



Comunidade da Construção
I Seminário: Racionalização das Estruturas
de Concreto e Revestimentos de Argamassa



Por quê trabalhar com concretos de resistências mais elevadas que as atuais

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
Diretor Conselheiro do IBRACON*

SindusCon

Rio de Janeiro, 08 de julho de 2003

RJ

1

Traço da Argamassa

**Cimento: Areia: Saibro: Cal
Hidratada**

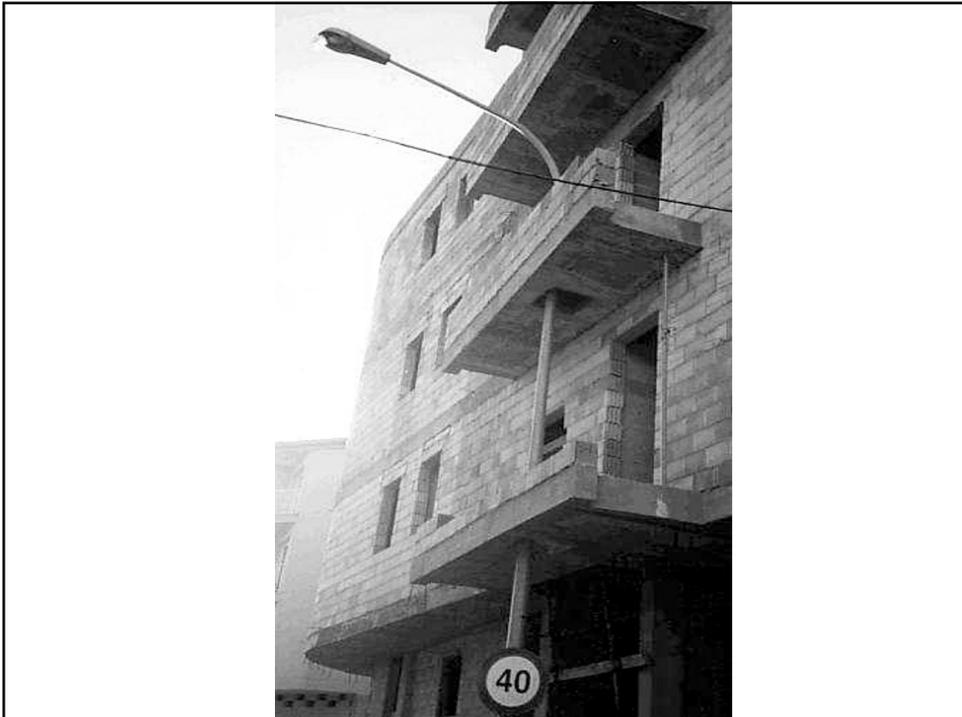
**Aditivo Incorporador de Ar:
Plastificante: Emulsificante**

+ Experiência

2



3



4

Traco da Argamassa
Cimento Portland Pro: Cal
Aditivo Injetor de Ar:
Plastificante
+ Adição

5

“O CONCRETO É A SOLUÇÃO”

