

**Liga MACK CONCRETO**

# **Introdução da Segurança no Projeto das Estruturas de Concreto**

*horário: quarta-feira das 18h às 19h. Auditório TUTH*



**Paulo Helene**

*Diretor PhD Engenharia  
Presidente e Conselheiro Permanente IBRACON  
Prof. Titular Universidade de São Paulo  
Ex-Presidente ALCONPAT Internacional  
Member fib(CEB-FIP) Model Code for Service Life Design  
Conselheiro da CNTU e SEESP*

Universidade Presbiteriana Mackenzie

19 de abril de 2023

São Paulo

1

**...ser Engenheiro é  
muito bom... mas  
cuidado com os  
riscos!**

2

**Condomínio Champlain  
Towers South  
SurfSide Miami/FL**

**24/06/2021**

**Idade: 40 anos**

**12 andares + 1 subsolo**

**+ *de 100 mortos***

3



4



**mais de  
100 mortes**

5



**Obra do metrô desaba  
e abre cratera na  
Marginal Tietê, em SP**

6



**...ser Engenheiro é  
muito bom... mas  
cuidado com a imagem!**

9

***05/04/2008, do Estado de S. Paulo***

**Expresso Tiradentes: TCU aponta sobrepreço e  
superfaturamento nas obras do Fura-Fila em São Paulo**

***25/12/2008, da Folha Online***

**TCU vê superfaturamento de R\$ 5,58 milhões em obra feita  
pelo Exército no Mato Grosso pelo 9º Batalhão de Engenharia  
de Construção do Exército**

10

***A profissão do Engenheiro  
Civil é uma profissão de***

***“confiança pública”***

***...e confiança não se  
impõem, deve ser  
conquistada...***

11



***...a Arte de Projetar e Construir Estruturas  
desde os egípcios....***

12

*...aos tempos atuais*

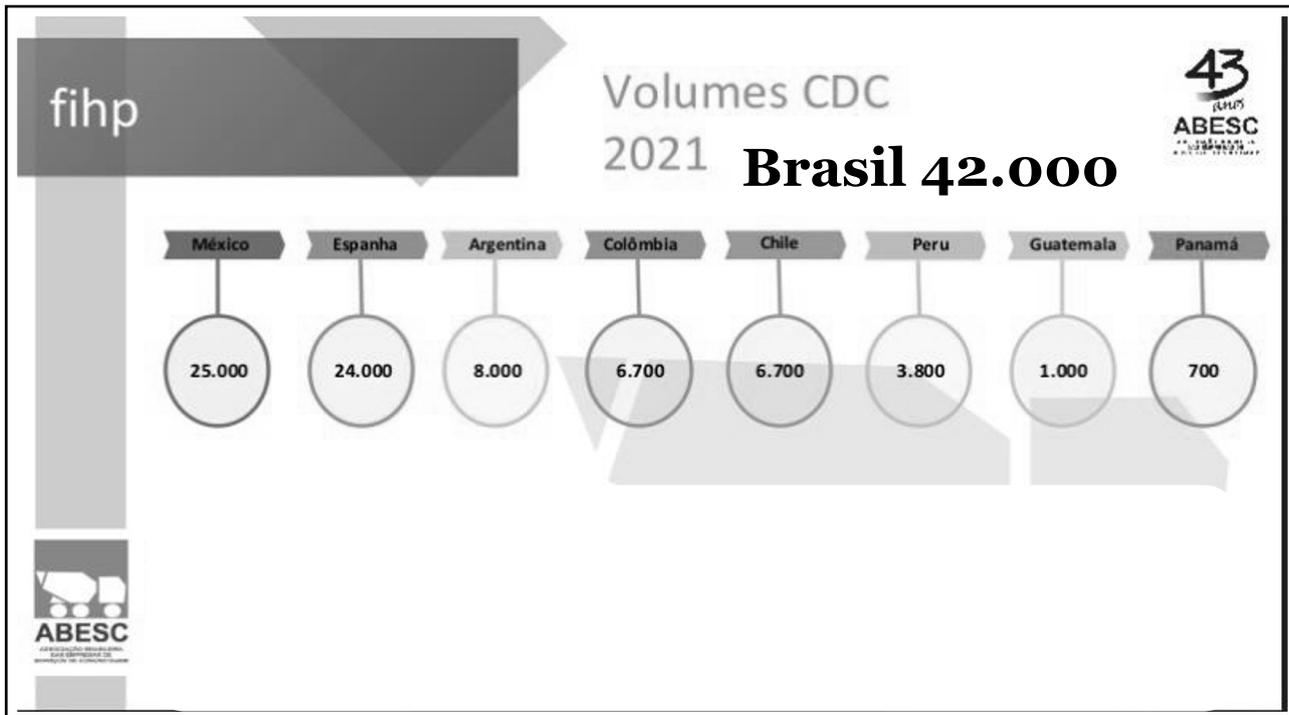


13

**...ser Engenheiro de  
concreto no Brasil é  
muito bom...**



14



15

**...quando a profissão de  
 arquiteto (engenheiro) foi  
 reconhecida pela primeira vez  
 na história da humanidade?**

