



FAUUSP

Henrique Lindenberg Neto

Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas

Paulo Helene

Diretor da PhD Engenharia

Diretor Conselheiro do IBRACON

Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP

fib (CEB-FIP) member of Model Code for Service Life

Presidente da ALCONPAT

FAU.USP

10 de maio de 2010

São Paulo

1

Oscar Niemeyer



2



3



4

**O que vocês estão
fazendo aqui, em
2010, na FAU.USP
num curso de
Arquitetura &
Urbanismo?**

5

Assinale uma alternativa correta:

☐ **Tirando um título superior.**

6

Assinale uma alternativa correta:

- ☐ **Tirando um título superior.**
- ☐ **Me arrumando para ganhar dinheiro fácil.**

7

Assinale uma alternativa correta:

- ☐ **Tirando um título superior.**
- ☐ **Me arrumando para ganhar dinheiro fácil.**
- ☐ **Assistindo aula.**

8

Assinale uma alternativa correta:

- ☐ **Tirando um título superior.**
- ☐ **Me arrumando para ganhar dinheiro fácil.**
- ☐ **Assistindo aula.**
- ☐ **Melhorando meu conhecimento científico.**

9

Assinale uma alternativa correta:

- ☐ **Tirando um título superior.**
- ☐ **Me arrumando para ganhar dinheiro fácil.**
- ☐ **Assistindo aula.**
- ☐ **Melhorando meu conhecimento científico.**
- ☐ **Eu também gostaria de saber.**

10

Parábola da Catedral

11

**Importância da
“arquitetura & da
engenharia civil” para o
desenvolvimento
de uma Nação**

12

Pesquisas em Concreto

No Canadá, CA → Pierre-Claude Aitcin – Diretor Científico

1989 National Research Council, NRC

NCE 1989 → Network of Centres of Excellence

NCE investe 40 milhões de dólares/ano

Concrete/Béton Canada (1989 → 1999)

Université de Sherbrooke

1,4 milhões de dólares/ano (10 anos)

Entidades integrantes:

11 universidades

15 Instituições Governamentais

5 Entidades

65 Empresas

13

Béton Canada

The mission of Concrete Canada is to position the Canadian construction industry at the leading edge of concrete technology in order to enhance its competitiveness.

Its goal is to develop more durable, high-performance concrete and provides a longer life expectancy for structures, to develop innovative tools for designing new structures and repairing existing structures.

Beton Canada are demonstrating that HPC structures are safe, efficient and cost-effective, and providing direct transfer of technology from the laboratory to industry.

Béton Canada Network assure Canada as world leader in the industry field.

14

CANADA → Networks of Centres of Excellence (14 em 1989, hoje 19)

Advanced Technologies

1. Canadian Network for Space Research
2. Centres of Excellence in Molecular and Interfacial Dynamics
3. Institute for Robotics and Intelligent Systems
4. Micronet - Microelectronic Devices, Circuits and Systems
5. NeuroScience Network

Engineering and Manufacturing

1. Canadian Institute for Telecommunications Research

2. Concrete Canada

3. Mechanical Wood-Pulps Network

Health, Human Development and Biotechnology

1. Canadian Ageing Research Network
2. Canadian Bacterial Diseases Network
3. Insect Biotech Canada
4. Inspiraplex - Respiratory Health Network of Centres of Excellence
5. Protein Engineering Network

Natural Resources and Environment

1. Ocean Production Enhancement Network

15

NCE Canada Network of Centres of Excellence

Engineering and Manufacturing

1989 a 1999

Concrete / Béton Canada

1995- 2009

Intelligent Sensing for Innovative Structures

ISIS Canada

University of Manitoba, Winnipeg, Manitoba

16

Pesquisas em Concreto

Nos Estados Unidos, USA → Surendra Shah → Diretor Científico

1989 → National Science Foundation, NSF

ACBM Center for Advanced Cement-based Materials

NorthWestern University

University of Illinois

Purdue University

University of Michigan

National Institute of Standards and Technology

→ WMU, waste material utilization;

→ LCP, life cycle prediction;

→ DHPC, designing for high performance concrete

“Concrete & Science Engineering”

“Cementing the Future” média: 8 artigos por ano

17

ACBM: Worldwide leaders in new technology

ACBM was established in 1989 as a National Science Foundation Science and Technology Center, dedicated to the cement and concrete industries. By focusing on research, education, and technology transfer, ACBM has contributed major advances in the knowledge of cement and concrete materials and their behavior.

Hundreds of students and visiting scholars have participated in research at ACBM and have gone on to careers in industry and academia to continue this important work.

Many companies have adopted and optimized new technologies based on expertise developed through collaborative efforts with ACBM. **Cement Research — Response to a real world need.**

Much of the way we live depends on concrete. Our houses, roads, cities and underground support systems are all structured from this.

18

Pesquisas em Concreto

Brasil

- 131 grupos de pesquisa cadastrados em concreto na CAPES
- 22% de excelência

Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Banco de Teses e Dissertações

“Concreto Brasil”

50 Congressos → > 3.000 artigos → práticas recomendadas → livros

19

**QUANDO FOI
RECONHECIDA A
PROFISSÃO DE
ARQUITETO POR
PRIMEIRA VEZ NA
HUMANIDADE ?**

20

**Político, alquimista, primeiro
Arquiteto → Imhotep**



2790 A C

Pirâmide escalonada de Djeser

21



22



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

23

Materiais Estruturais!

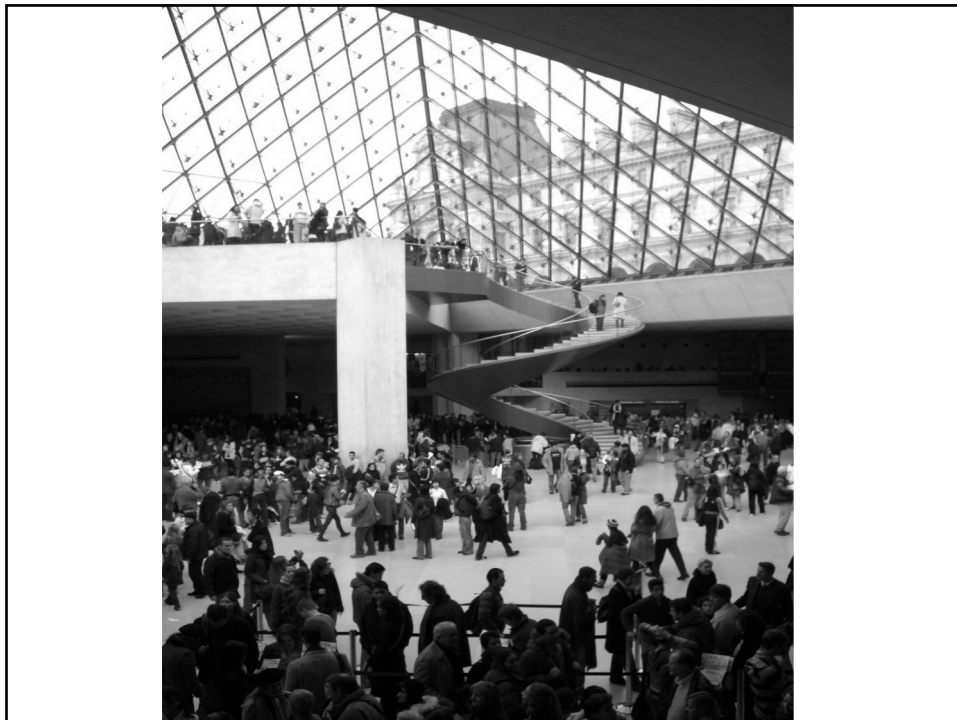
1. Madeira / bambú;
2. Barro / argila (+ fibra);
3. Cerâmica;
4. Rocha

24

A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE

“Durabilidade!”

