

**FIUBA Facultad de Ingeniería
de la Universidad de Buenos Aires**

CAD.HPC

“Diseño, Investigación, Construcción y Records”

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*

29 Maio 2003 Facultad de Ingeniería de la Universidad de Buenos Aires

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



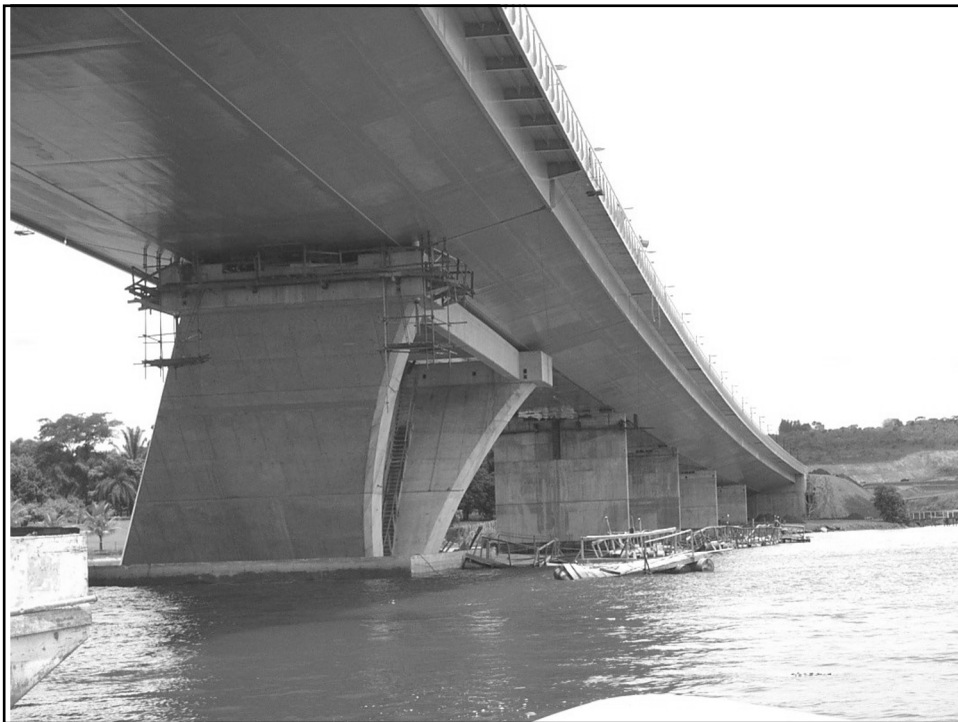
Ponte Brasília

2003

4



