

	Patología, Rehabilitación y Durabilidad de Estructuras de Hormigón
<i>Universidad Mayor de San Andrés Instituto de Ensayo de Materiales</i>	<i>Sociedad de Ingenieros de Bolivia CADECO LA PAZ</i>
<h1>Construcción de Edificios con Hormigones de Altas Prestaciones</h1>	
Eng. Paulo Helene <i>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 Director of GLARilem Diretor Conselheiro do IBRACON</i>	
La Paz, 07 de Mayo de 2002	

1

	Universidade de São Paulo Escola Politécnica Civil Construction Engineering Department MSc and PhD academic and professional programs Materials, Construction, Structures, Urbanism, Construction and Finance Management, Building Systems
www.poli.usp.br www.pcc.usp.br	

2

 **REHABILITARI**
Red Temática XV.F

CYTED

Red REHABILITAR **Red XV.F**

Programa XV
Corrosión e Impacto Ambiental sobre los Materiales

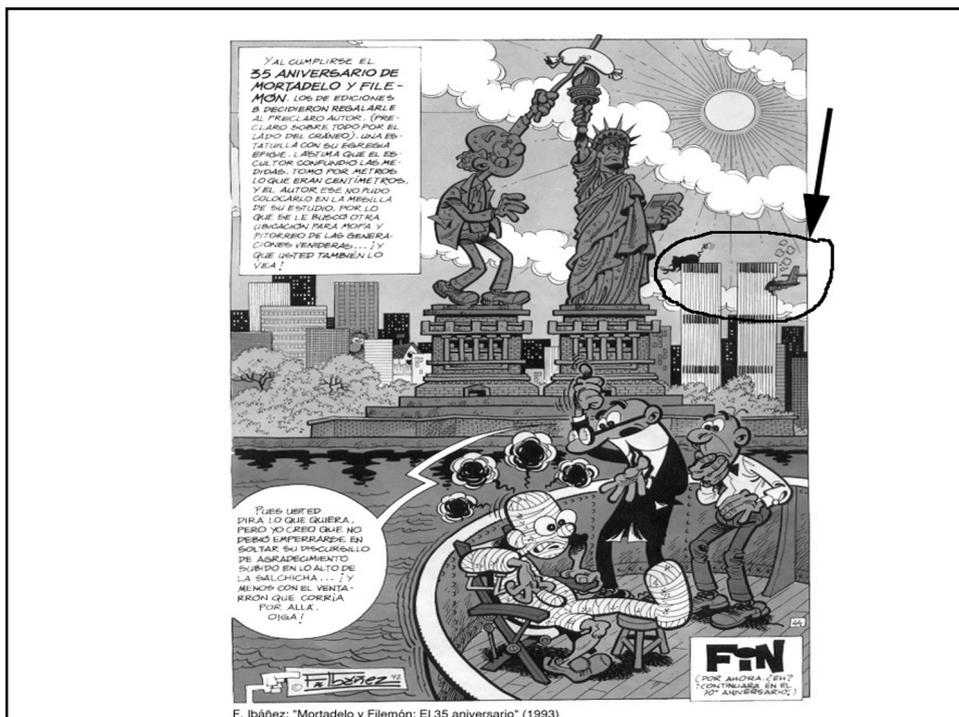
CYTED
Science and Technology for the Development

15 countries **more than 45 experts**

Electronic Manual on Concrete Structures
Rehabilitation (Repair, Strengthening, Protection)

