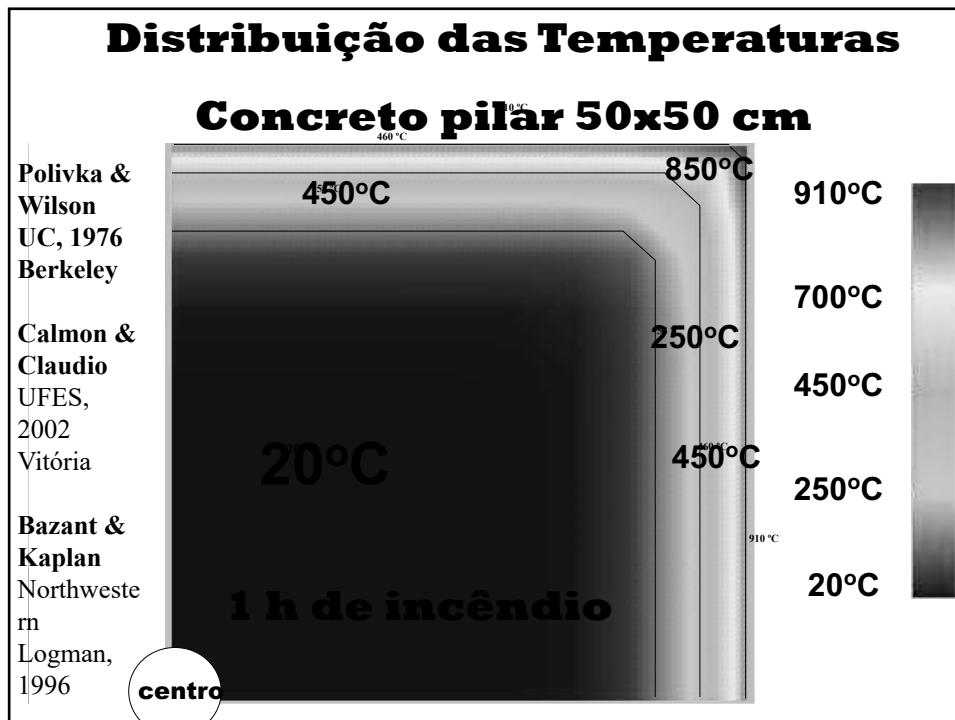
97



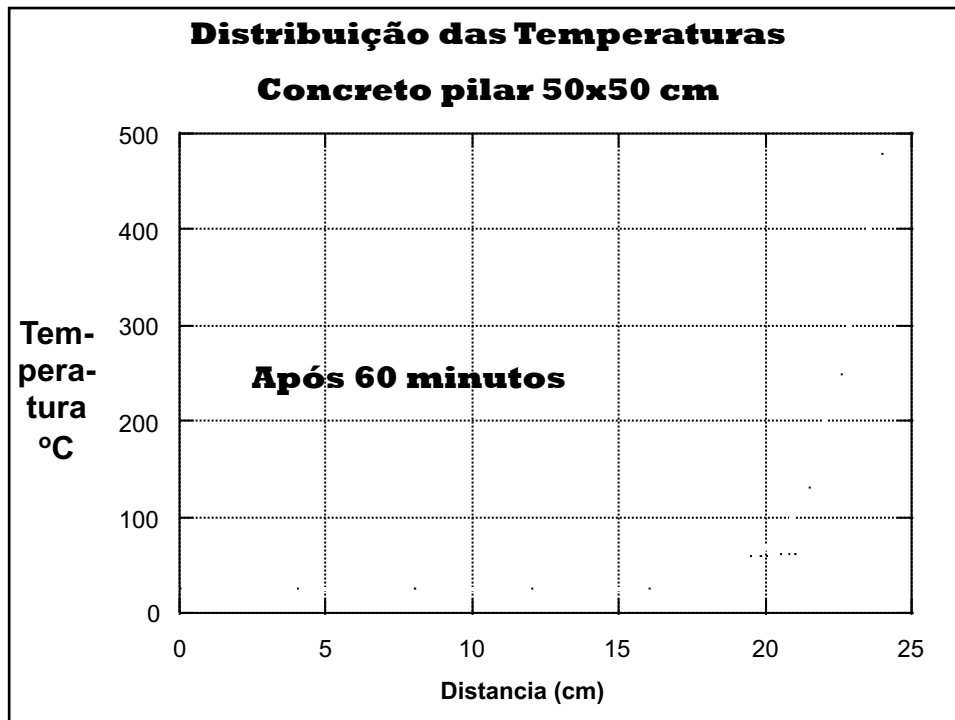
98



99



100



101

Sustanaible Development

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with **500 years** service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

Kumar Mehta

Reducing the Environmental Impact of Concrete
Concrete International. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

102

Os Arquitetos e os Engenheiros Civis constroem os marcos de pujança, de grandeza, de desenvolvimento e de poder das civilizações.

Traduzem sua história, seus sonhos e ideais em majestosas y duráveis obras que elevam a auto estima de seu povo.

103



O HPC é uma das maiores oportunidades atuais de regatar essa importância e vocação da arquitetura e da engenharia civil brasileira

104



***Não basta ser da
Poli....***

***Tem de ser
CIVIL!!***

105