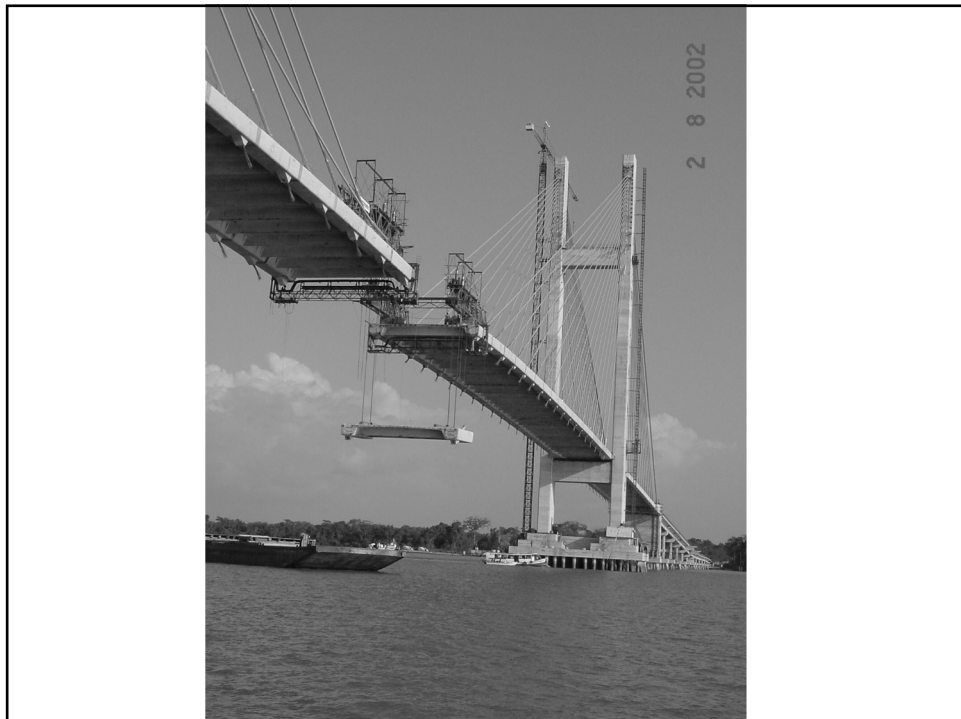
5



6



7



8



9



10



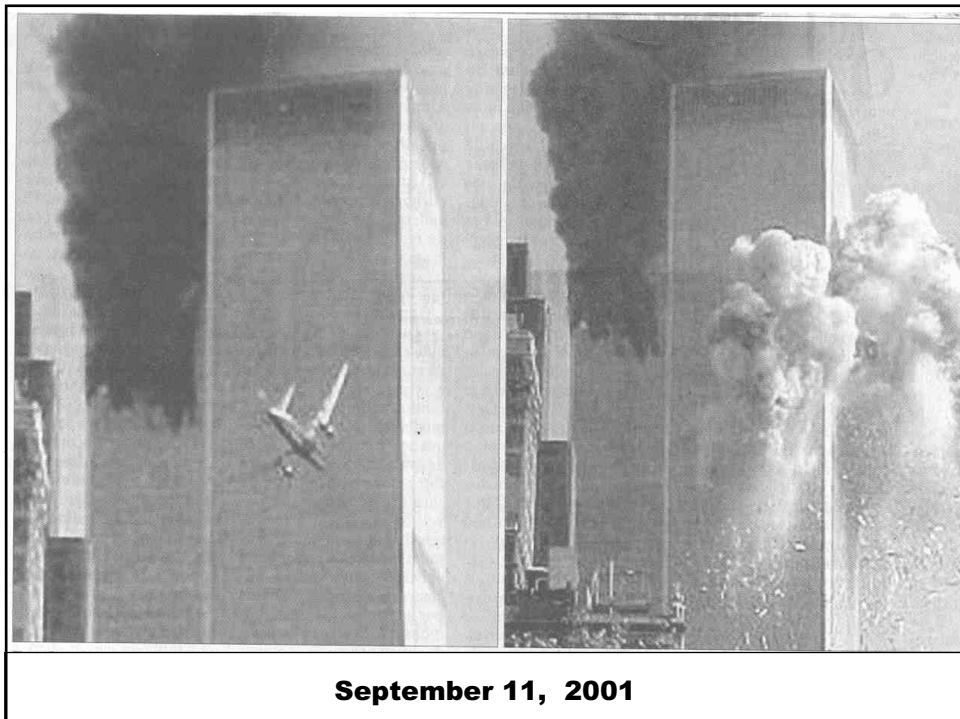
11



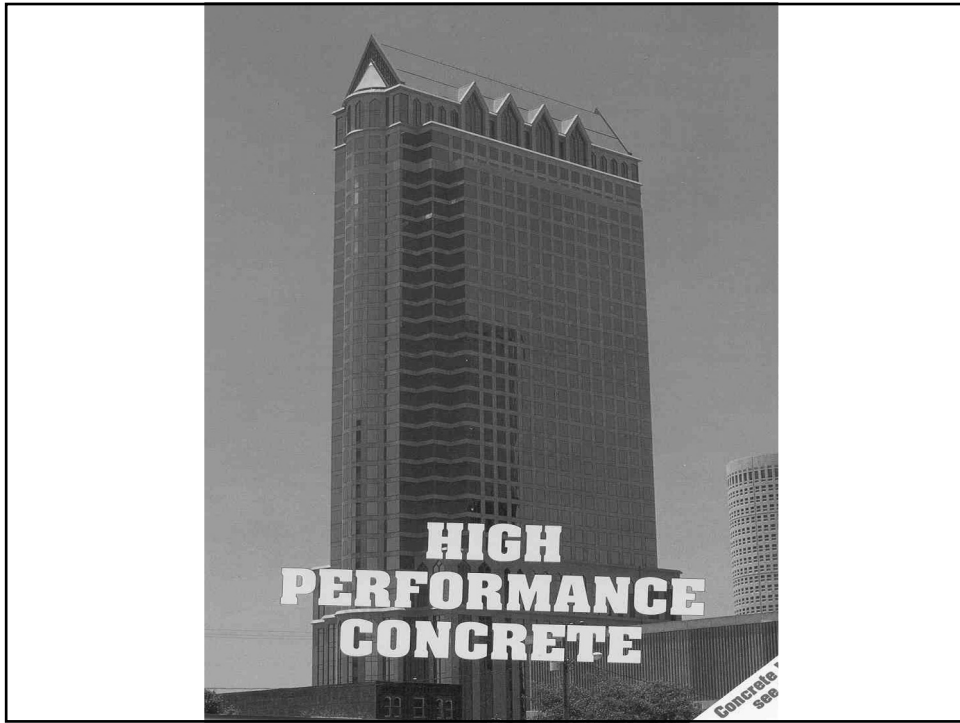
12



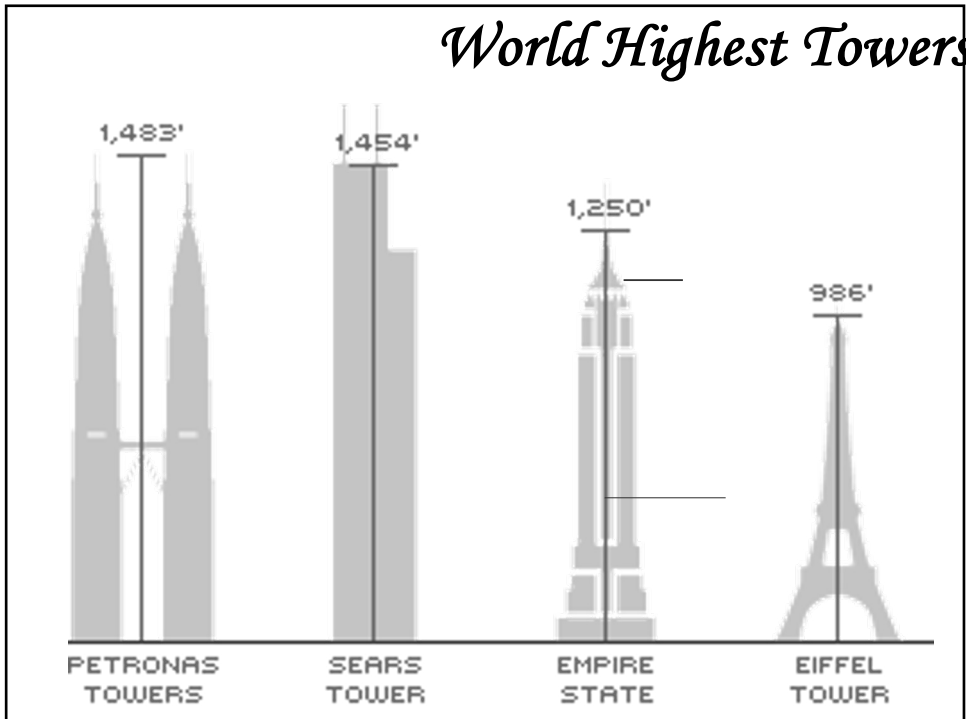
13



14



15



16



Petronas Towers

Kuala Lumpur

Malasia 1999

Altura 452 m

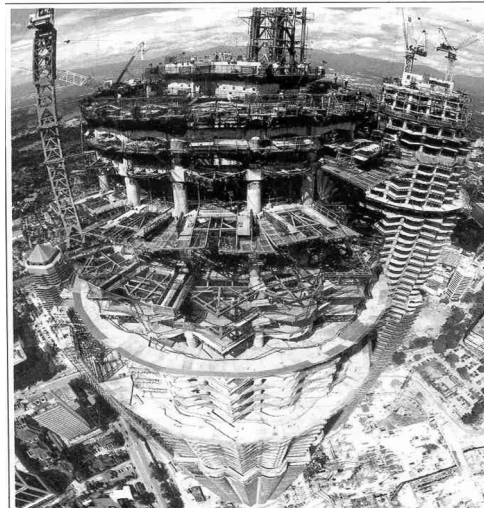
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