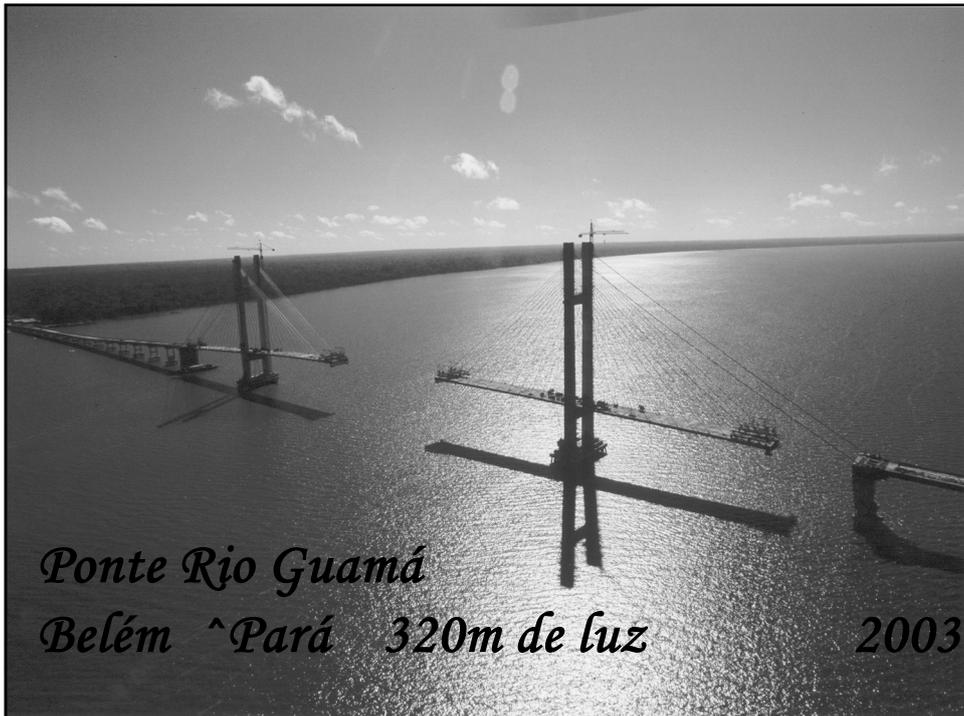
6 MPa

6

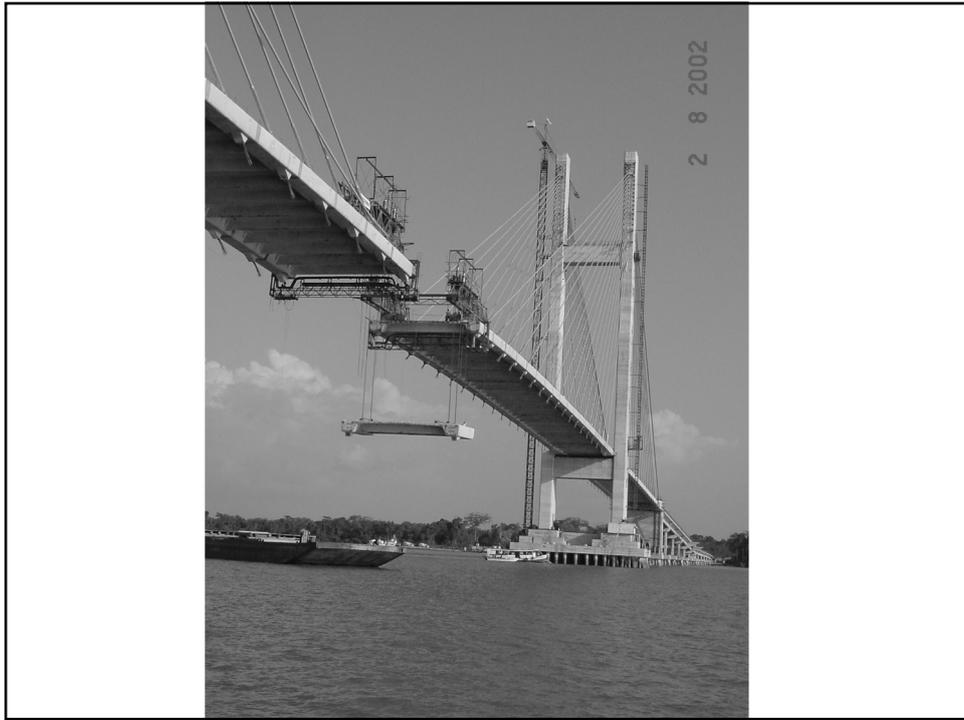
PONTE SOBRE O RIO GUAMÁ
"O COLOSSO DO PARÁ"



7



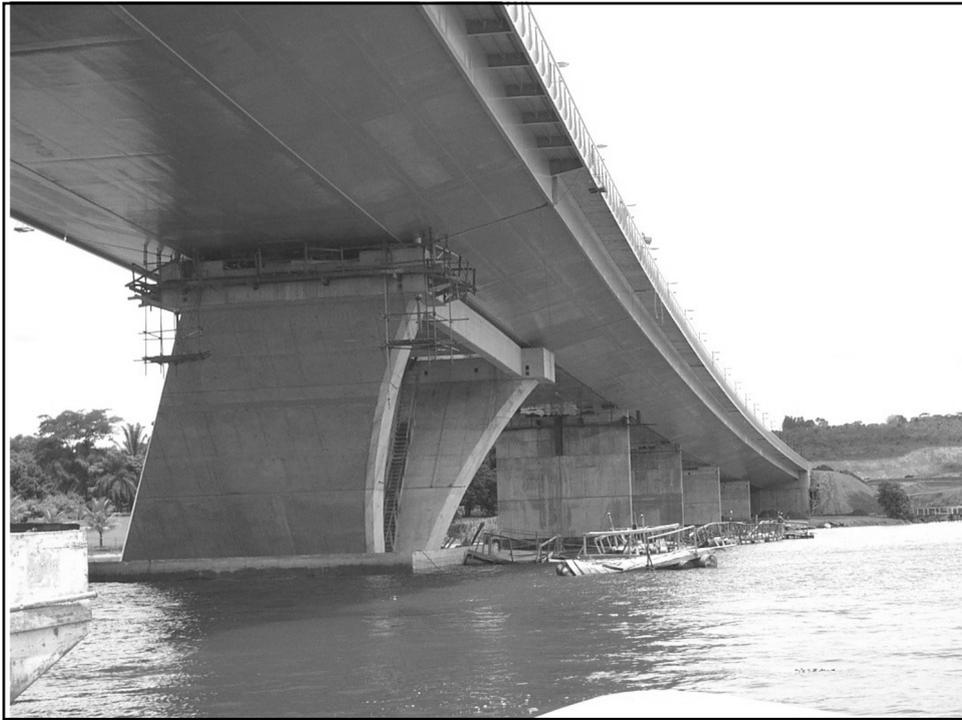
8



9



10



11



12



13



Comunidade da Construção
*I Seminário: Racionalização das Estruturas
de Concreto e Revestimentos de Argamassa*


