

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

3

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

24/06/2021

Idade: 40 anos

12 andares + 1 subsolo

+ de 100 mortos

4

Antes....



5

**mais de
100 mortes**



6



7



8



2
0
0
7



9

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

10

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

11

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

“confiança pública”

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

12



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

13

...aos tempos atuais

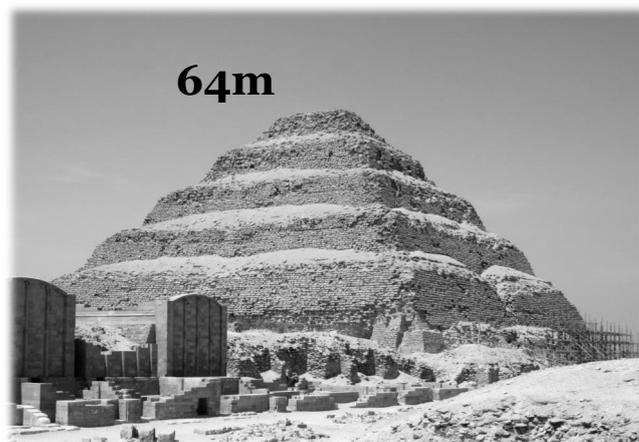


14

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

15

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



Pirâmide escalonada de Sakkara (Faraó Djeser)

16



Stonehenge , Wiltshire, Inglaterra, perto de Salisbury.
Blocos montados em um campo circular. Considerado obra pré-histórica !!
2.800 a 2.200 aC

17



18

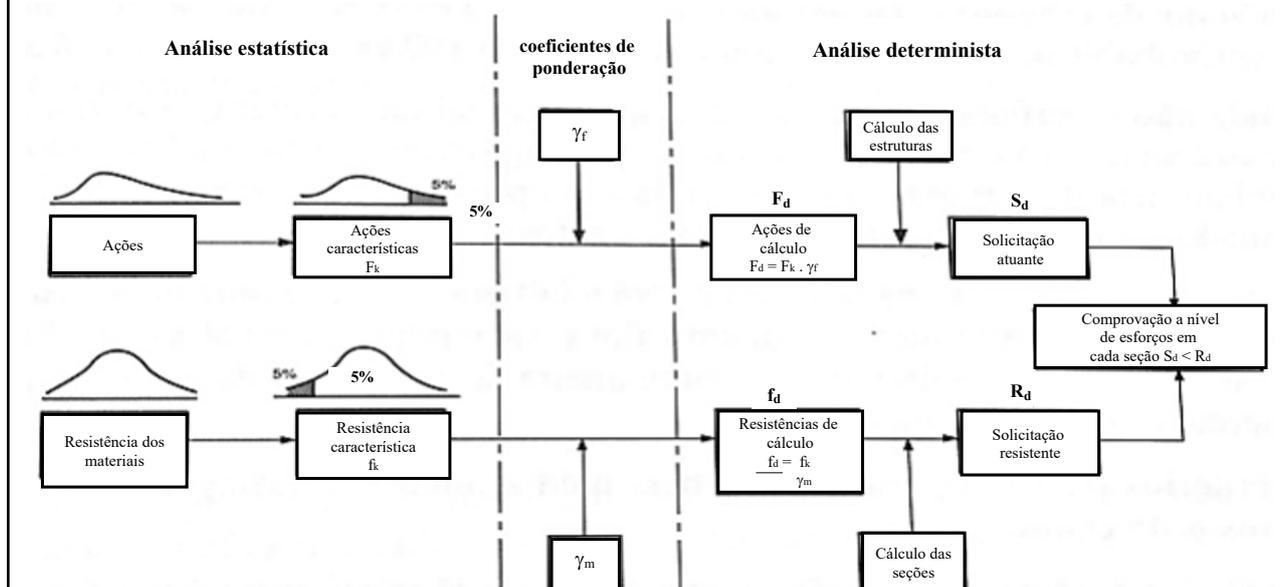
...como, HOJE, os engenheiros projetam estruturas, edifícios, pontes, para ficarem de pé, frente às forças da natureza: gravidade, ventos, vibrações, furacões, sismos???

19

Ações e segurança nas estruturas

Método semi probabilista – ABNT NBR6118:2014

Partial factor format – fib Model Code 2010



20

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



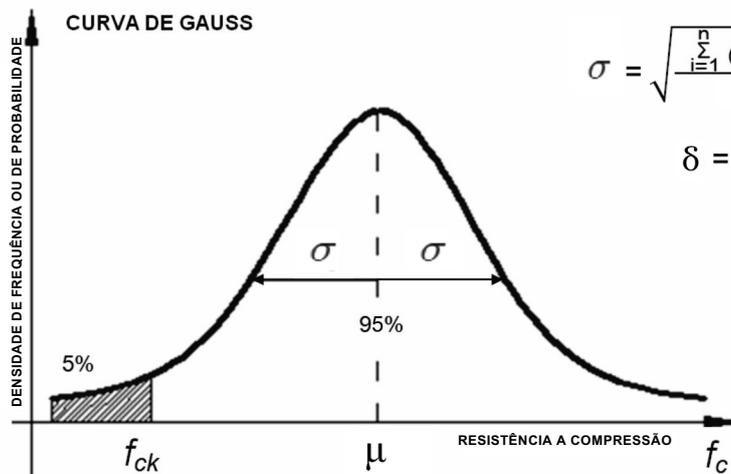
21

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: ***é fácil e seguro***
torneira, fechadura, porta, pneu e aço!