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**

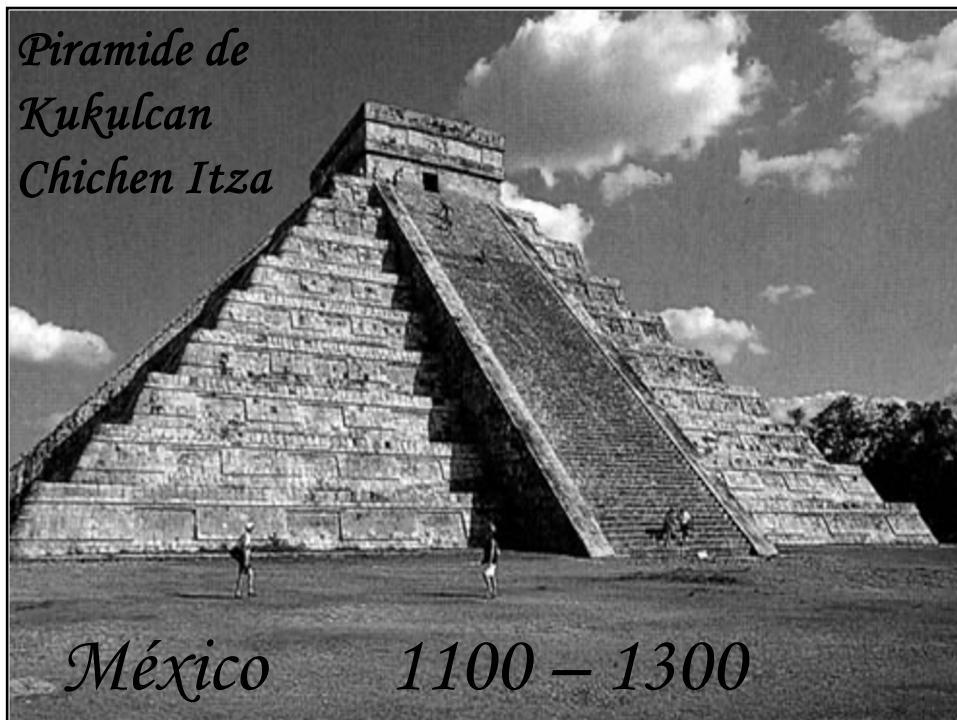
22



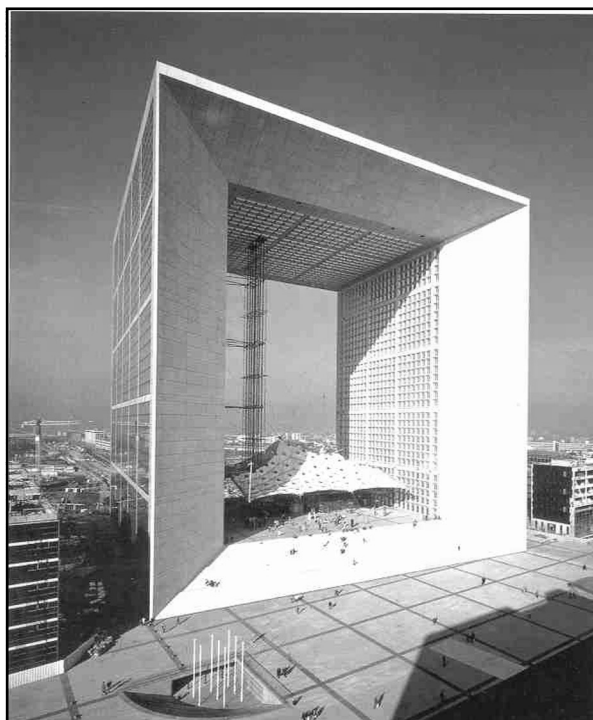
23



24



25



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

$f_{ck} = 60 \text{ MPa}$

**“high-tech
style”**

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

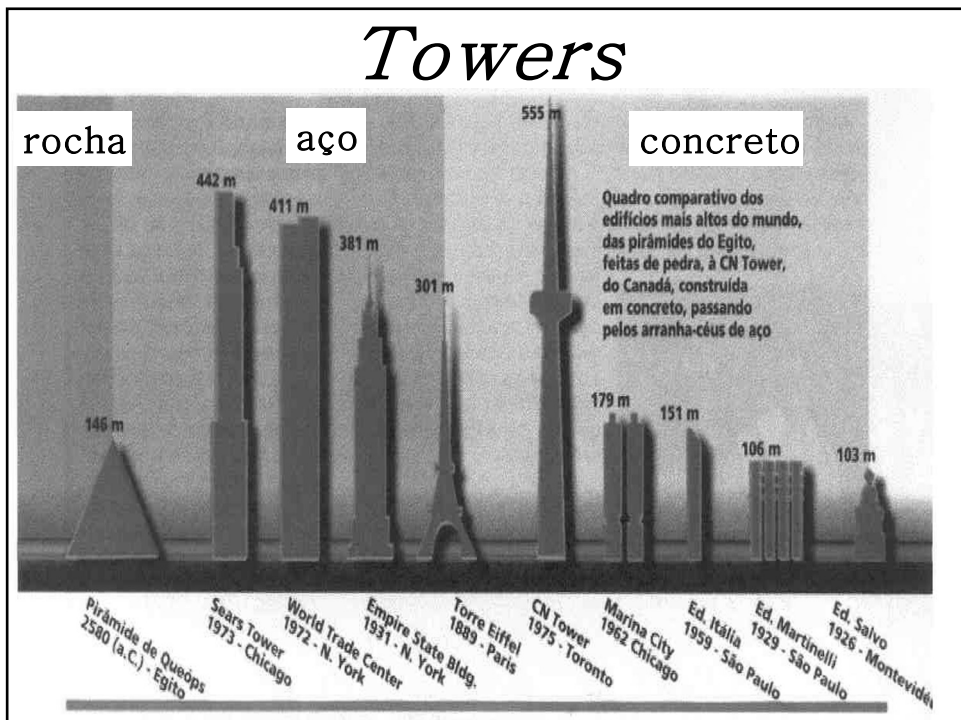
Los concretos que se usaron en su mayoría fueron diseñados para 350 kgf/cm², hubo muchos problemas en los vaciados de pantallas sobre todo en las de menor espesor (20 cm), en los sitios con cambios de sección, donde se requería mayor cantidad de acero de refuerzo, y en los que el concreto no lograba 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. Com o Engemix, o concreto ganha resistência e durabilidade, permitindo a construção de estruturas mais altas e seguras. O Engemix é o concreto mais avançado do mundo, com uma resistência à compressão superior a 50 MPa, permitindo a construção de estruturas mais altas e seguras. O Engemix é o concreto mais avançado do mundo, com uma resistência à compressão superior a 50 MPa, permitindo a construção de estruturas mais altas e seguras.

O resultado é que, hoje, o Centro Empresarial Nações Unidas é o edifício mais alto do Brasil, com uma altura de 179 metros. O Engemix é o concreto mais avançado do mundo, com uma resistência à compressão superior a 50 MPa, permitindo a construção de estruturas mais altas e seguras.

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

CONCRETO ENGEMIX

40

Módulo de elasticidade

41

Módulo de Elasticidade

Natureza do Agregado Graúdo

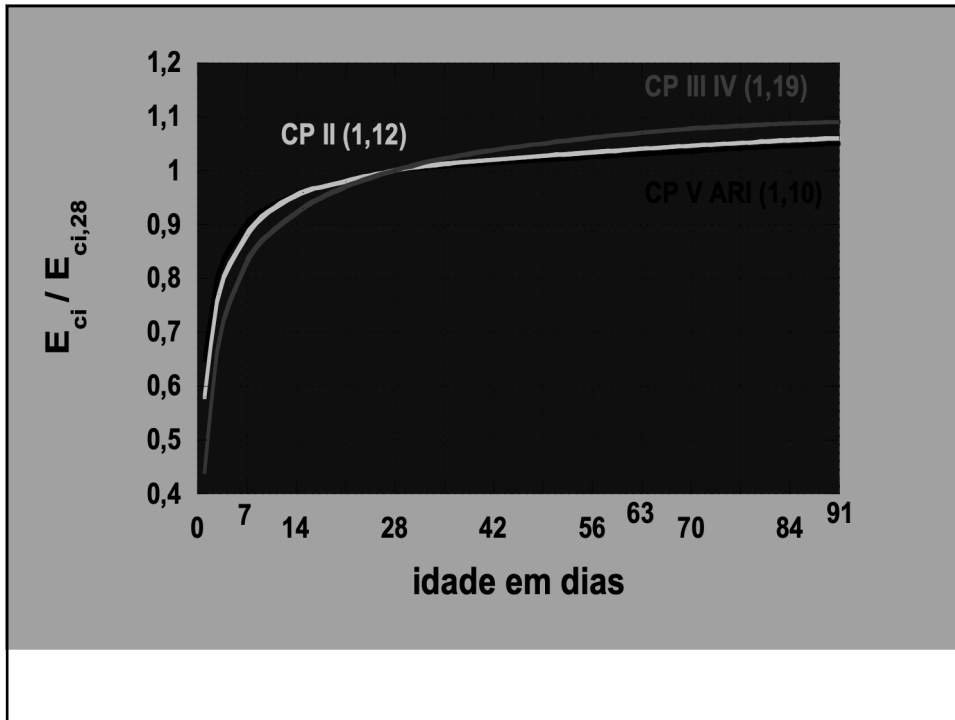
Basalto (1,2), granito (1,0), arenito (0,7)