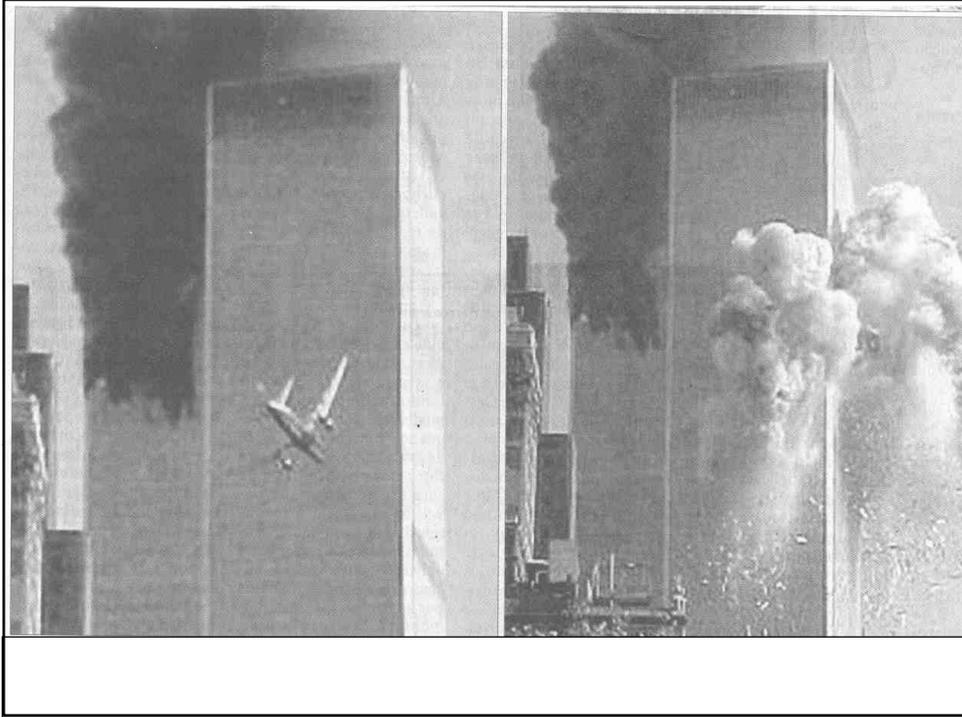
www.megasitio.com/rehabilitar

3

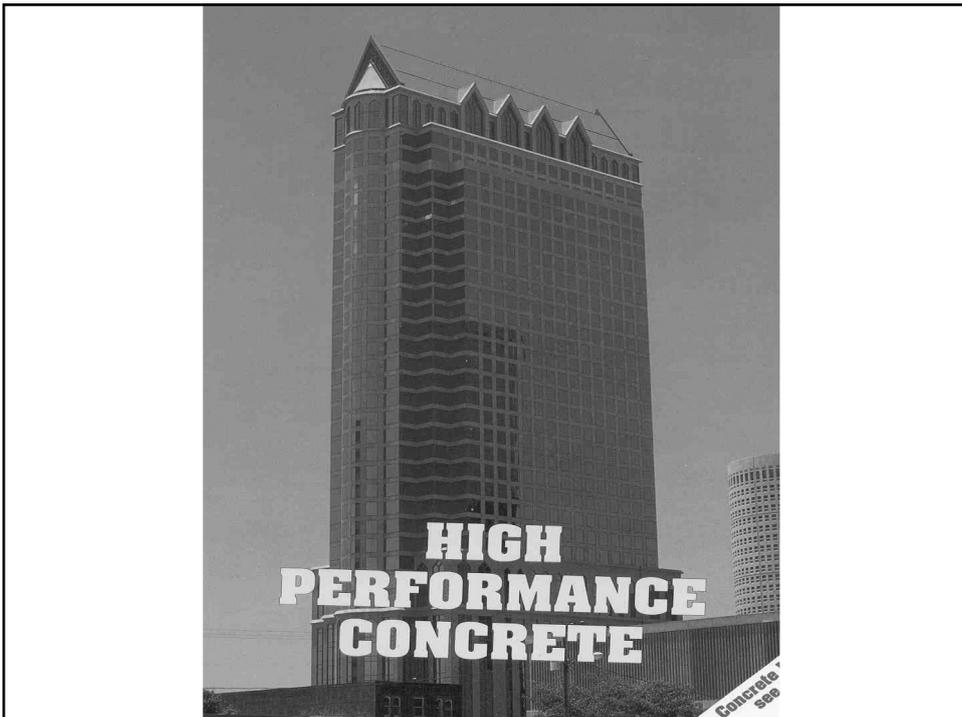


F. Ibáñez: "Mortadelo y Filemón: El 35 aniversario" (1993)

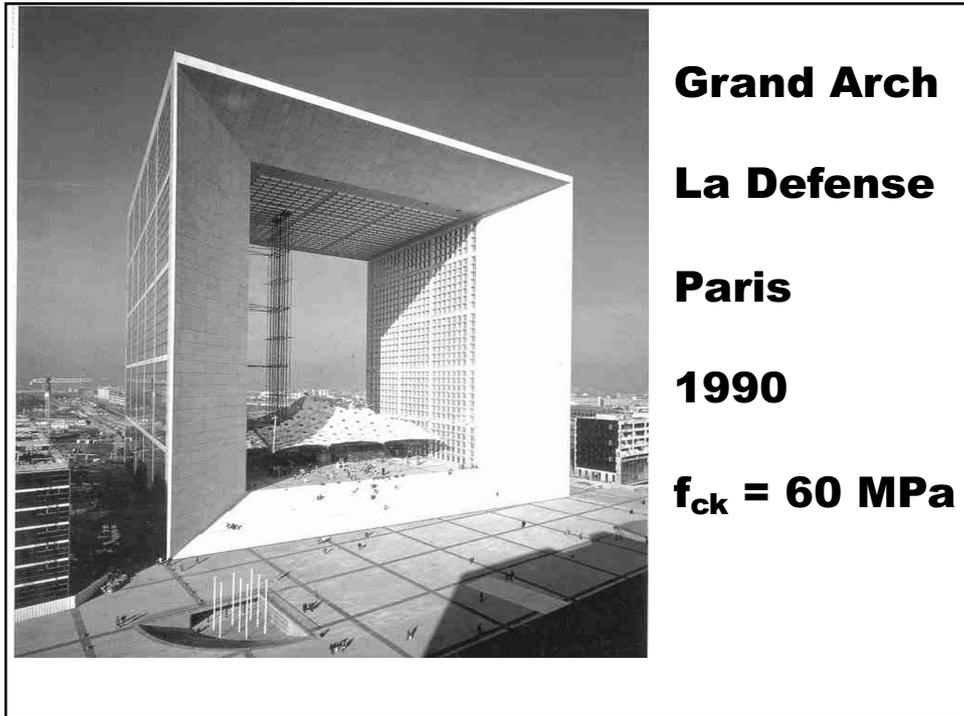
4



5



6



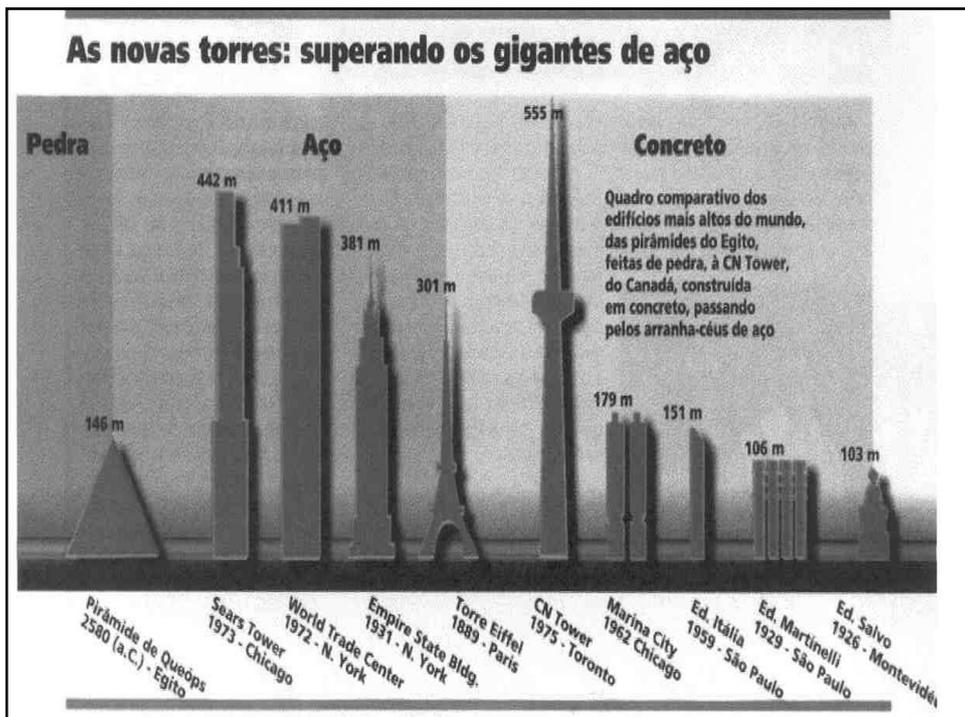
7



8



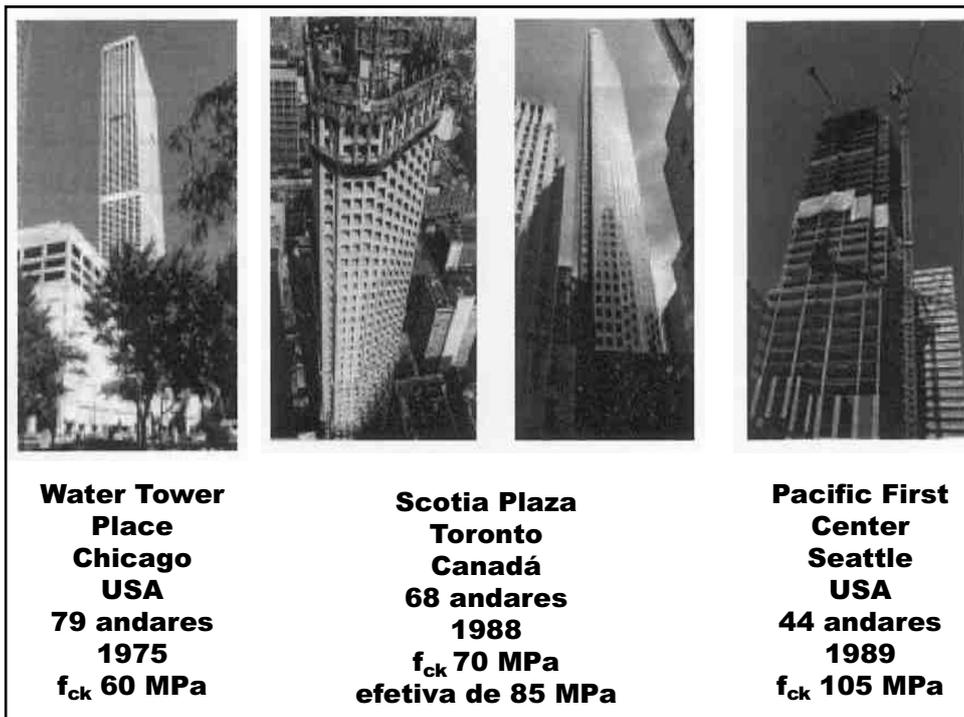
9



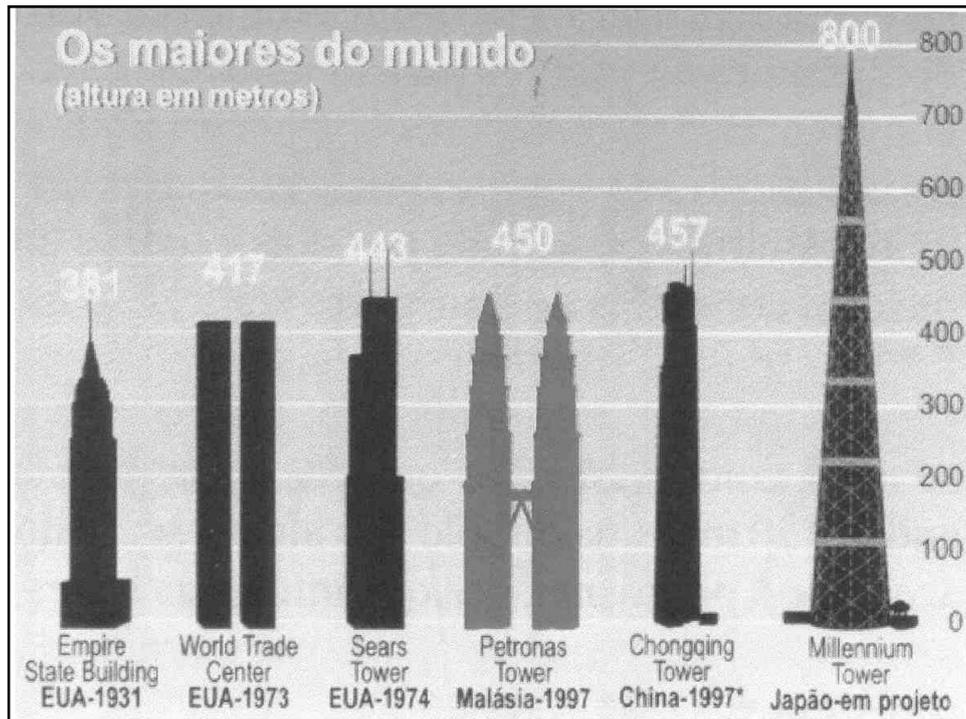
10



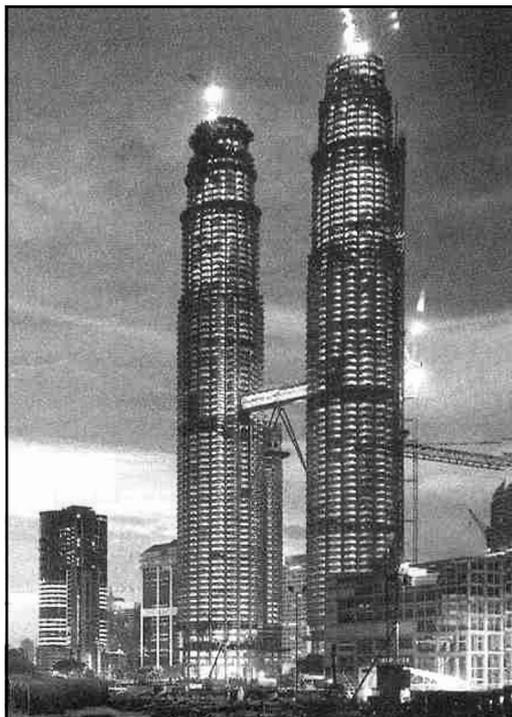
11



12



13



Petronas Towers

Kuala Lumpur

Malásia 1997

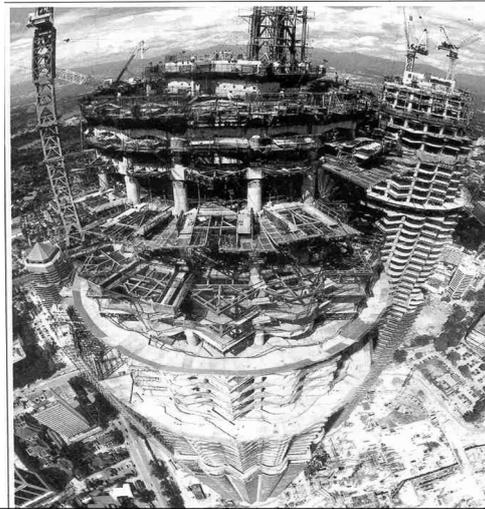
Altura 452 m

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

14

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 un esfuerzo para transferir tecnología y traer todo un país. Dos rascacielos de ellos casi nueve metros más que la torre Sears de 443 m que es el récord de altura, se están construyendo en Chicago ni en Nueva York. En otro lado del mundo en Kuala Lumpur, la capital de Malasia. Esta región del sureste de Asia con 19 millones de habitantes está venciendo toda una tradición en su búsqueda del desarrollo.

Un consumo voraz de nuevas tecnologías importadas y de experiencias está ayudando a Malasia en su ambición de llegar a ser una de las naciones más desarrolladas para el 2020. Por otro lado, el proyecto del Centro de Kuala Lumpur (KLCC) que cubre 1.7 millones de metros cuadrados e incluye a las torres gemelas de 451.9 m de altura, sede de la compañía petrolera, está corriendo ampliamente a alcanzar esa meta.

Además de las dos torres de 218,000 m² cada una, la ciudad está en el desarrollo de un millón de metros cuadrados.

15

Petronas Tower, Kuala Lumpur, Malasia

- Malásia tem a ambição e o projeto de nação de chegar a 2020 como o país de mais avançada tecnologia no mundo. Decidiram isso em 1990.
- Nesse projeto Internacional cada posto teve um olheiro malasiano.
- Projeto Americano / Inglês
- Construção Japonesa e Coreana.
- Área de construção de 218.000 m² cada torre.
- Tem até uma mesquita de 7.300 m².
- Torre da Petrobrás Malasiana (Esso da Malásia S.A.)
- Estrutura baseada na estrela islâmica de 8 pontas
- Base com anel de 46m de diâmetro, colunas espaçadas de 8 a 10 m e com diâmetro de 2,4 m

16

As lajes de piso são mistas de aço e concreto e todos os pilares são de concreto salvo o ápice que é metálico (uns 50m) finais.

Thornton, projetista, comentou

“Sabíamos por experiência que um edifício em estrutura metálica teria sido muito mais caro e mais complicado no concernente à absorção das acelerações resultantes de esforços horizontais”

Além disso “Malásia está muito mais acostumada a construir com concreto que com aço..

Não estamos num país de tradição em estruturas metálicas...”

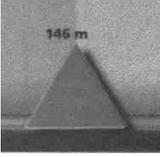
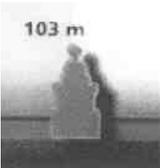
17

Genesis, 11.4

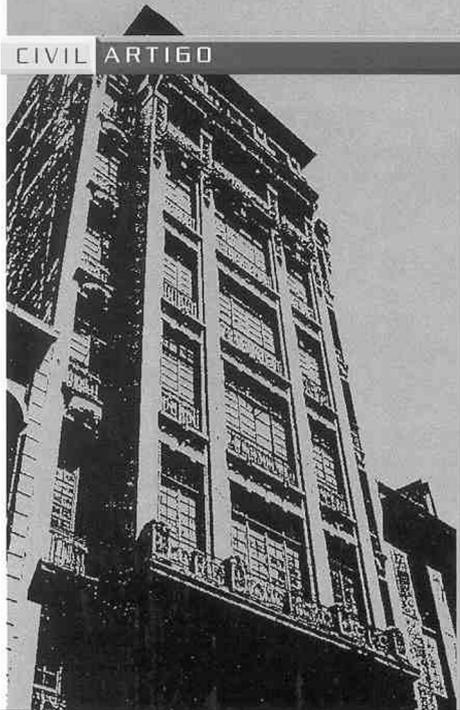
O povo de Deus disse:

“ Vamos construir uma cidade e uma torre cujo ápice toque o céu e alcance o Paraíso, gravando nosso nome para sempre e evitando que sejamos dispersados sobre a face de toda a terra.”