Controle de recebimento e aceitação de um produto em elaboração,
o concreto: ***muito mais difícil e arriscado***

➤ 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

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

- ✓ o cilindro 15cm ϕ * 30cm
- ✓ o cilindro 10cm ϕ * 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

27

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



Não !

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

28

**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 !**

29

**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 !**

30

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

31

**... 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?**

32

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

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

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

33

Ações e Segurança

NBR 6118:2014

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

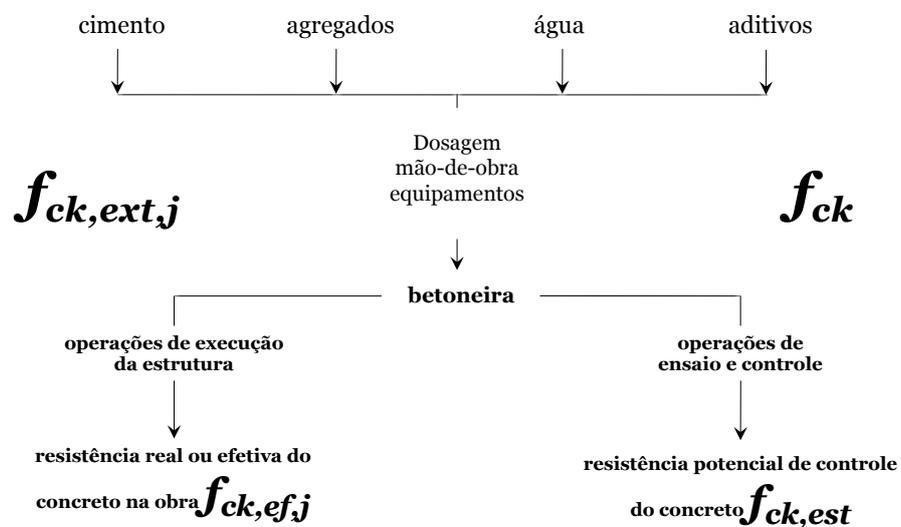
$$\sigma_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * \beta = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} * 0,85$$

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

34

resistência do concreto



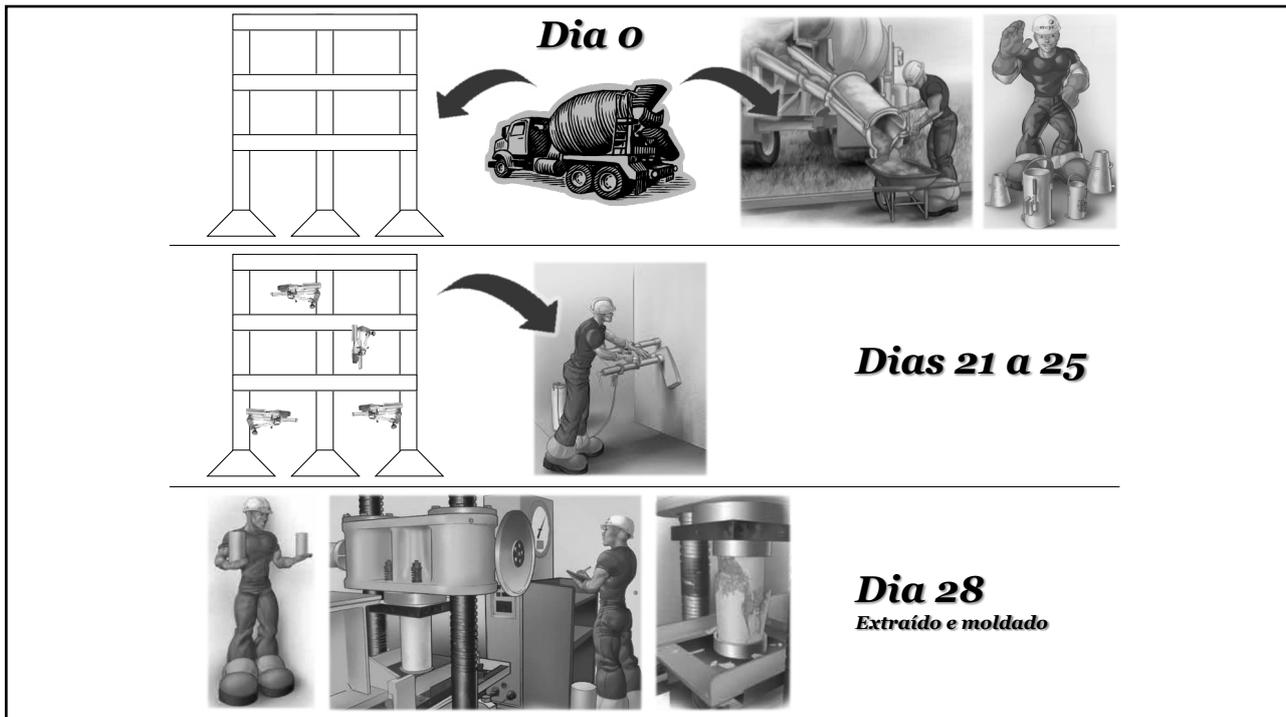
35

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

36



37

Conclusões

pilares:

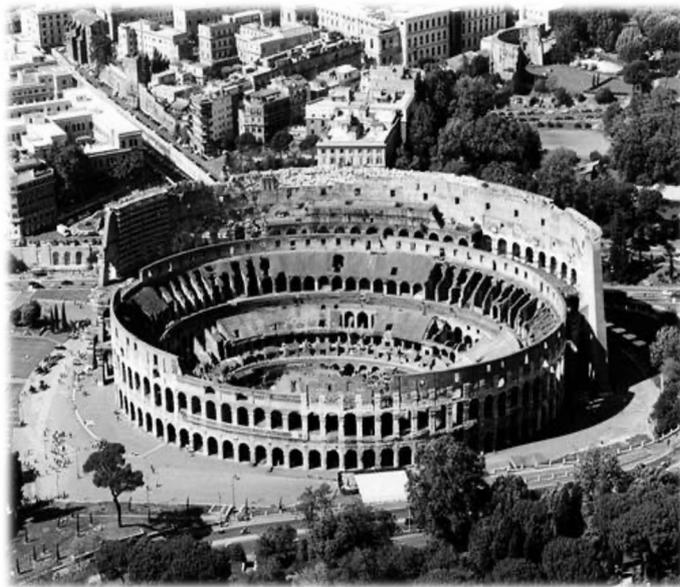
$$\eta = \frac{f_c}{f_{c,ext}} = \frac{f_{ck}}{f_{ck,ext}} = 1.24$$

lajes & (vigas)

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

38

A origem da palavra ENGENHARIA foi devida ao Engenheiro Civil. Vem da Roma antiga da expressão “*Ingenium Civitas*”, ou seja, engenharia das cidades ou engenharia da civilização.



39



40

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

41

**Panteão
de
Roma**



42



43

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



44



45

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

46

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura



47

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

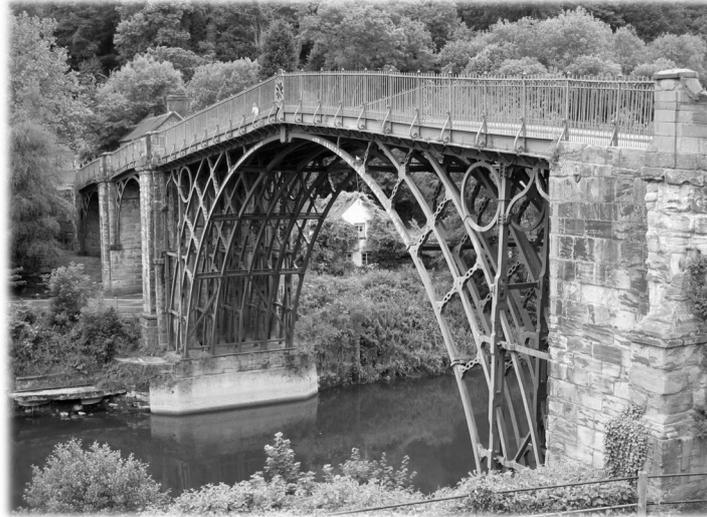
XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo, Paris