16

**político, alquimista, papiro,  
primeiro Arquiteto → Imhotep**



**64m**

**2.790 A C**

**Pirâmide escalonada de Sakkara (Faraó Djeser)**

17

## **Pirâmides da planície de Gizé**



**147 m**

*Khafre  
Quefren*

*Khufu  
Queóps*

*Menkaure  
Mikerinos*

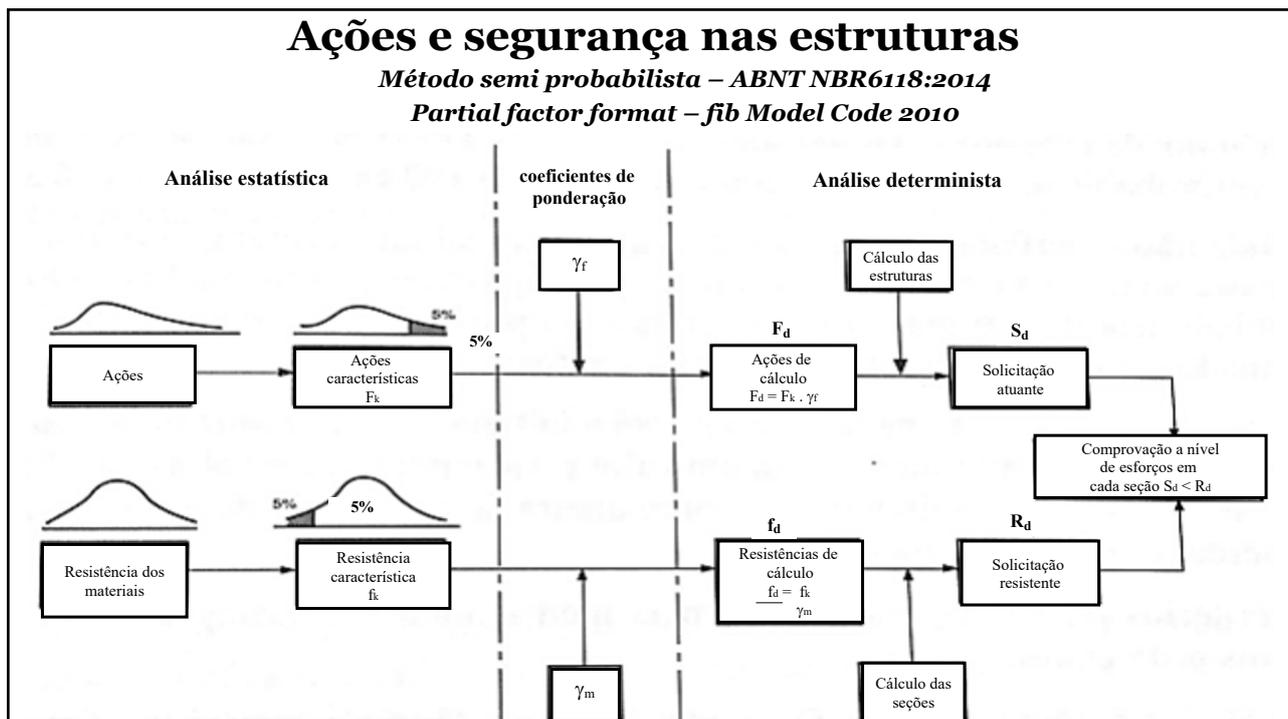
*Egito*

*2.580 aC*

18

**...como os engenheiros projetam estruturas, edifícios, pontes, para ficarem de pé, frente às forças da natureza: gravidade, ventos, vibrações, furacões, sismos???**

19



20

# o que é a resistência característica do concreto à compressão, $f_{ck}$ ?



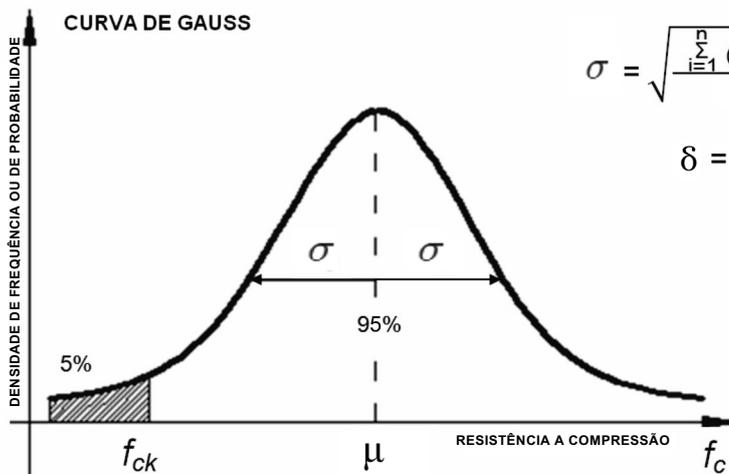
21

**parâmetros da população**  
(amostragem total a 100%)

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n f_{ci}}{n} \quad (\text{MPa})$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\mu - f_{ci})^2}{n}} \quad (\text{MPa})$$

$$\delta = \frac{\sigma}{\mu} \cdot 100 \quad (\%)$$



22

# **problema: a gente controla o concreto na boca da betoneira, ou seja, ainda não está pronto... como fazer?**

23

Controle de aceitação de um produto acabado:  
torneira, fechadura, porta, pneu e aço!

Controle de recebimento e aceitação de um produto em  
elaboração:  
concreto!

➤ preço 1 litro concreto (posto obra)	= R\$	0,50
➤ preço 1 kg concreto C30 (posto obra)	= R\$	0,20
➤ preço 1 kg de aço CA 50 (posto obra)	= R\$	8,00
➤ preço 1 kg da TORO.FIAT	= R\$	110,00
➤ preço 1 kg de FERRARI Roma Spider	= R\$	2.960,00
➤ preço de 1 kg de Botox (10ml.R\$900,00)	= R\$	90.000,00

**correr risco e aguardar 28 dias, faz parte do processo, ou seja,  
trata-se de aprender a conviver com esse inconveniente**