25



26



27



28



29



30

Código de Leis de Hammurabi

Artigos 229 a 233 → obras

229. Quando uma casa ou parte dela colapsa e mata o proprietário, o arquiteto deve morrer;

230. Quando uma casa ou parte dela colapsa e mata o filho do proprietário, o filho do arquiteto deve morrer;

231....

232.....

233....

31

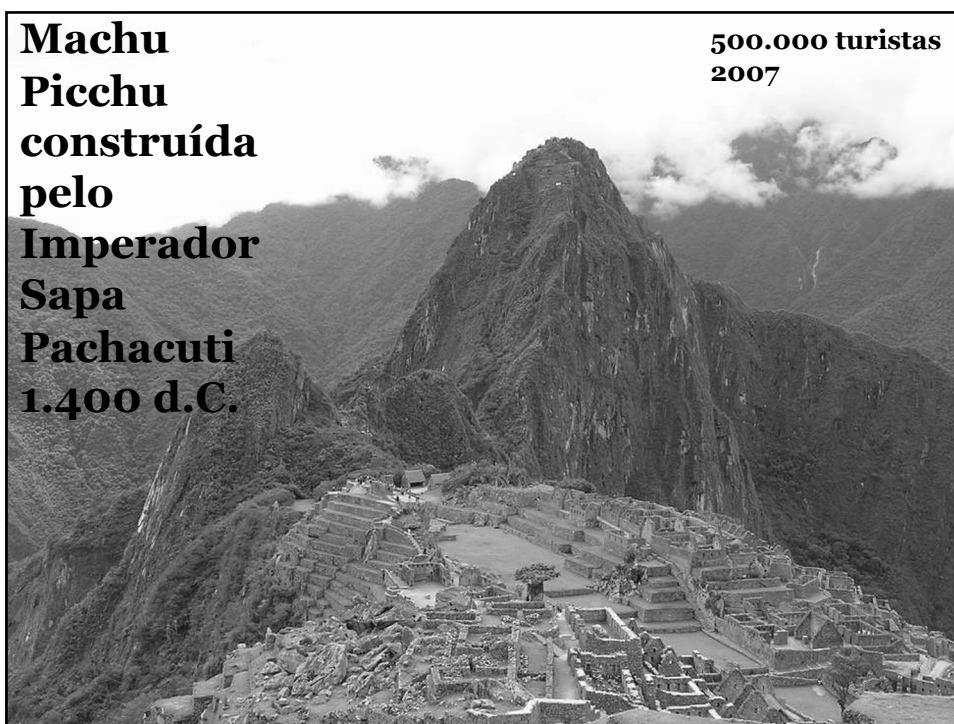
I Grande Revolução !

A Arquitetura podia
construir obras duráveis,
majestosas e de grandes
proporções.

32



33



34



35



36

Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

37

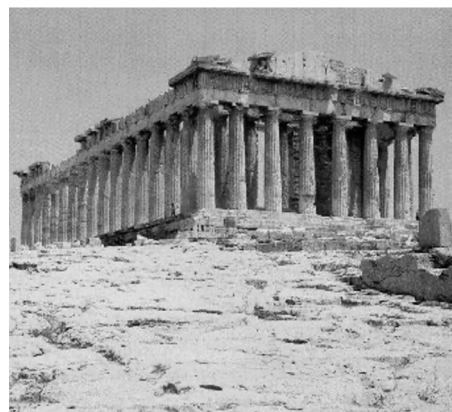
O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE EXISTE NAS OBRAS DESDE A ANTIGUIDADE

*razão áurea $C/L = 1,618$
número ϕ (Phidias)*



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”

Arquitetos Ictinos de Mileto
e Calícrates (*escultor Fídias*)



38

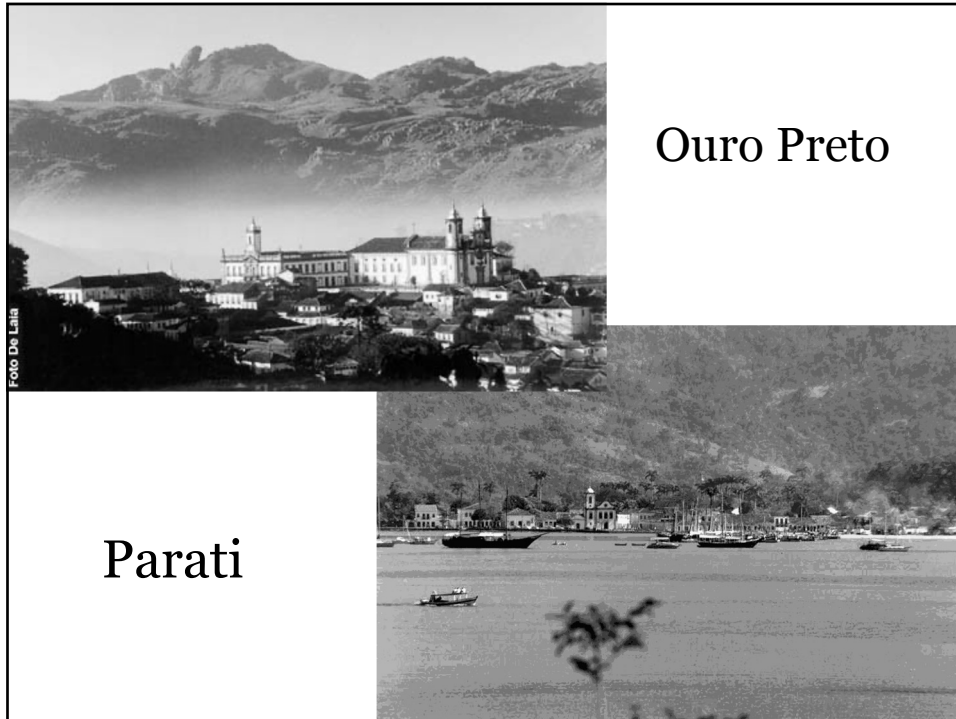
Cartagena de Indias



39



40



41



42

QUANDO APARECEU O CONCRETO *(estrutural)* POR PRIMEIRA VEZ NA HISTÓRIA?

43

Panteão
de
Roma



44

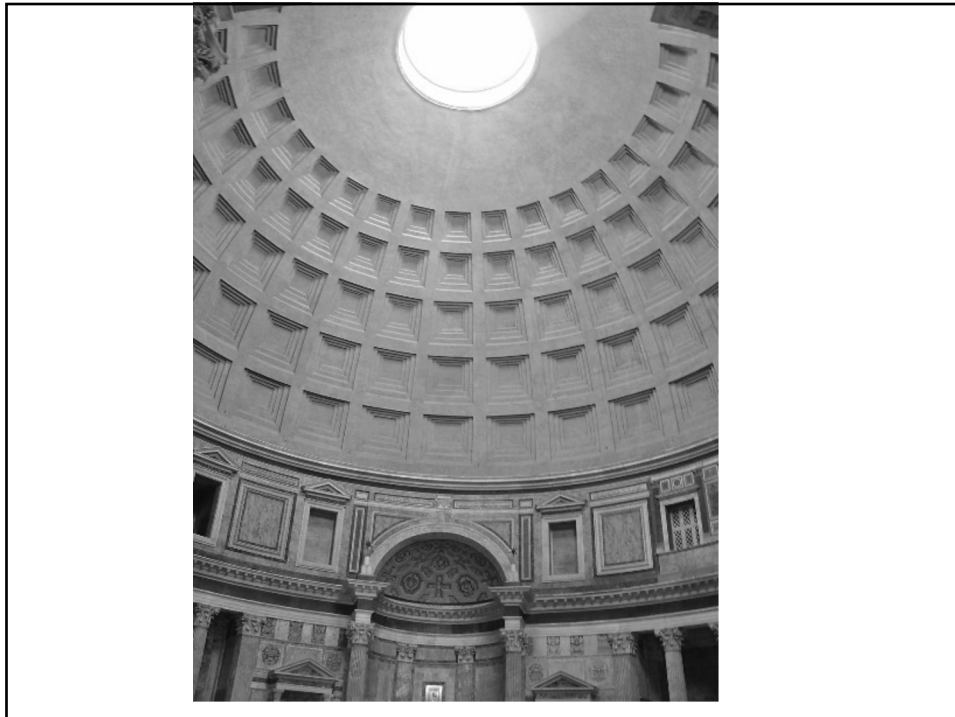


45

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



46



47

Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, France

XII-XIV → Estilo Gótico → Catedral Notre Dame, Colonia

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral São Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclasico → Arco do Triunfo , Paris