PPCCUS

Por quê trabalhar com concretos de resistências mais elevadas que as atuais

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
Diretor Conselheiro do IBRACON*

SindusCon.SP **Campinas, 24 de junho de 2003** **São Paulo**

14

f_{ck} no Brasil

- ▼ **Histórico**
- ▼ **Tendências**
- ▼ **Brasil Atual**
- ▼ **Necessidades**
- ▼ **Vantagens**
- ▼ **Conclusões**

15

Histórico

Concreto 1975 traços típicos

<i>Relação a/c</i>	f_{c28}	f_{ck}	Consumo/m ³
<i>0,40</i>	31,70	25	378
<i>0,47</i>	26,70	20	321
<i>0,54</i>	22,20	16	281
<i>0,62</i>	18,20	12	246

Concreto 2003 traços típicos

f_{c28}	Relação a/c	f_{ck}	Consumo/m ³
31,70	0,55	25	305
26,70	0,61	20	272
22,20	0,67	16	252
18,20	0,73	12	223

16

Histórico

f_{ck}	1975		2002		Diferenças	
	a/c	Consumo	a/c	Consumo	kg	%
25	0,40	378	0,55	305	-73	-19
20	0,47	321	0,61	272	-49	-15
16	0,54	281	0,67	252	-29	-10
12	0,62	246	0,73	223	-23	-9

Mudanças nos cimentos por melhorias no processo industrial:

- aumento da finura (moagem, granulometria)
- presença de adições nos cimentos
- uso de aditivos nos concretos

17

Histórico

Europa

Concreto $f_{c28} = 25$ MPa

<i>Período</i>	<i>Consumo mínimo de Cimento/m³</i>	<i>Relação a/c máxima</i>
1945-47	380	0,47
1954-58	300	0,60
1975-80	250	0,72