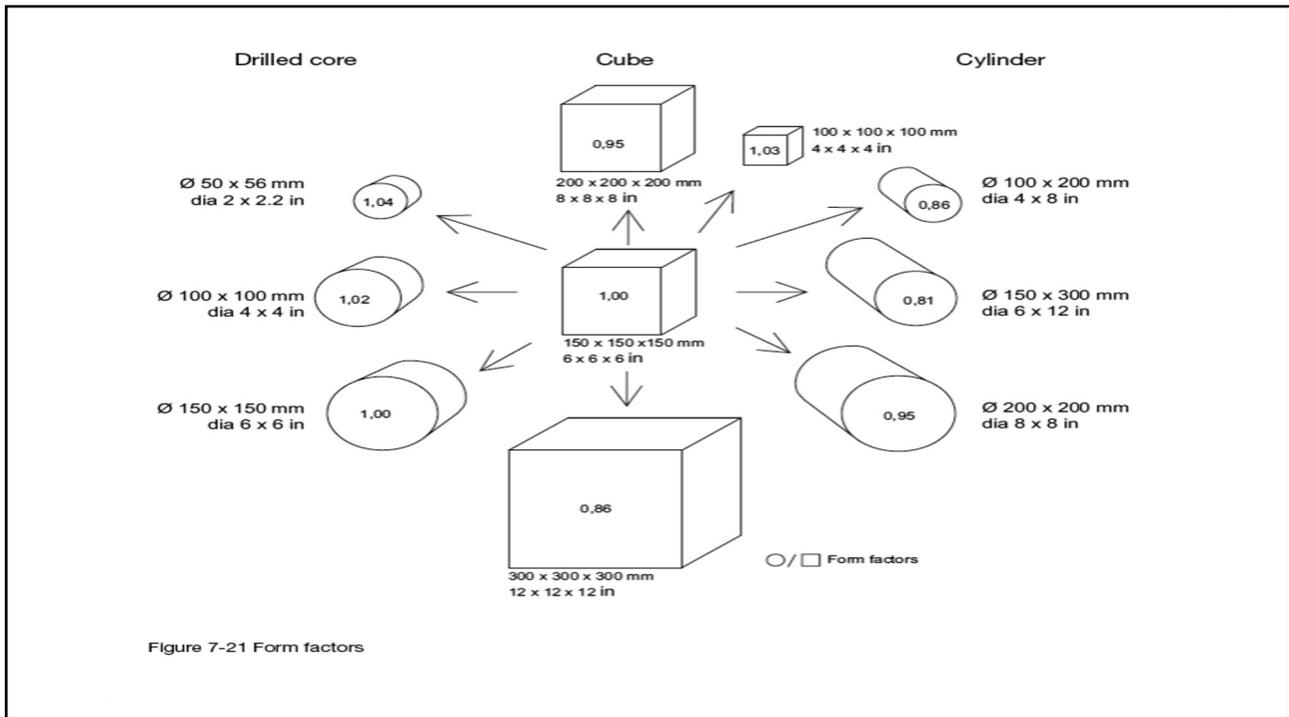
24

**qual é o referencial  
de resistência à  
compressão do  
concreto,  $f_{ck}$   
no Brasil ?**

25



26



27

**referencial BRASIL**  
de resistência à compressão do concreto,  $f_{ck}$

- ✓ o cilindro 15cm  $\phi$  \* 30cm
- ✓ o cilindro 10cm  $\phi$  \* 20cm
- ✓ planejado (lotes) de acordo com a ABNT NBR 12655
- ✓ amostrado de acordo com a ABNT NM 33
- ✓ moldado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ transportado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ curado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ capeado de acordo com a ABNT NBR 5738
- ✓ ensaiado de acordo com a ABNT NBR 5739
- ✓ resultado analisado de acordo com a ABNT NBR 12655

**em geral referido à idade de 28 dias de idade**

28

**$f_{ck}$  é a resistência do concreto na estrutura?**



**Não !  
 $f_{ck}$  é a resistência potencial do concreto na  
boca da betoneira !**

29

**$f_{ck}$   
é a resistência do  
concreto na  
fundação, pilares,  
vigas e lajes da  
estrutura?**



**Não !  
 $f_{ck}$  é a resistência  
potencial do concreto  
daquela amassada  
medida em corpos de  
prova moldados,  
sazonados e ensaiados  
em condições ideais !**

30

$f_{ck}$   
é a resistência do concreto de partida que o projetista estrutural usa  
para verificar a segurança?



**Sim !**  
 $f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão utilizada  
como valor de entrada nos programas de verificação da segurança  
numa análise ou processo usual, padrão !

31

**... e esse é o grande  
problema porque alguns  
engenheiros e projetistas  
consideram que  $f_{ck}$  é a  
resistência do concreto lá na  
estrutura !..**

32

**... então qual é a resistência à compressão do concreto lá na estrutura que um engenheiro civil pode considerar como disponível para fins de dimensionamento, com segurança?**

33

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{f_{ck}}{1,4}$$

$$\sigma_{cd} = 0,85 \cdot f_{cd}$$

$$\therefore \sigma_{cd} \cong 0,6 \cdot f_{ck}$$

34

# Ações e Segurança

NBR 6118:2014

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad \gamma_c = 1,4$$

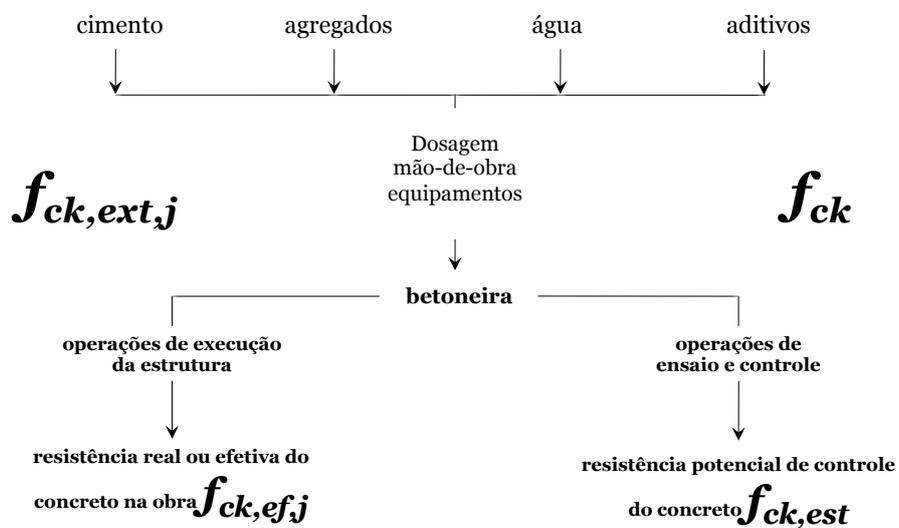
$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