18

	Pirâmide de Queóps Egito	2580 a.C. Altura 146 m	Existente
	Farol de Alexandria Egito	280 a.C. Altura 134 m	Destruido por Terremoto Século XIV d.C.
	Edifício Salvio Montevideú	1926 Altura 103 m	Existente

19

	Edifício Guinle São Paulo 1916 $f_{ck} = ??$ 7 andares Altura 28 m Rua Direita 37/49
---	--

20



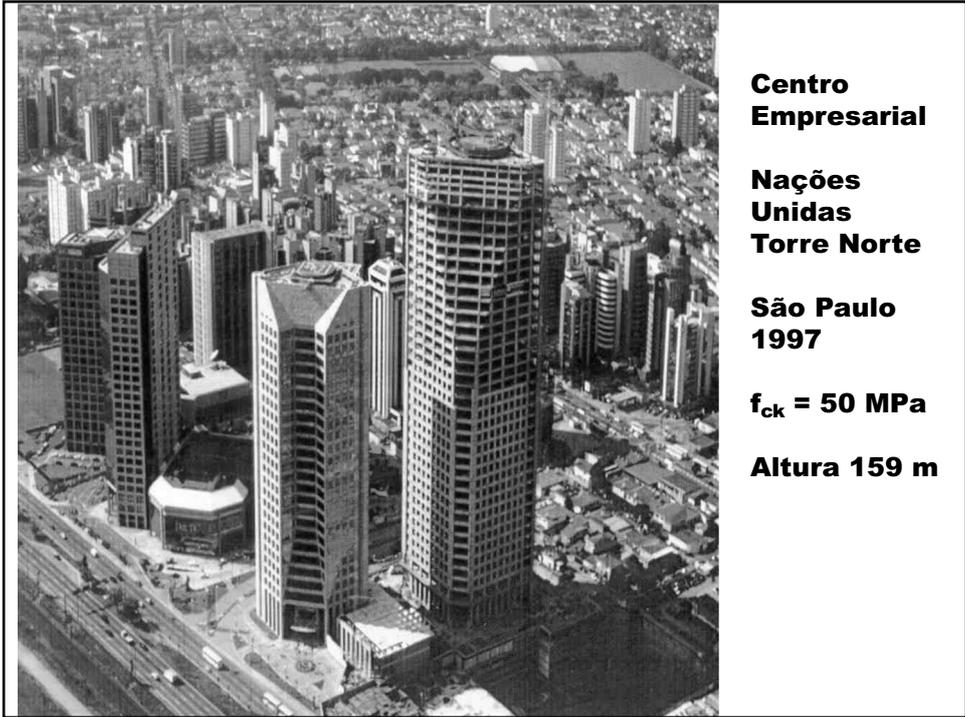
Prédio Martinelli
São Paulo
1929
25 andares
Altura 106 m
Rua Líbero Badaró
 $f_{ck} = ??$ MPa

21

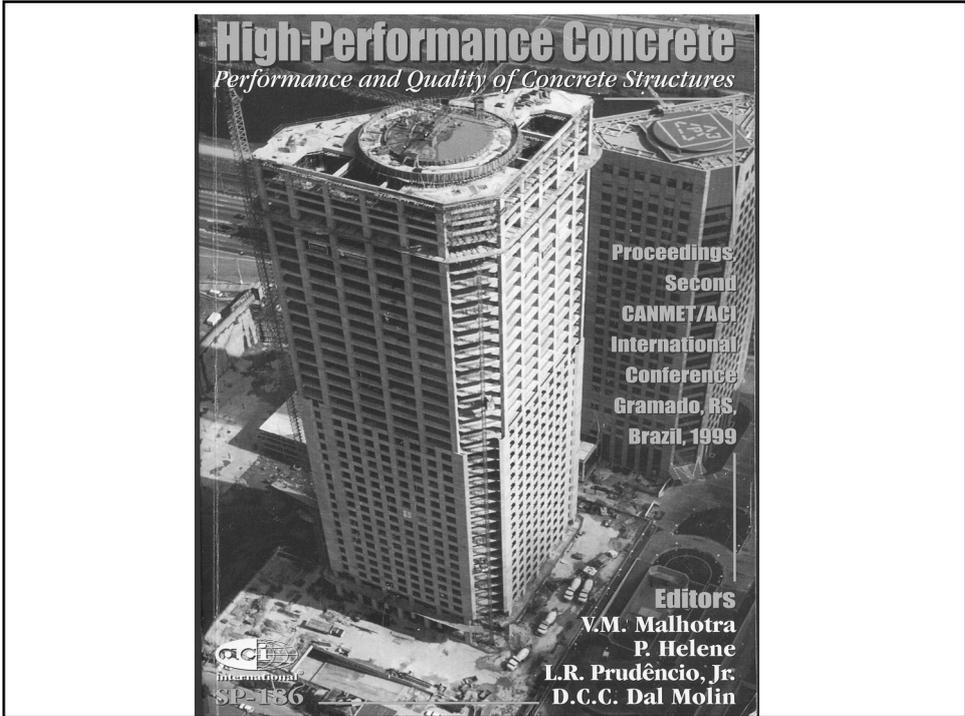


Edifício Itália
São Paulo
1959
Altura 153 m
 $f_{ck} = ??$ MPa

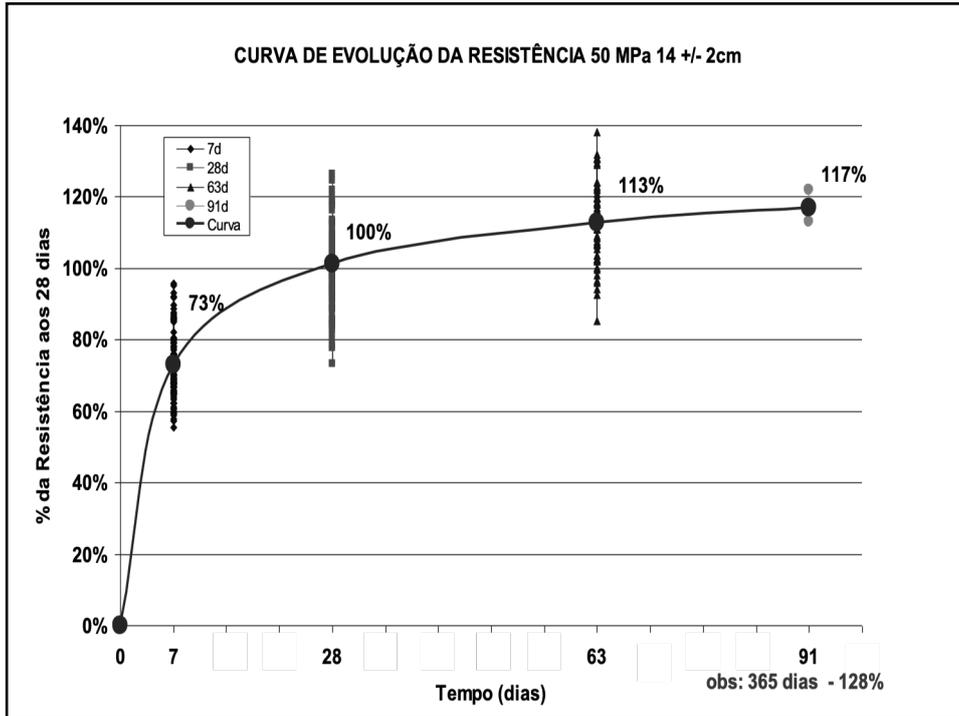
22



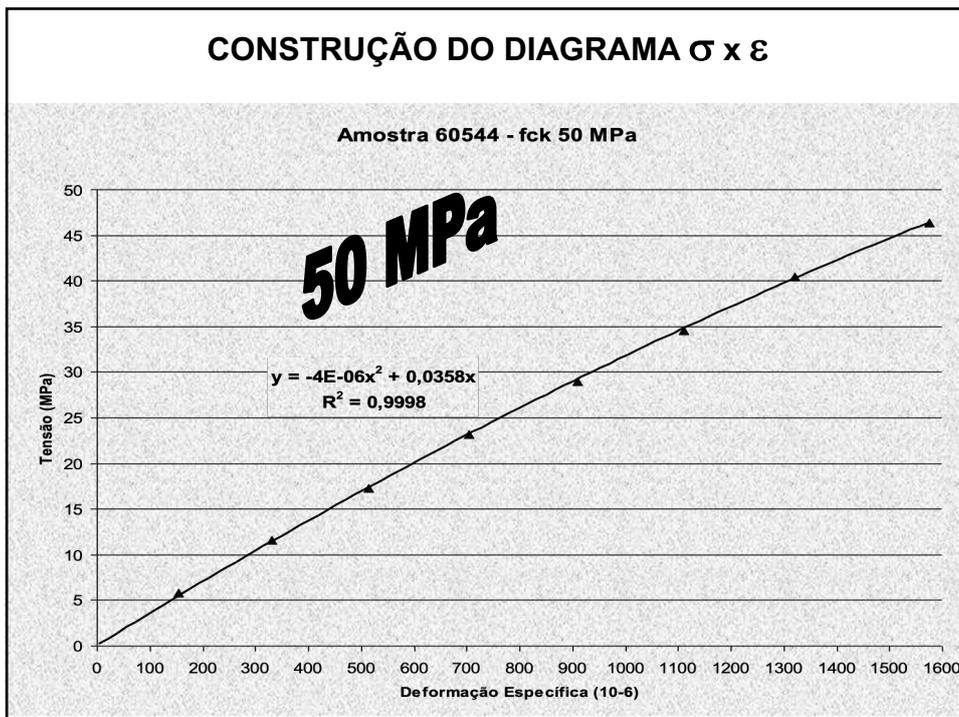
23



24



25



26

EXEMPLO

$f_{ck} = 50,0 \text{ MPa}$	
f_c	57,9 MPa
$\sigma_{0,4}$	23,2 MPa
σ_{inf}	0,5 MPa
$\varepsilon_{0,4}$	$703 \times 10^{-6} \text{ mm/mm}$
ε_0	0 mm/mm

$E_{sec0,4} = 32,3 \text{ GPa}$

27

PREVISÃO DO MÓDULO DE DEFORMAÇÃO - NBR 6118

$$E_{ci} = 5600 \sqrt{f_{ck}}$$

$$E_{cs} = 0,85 E_{ci}$$

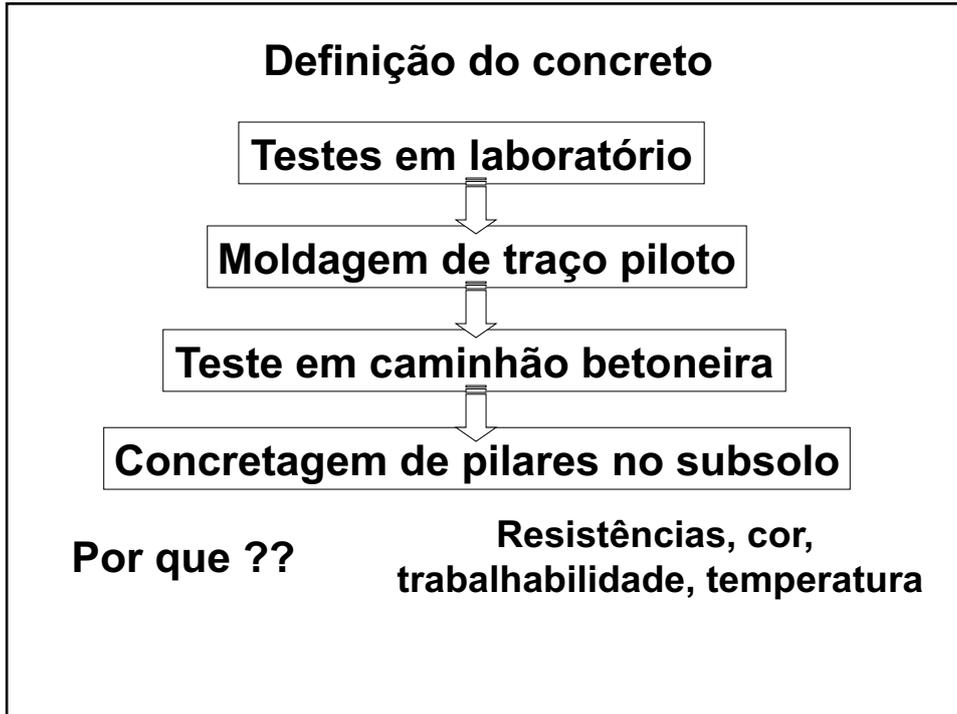
28

f_{ck} (MPa)	$E_{sec 0,4}$ (GPa)	Local amostrado	NBR (GPa)	CEB (GPa)	ACI (GPa)
35	27,1	Lajes e vigas	28,2	29,7	27,8
	29,6	Lajes e vigas			
40	29,2	Lajes e vigas e pilares	30,1	30,8	29,7
	31,0	Lajes e vigas e pilares			
50	32,3	pilares	33,7	32,8	33,2
PROJETO ???					