Concreto $f_{c28} = 25$ MPa

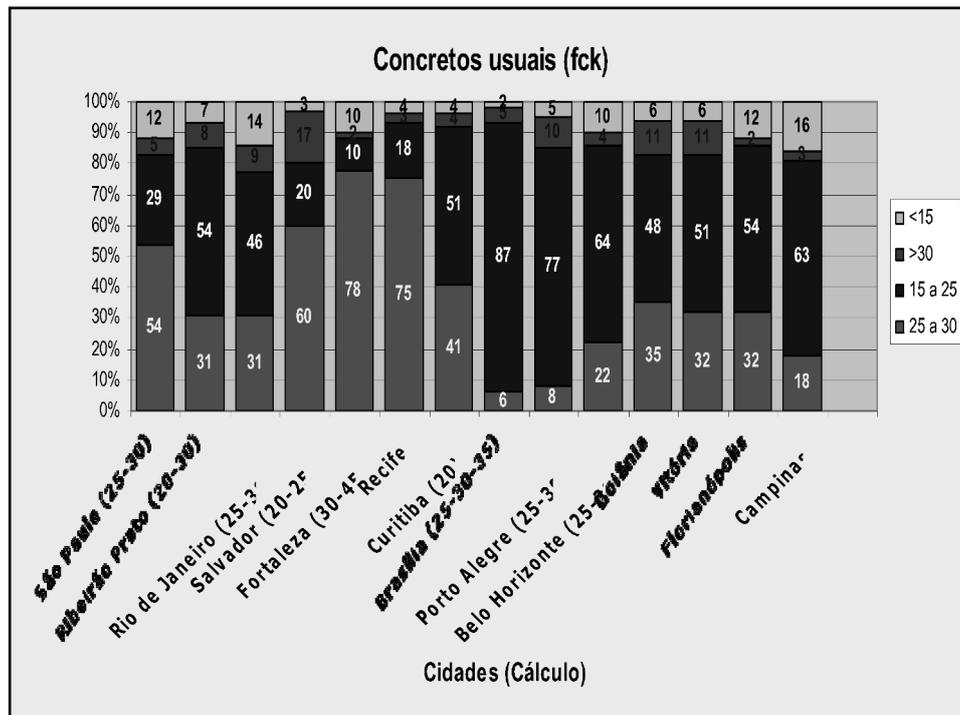
- 1950 - a/c = 0,50
- 1990 - a/c = 0,70

18

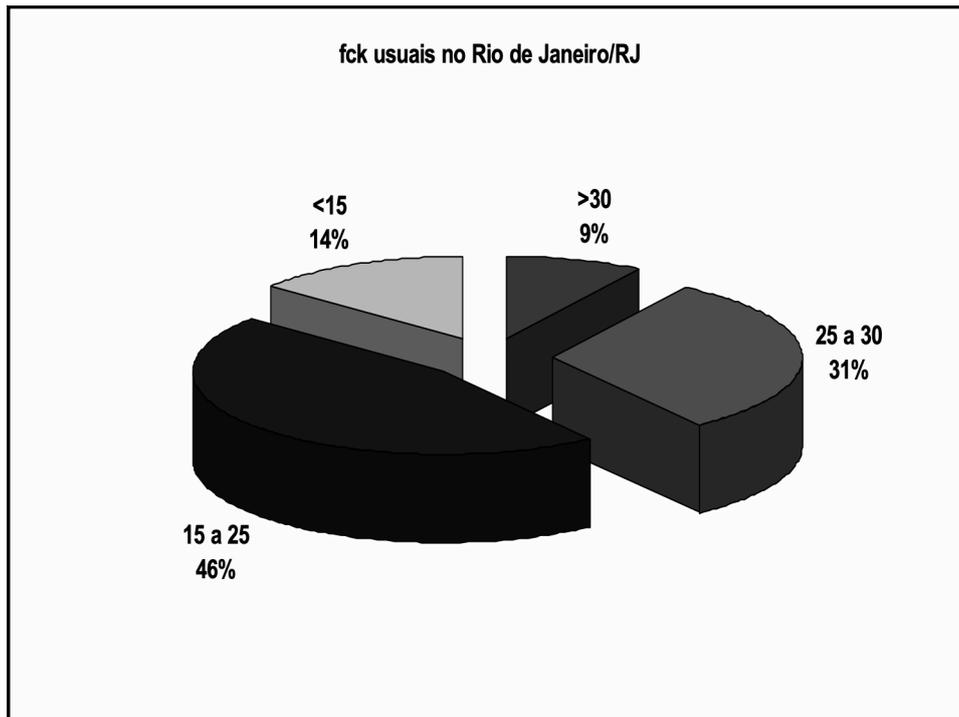
Conseqüências

- ▼ **A melhoria dos cimentos proporcionou trabalhar com menores consumos e maiores relações a/c para as mesmas resistências;**
- ▼ **Aumento de manifestações patológicas e ações na justiça em defesa do consumidor acarretando o aumento de gastos com manutenção e indenizações aos usuários das obras;**
- ▼ **Maiores gastos com manutenção estão exigindo ações de melhoria para atender à *durabilidade*;**
- ▼ **Atender a durabilidade, ou seja, reduzir o envelhecimento precoce traz melhoria da qualidade da estrutura, com vantagens econômicas**

19



20



21

Brasil Atual

▼ Devido a evolução do conhecimento dos mecanismo de deterioração das estruturas, ocorrida nos últimos anos, a normalização avança na direção de concretos adequados à

Durabilidade

▼ Este é o foco principal das exigências da
NBR 6118/2003

22

Necessidades contemporâneas

- **Garantia da vida útil**
- **Atender a NBR 6118**
- **Reduzir custos de manutenção**
- **Desenvolvimento sustentável**

23

Garantia da Vida Útil

Edifício Martinelli SP



1925

Torre Norte SP



2000

24



Edifício Martinelli
São Paulo
1925
25 andares
Altura 106 m
Rua Líbero Badaró
 $f_{ck} = 13,5 \text{ MPa}$

25



Edifício Itália
São Paulo
1959
Altura 153 m
“record mundial”

26



**Centro
Empresarial**

**Nações
Unidas
Torre Norte**

**São Paulo
1997**

$f_{ck} = 50 \text{ MPa}$

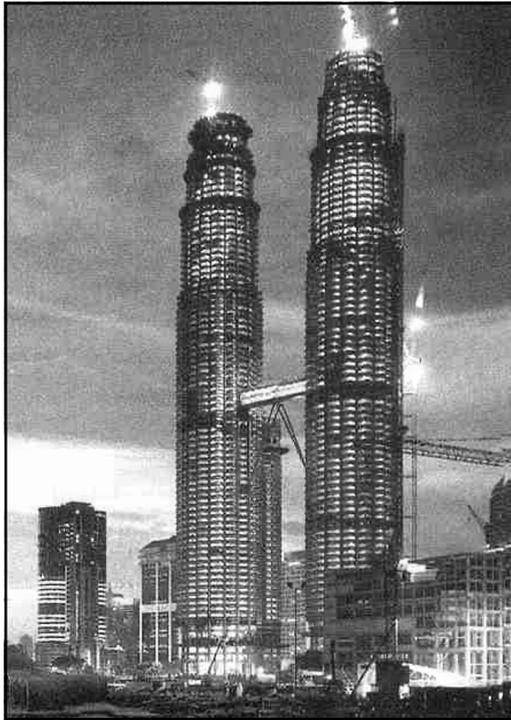
Altura 179 m

27



Buenos Aires, Argentina

28



Petronas Towers

Kuala Lumpur

Malásia 1997

Altura 452 m

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

29

Garantia da vida útil

"Por vida útil de projeto, entende-se o período de tempo durante o qual se mantêm as características das estruturas de concreto sem exigir medidas extras de manutenção e reparo, ou seja, é após esse período que começa a efetiva deterioração da estrutura, com o aparecimento de sinais visíveis como: produtos de corrosão da armadura, desagregação do concreto, fissuras, etc." (NBR 6118/2002).