XIX → Estruturas metálicas

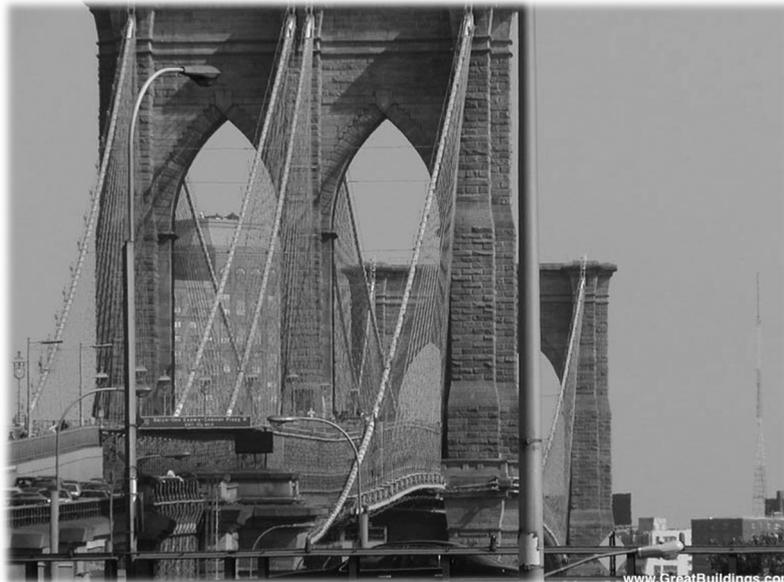
48

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

Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedestres



49

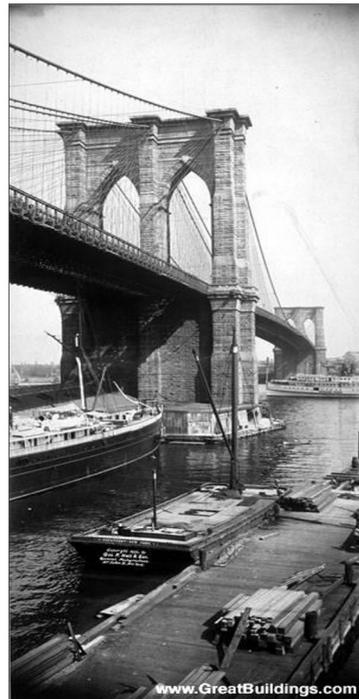


**Ponte do Brooklyn, New York, USA → 1.883
John Augustus Roebling**

ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

50

Fundação em rocha e alvenaria de blocos de rocha



51



Ponte Golden Gate, São Francisco, USA → 1.933
Joseph Strauss

ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

52

2^a Grande Revolução *aço*

A Arquitetura de Estruturas podia projetar obras antes inimagináveis, com muito mais velocidade e segurança para vencer grandes vãos, e podia construir alturas como nunca antes vistas.

53



54



55



56

➤ **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,
1910 Light SP)*

57



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

58

**Século “XX”
1892**

**aparece um
novo material**

Concreto Armado

59

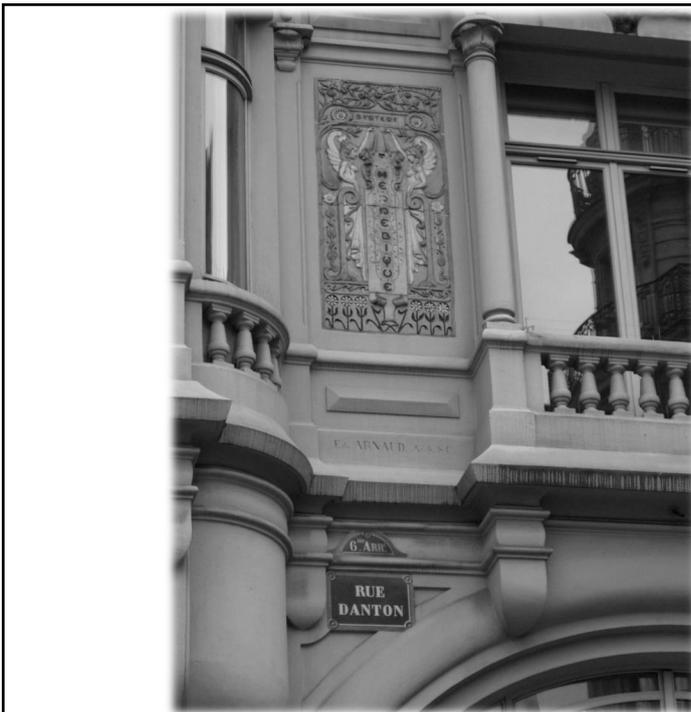
**Primeiras Normas sobre
Estruturas de Concreto**

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

60



61



**Systeme
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$
122 anos !

*edificio em concreto
armado mais antigo do
mundo*

62



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

98 anos !