para  $f_{ck} = 30$  MPa  $\rightarrow f_{ck,ef}$  (estrutura)  $\approx 18,2$  MPa

para  $f_{ck} = 50$  MPa  $\rightarrow f_{ck,ef}$  (estrutura)  $\approx 30,3$  MPa

35

## resistência do concreto



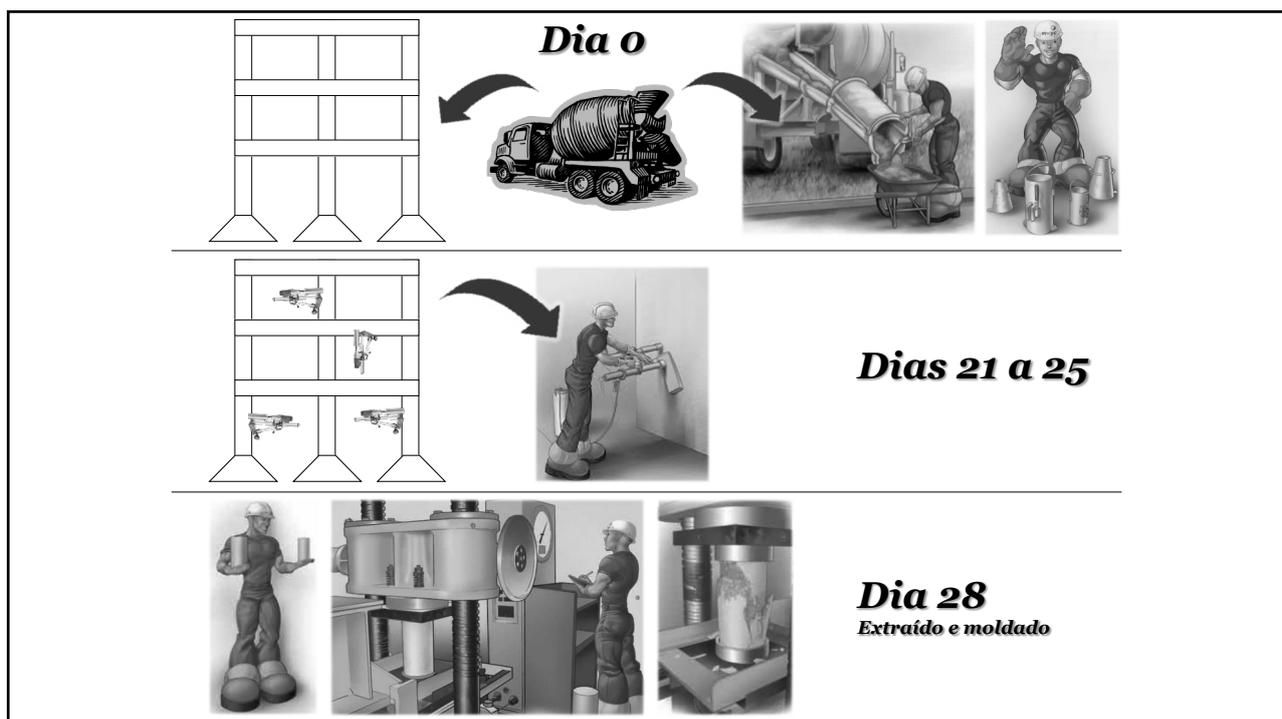
36

# TESE de DOUTORADO

CREMONINI, R. A. Análise de Estruturas Acabadas: Contribuição para a Determinação da Relação entre as Resistências Potencial e Efetiva do Concreto. São Paulo, EPUSP, 1994.

Ruy Alberto Cremonini. Prof. Associado, UFRGS

37



38

## Conclusões

pilares:

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

lajes & (vigas)

$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.20$$

39

Quando o concreto (estrutural)  
APARECEU PELA PRIMEIRA  
VEZ NA HISTÓRIA?

40

**... na  
cúpula  
do  
Panteão  
de  
Roma**



41



42

**Cúpula do Panteão de Roma**  
**Século II dC → Diâmetro de 44m**



43



44

## **Séculos históricos**

**IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul**

**IX → Estilo Românico → Abadia Cluny, França**

**XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colônia**

**XV → Estilo Renascentista**

**XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Bernini**

**XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo , Paris**

45

## **Catedral de Notre Dame**



**1163-1330**

**Abóbada da nave central → 35 m de altura**

46

## **Séculos históricos**

**IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul**

**IX → Estilo Românico → Abadia Cluny, France**

**XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colônia**

**XV → Estilo Renascentista**

**XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini**

**XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo , Paris**

**XIX → Estruturas metálicas**

47

**Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.  
Coalbrookdale Bridge em Telford, Inglaterra**

*Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedestres*



48



**Ponte Golden Gate, São Francisco, USA → 1.933**  
**Joseph Strauss**  
*ponte suspensa com cabos de aço galvanizados*

49



50



51

- **1.888 → Leroy Buffington  
USA, esqueleto reticular**
- **1.853 → Otis, elevador  
seguro, 1889 → 1º elevador  
elétrico em NY**
- *(no Brasil, 1873 Elevador Lacerda,  
hidráulico, 1906 Palácio das Laranjeiras RJ  
elétrico, 1910 Light SP elétrico)*

52



O início dos arranha-céus foi em 1.890-1.891 com a construção do edifício Wainwright com 42m St. Louis, USA.