30



ENVELHECIMENTO

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

31

Cloretos - difusão

$$t = \frac{c_{Cl}^2}{4 \cdot z^2 \cdot D_{ef,Cl}^{1/2}} \text{ (ano)}$$

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

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

32

Cloretos - difusão

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

- $f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 4 \text{ anos}$
- $f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 150 \text{ anos}$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 23 \text{ anos}$

33

Carbonatação

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

- $e_{co2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$
- $k_{co2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/ano}^{1/2}$

34

Carbonatação

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

- $f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$
- $f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 350 \text{ anos}$
- $f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$

35

Código de Defesa do Consumidor, Seção IV, Art. 39 Atender a Norma NBR 6118

"É vedado ao fornecedor de produtos e serviços:...VIII - colocar, no mercado de consumo, qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela ABNT ou outra entidade credenciada pelo CONMETRO."

36

Atendimento à Norma NBR 6118

Os cimentos brasileiros atuais (NBR 6118/2002)

f_{ck} (f_{c28}) (MPa)	<i>Relação água/cimento</i>							
	CPI 32	CP II 32	CP II 40	CP III 32	CP III 40	CP IV 32	CP V ARI/RS	CP V ARI
20 (26,6)	0,67	0,61	0,67	0,60	0,66	0,63	0,71	0,74
25 (31,6)	0,61	0,54	0,60	0,54	0,60	0,55	0,63	0,67
30 (36,6)	0,55	0,48	0,54	0,49	0,55	0,49	0,56	0,61
35 (41,6)	0,50	0,42	0,49	0,45	0,51	0,45	0,50	0,55

As exigências da Norma (Tabela 13 da NBR 6118/2002)

Concreto	Tipo	<i>Classe de agressividade</i>			
		I	II	III	IV
a/c	CA	<0,65	<0,60	<0,55	<0,45
	CP	<0,60	<0,55	<0,50	<0,45
Classe de Concreto (NBR 8953)	CA	> C20	> C25	> C30	< C40
	CP	> C25	> C30	> C35	> C40

37

Vantagens

- ▼ Melhor desempenho estrutural
- ▼ Melhoria Arquitetônica
- ▼ Menor custo da estrutura
- ▼ Ganho de área
- ▼ Menor custo de depreciação

38

Melhor Desempenho Estrutural

Edifício	f_{ck} (MPa)	Aço (kg/m ²)	Concreto m ³ /m ²	Aço (kg/m ³)	Formas (m ² /m ²)
Villa Lobos	20	13,72	0,22	86,07	1,87
Dom Henriqu	30	11,68	0,21	76,18	1,72
Relação DH/VL		0,85	0,95	0,88	0,92

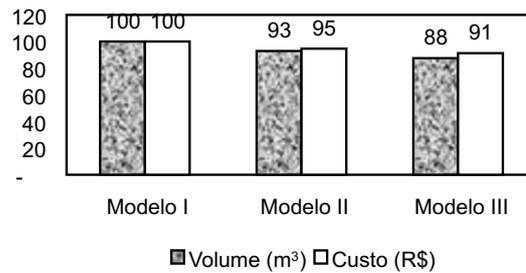
(Eng^o Frank, Goiânia/GO - 2000)

Mod. I - $f_{ck} = 30$ MPa

Mod. II - pilares f_{ck} var.
30, 45, 60 MPa

Mod. III - pilares e
vigas f_{ck} var. 30, 45, 60
MPa

(Eng^{os} Ferreira, Fonte e
Athayde Neto, Belém/PA -
2001)



39

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente



Superior Tribunal de Justiça
Arqt^o Oscar Niemeyer

40

Melhoria arquitetônica

Estruturas mais esbeltas



41



42



43

Menor Custo Inicial

Ganho de Área

44

APRESENTAÇÃO DO EMPREENDIMENTO

1) EMPREENDIMENTO

- Hotel 5 Estrelas
- Hotel 4 Estrelas
- Edifício de Escritórios de Alto Padrão
- Academia de Ginástica

45



- **Área do empreendimento** **100.000,00 m²**
- **Altura do prédio** **100 m**
- **Prazo de estrutura** **12 meses**
- **Volume total de concreto** **34.000,00 m³**
- **Aço CA-50 e CA-60** **2.600,00 t**
- **Solução em laje nervurada**

46

- **Vãos entre pilares de 11,50 m;**
- **Cargas elevadas;**
- **Efeitos dinâmicos**
- **Necessidade de vagas de garagem com fácil acesso e circulação**
- **f_{ck} utilizados:**
 - **Pilares: 50 MPa**
 - **Lajes e vigas: 35 MPa**