48

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

49

Séculos

IV → Estilo Bizantino → Catedral Santa Sophia, Istambul

IX → Estilo Romanico → Abadia Cluny, France

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

XV → Estilo Renacentista

XVII → Estilo Barroco → Catedral San Pedro, Bernini

XVII → Estilo Neoclasico → Arco del Triunfo , Paris

XIX → Estruturas metálicas

50

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.

Coalbrookdale Bridge in Telford, Inglaterra

still in use today carrying occasional light transport and pedestrians



51



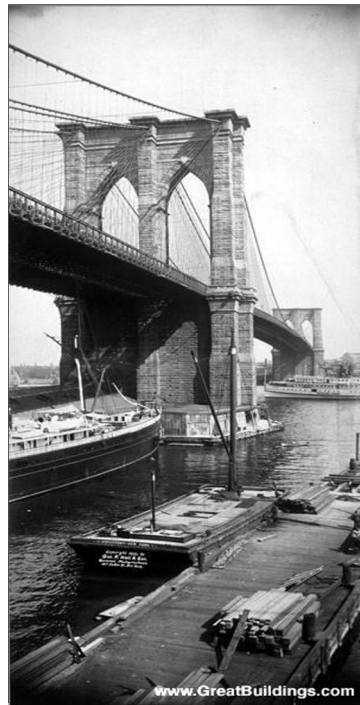
Ponte do Brooklyn, New York, USA → 1.883

John Augustus Roebling

ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

52

Fundações em rocha e alvenaria



53

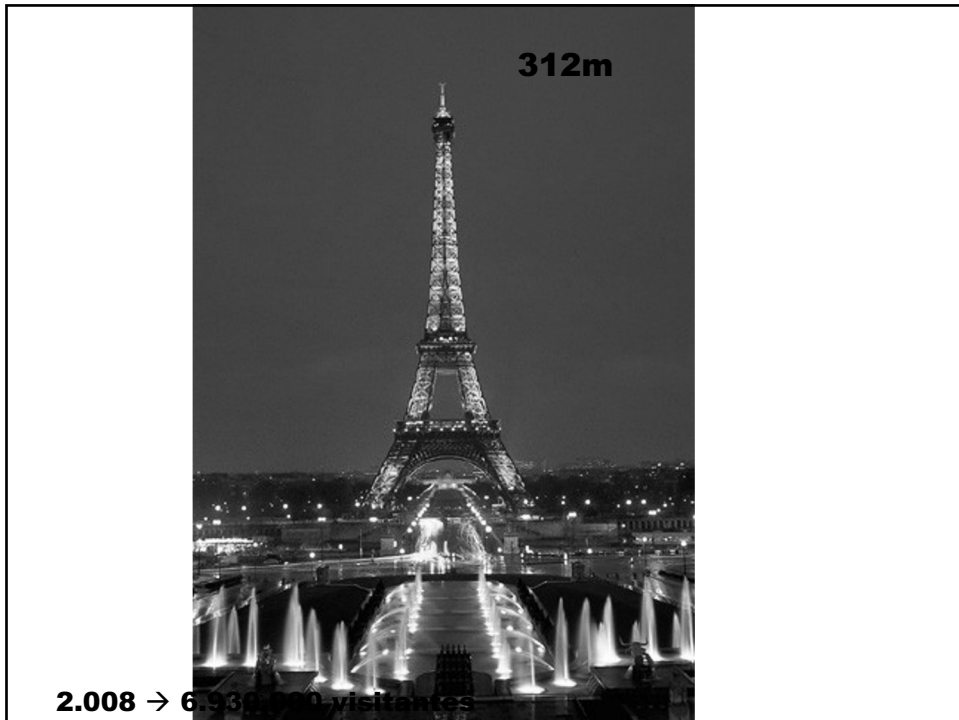
II Grande Revolução !

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

54



55



56

**VALE DO ANHANGABAÚ, VIADUTO DO CHÁ, TEATRO MUNICIPAL
E HOTEL ESPLANADA**



57

VIADUTO DO CHÁ. Inaugurado em 1892



58

PASSEIO DOMINICAL NO TIETÊ - 1917



59

**Onde estão os
edifícios de
Escritórios e
Apartamentos?**

O que houve?

60



Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben

61

- **1.888 → Leroy Buffington
USA, esqueleto reticular**

- **1.853 → Otis, elevador seguro,
1889 → 1º elevador elétrico em
NY**

62



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**

63

**SÉCULO “XX”
1892**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

64

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903

Suiça

1903

Alemanha

1906

França

1907

Inglaterra

65



66



**Système
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

109 anos !

*edifício em concreto mais
antigo do mundo*

67



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

85 anos !

world record

68



Edifício Martinelli

1929

106m

81 anos

world record

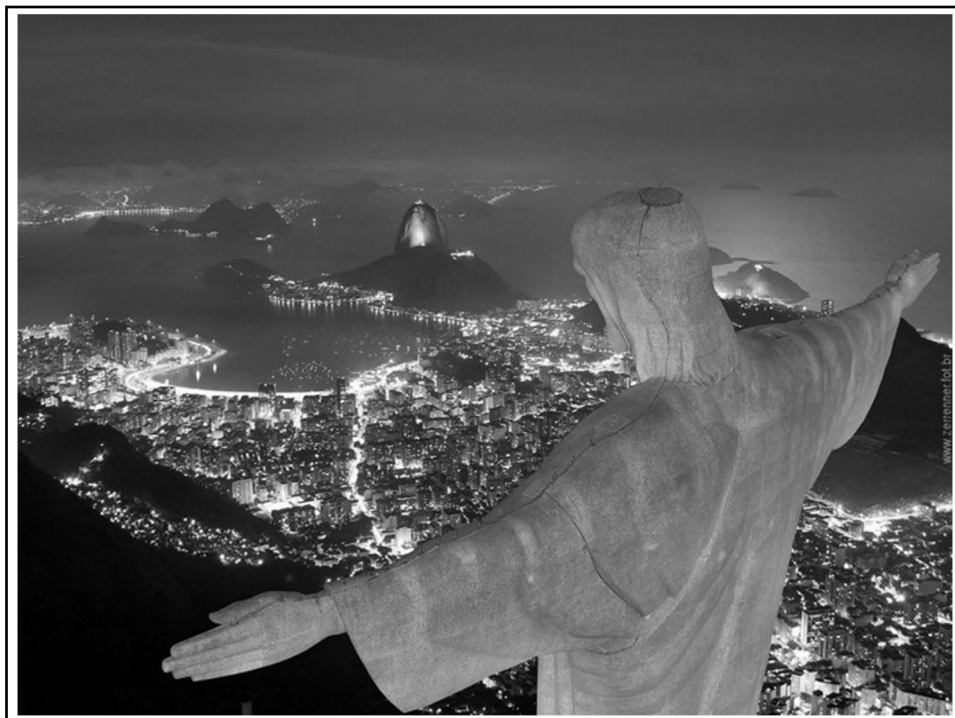
São Paulo, Brasil

69

publicidade da antarctica utilizando como pano de fundo o edificio martinelli e o zeppelin