world record

63



Edifício
Martinelli

1929

106m

94 anos

world record

São Paulo, Brasil

64

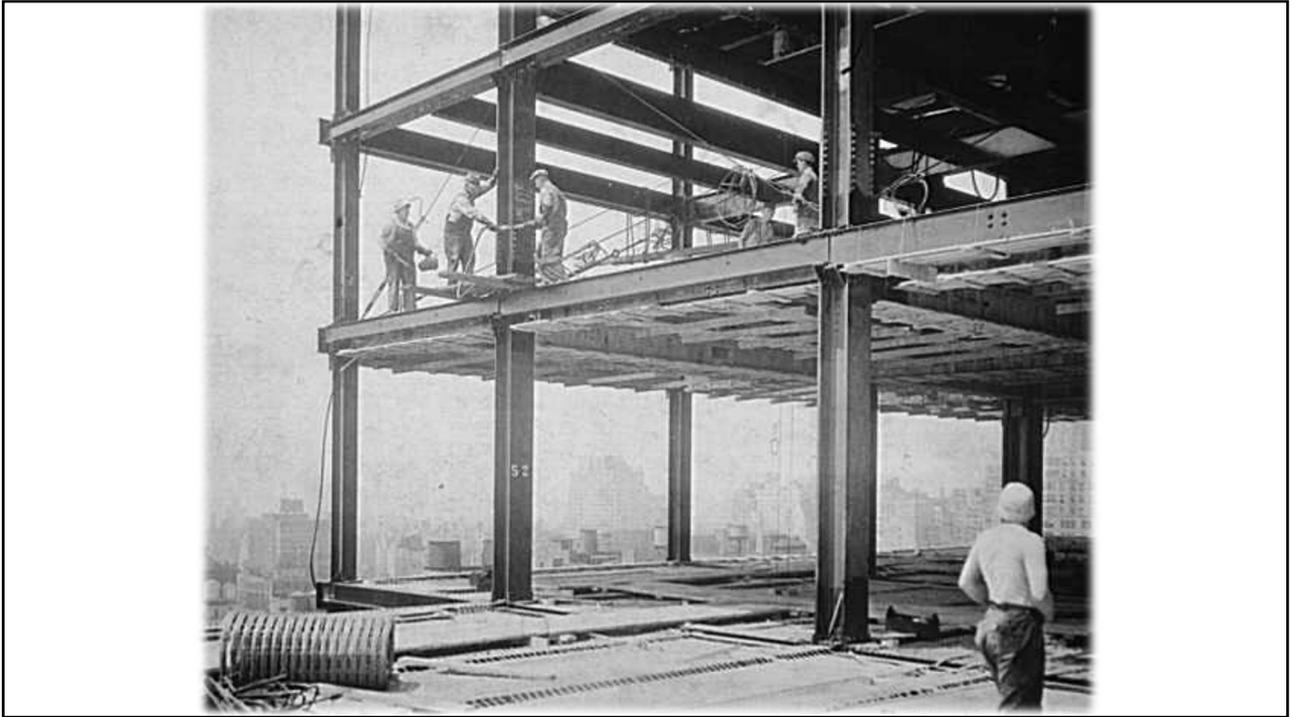


65



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

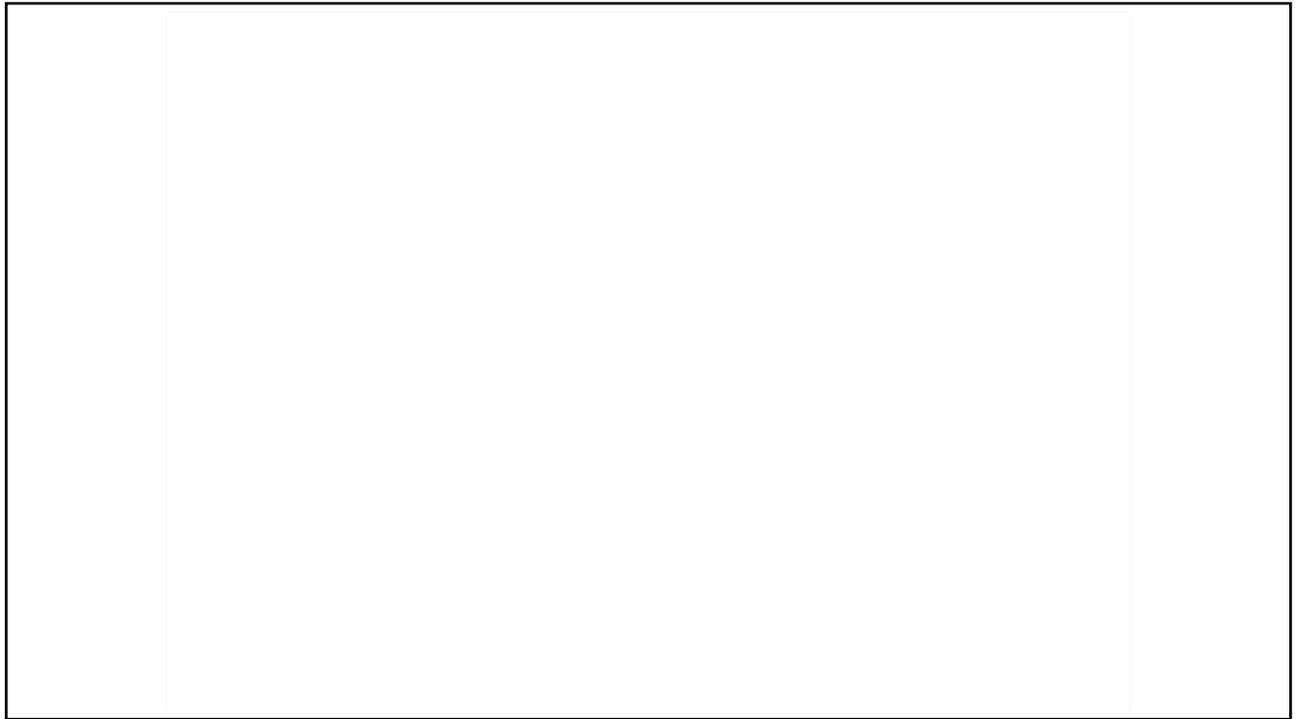
66



67



68



69



70



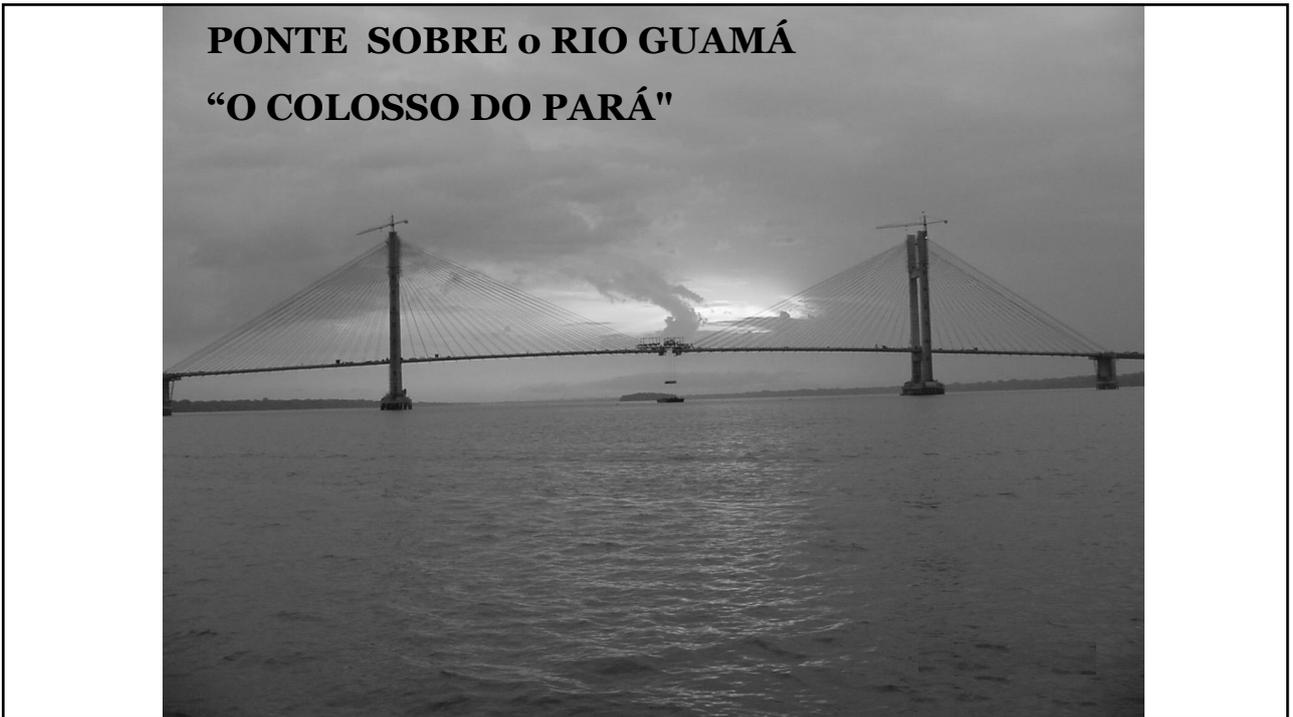
71



72



73



74



75



76

José Carlos de Figueiredo Ferraz



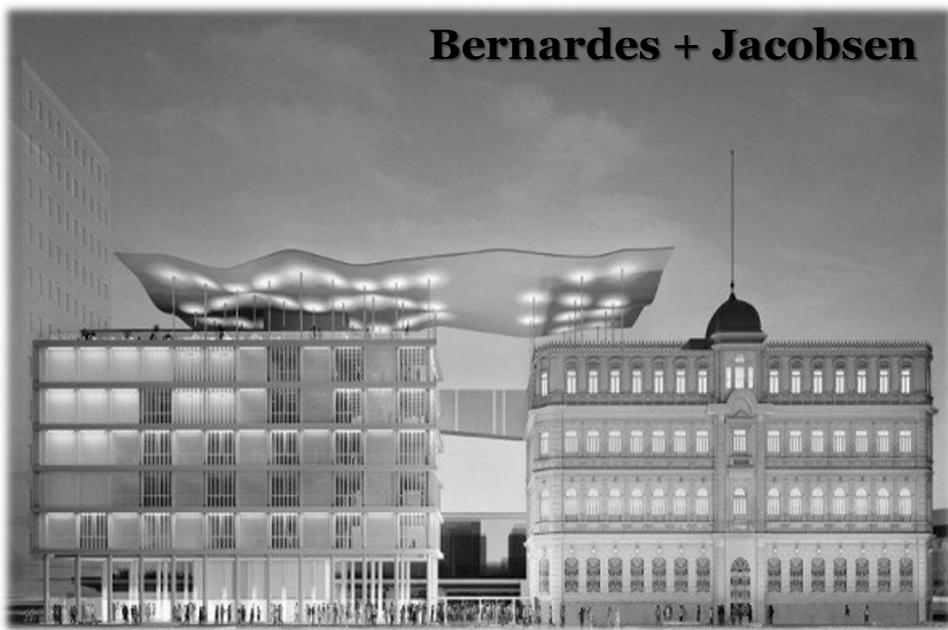
Lina Bo Bardi

MASP Museu de Arte São Paulo

1968

77

Bernardes + Jacobsen

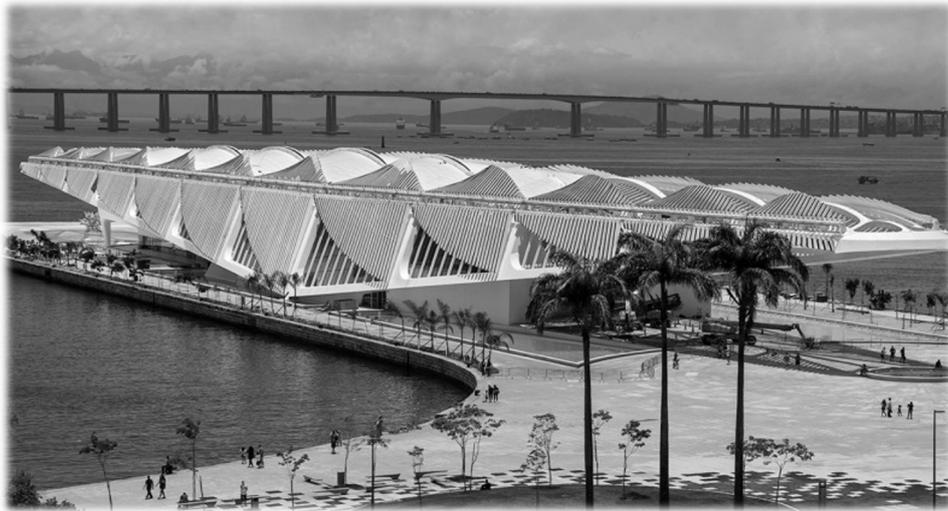