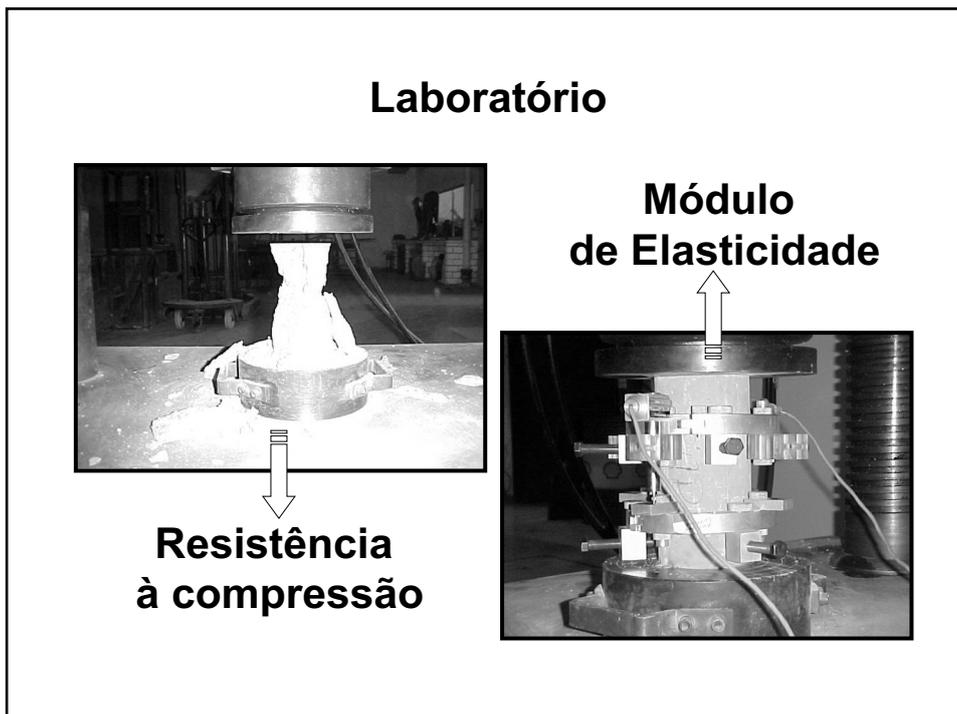
29



30



31



32

Caracterização das misturas							
Traço	Denominação	Poli 3	Poli 4	Poli 6	Poli 7	Poli 8	Poli 9
Traço em massa	1 : m	1 : 2,5					
	1 : a : p	1 : 0,85 : 1,65					
Consumo de materiais (kg/m ³)	Cimento	626	586	626	631	700	700
	Areia	532	498	532	536	618	618
	Brita 01	1033	967	1033	1041	1155	1155
	Sílica ativa	94	88	94	95	105	105
	Água	120	148	138	120	157	157
	Pigmento	25	24	25	25	-	-
	Pó calcareo	-	-	-	-	28	28
Aditivos (%)	Superplastificante	1	0,7	1,8	1,5	1	1
	Estabilizador	-	-	-	-	0,5	0,5
Relações (%)	Água/cimento	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,22
	Água/aglomerante	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,19
	Água/mat. secos	5,96	5,96	5,96	5,96	5,96	6,2

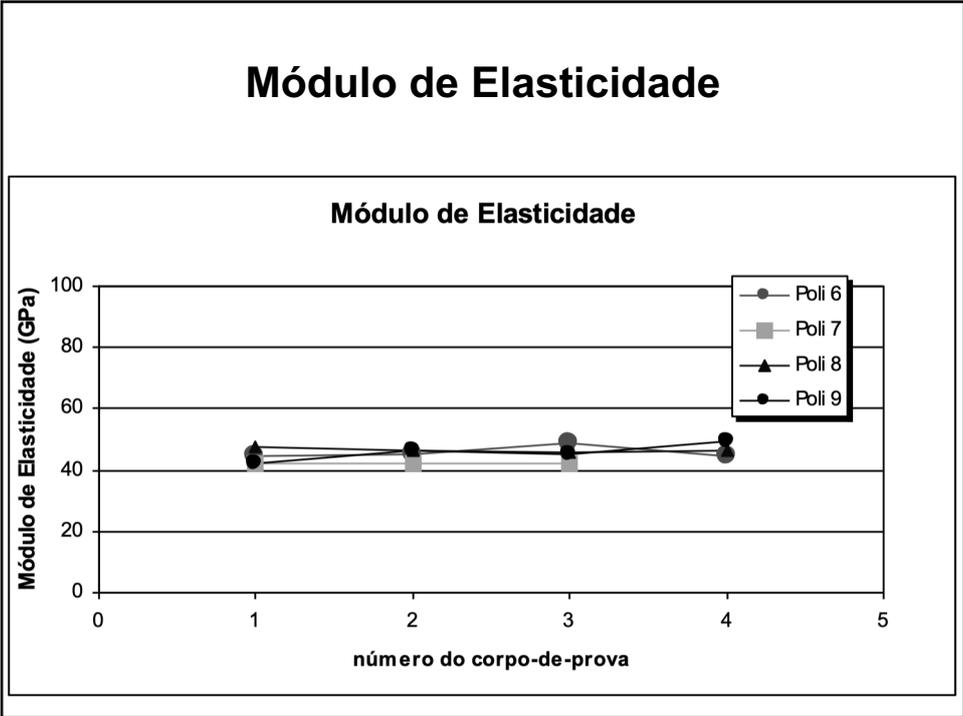
33

Resistência à compressão	
Traço	f_{c28} (MPa)
Poli 3	115
Poli 4	78
Poli 6	118
Poli 7	130
Poli 8	97
Poli 9	120

34



35



36

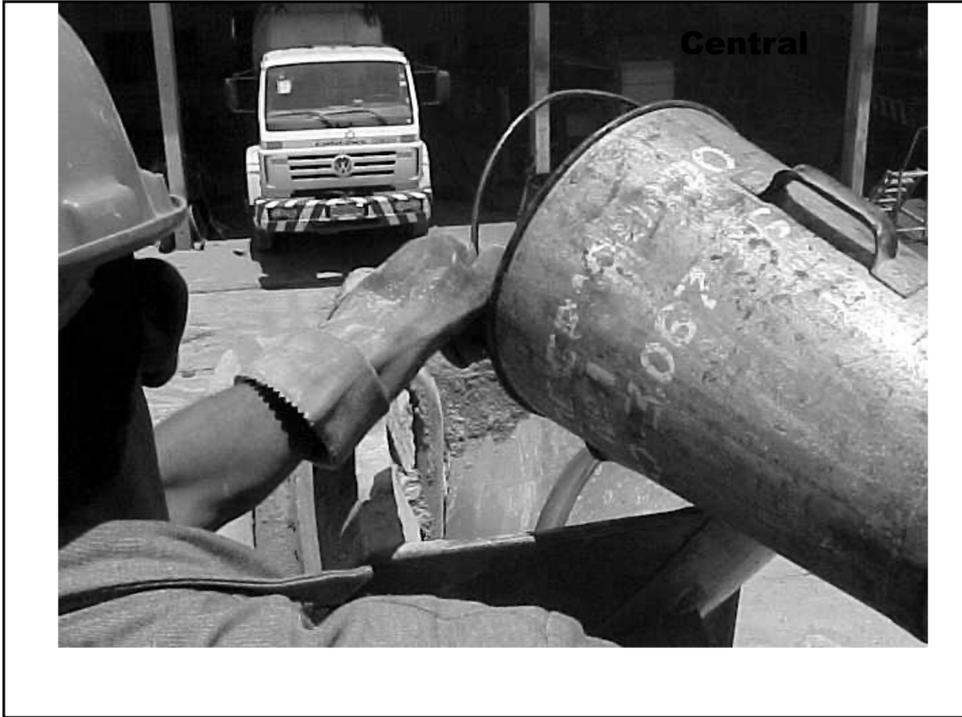
Composição do CAR

TRAÇO DO CONCRETO	1 : 0,85 : 1,65
Sílica ativa	15 %
Pigmento	Bayer
Relação a/c	0,22
Cimento	CP V - RS