Consumo de Agregado Graúdo

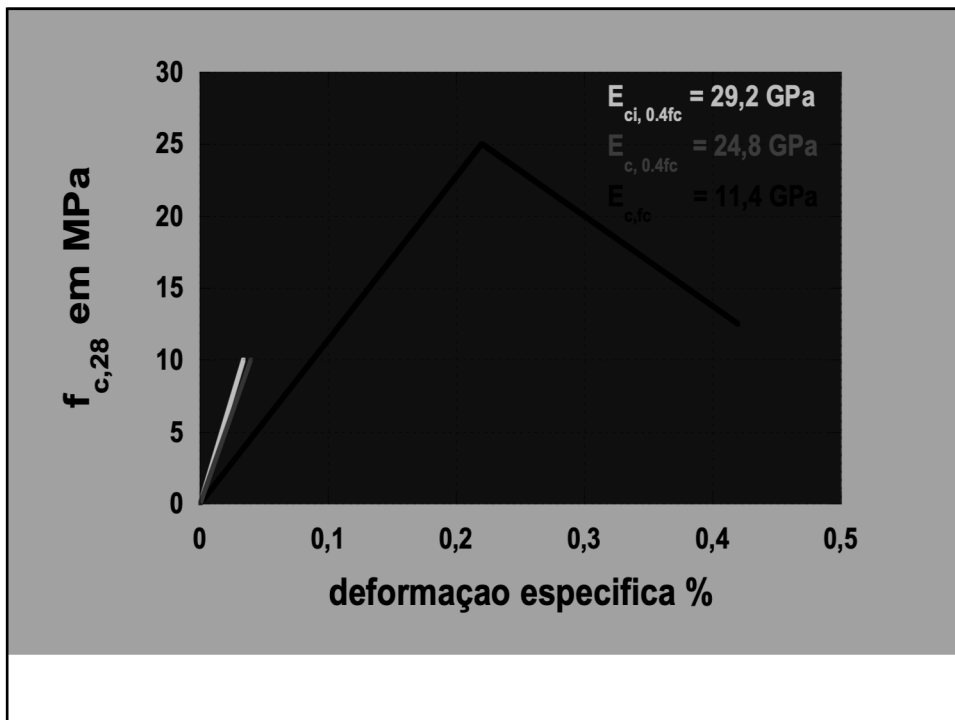
Fluído (0,85) a Terra Seca (1,15)

a/c, TZ, fc,

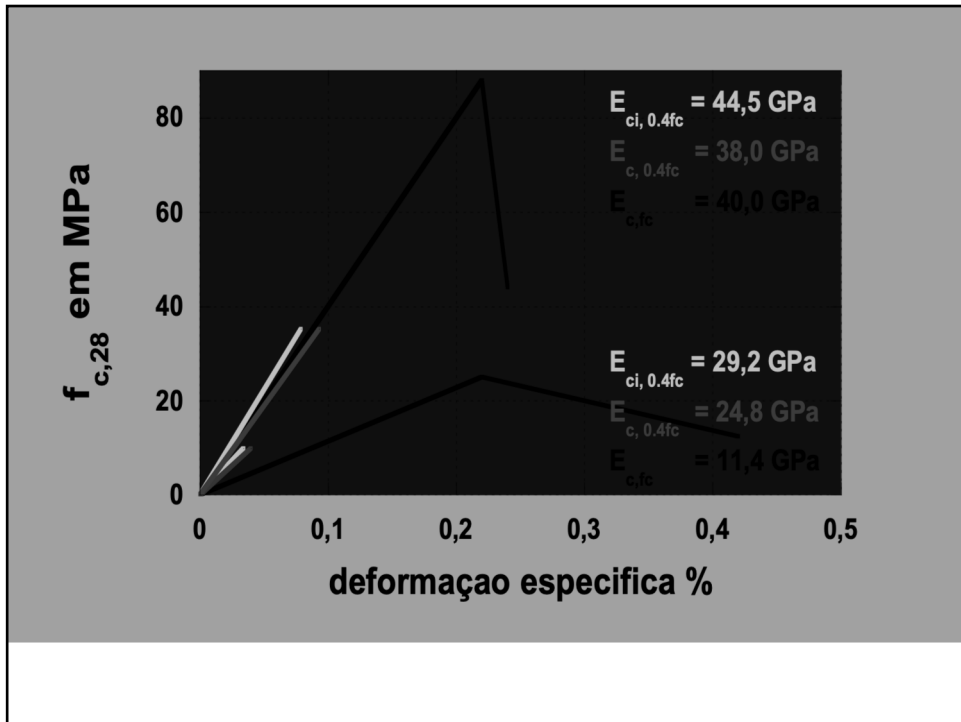
42



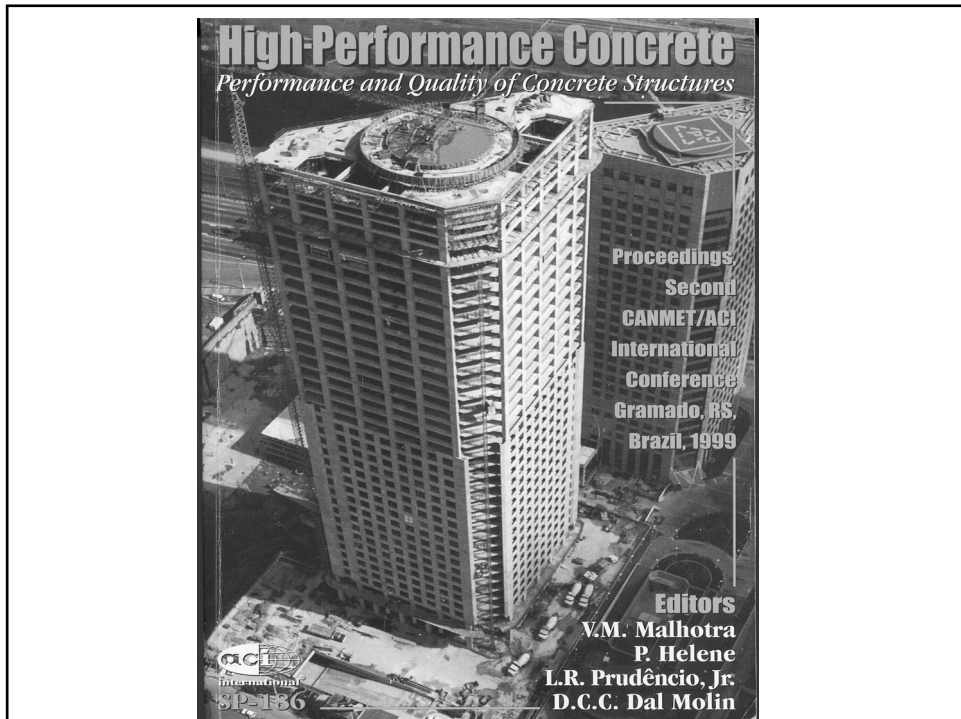
43



44



45



46



47

PLAZA CONTINENTAL São Paulo Brasil

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

48

Plaza Continental

altura 100m

12 meses 34,000 m³

pilares $f_{ck} = 50$ MPa

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

49

Por quê HPC. CAD?