47



Comparativo com $f_{ck} = 25$ MPa

- ▼ **Aço:** - 13%
- ▼ **Concreto:** - 19%
- ▼ **Mão de Obra:** - 9%
- ▼ **Custo da estrutura:** - 9%

- ▼ **Economia total na estrutura:**
▼ **R\$ 650.000,00**

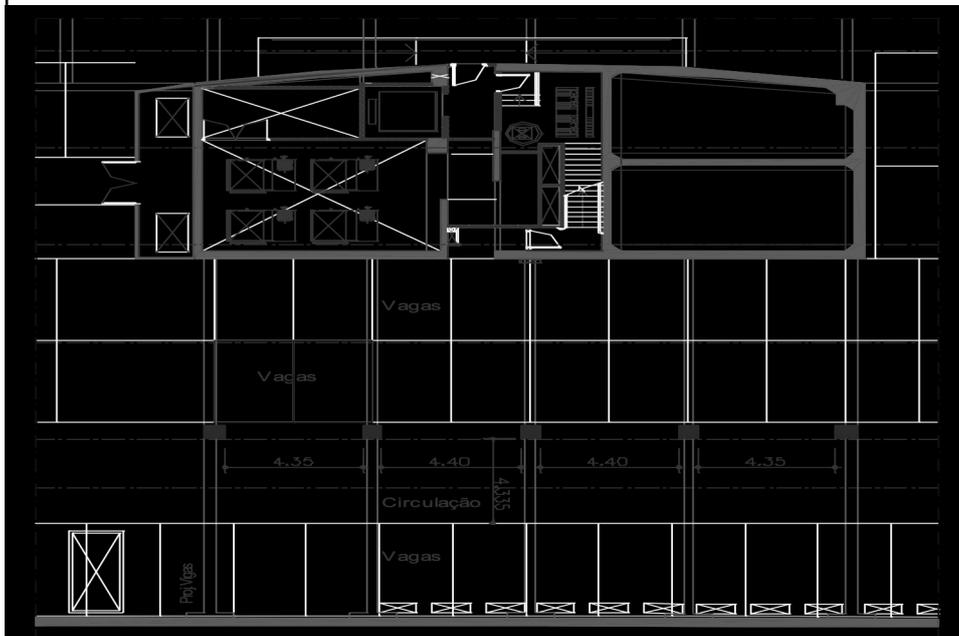
48

- ▼ Edifício e-Tower SP
- ▼ 42 andares
- ▼ Heliponto
- ▼ Piscina semi-olimpica
- ▼ Academia de ginástica
- ▼ 2 restaurantes
- ▼ Concreto colorido
- ▼ f_{ck} pilares = 80 MPa