37



38



39



40



41



42



43



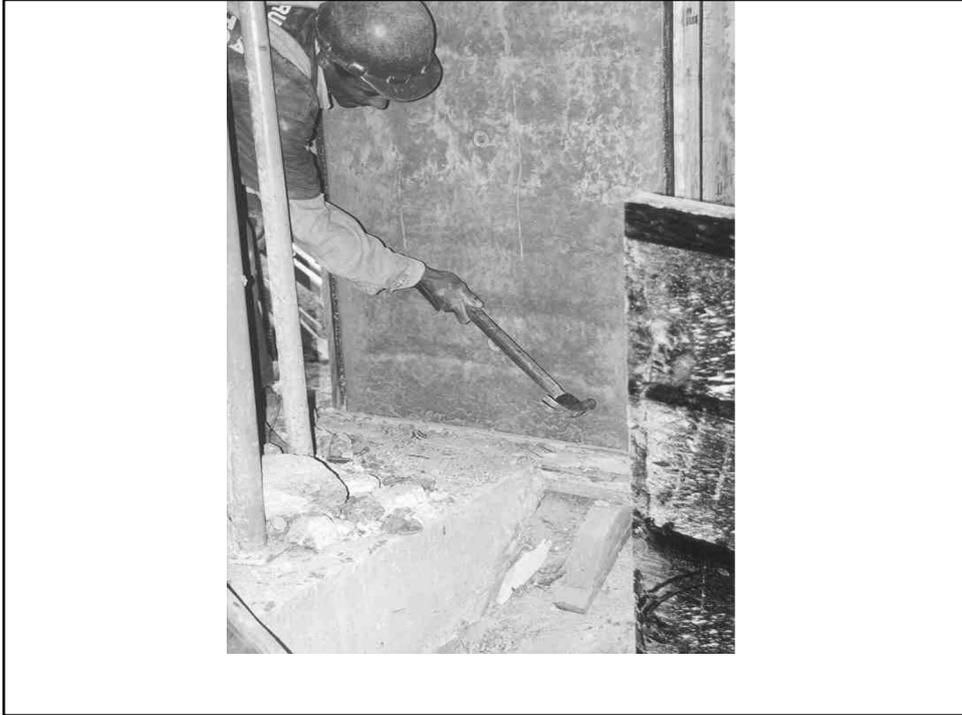
44



45



46



47



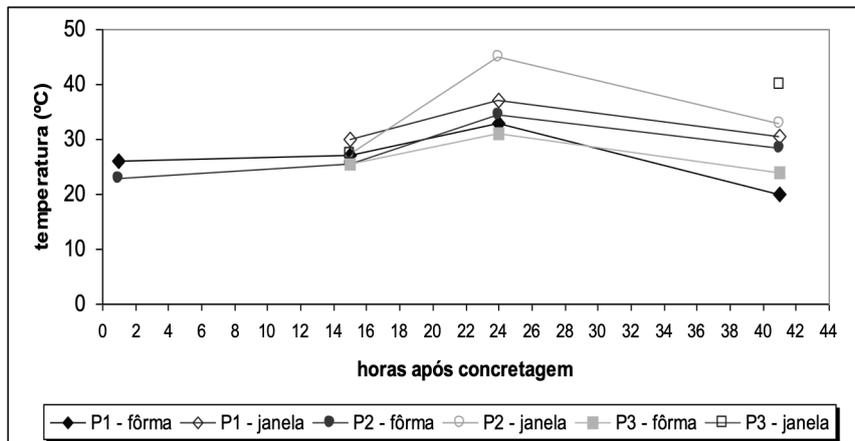
48

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	

49

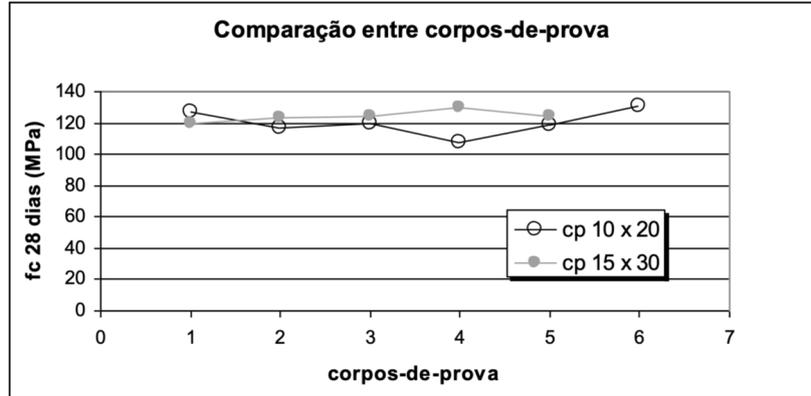
Monitoramento da temperatura



P1 = 133 P2 = 134 P3 = 135

50

Resistência à compressão pilares do subsolo



51



52

***Os Arquitetos e Engenheiros
constroem os marcos da pujança
de uma civilização.
Traduzem a sua história,
os seus sonhos, os seus ideais
em obras imponentes e duráveis
que elevam a auto estima
de seu povo***

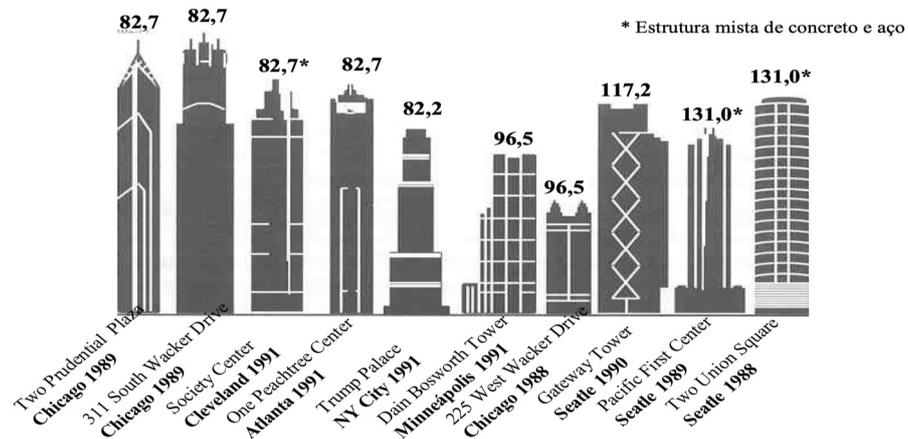
53



***O Concreto
de Alto Desempenho
é uma das grandes
oportunidades atuais
de resgatar essa
importância da
engenharia nacional***

54

Concreto de alta resistência nos EUA



55

Alta Resistência no Brasil

Obra	Local	f _c (MPa)
Edifício Trianon	São Paulo	55
Centro Empresarial Previnor	Salvador	60
Banco de Tokyo	Salvador	70
Edifício Suarez Trade Center	Salvador	75
Edifício do STJ	Brasília	60
Edifício dos Plenários	Brasília	90
Centro Empresarial Nações Unidas	São Paulo	50
Edifício do BankBoston	São Paulo	60

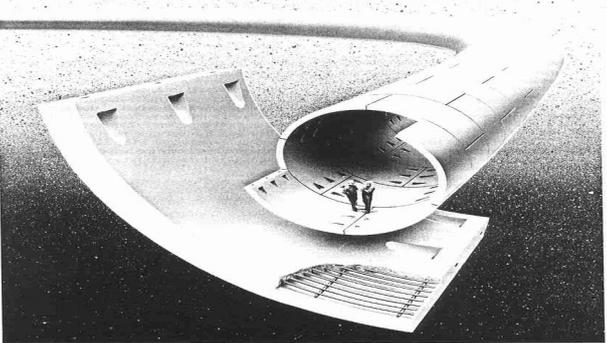
56



57



58



MODERN COMPOSITE CONCRETE - A CONSTRUCTION ALTERNATIVE

In the hostile environment of deep mines and tunnels, design parameters for construction materials must include ease of construction and maintenance, as well the more obvious need for strength and durability. Any improvement in the construction material's performance multiplies into significant cost savings.

Compact reinforced composites are a recent invention which promise just such improvements when used in deep mine shaft and tunnel linings. Their potential pointed Denmark's Aalborg Portland's cement and concrete laboratory towards this application as one of the first projects to investigate the practical properties of the new material.

In 1985 they teamed up with the United Kingdom's Cementation Group to establish EUREKA project EU 264 - COMPRESIT in order to establish general design rules for the use of reinforced composites and to further develop their potential.

Concrete Experience
The Aalborg Portland laboratory has a long tradition of innovation with concrete and includes Hans Henrik Basche, the inventor of DSP materials and compact reinforced composites, as a researcher on its staff. DSP is a combination of cement, micro silica and superplasticising agents. When mixed with small quantities of water, the material is easily castable into complex forms of high density.

EUREKA 

59



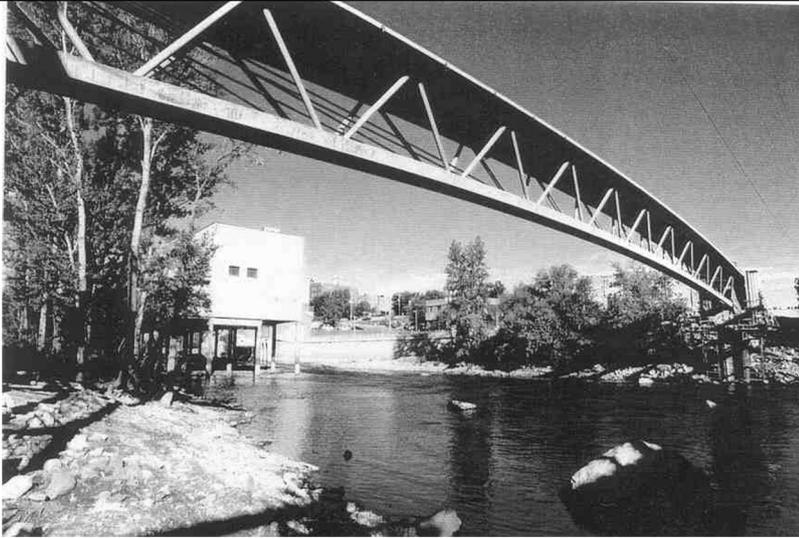
Faro de Alexandria

Farol de Alexandria Egito

280 a.C.
Porto do Nilo
Altura 134 m

Destruído por Terremoto
Século XIV d.C.

60



Passarela de Sherbrooke, Canadá, 1997

$f_{ck} = 200 \text{ MPa}$

$f_{tk} = 7 \text{ MPa}$

$E_{ci} = 50 \text{ GPa}$

61

**THE REACTIVE POWDER CONCRETE (RPC):
A RADICALLY INNOVATIVE MATERIAL**

The Sherbrooke footbridge is the first bridge in the world using RPC, an ultra high performance concrete cast without any steel reinforcement.

Casting of RPC in the footbridge deck formwork

MECHANICAL PROPERTIES OF THE RPC USED FOR THIS PROJECT

- Compressive strength: 200 MPa
- Tensile strength: 7 MPa
- Bending strength: 40 MPa
- Elasticity modulus: 50 GPa

62



University of São Paulo
Escola Politécnica
Civil Construction Engineering Department
MSc and PhD academic and professional programs
Materials, Construction, Structures, Urbanism,
Construction and Finance Management, Building
Systems

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

63



Universidade Federal de Santa Catarina
EPEC Escritório Piloto de Engenharia Civil
Empresa Júnior de Engenharia Civil
Ciclo de Palestras para Engenharia Civil

CAD ou HPC
Projeto, Construção e Recordes
da Engenharia Nacional

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
Director of GLARilem
Diretor Conselheiro do IBRACON

Florianópolis, 20 de maio de 2002

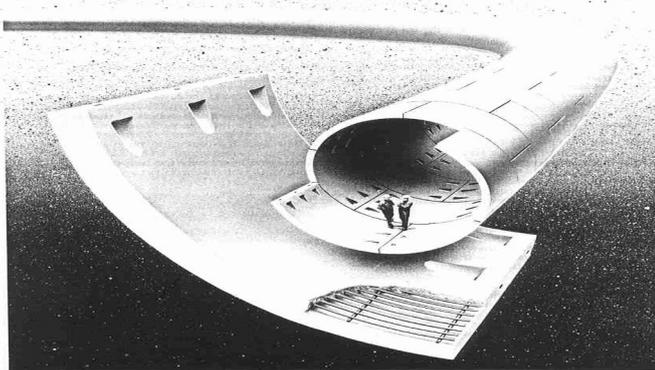
64



University of São Paulo
Escola Politécnica
Civil Construction Engineering Department
MSc and PhD academic and professional programs
Materials, Construction, Structures, Urbanism,
Construction and Finance Management, Building
Systems

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

65



**MODERN COMPOSITE CONCRETE -
A CONSTRUCTION ALTERNATIVE**

In the hostile environment of deep mines and tunnels, design parameters for construction materials must include ease of construction and maintenance, as well as the more obvious need for strength and durability. Any improvement in the construction material's performance multiplies into significant cost savings.

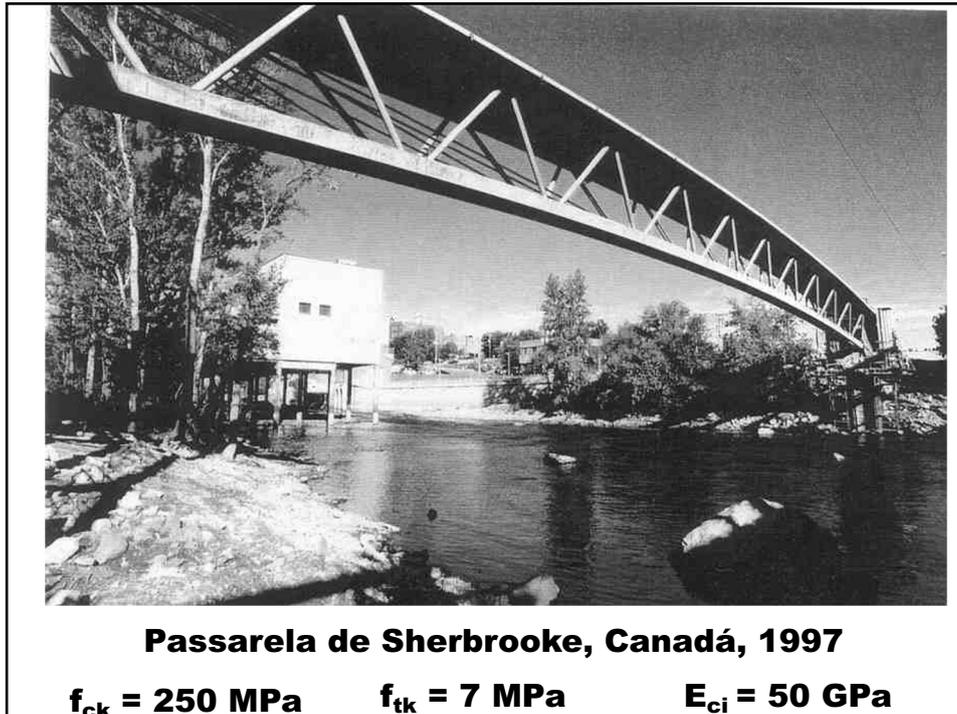
Compact reinforced composites are a recent invention which promise just such improvements when used in deep mine shaft and tunnel linings. Their potential pointed Denmark's Aalborg Portland's cement and concrete laboratory towards this application as one of the first projects to investigate the practical properties of the new material.