Comparando com $f_{ck} = 25$ MPa

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

50



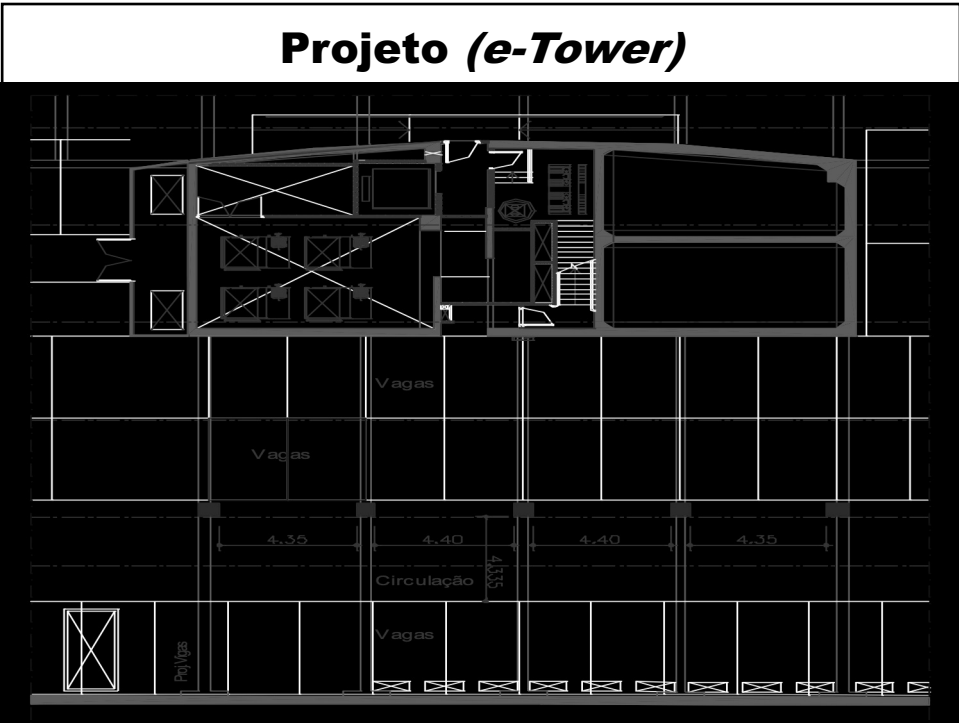
51

e-Tower

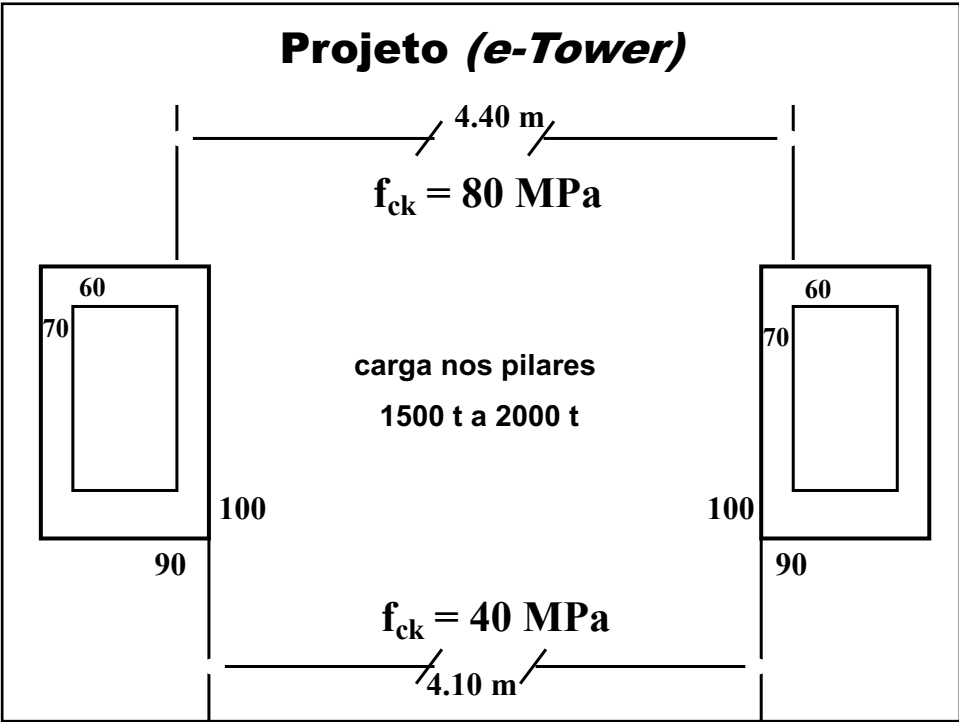
São Paulo

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

52



53



54

Projeto (*e-Tower*)

- 4 vagas novas por garagem
- 4 x 4 garagens = 16 novas
- US \$ 5,000 cada vaga na região
- ganho US \$ 80,000

55

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

56

Concrete Design

Materials & Lab. Tests

Concrete Lab. Composition

Concrete Mixed in Trucks

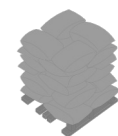
Casting Columns in Parking Area

Por quê ??

Resistências, cor,
trabalhabilidade, temperatura

57

HPC composition



Portland
cement



Fine
aggregate



water

Coarse
aggregate

Concreto comum



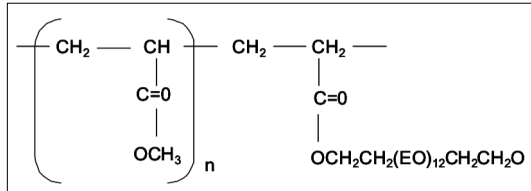
Admixtures

Additions + Pigments

HPCC

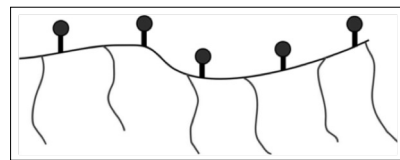
58

POLICARBOXILATO



(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) Esquematização da molécula

59

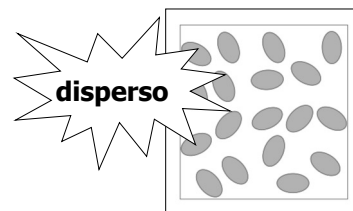
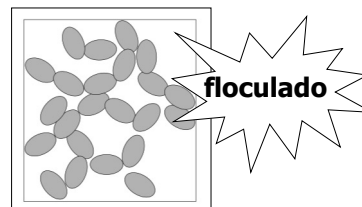
superplasticizer