70



71



Cristo Redentor

1931

**Concreto
armado**

**(pedra sabão)
39,6m**

**Corcovado, RJ
750m**

Projeto estrutural:

Heitor da Silva Costa & Albert Caquot

Arquitetura: artista plástico Carlos Oswald & escultor Maximilien Paul Landowski

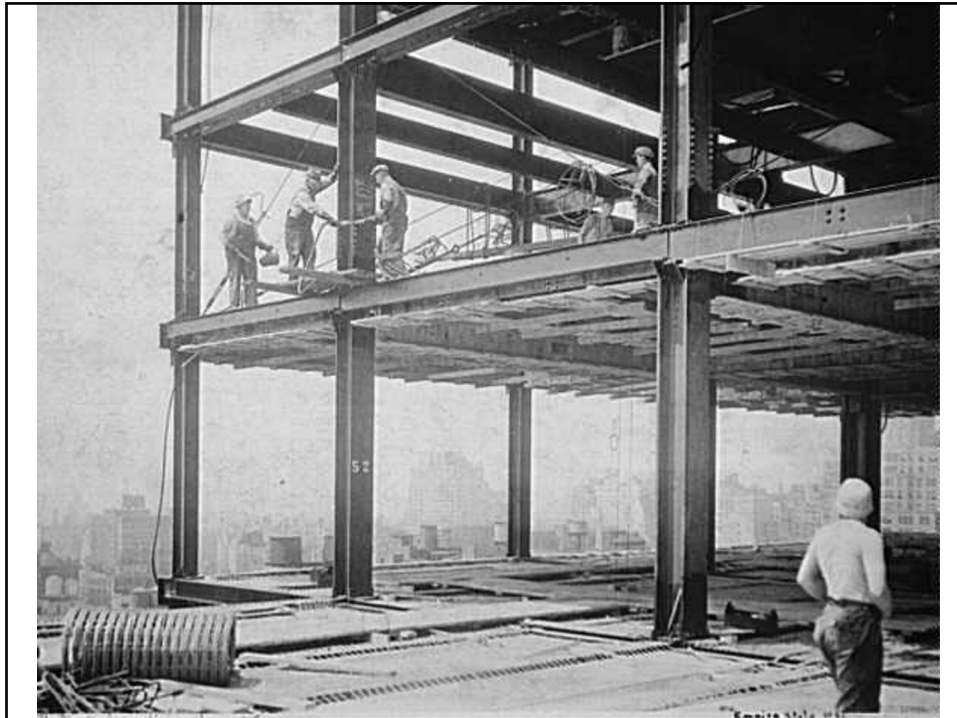
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

72

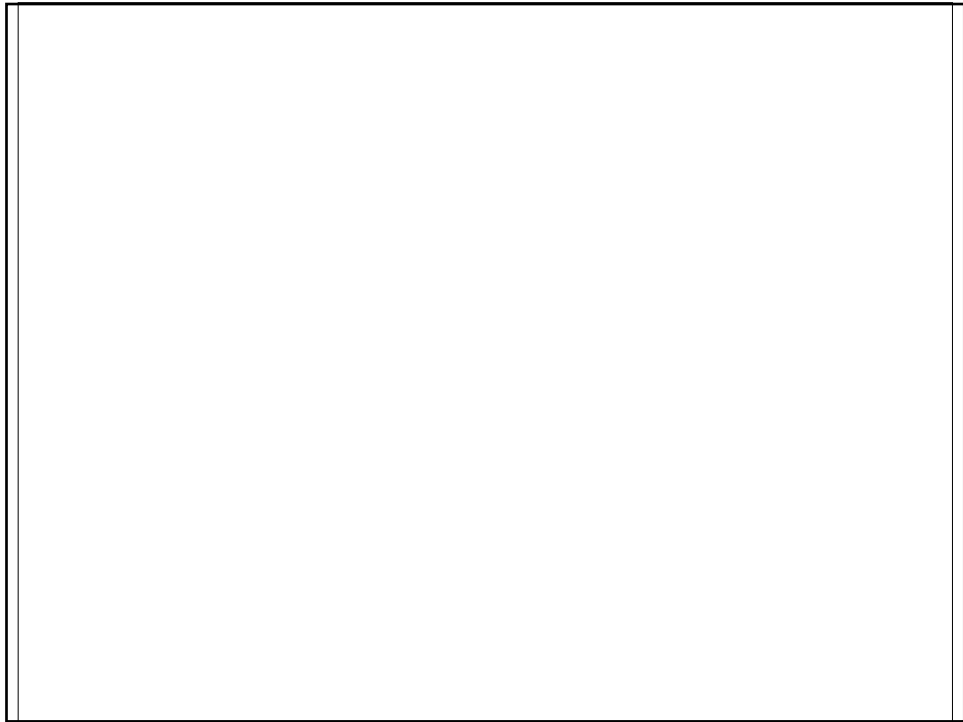


Empire State Building
381m , New York, 1.931

73



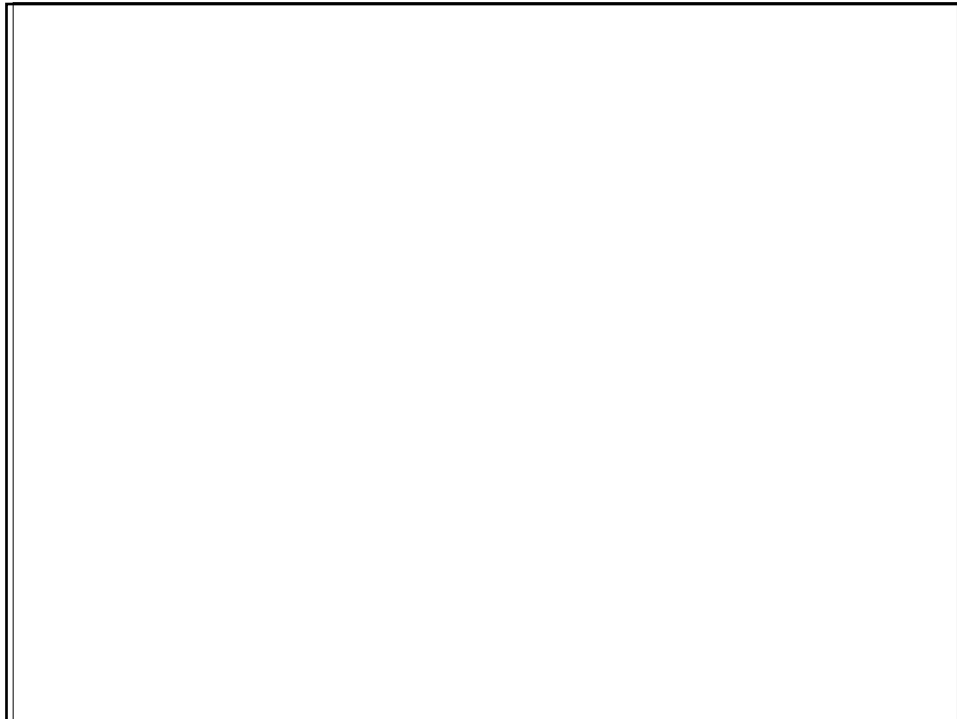
74



75



76



77



78

**Século XX
1.928**

“novo material estrutural”