*Conhecido Escola de Chicago*

Projetista  
Arquiteto Louis Henry  
Sullivan

53

**Século “XX”  
1892**

**aparece um  
novo material**

***Concreto Armado***

54

## **Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto**

<b>1903</b>	<b>Suiça</b>
<b>1903</b>	<b>Alemanha</b>
<b>1906</b>	<b>França</b>
<b>1907</b>	<b>Inglaterra</b>

55



56



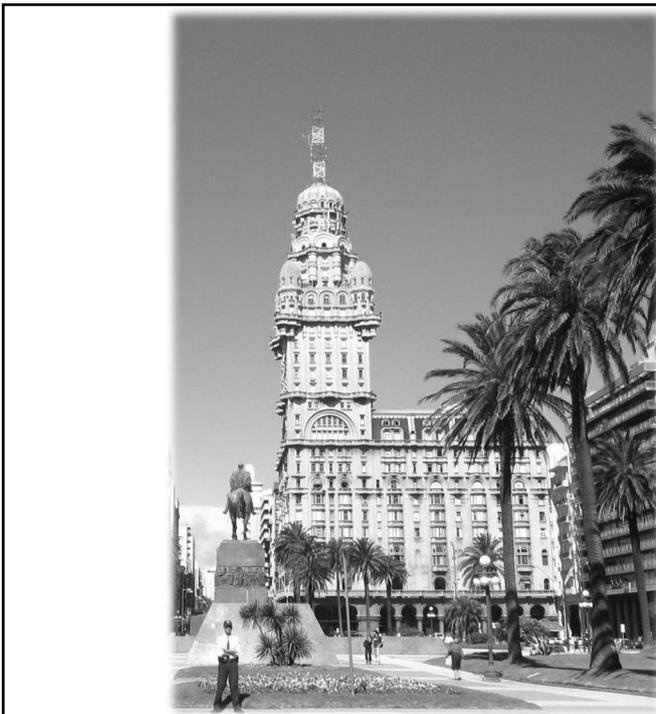
**Systeme  
Hennebique**  
*Paris, Rue Danton1*

7 andares  
França 1.901  
30m

$f_{ck} = ?$   
120 anos !

*edificio em concreto  
armado mais antigo do  
mundo*

57



**Palácio Salvo**  
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

97 anos !

**world record**

58



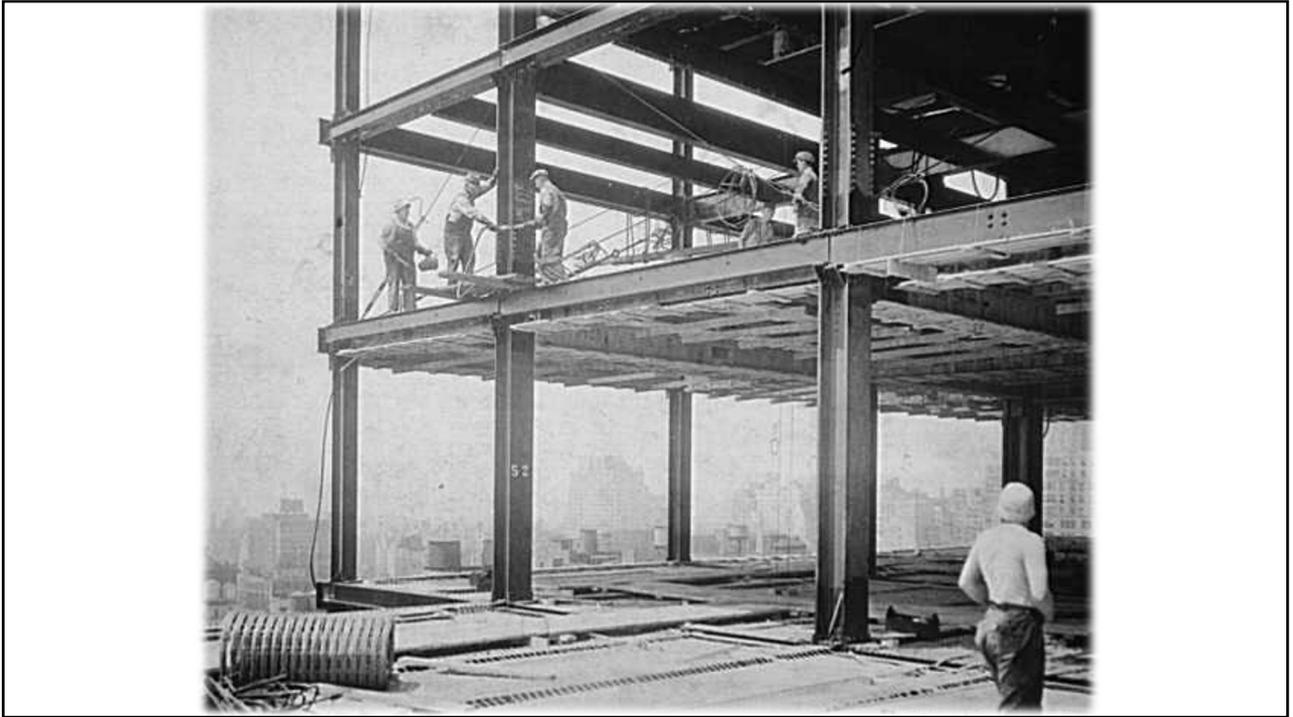
**Edifício  
Martinelli**  
**1929**  
**106m**  
**93 anos**  
**world record**  
**São Paulo, Brasil**