In 1985 they teamed up with the United Kingdom's Cementation Group to establish EUREKA project EU 264 - COMPRESSIT, in order to establish general design rules for the use of reinforced composites and to further develop their potential.

Concrete Experience
 The Aalborg Portland laboratory has a long tradition of innovation with concrete and includes Hans Henrik Bachle, the inventor of DSP materials and compact reinforced composites, as a researcher on its staff. DSP is a combination of cement, micro silica and superplasticising agents. When mixed with small quantities of water, the material is easily castable into complex forms of high den-

EUREKA 

66



67



68

Ensaio de fluidez do cone de Abatimento

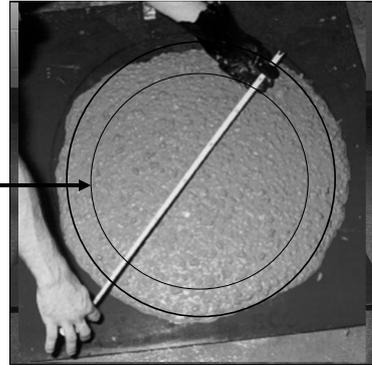
Na faixa de diâmetro de 50 cm a 70 cm, se mede o tempo necessário para uma determinada distância para o concreto.

T50/65 tempo para alcançar 50 a 65 centímetros de diâmetro.

tipicamente T50 é de 3 a 10 segundos

<3 segundos a viscosidade e demasiadamente baixa, e possível a segregação

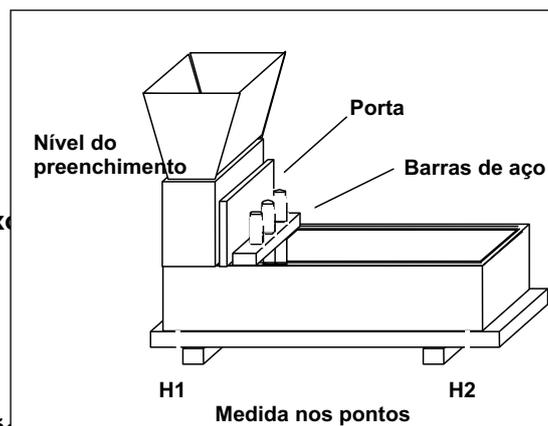
>10 segundos a viscosidade é muito alta, insuficiente fluidez



69

▼ Caixa "L"

- Ensaio para medir fluxo e resistência ao escoamento da mistura.
- Também indica se o concreto tem tendência a segregação (os agregados ficam expostos na superfície)

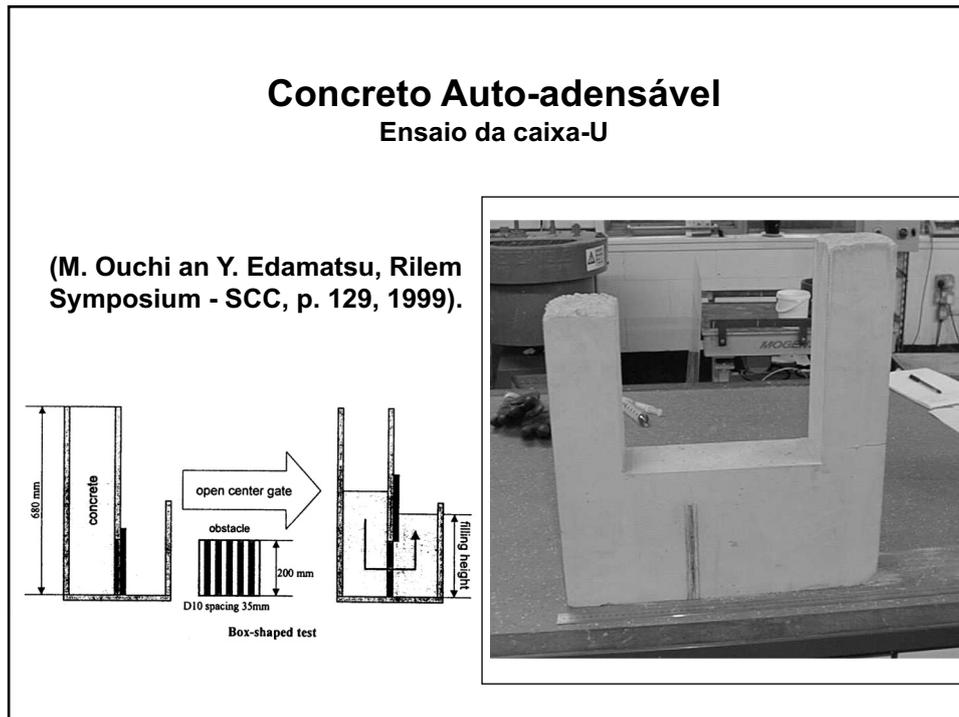


Relação do bloqueio = $H2/H1$

RB = 1.0 Excelente

RB = 0.9 Aceitável

70

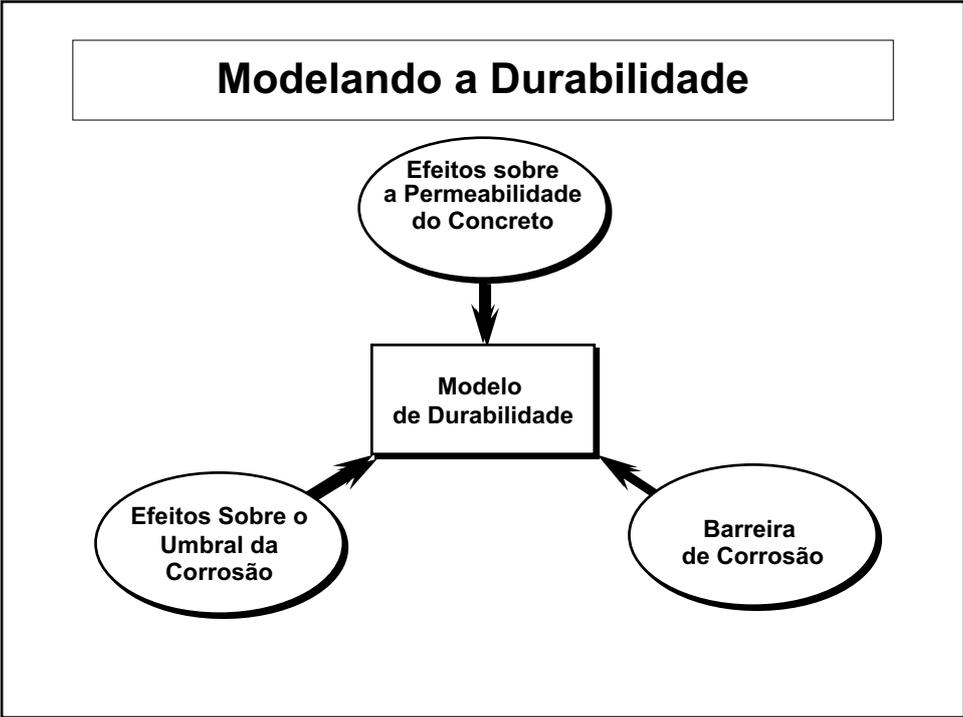


71

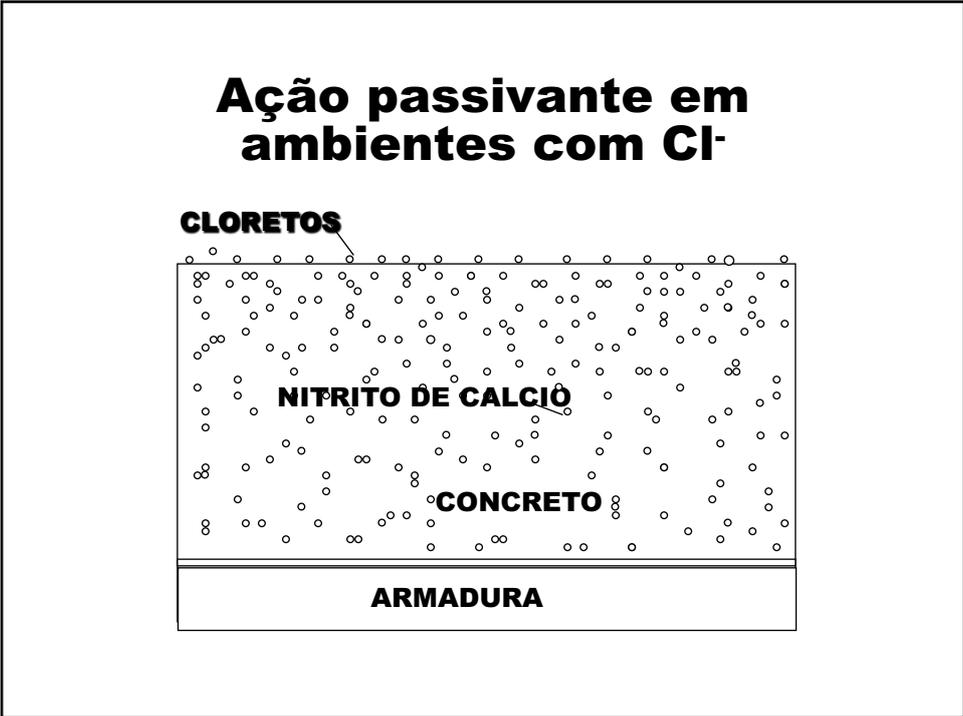
Controle da Durabilidade em Ambientes com Cl

Inibidores de Corrosão

72



73



74

Passivação com Nitrito em Ambientes Alcalinos

- ▼ **Impede o acesso dos Cl ao aço**
- ▼ **Aumenta o limite do umbral (de 0,35 para 0,9%)**
- ▼ **Forma produtos de corrosão mais estáveis**

75

- ▼ **Concretos sem Retração de Secagem (aditivos especiais)**
- ▼ **Concretos sem Retração Plástica (fibras polipropileno)**
- ▼ **Concretos coloridos**
- ▼ **Concretos condutivos**
- ▼ **Concretos isolantes**

76

Museu de Arte de São Paulo – MASP
Localização: Av. Paulista
 $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$ 1968
Pioneiro no Brasil em CAR



77

Museu de Niterói
Localização: Niterói, RJ
 $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$ 1997