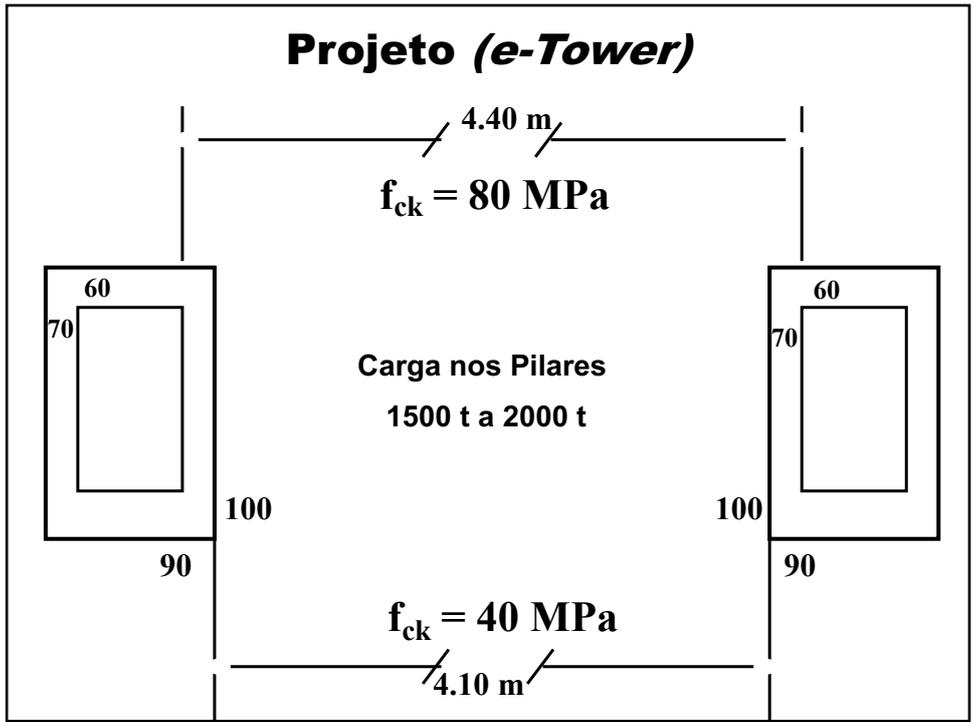


49

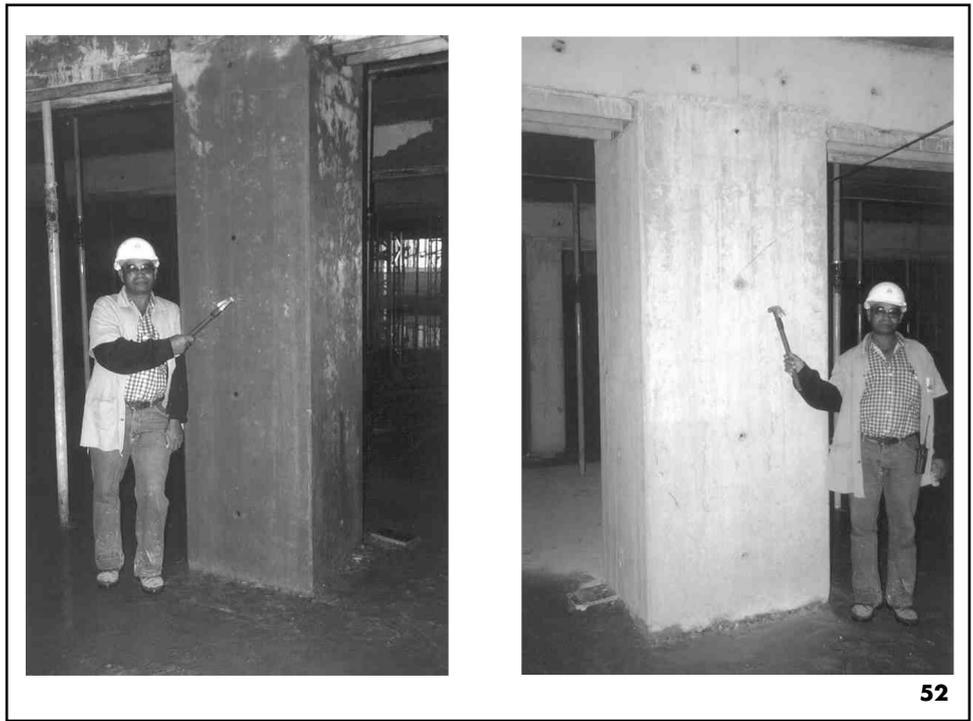
Projeto (e-Tower)



50

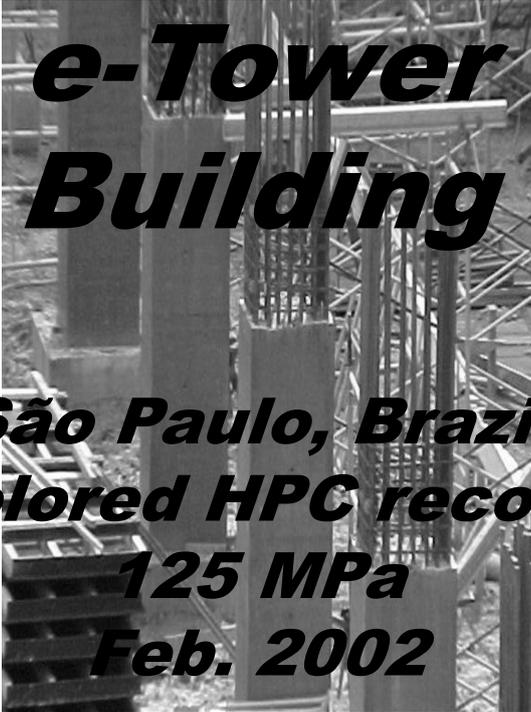


51



52

52



e-Tower Building

***São Paulo, Brazil
Colored HPC record
125 MPa
Feb. 2002***

53

53

Projeto (*e-Tower*)

- Ganho de 4 vagas por andar
- 4 x 4 andares = 16 novas vagas
- US \$ 4,000 cada vaga
- ganho de US\$ 64.000,00