Concreto Protendido

Eugene Freyssinet

79



80

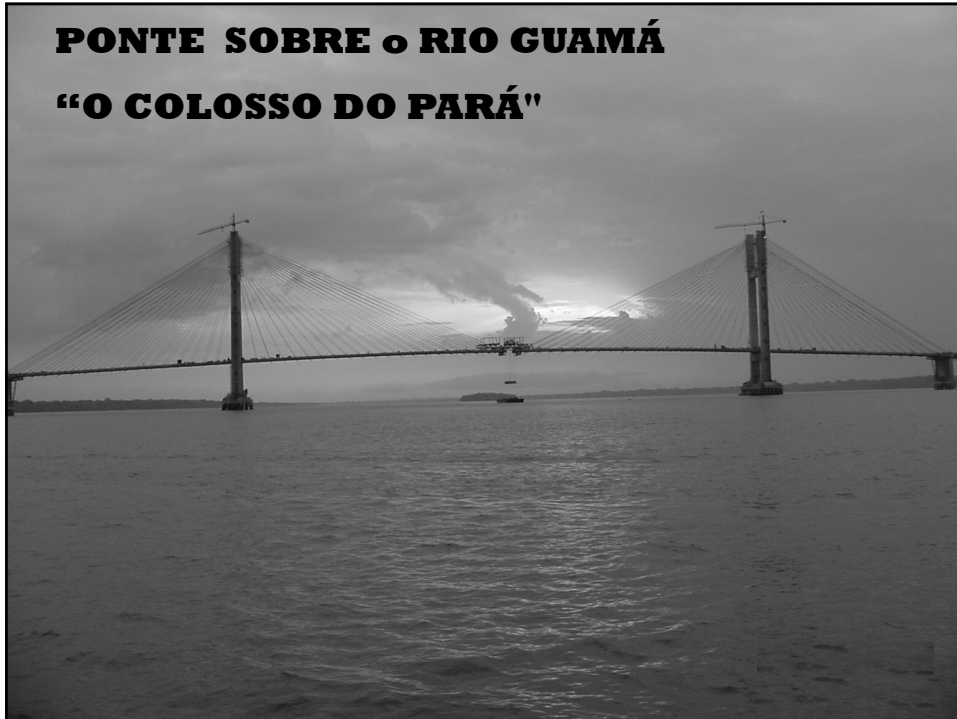


81



82

PONTE SOBRE O RIO GUAMÁ
"O COLOSSO DO PARÁ"



83



Ponte Rio Guamá
Belém ^ Pará 320m de luz *2003*

84



**Aduelas
prefabricadas
 $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$**

**média de
54 MPa
em corpos-de-
prova cilíndricos
(62MPa)**

**Vida Útil
100 anos!**

85

III Grande Revolução !