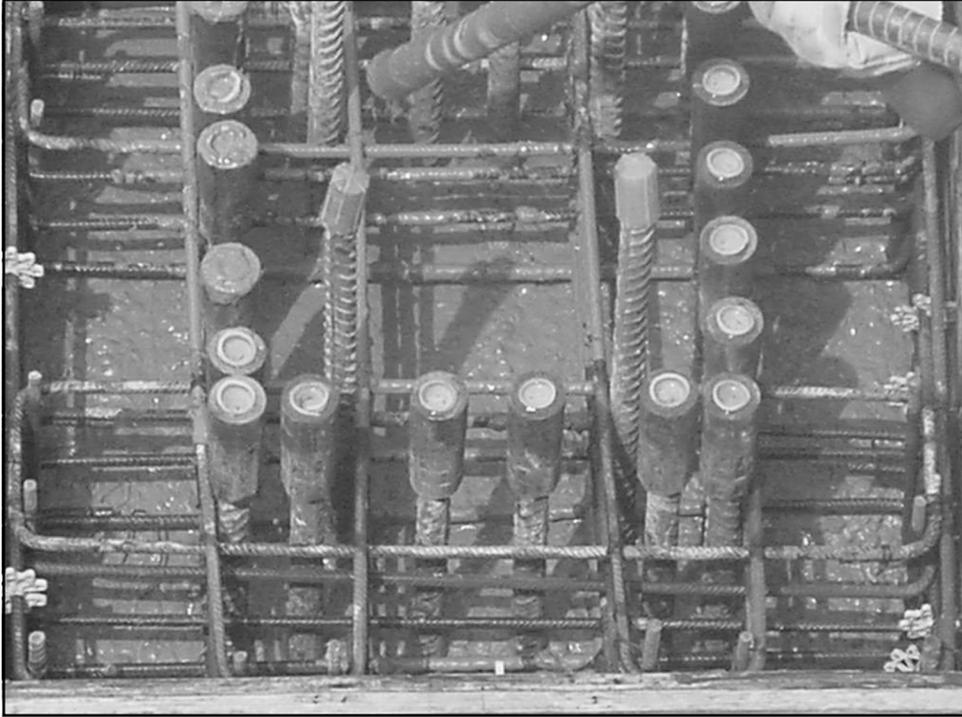
78



79



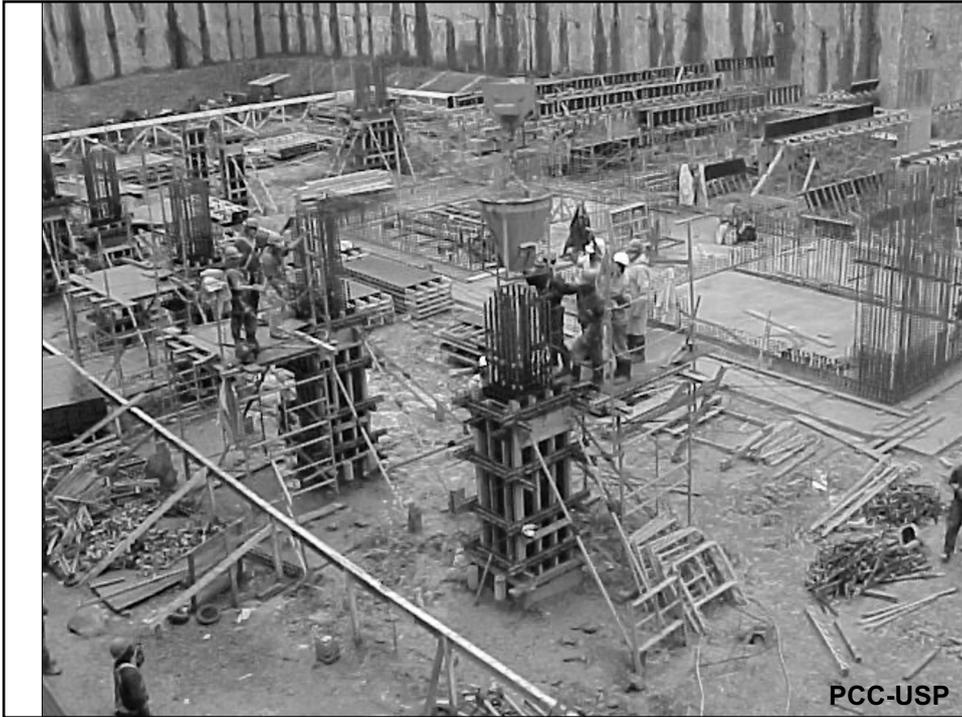
80



81



82



83



84



85

***Os Arquitetos e Engenheiros
constroem os marcos da pujança
de uma civilização.
Traduzem a sua história,
os seus sonhos, os seus ideais
em obras imponentes e duráveis
que elevam a auto estima
de seu povo***

86



***O Concreto
de Alto Desempenho
é uma das grandes
oportunidades atuais
de resgatar essa
importância da
engenharia nacional***

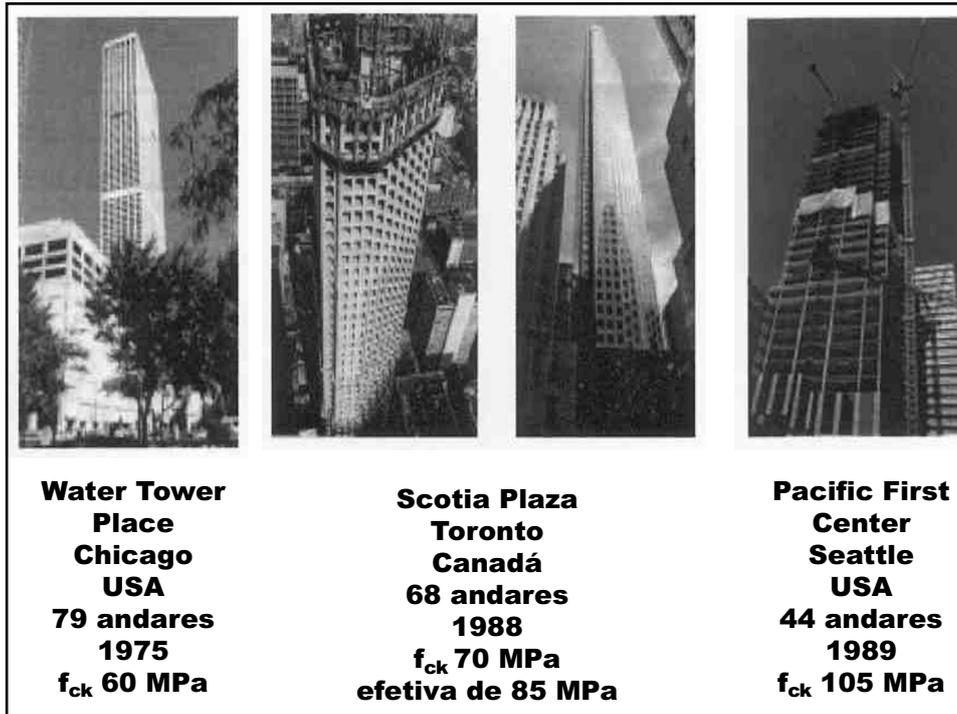
87

Conclusão

***...não basta ser
engenheiro da FEDERAL
de SC...***

***...tem de ser
CIVIL!!***

88



89

***Os Arquitetos e Engenheiros
constroem os marcos da pujança
de uma civilização.
Traduzem a sua história,
os seus sonhos, os seus ideais
em obras imponentes e duráveis
que elevam a auto estima
de seu povo***

90



***O Concreto
de Alto Desempenho
é uma das grandes
oportunidades atuais
de resgatar essa
importância da
engenharia nacional***

91

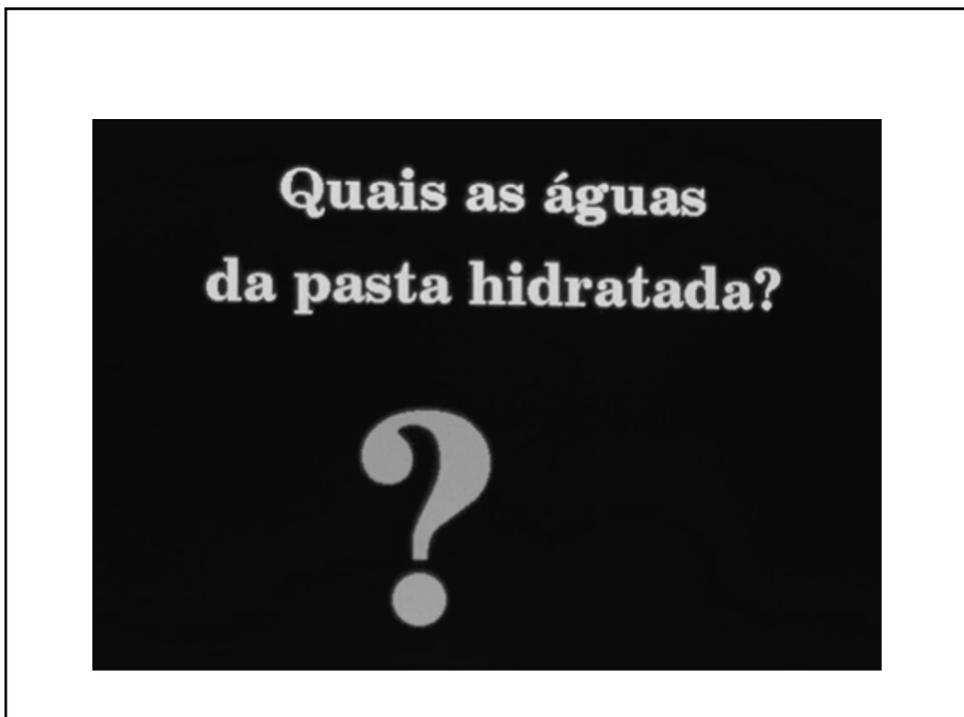
Não basta ser Poli....

Tem de ser CIVIL!!