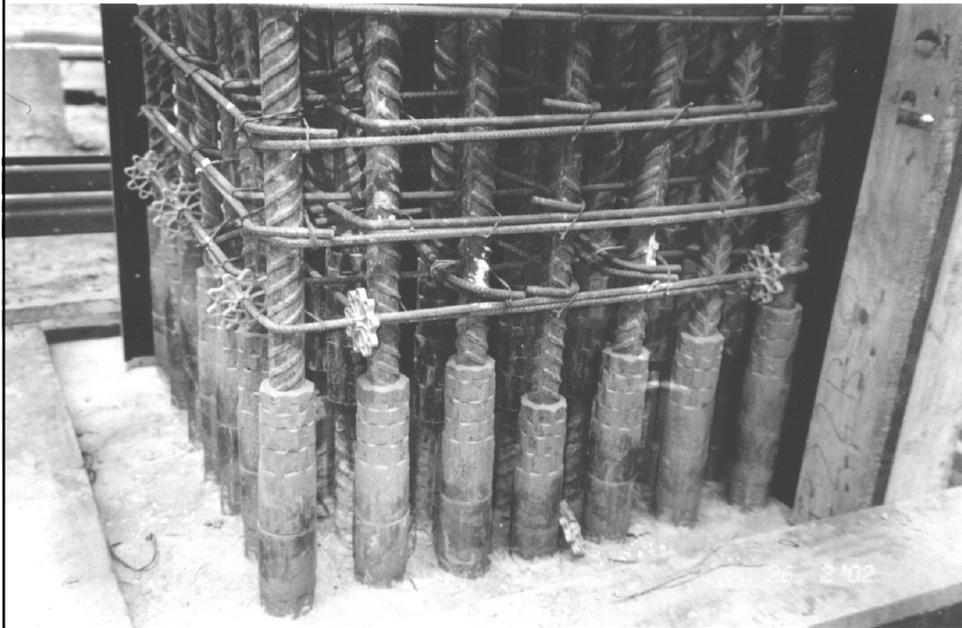
54

Projeto (*e-Tower*)

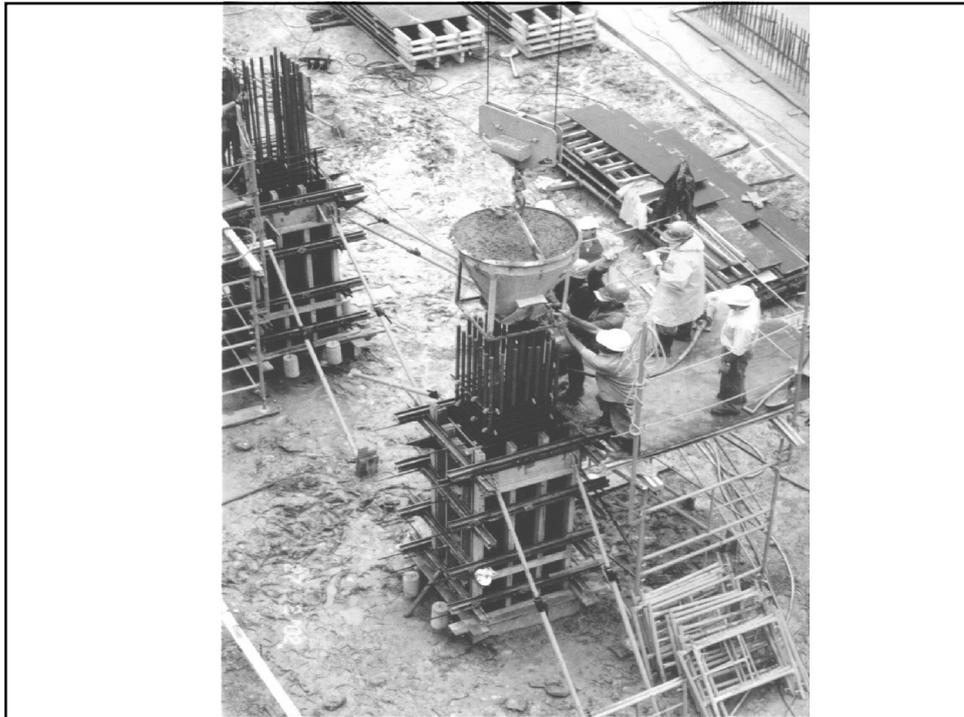
- seção transversal = $90 \times 100 = 0.9 \text{ m}^2$
- nova = $60 \times 70 = 0.42 \text{ m}^2$
- economia $\Rightarrow 0.9 - 0.42 = 0.48 \text{ m}^2$
- 53% volume concreto
- custo C80 = 45% mais que C40
- ganho de 8% só no concreto!!!

55

construtibilidade



56



57

Vida Útil *versus* **Proteção do Meio Ambiente**

“As estruturas devem ser projetadas para vida útil de 150 anos.

Projetar com base no custo global de construção e uso, incluídas as despesas de manutenção e reparo, (*life-cycle cost*) maximiza o retorno do capital disponível e protege os recursos naturais.”

Freyermuth

Life-Cycle Cost Analysis

Concrete International, ACI, v. 23, n. 2, Feb. 2001. p.89-95

58

Desenvolvimento Sustentável

“Aumentar a vida útil das estruturas de concreto é uma solução fácil e efetiva para preservação dos recursos naturais.

Se desenvolvermos nossa capacidade de projetar e construir estruturas de concreto que durem **500 anos**, em vez de 50 anos, iremos multiplicar por 10 a produtividade de nossas reservas de matérias primas, o que significa dizer preservar 90% das mesmas.”

Kumar Mehta

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

59

Conclusões

▼ Adotar $f_{ck} > 30$ MPa é:

– **necessário:**

- garantia de vida útil
- atendimento à NBR 6118/2002
- atendimento ao Código de Defesa do Consumidor

– **vantagem:**

- melhor desempenho estrutural
- melhoria arquitetônica
- menor custo da estrutura
- maior ganho de área
- menor custo de depreciação
- maior construtibilidade
- preservação dos recursos naturais

c q d

60