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

86

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

87

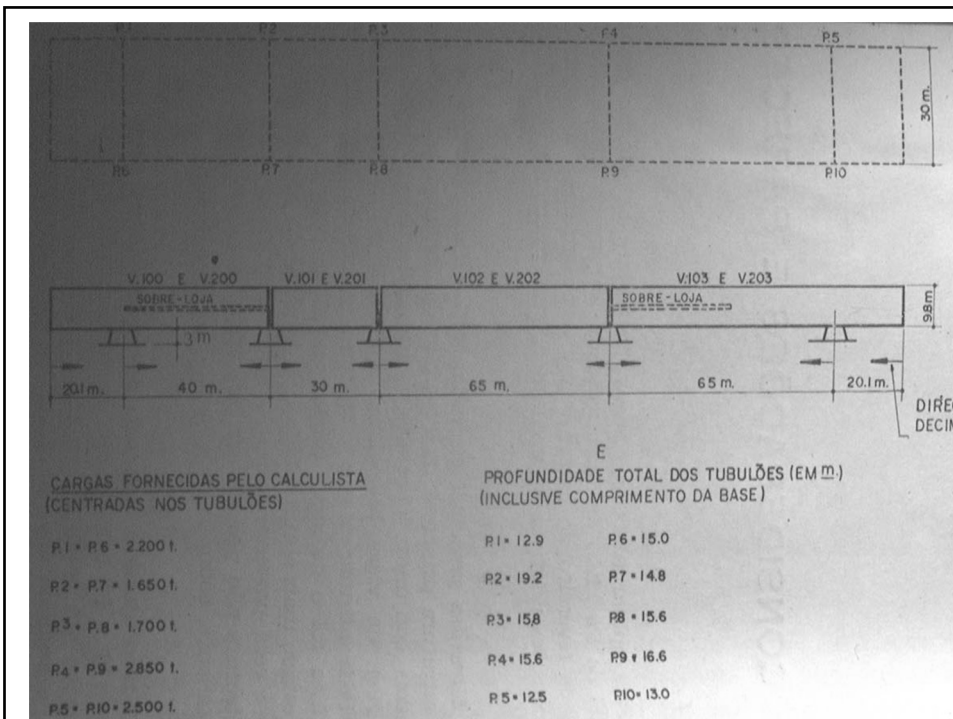


240m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

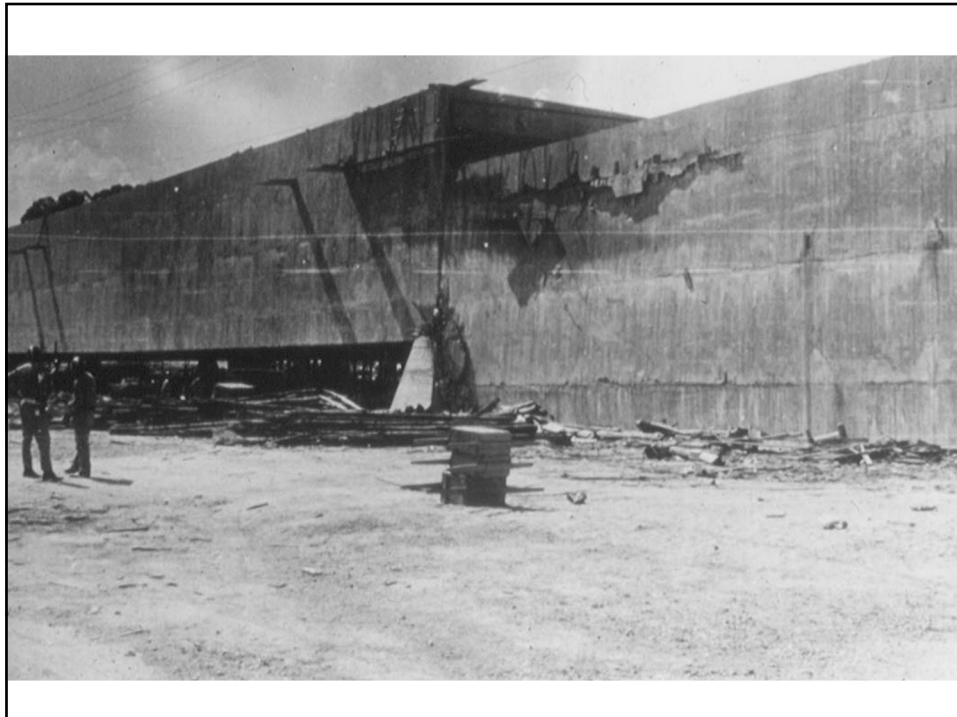
88



89



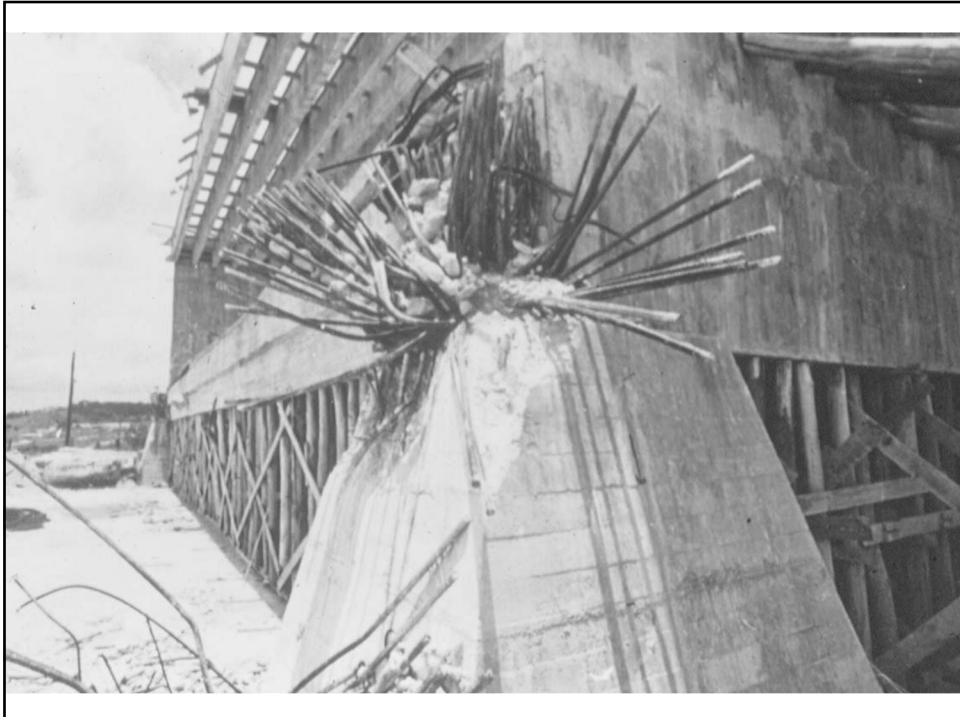
90



91



92



93

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

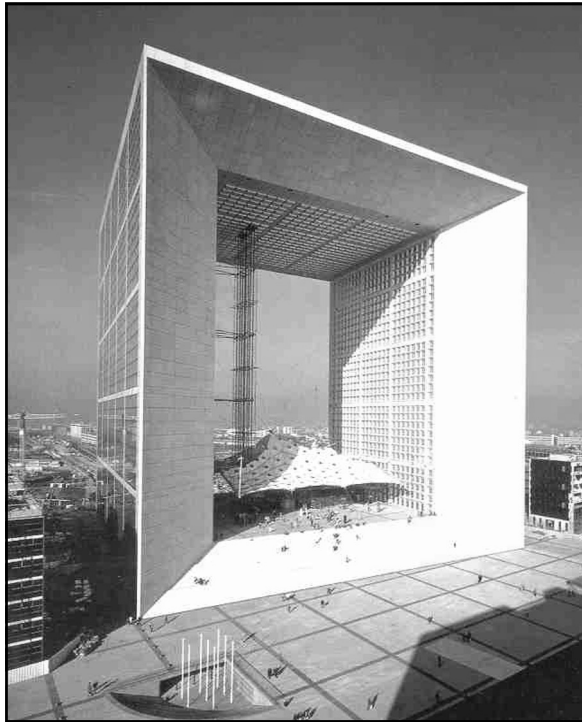
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

94



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

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

**“high-tech
style”**

95



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

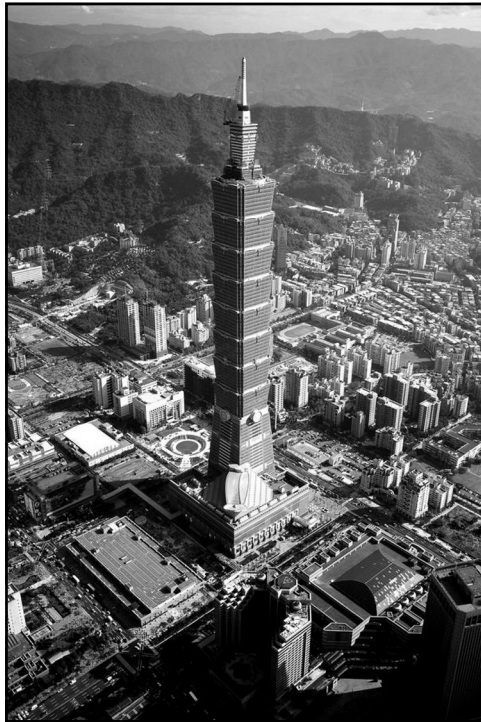
Malasia 1.997

452m

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

before / after

96



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

97

Como será o futuro?

98

P&D em Concreto

SCIENTIFIC AMERICAN

232 documentos nos últimos 10anos

Building Better Concrete
July 25, 2009

Paulo Monteiro, UC Berkeley

99

Inovação em Concreto

SCIENCE NEWS ON LINE

FRC → concreto com fibras
SCC → concreto auto-adensável
Concreto translúcido
HPC concreto de elevado desempenho
GFRC → concreto con fibras de vidro
Concreto com carbono
Cimento sem pó

100

SCIENCE NEWS ON LINE

- TiO_2 Titanium → Self-Cleaning Concrete
- Conductive concrete (*recognized by Popular Science Magazine as one of 1996's most innovative ideas in product development*)
- Solar Energy Concrete
- Composite materials → *lots of fibres*

101

SCIENCE NEWS ON LINE

- **Nanotecnologia na engenharia de materiais**
- TiO_2 Titânio Self-Cleaning Concrete
- **Partículas Fotocatalíticas**
absorver energia solar

102

Concreto Estampado



103

Concreto estampado

➤ evolução, melhoria, inovação de processo



104

Concreto Fotogravado

- Destinado a reproduzir fotografias, desenhos e gravuras mediante desativação seletiva;
- Mecanismo: deposição de um retardador sólido numa placa flexível mediante procedimento de impressão ponto a ponto;
- A placa pré-preparada deve ser recoberta com concreto. Após o endurecimento é retirado do molde e lavado com água a baixa pressão.

105

Concreto Fotogravado



106

Concreto Fotogravado



107

Concreto Translúcido

- A utilização de fibras óticas na massa de concreto formam uma matriz que permite a passagem da luz;
- Essas fibras permitem a formação de silhuetas definidas projetando-se sobre a superfície do concreto;



108

Concreto Translúcido

Arq. Aron Losonczi
(Hungaro)



109

Concreto Translúcido

O desenvolvimento dessa tecnologia poderá revolucionar a aparência de edifícios através da passagem da luz, inclusive aproveitando a luz do dia em áreas comuns das construções, evitando desperdícios



110

Concreto Artístico



111

Concreto Artístico



112

Concreto com Fibras

FRCC → Fiber Reinforced Concrete

HPFRC → High Performance Fiber Reinforced Concrete

UHPFRC → Ultra High Performance Fiber Reinforced Concrete

SFRC → Steel Fiber Reinforced Concrete

GFRC → Glass Fiber Reinforced Concrete

SFRC → Synthetic Fiber Reinforced Concrete

NFRC → Natural Fiber Reinforced Concrete

113

Glass Fiber Reinforced Concrete

GFRC OU GRC

Trata-se de um compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras de vidro álcali-resistentes. Devido à alta resistência a tração oferecida pela fibra de vidro, seu baixo volume e altíssima durabilidade, permitem a execução de peças extremamente esbeltas e finas. Muito utilizado na execução de painéis de fachada para edifícios novos e restaurações. Não há limites para a criatividade e com infinitas aplicações.



114

Concreto de Alta Resistência

▼Tem resistência à compressão acima de 200MPa e acima de 40MPa na flexão, obtidas através da adição de nano fibras metálicas.