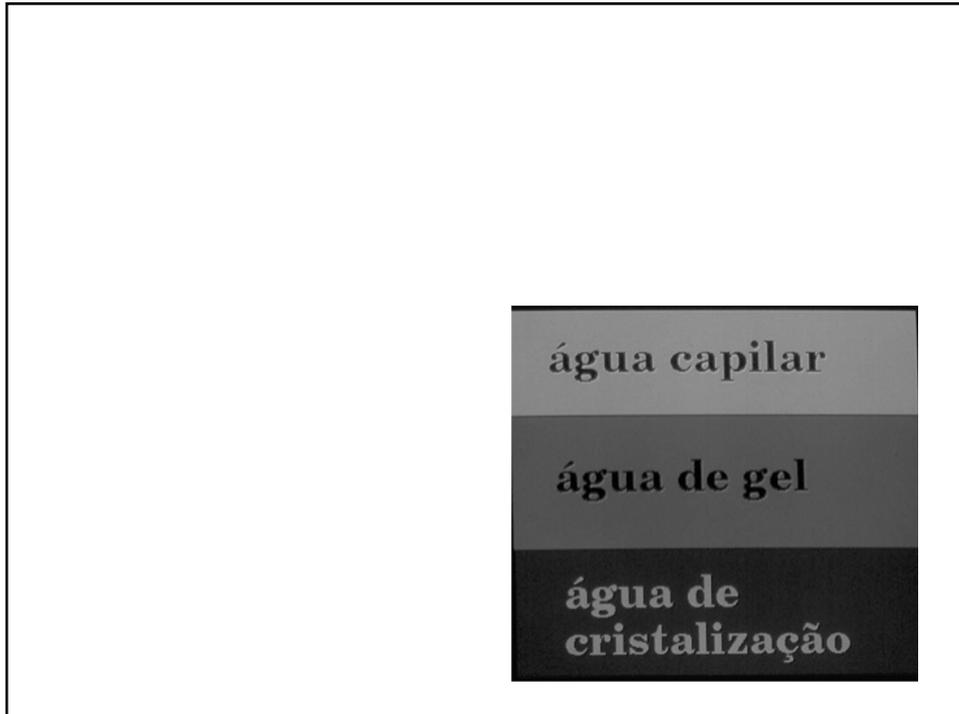
92



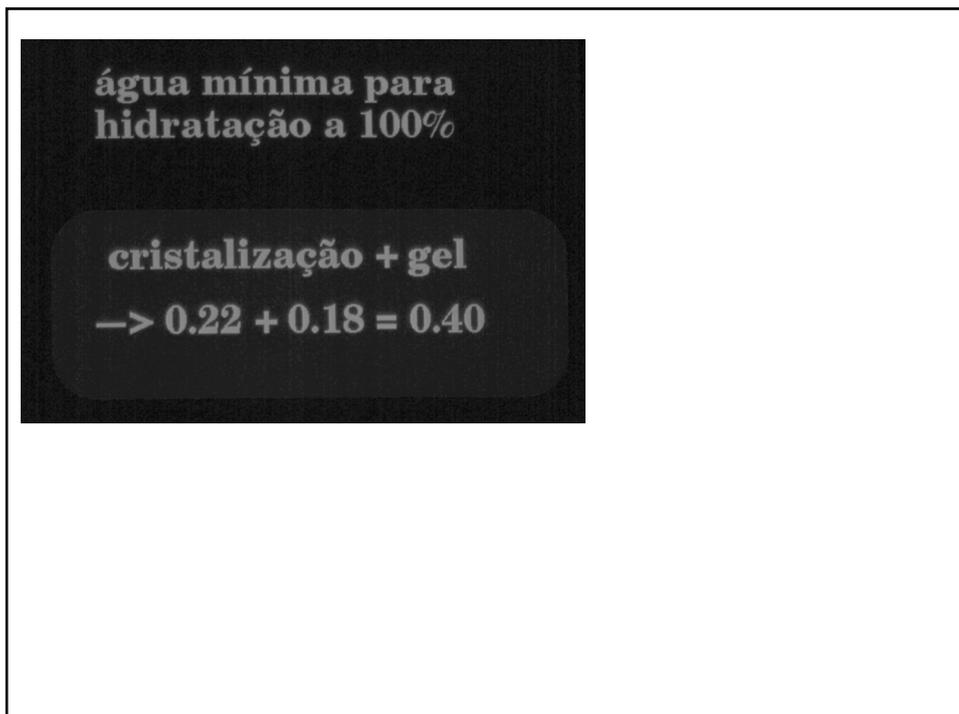
93



94



95



96

Water Tower Place, Chicago, 1975

cimento :

traço	1 : 1.67 : 2.26	450 kg/m ³
a/c = 0.37	a/a = 0.37	165 L/m ³
superfluidificante	12 L/m ³	2.5 %
$f_{c28} = 80 \text{ MPa}$		

97

Scotia Plaza, Toronto, 1987

cimento : escória de alto forno : sílica ativa

traço	1 : 0.44 : 0.11 : 1.65 : 2.28	315 kg/m ³
a/c = 0.46	a/a = 0.30	145 L/m ³
superfluidificante	7 L/m ³	2.2 %
$f_{c28} = 83 \text{ MPa}$		

98

Centro Empresarial Nações Unidas, SP 1997

cimento : sílica ativa

traço	1 : 0.08 : 1.39 : 2.02	498 kg/m ³
a/c = 0.39	a/a = 0.36	193 L/m ³
superfluidificante	3.5 L/m ³	0.7 %
f_{c28} = 61 MPa		

99

Two Union Square, Seattle, 1988

cimento : sílica ativa

traço	1 : 0.08 : 1.33 : 2.10	513 kg/m ³
a/c = 0.25	a/a = 0.23	130 L/m ³
superfluidificante	15.7 L/m ³	3.1 %
f_{c28} = 119 MPa		

100



101

**Centro Empresarial Nações Unidas
CENU**

- > 300.000 m²
- > 3 torres Oeste, Leste e Norte
- > 180m altura, 160m acima térreo
- > 3.700 estacionamentos
- > U\$ 226.000.000
- > construção de 1995 a 2000
- > 93.000 m³ concreto
- > 9.700 t de aço

102

CENTRO EMPRESARIAL NAÇÕES UNIDAS CENU
Torre Norte

Estrutura: pilares armados C50 MPa e lajes planas tipo cogumelo,
protendidas, com até 10 m de vão.

44 pavimentos → 5 subsolos + térreo + mezanino + 35 andares + caixa
d'água + heliponto

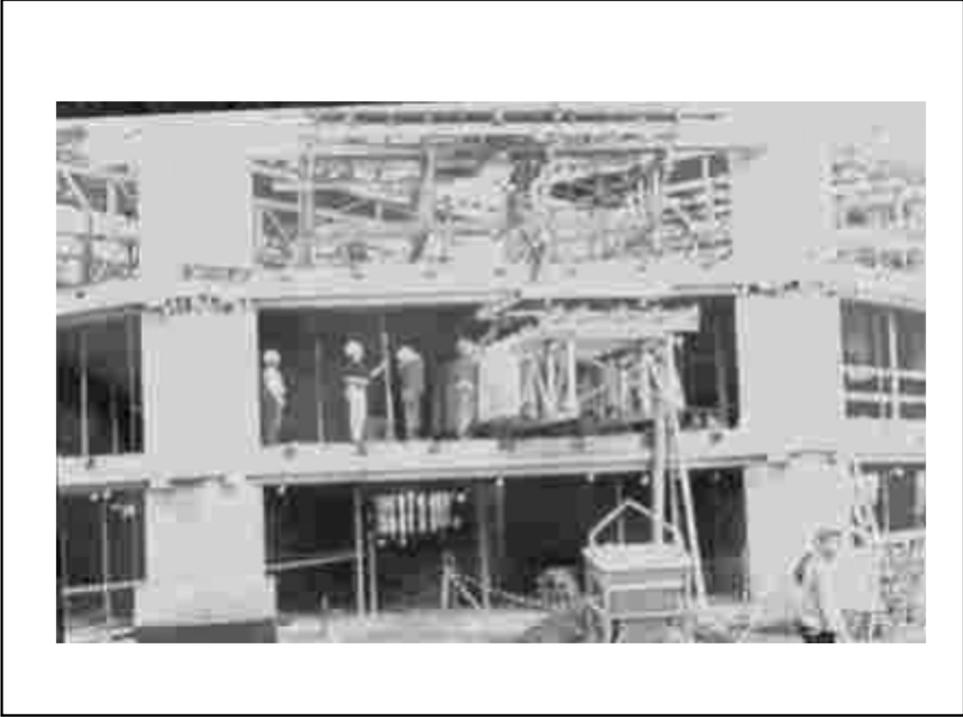
altura total de 176 m

início: abril 1997 término: maio 1998 13 meses

103



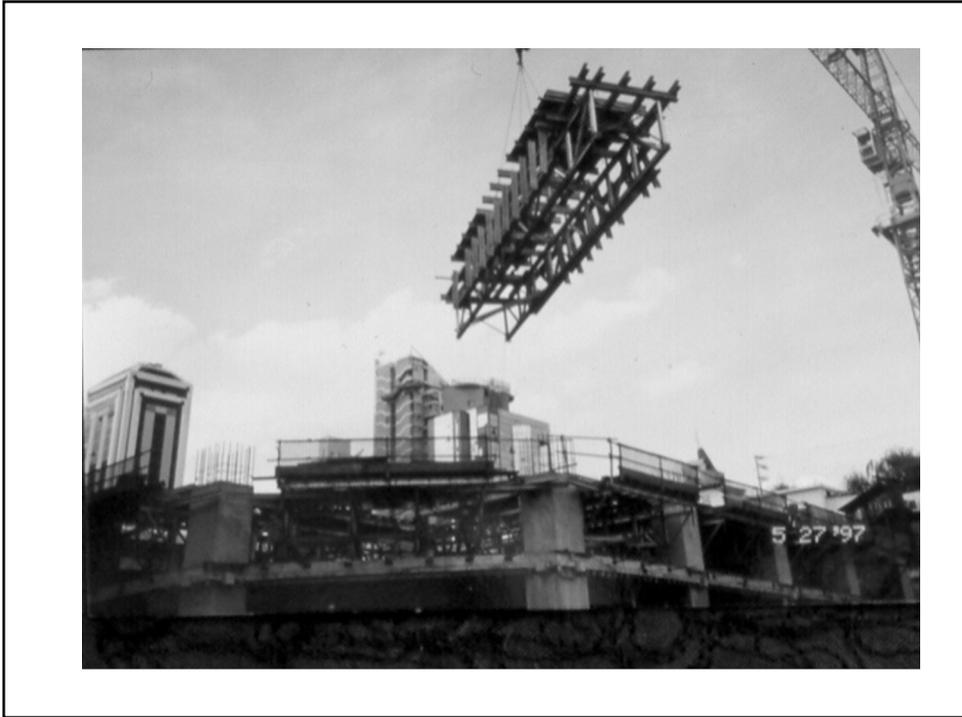
104



105



106



107



108



109



110



111

Concreto f_{ck} 35 MPa p/ lajes		
	Feb 98	May 97
cimento	460	420
areia	950	858
brita 1	790	920
água	196	182
plastificante	0.3%	0.3%
bombeante	0.8%	—
slump	150±20	100±20
pavimento	≥ 34°	< 10°

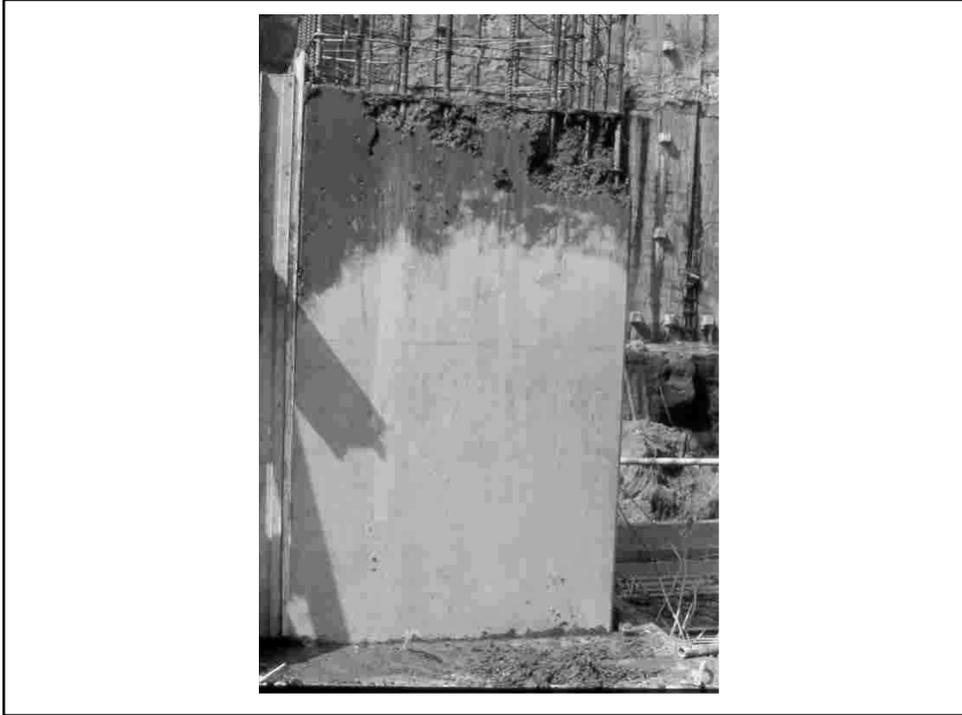
112



113

Concreto f_{ck} 50 MPa pilares		
cimento	498	550
sílica ativa	40	—
areia	692	737
brita 1	1002	968
água	193	193
plastificante	0.3%	0.3%
superplast.	0.7%	—
a/(c+s)	0.36	0.35
α	55%	57%
slump	70 \pm 10	70 \pm 10

114



115