Cimento Portland + Água

↓
Floculação

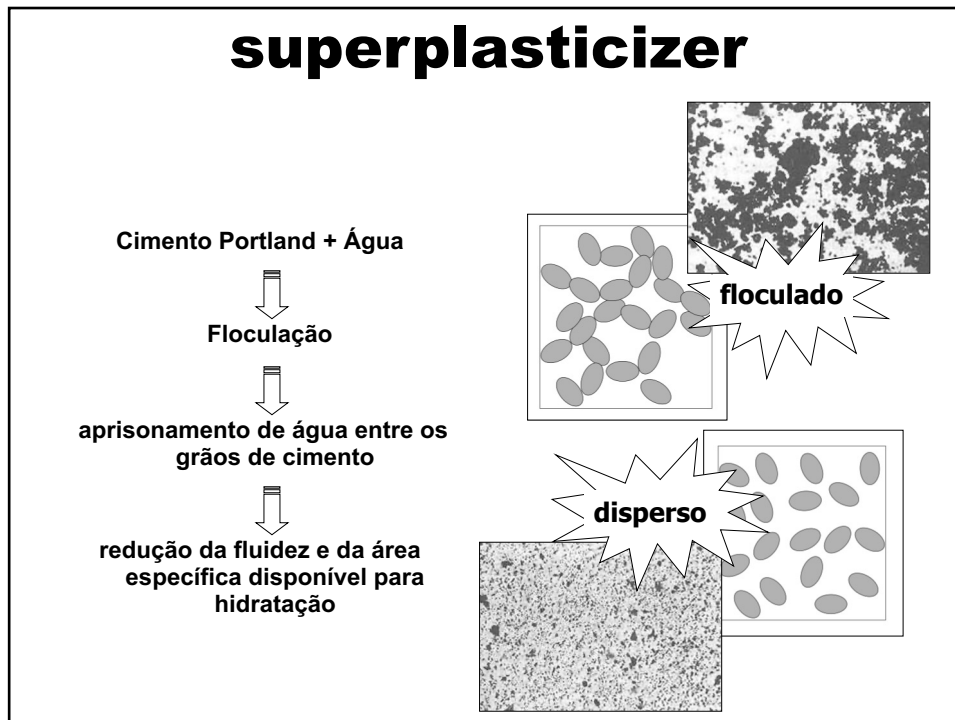
↓
aprisionamento de água
entre os grãos de
cimento

↓
redução da fluidez e da
área específica disponível
para hidratação



60

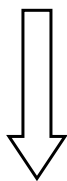
superplasticizer



61

Mineral Additions

Para obter maior
compacidade e maior
resistência mecânica



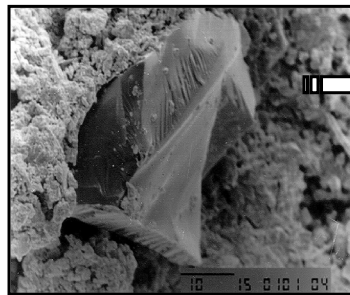
adição de minerais ativos

**Metakaolim and
silica fume**

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

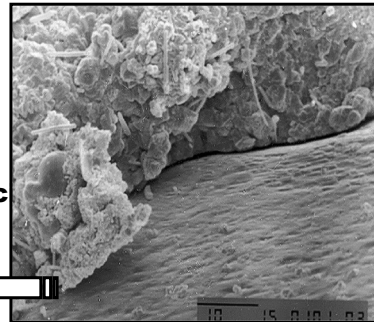
62

MINERAL ADDITIONS



Conventional Concrete

Aumento 1500x



c

Aumento 1500x

Concrete with
Metakaolin &
Silica Fume

63

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/m^3
- ✓ Formato Partícula: Esférica
- ✓ EN 12878 y ASTM C 979