115



Estação de trem, Calgary, Canadá

116

P & D em Concreto

Concreto de Alto Desempenho

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

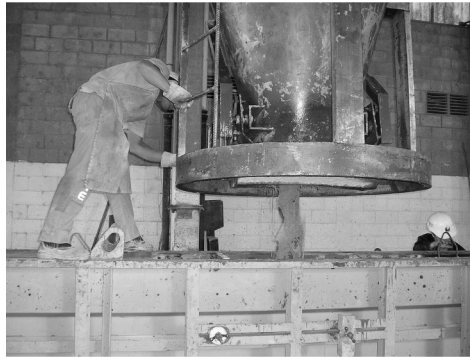
RPC → Reactive Powder Concrete

117



118

estudo comparativo



119



120

10 x produtividade

CC: moldagem: 4,4min;

acabamento: 3,3min;

**nº de operários empregado: 5 no total; incluindo
vibração (1), caçamba (2), acabamento (1) e
ponteiro (1).**

0,870 homens-hora / m³ de concreto

CAA: moldagem: 1,2min

acabamento: não precisou

**nº de operários empregado: três (3); com caçamba
(2) e ponteiro (1).**

0,081 h.h/ m³ de concreto

121



122



123



124



125

Desperdício

O desperdício no concreto pré-fabricado é de 1% enquanto na Construção Civil (alvenarias, pisos, etc.) pode ser de...



126



127



128

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

129

Venustas
Bonita !

130

*Oscar Niemeyer
Bruno Contarini*



Museu de Arte, Niterói / RJ

131

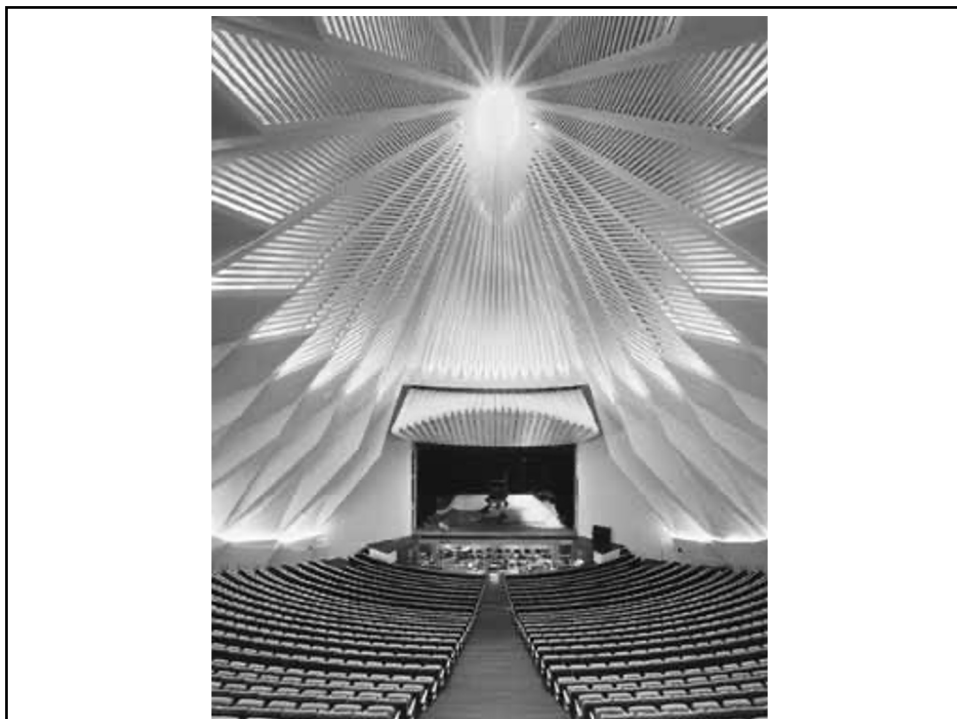
**Auditório de Tenerife
Espanha
2003
Santiago Calatrava**