59



**Empire State  
Building**  
**381m,**  
**New York, 1.931**

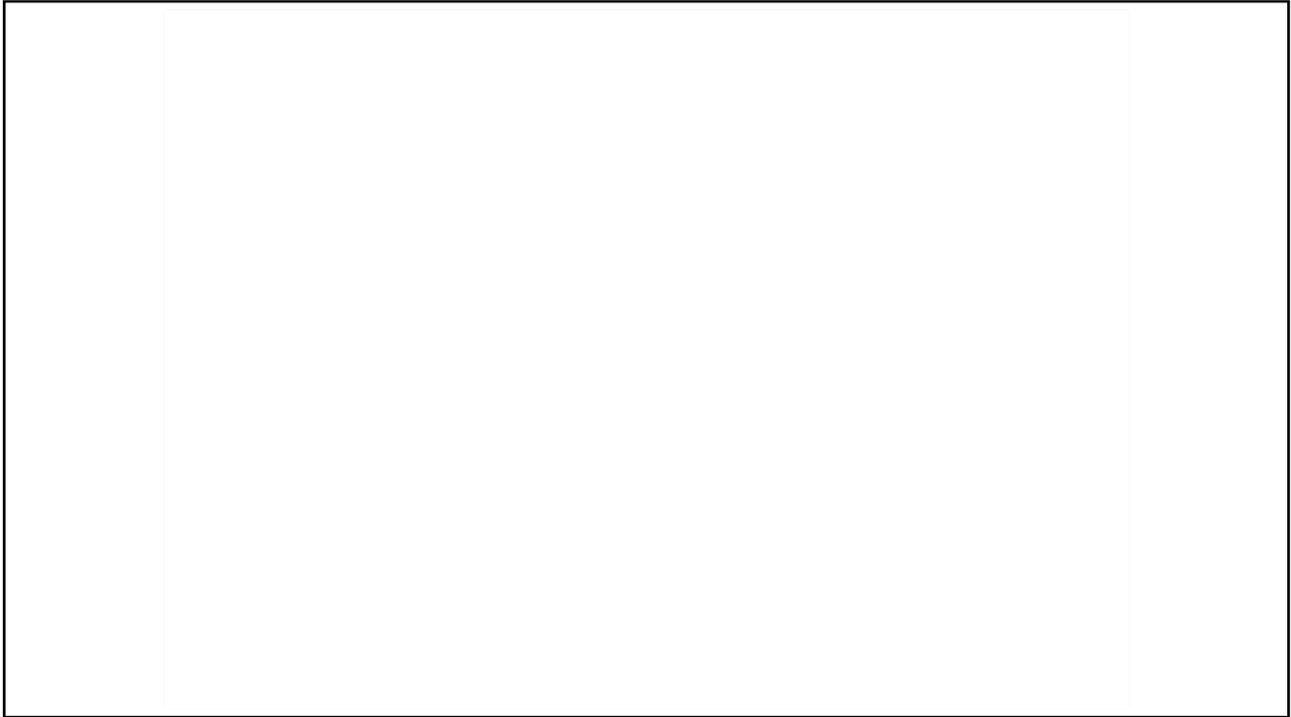
60



61



62



63



64



65



66



67



68

# Como pode ser o futuro?

69

## Arte e Ciência da Construção

**Marcus Vitruvius Pollio** (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

**40 anos aC** → “*De Architectura*”

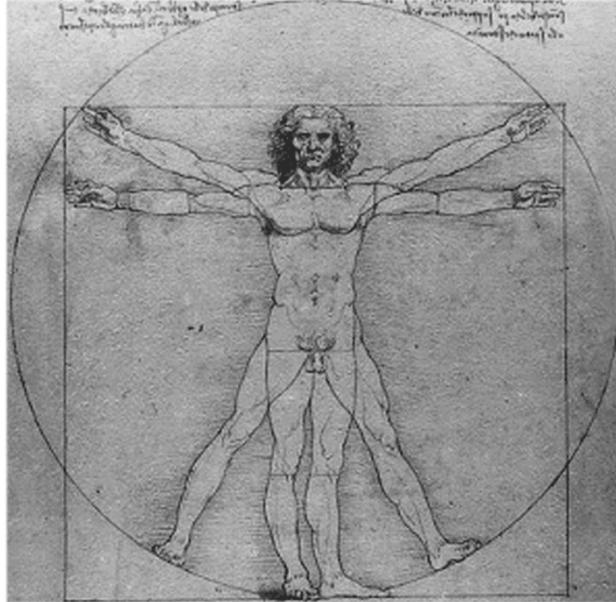
10 volumes → 800 anos como best - seller

<b>Utilitas</b>	<b>(funcional)</b>
<b>Firmitas</b>	<b>(estável e durável)</b>
<b>Venustas</b>	<b>(bonita)</b>

Até hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa, da inovação e do desenvolvimento em construção civil