64



65

Casting Columns in Parking Area

66

Materials



67



68



69



70



71



72



73

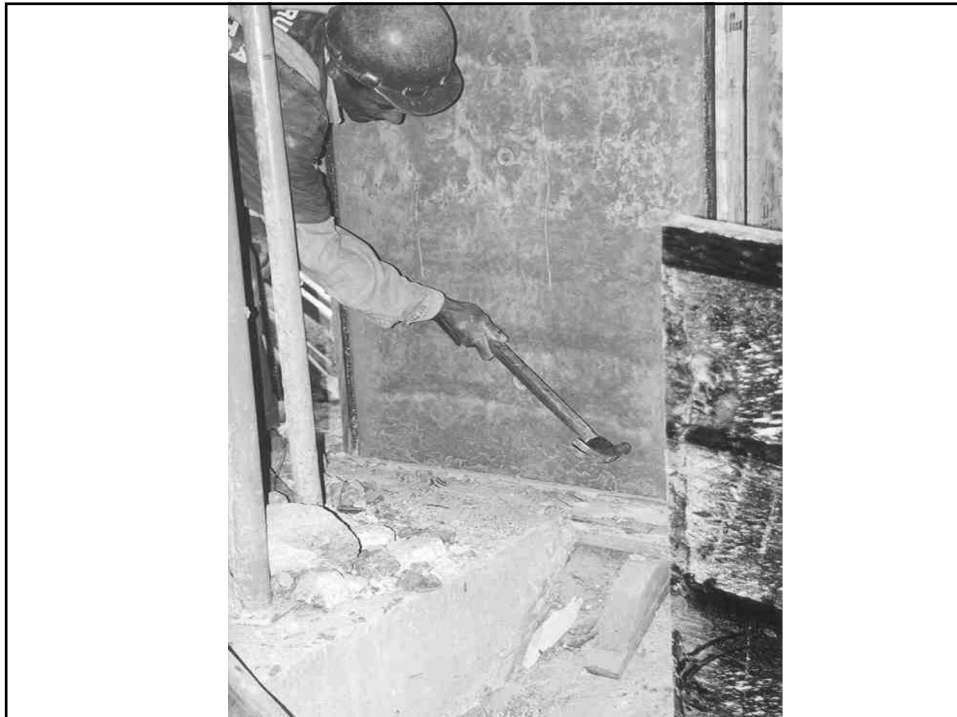


74

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	

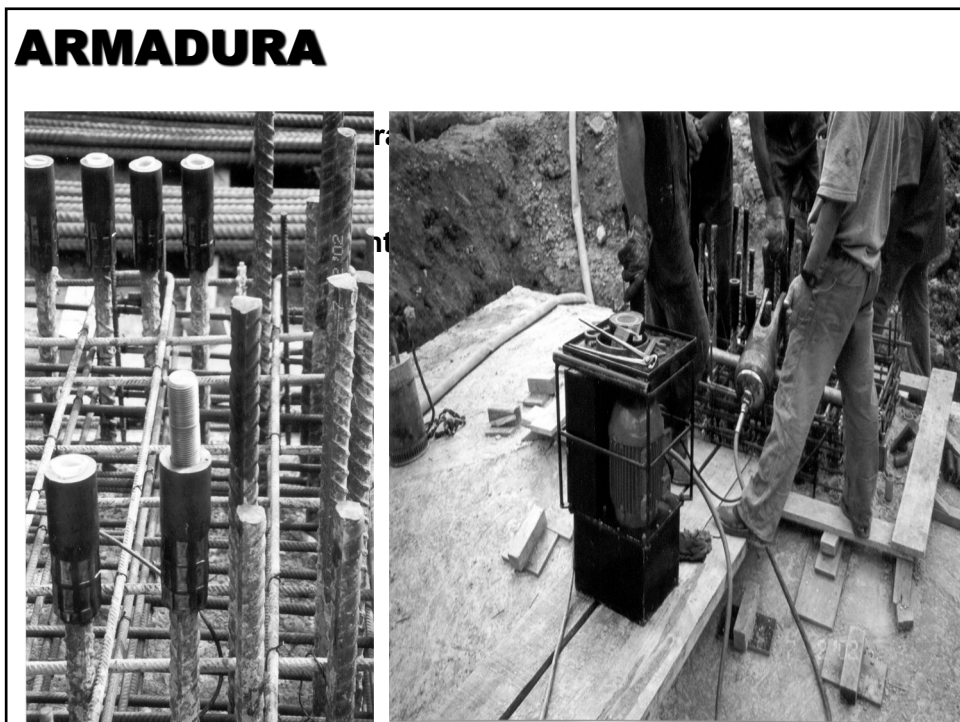
75



76

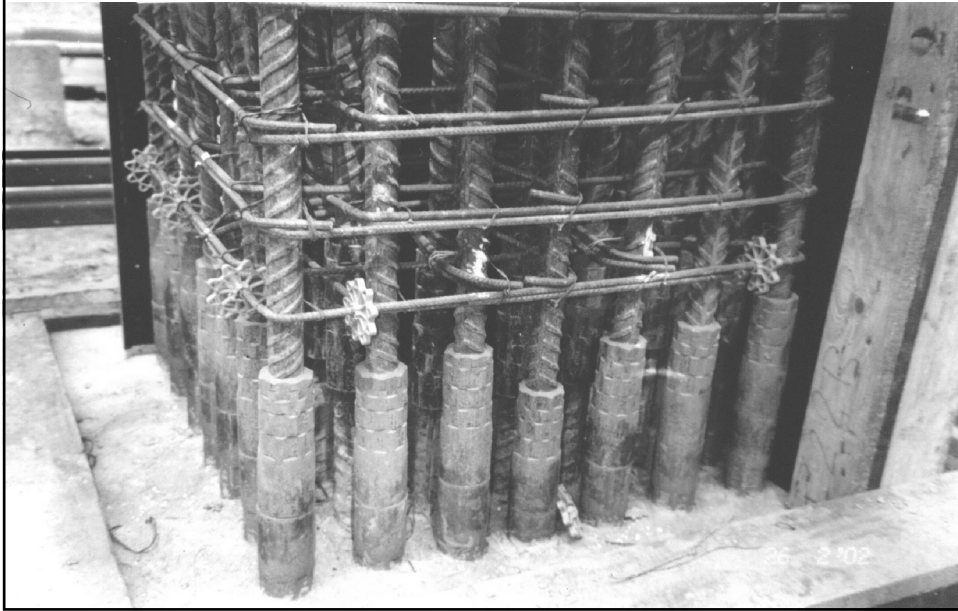


77



78

Construtibilidade



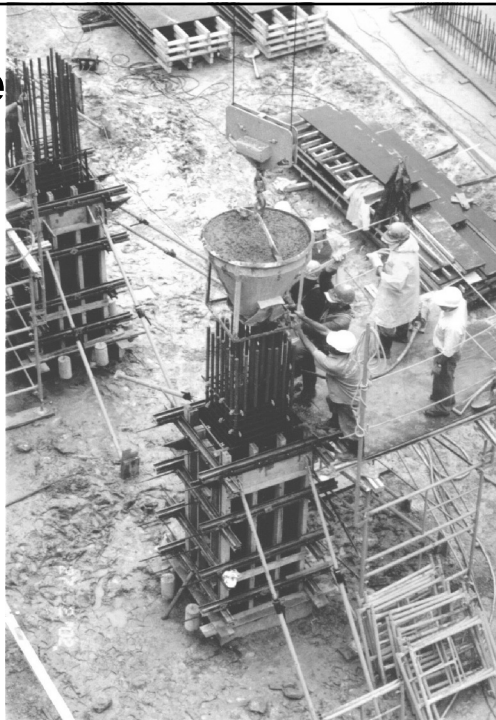
79



80

produtividade

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



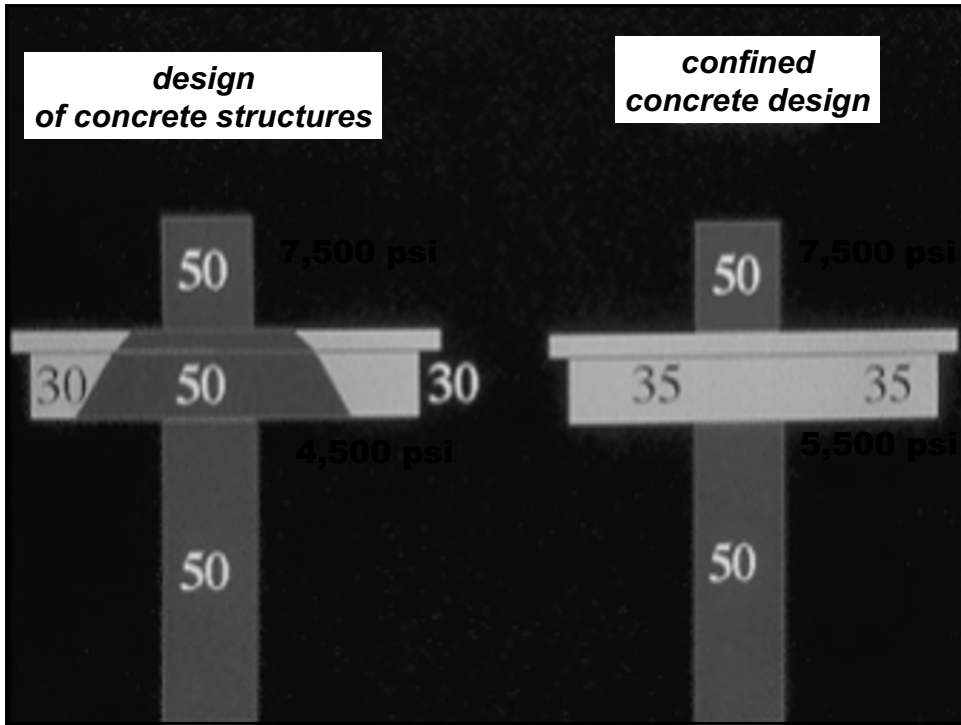
81

Pilares em concreto de alto desempenho

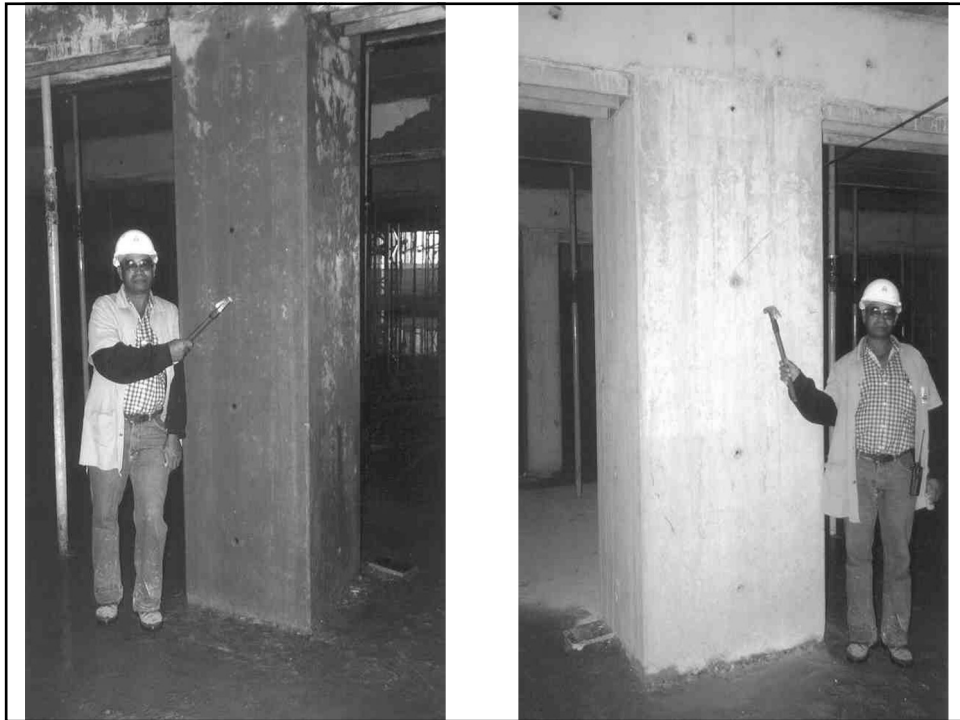
A coloração avermelhada, obtida com a adição de pigmento de óxido de ferro, foi utilizada para diferenciar este tipo de concreto dos demais aplicados na obra.



82

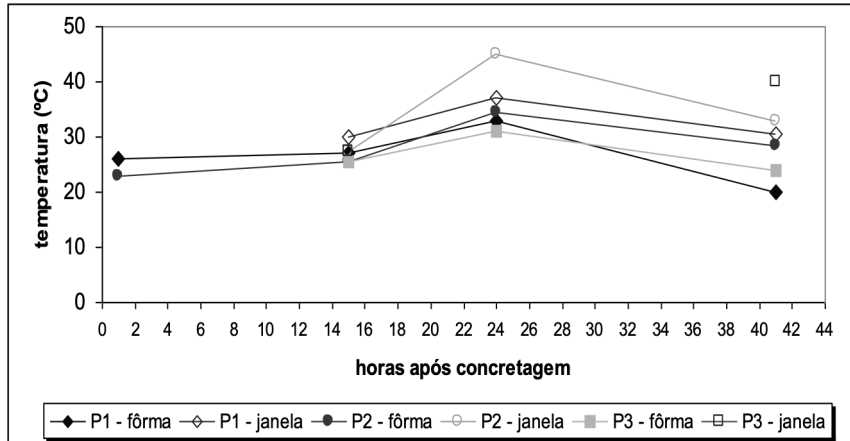


83



84

Temperatura



P1 = 133 P2 = 134 P3 = 135

85

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

86

Two Union Square Seattle 1998

f'_{ca}	119 MPa
Cement	513 kg/m³
Microsilica	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

87



88

CONTROLE



Resistência
à compressão

Módulo
de Elasticidade



89



90

Resistência a 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

91



92

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

93

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)

94

Paulo:

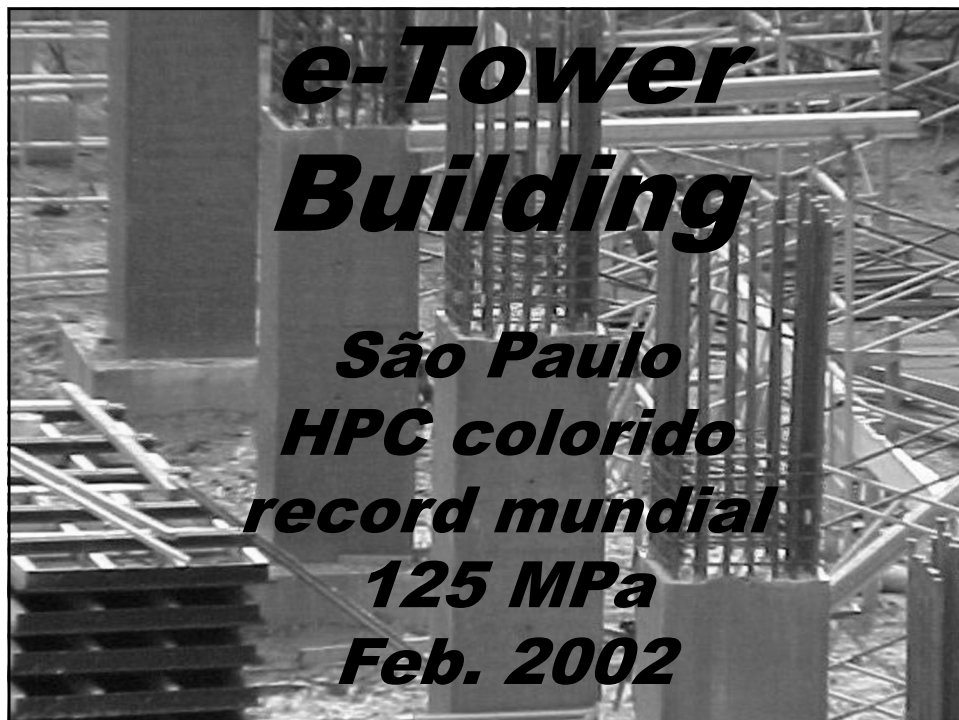
I have received your letter regarding the high-strength concrete record.

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

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

**Terry
ACI President**

95



96

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

97

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

98

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

99

**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

100

***Los Arquitectos e Ingenieros
construyen los marcos de grandeza
desarrollo y poder
de sus pueblos.***

***Traduzem su história,
sus sueños e ideales en
majestosas y durables obras
que elevan la auto estima
de su gente...***

101



***Él HPC es una
mas de las
grandes
oportunities
atuales de
rescatar esa
importância y
vocación de la
Ingeniería de
nuestros
pueblos.***

102

**...no basta ser
Ingeniero de la
FIUBA...**

**...hay que ser
CIVIL!!**

103

Acknowledgements



CONCRETEx

*Concrete Ready Mix
Company*



*microsílica
do Brasil*



Brazilian Portland Cement Association

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo



Construção e Incorporação



**AKYO / Suarez
construtora**

**Método
engenharia**

Construction Companies



*Master Builders
Technology*

**GRACE
CONSTRUCTION
PRODUCTS**

**BAYER
pigments**



104