MAR - Museu de Arte RJ

2013

78

Santiago Calatrava



Engeti Consultoria e Engenharia

Museu do Amanhã RJ

2015

79

Diller + Scofidio



MIS Museu da Imagem e do Som RJ

JKMF

2017

80

3^a Grande Revolução concreto

A Arquitetura de estruturas podia ousar muito mais pois se descobriu como combinar dois materiais fantásticos. O concreto teria a durabilidade da rocha, era compatível com o aço e ainda o protegia “eternamente”

81



Petronas Towers
Cesar Pelli

Kuala Lumpur

Malasia 1.997

452m

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

before/after

82



TAIPEI 101

Shanghai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

83

**Como pode
ser o futuro?**

84

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “*De Architectura*”

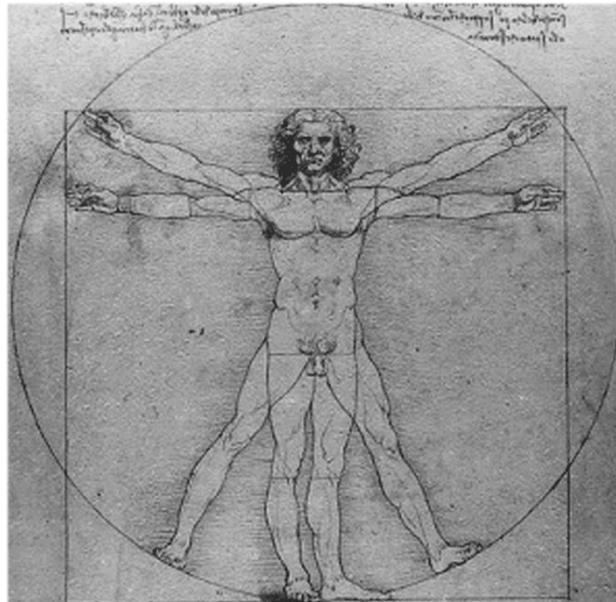
10 volumes → 800 anos como best - seller

Utilitas	(funcional)
Firmitas	(estável e durável)
Venustas	(bonita)

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

85

Arte e Ciência da Construção



Leonardo da Vinci
Homem Vitruviano
1.490 DC

86

Venustas

Bonita !