70

## Arte e Ciência da Construção



Leonardo da Vinci  
Homem Vitruviano  
1.490 DC

71

*Venustas*  
*Bonita !*

72

***Oscar Niemeyer  
Bruno Contarini***

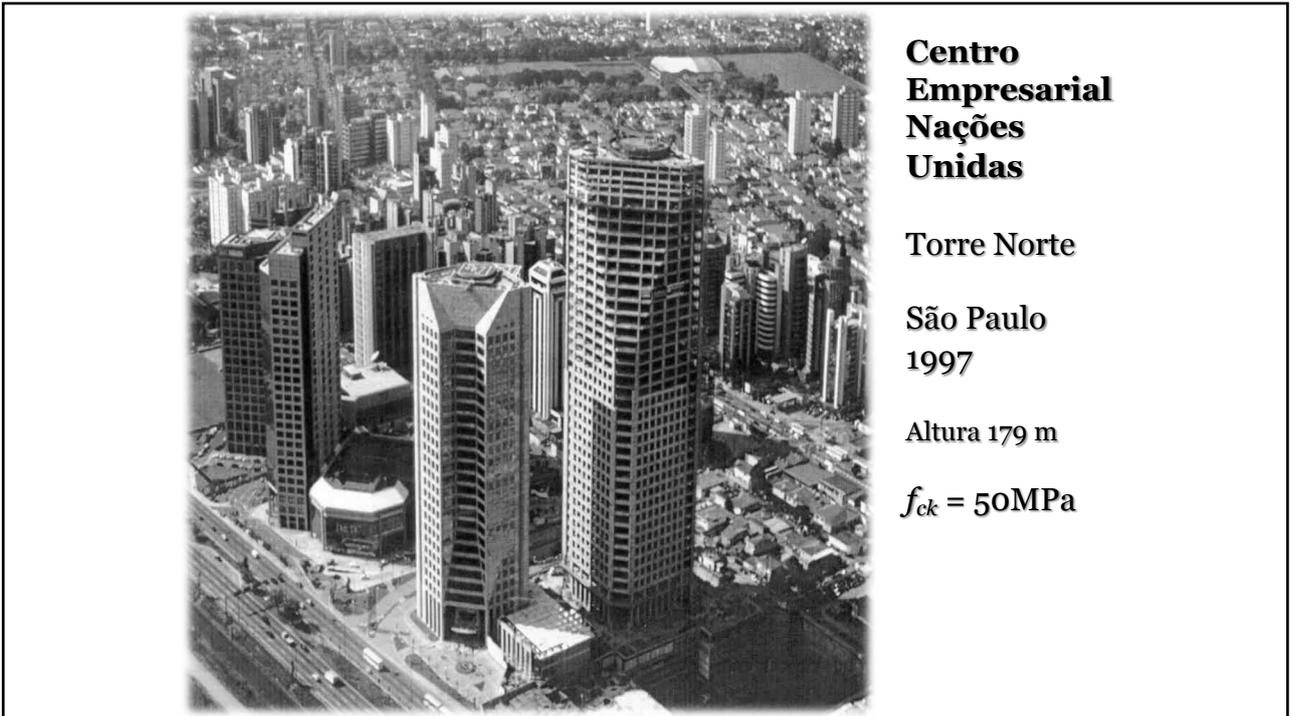


***Museu de Arte, Niterói / RJ***

73

***Firmitas***  
*estável e durável*

74



**Centro  
Empresarial  
Nações  
Unidas**

**Torre Norte**

**São Paulo  
1997**

**Altura 179 m**

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

75

**250 anos de garantia.**

Quem precisa de segurança, estabilidade e desempenho precisa de Engemix. Como a Melhor Engenharia Nacional, somos a marca e a tecnologia de referência para o Brasil. O Centro Empresarial Nações Unidas, um marco de São Paulo e um dos maiores edifícios de concreto do mundo, é um exemplo de excelência em engenharia e construção. Com a utilização de Engemix, a Torre Norte alcançou a altura máxima de 179 metros, tornando-se o maior edifício de concreto do Brasil. A escolha de Engemix foi baseada na sua capacidade de fornecer concreto de alta resistência e durabilidade, garantindo a segurança e a estabilidade da obra. Engemix oferece soluções personalizadas para cada projeto, com produtos de alta qualidade e tecnologia de ponta. A escolha de Engemix é a escolha pela segurança e pela garantia de 250 anos.

Quem precisa de segurança, estabilidade e desempenho precisa de Engemix. Como a Melhor Engenharia Nacional, somos a marca e a tecnologia de referência para o Brasil. O Centro Empresarial Nações Unidas, um marco de São Paulo e um dos maiores edifícios de concreto do mundo, é um exemplo de excelência em engenharia e construção. Com a utilização de Engemix, a Torre Norte alcançou a altura máxima de 179 metros, tornando-se o maior edifício de concreto do Brasil. A escolha de Engemix foi baseada na sua capacidade de fornecer concreto de alta resistência e durabilidade, garantindo a segurança e a estabilidade da obra. Engemix oferece soluções personalizadas para cada projeto, com produtos de alta qualidade e tecnologia de ponta. A escolha de Engemix é a escolha pela segurança e pela garantia de 250 anos.

**CONCRETO ENGEMIX**

76

## Arte e Ciência da Construção

**Marcus Vitruvius Pollio** (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

**40 anos aC** → “*De Architectura*”

10 volumes → 800 anos como best - seller

**Utilitas**  
**Firmitas**  
**Venustas**

**(funcional)**  
**(estável e durável)**  
**(bonita)**

Até hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa,  
da inovação e do desenvolvimento em construção civil

77

## Arte e Ciência da Construção

**Marcus Vitruvius Pollio** (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

**40 anos aC** → “*De Architectura*”

10 volumes → 800 anos como best - seller

**Utilitas**  
**Firmitas**  
**Venustas**

**(funcional)**  
**(estável e durável)**  
**(bonita)**

Até hoje pode-se considerar como os grandes marcos da pesquisa,  
da inovação e do desenvolvimento em construção civil

**Sustentável**

78



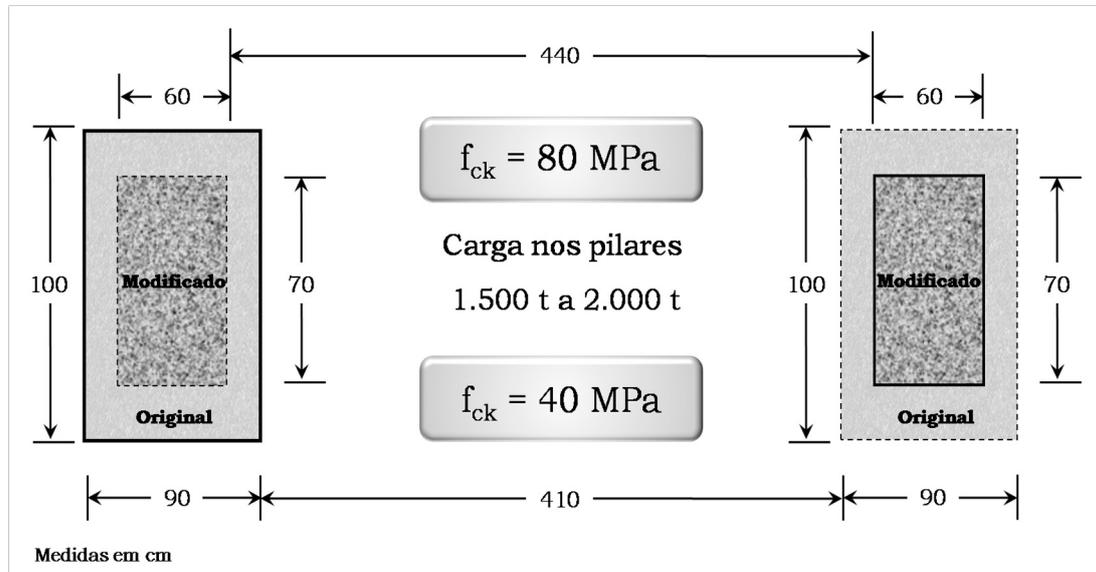
79

## ***e-Tower***

- Edifício e-Tower SP
- 42 andares
- heliponto
- piscina semi-olímpica
- academia de ginástica
- 2 restaurantes
- concreto colorido
- $f_{ck}$  pilares = 80 MPa

80

## Projeto estrutural (e-Tower)



81

## Dosagem

materiais	consumo	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m <sup>3</sup>	623
adição	0,15	93 kg/m <sup>3</sup>	escória+sílica ativa
gráúdo	1,65	1.027 kg/m <sup>3</sup>	basalto, 19mm, 3.020kg/m <sup>3</sup>
miúdo	0,88	550 kg/m <sup>3</sup>	quartzo, 2,4mm, 2.670 kg/m <sup>3</sup>
pigmento	0,04	25 kg/m <sup>3</sup>	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m <sup>3</sup>	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m <sup>3</sup>	ácido hidrocarboxílico
água	0,19	135 kg/m <sup>3</sup>	A / Cm = 0,19

82

Cliente: Construtora Tecnum  
Obra: Edifício ETower – São Paulo - SP  
A/C Prof. Dr. Paulo Helene

*Determinação da resistência à compressão – NBR-5739/94*

**RESULTADOS**

C. P. nº	Data da concretagem	Resistência à compressão (MPa)
33	24/05/2.002	<b>149,9</b>
35		<b>151,8</b>

Data do ensaio : 18/10/05.

**3a 4m 18d**

**1233 dias**

São Paulo, 18 de outubro de 2.005

DIVISÃO DE ENGENHARIA CIVIL  
Agrupamento de Materiais  
de Construção Civil  
Laboratório de Concreto

DOCUMENTO EMITIDO ELETRÔNICAMENTE, DISPENSA ASSINATURA

Técnico em Edificações Pedro Carlos Bilesky  
Encarregado do Laboratório de Concreto  
RE. n° 4376.0

83

## ***Economia de Recursos Naturais***

Original:

$$f_{ck} = 40\text{MPa}$$

seção transversal  $\rightarrow$  90cm x 100cm

$$0,90\text{m}^2$$

**HPC / HSC:**

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

seção transversal  $\rightarrow$  60cm x 70cm

$$0,42\text{m}^2$$

84

## Sustentabilidade



- **70% menos areia**
- **70% menos brita**
- **53% menos concreto**
- **53% menos água**
- **20% menos cimento**
- **31% menos área de forma**

85

## Sustentabilidade



- **43% menos aço**
- **16 carros a mais**
- **3 x vida útil**

86

**como pode ser o futuro?**  
**como será o futuro?**



87

# **Considerações Finais**

*baseadas no CTBUH → Council on Tall  
Buildings and Urban Habitat*

88

# Edifícios Altos

**Segundo o Council on Tall Buildings and Urban Habitat - CTBUH, um edifício é considerado arranha-céu quando sua altura supera os 300m (>75 andares)**

89



Em 1.997 as torres gêmeas Petronas, em Kuala Lumpur, construídas em concreto, superaram em altura a torre metálica Sears (Willis Tower) em Chicago

90

**Passados poucos  
anos e até 2028,  
haverá 106 novos  
edifícios com altura  
superior a 300m**

91

**Desse total de 106**

**“arranha-céus”:**

- **16 são em concreto**
- **79 são de concreto+aço**
- **apenas 5 são de aço**

92

**Um dos mais altos edifícios do mundo, o Burj Khalifa, em Dubai, com 820 m, foi construído com concreto**

93



94

# O Maior Edifício do Mundo



Fonte: [www.nbmw.com](http://www.nbmw.com)

## Jeddah Tower

- O edifício terá mais de 1 km de altura

- Localização: Jeddah, Arábia Saudita

95



96

**Em 100 anos, o concreto  
superou todos os limites  
e fronteiras do  
conhecimento em  
Arquitetura e  
Engenharia de projeto e  
de construção !**

97

**e... continua em  
franca evolução, sem  
previsão de limites ou  
de substituição!**

98

**...não basta ser estudante do MACKENZIE...**



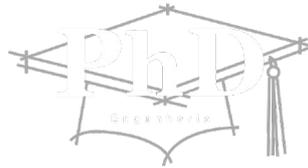
99

**...tem que ser *Civil* !**



100

# OBRIGADO!



*"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"*

**[www.concretophd.com.br](http://www.concretophd.com.br)**  
**[www.phd.eng.br](http://www.phd.eng.br)**

11.2501.4822 / 23  
11.9.5045-4940