87

Oscar Niemeyer
Bruno Contarini



Museu de Arte, Niterói / RJ

88

Auditório de Tenerife
Espanha
2003
Santiago Calatrava



89



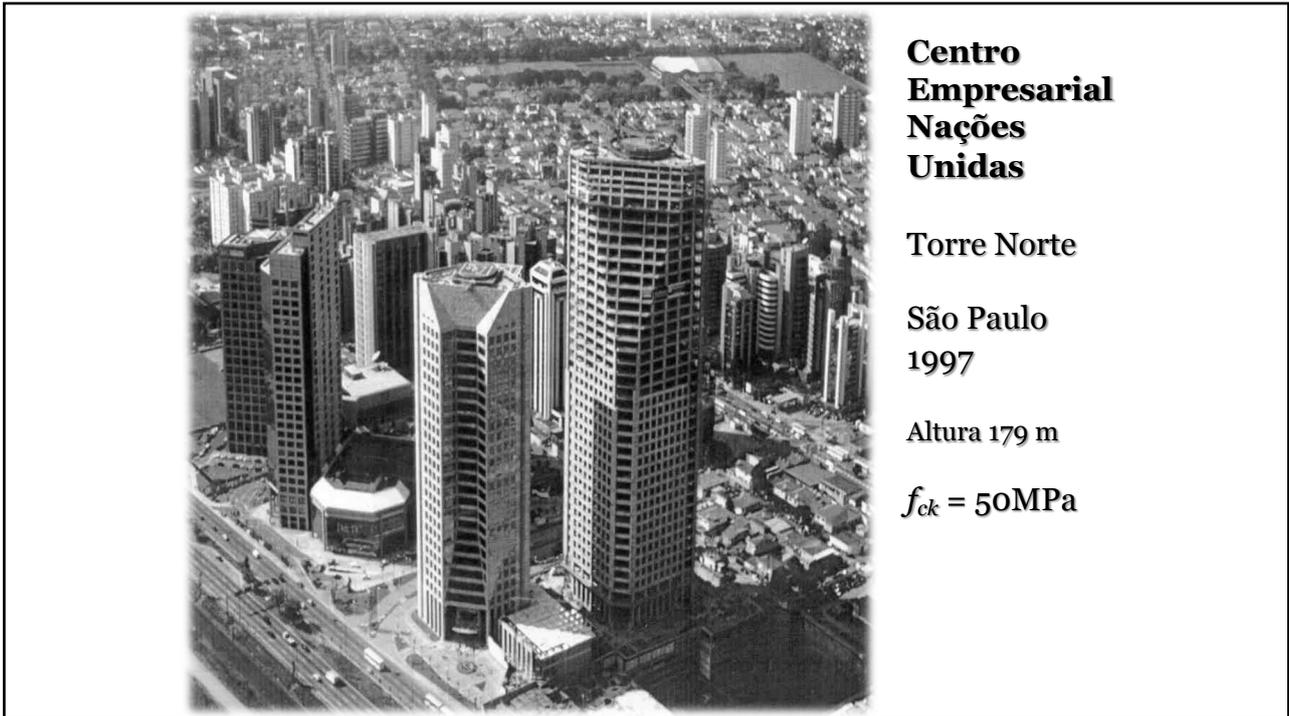
90



91

Firmitas
estável e durável

92



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

Torre Norte

**São Paulo
1997**

Altura 179 m

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

93

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, o projeto foi realizado com sucesso e segurança, garantindo a durabilidade e a estabilidade da estrutura por mais 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, o projeto foi realizado com sucesso e segurança, garantindo a durabilidade e a estabilidade da estrutura por mais 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, o projeto foi realizado com sucesso e segurança, garantindo a durabilidade e a estabilidade da estrutura por mais de 250 anos.

CONCRETO ENGEMIX

94

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “De Architectura”

10 volumes → 800 anos como best - seller

Utilitas	(funcional)
Firmitas	(estável e durável)
Venustas	(bonita)

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

95

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “De Architectura”

10 volumes → 800 anos como best - seller

Utilitas	(funcional)
Firmitas	(estável e durável)
Venustas	(bonita)

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

96

Sustentável



97

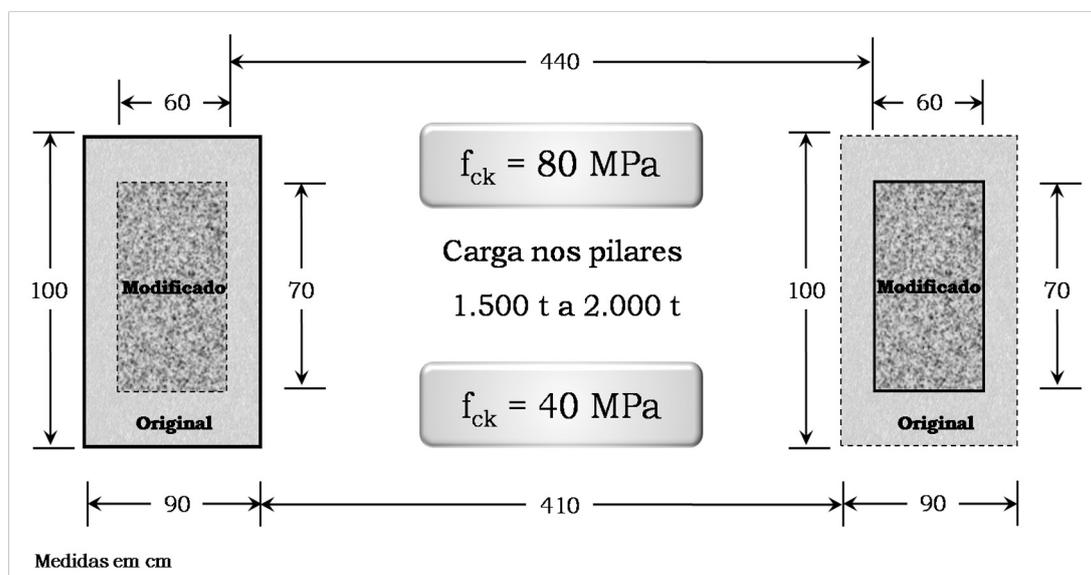
e-Tower

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



98

Projeto estrutural (e-Tower)



99

Dosagem

materiais	consumo	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m ³	623
adição	0,15	93 kg/m ³	escória+sílica ativa
gráúdo	1,65	1.027 kg/m ³	basalto, 19mm, 3.020kg/m ³
miúdo	0,88	550 kg/m ³	quartzo, 2,4mm, 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	ácido hidrocarboxálico
água	0,19	135 kg/m ³	A / Cm = 0,19

100

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	149,9
35		151,8

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

101

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

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

102

Sustentabilidade



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

103

Sustentabilidade



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

104

como pode ser o futuro?
como será o futuro?



105

Considerações Finais

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

106

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)

107



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

108

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

109

Desse total de 106

“arranha-céus”:

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

110

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

111



112

O Maior Edifício do Mundo



Fonte: www.nbmcw.com

Jeddah Tower

- O edifício terá mais de 1 km de altura

- Localização: Jeddah, Arábia Saudita

Custo estimado: US\$20 bi

113



114



115

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

116

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

117

OBRIGADO!



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

paulo.helene@concretophd.com.br

www.concretophd.com.br

www.phd.eng.br

55.11.2501.4822

55.11.9.5045.4940

118