132



133



134

China
World Trade Center

Pequim, China

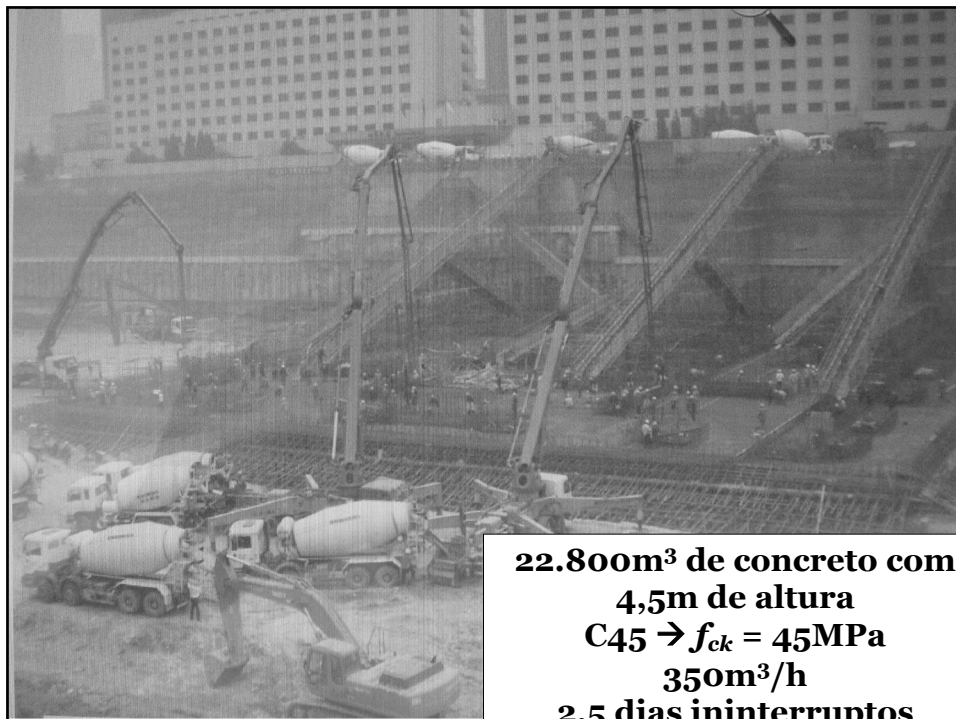
2009

330m

74 andares



135

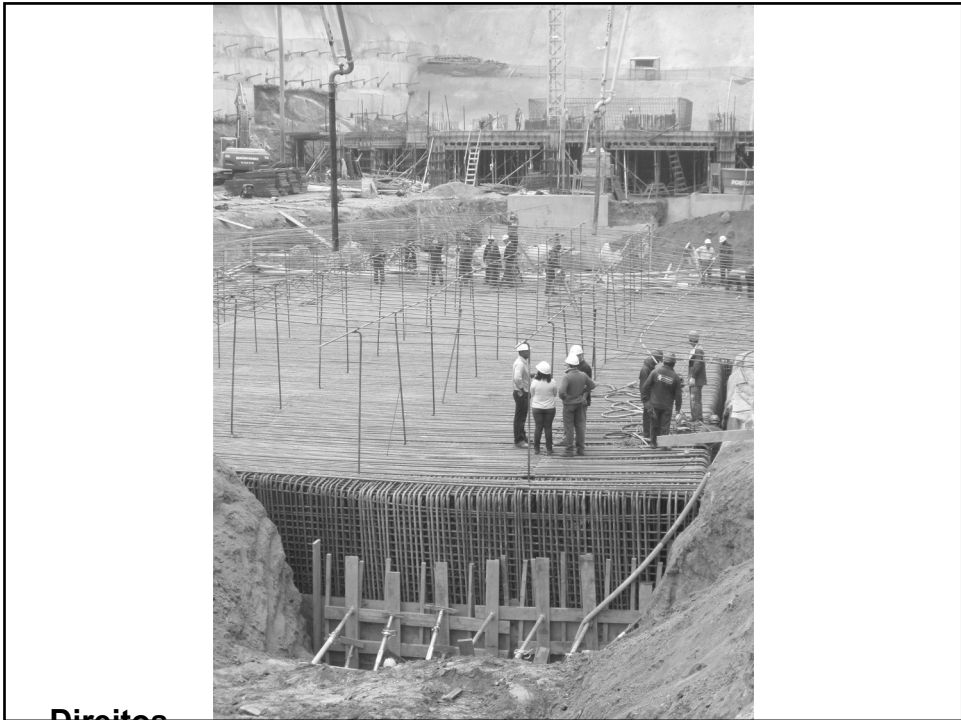


**22.800m³ de concreto com
4,5m de altura
C45 $\rightarrow f_{ck} = 45\text{MPa}$
350m³/h
2.5 dias ininterruptos**

136



137



138



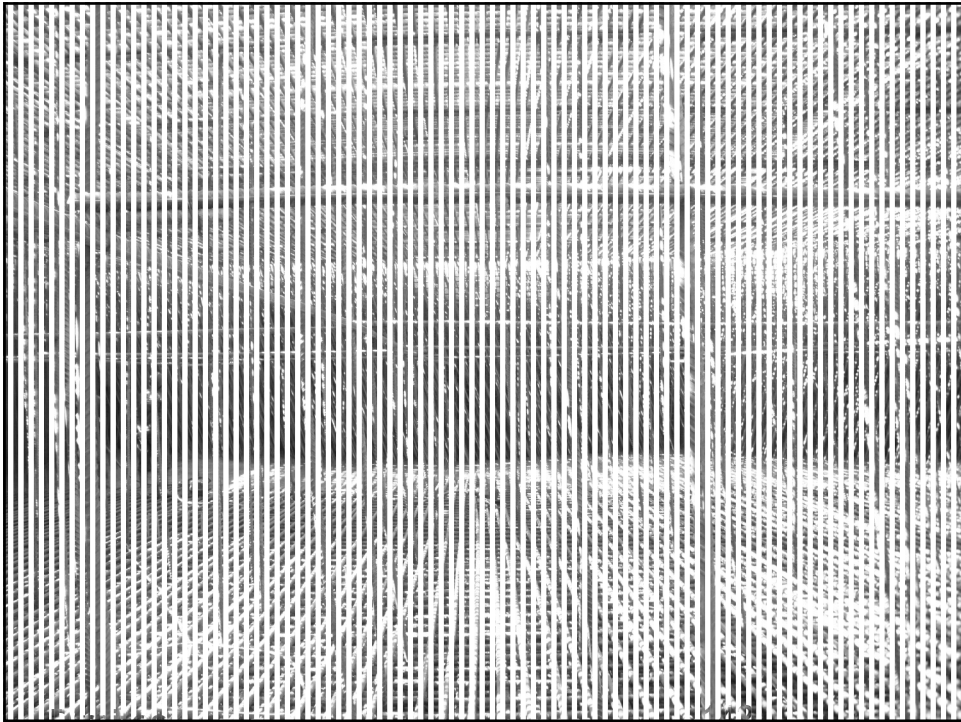
139



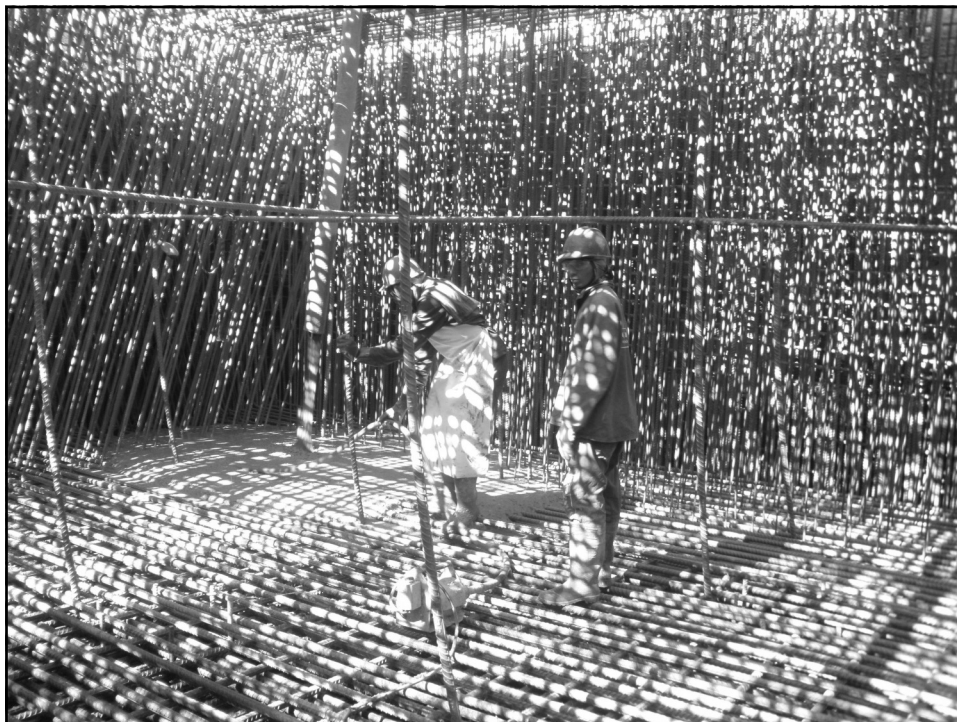
140



141



142



143

Firmitas
estável e durável

144

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

147

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

148

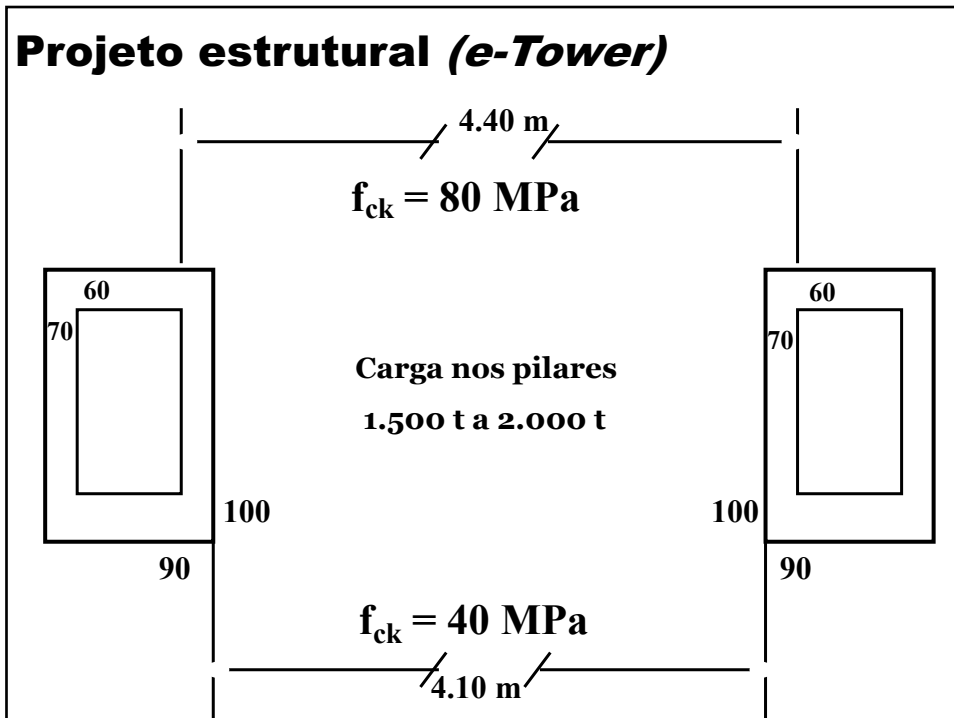


149

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




150



151



152



153



154

Economia de recursos naturais

Original:

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

seção transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm}$

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

HPC / HSC:

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

seção transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm}$

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

155

Economia de recursos naturais

- 70% menos areia
- 70% menos pedra
- 53% menos concreto
- 53% menos água
- 20% menos cimento

156

Considerações Finais

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

157

Considerações Finais

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

158

Em 1.997 as torres gêmeas
Petronas, em Kuala
Lumpur, toda de concreto,
superou em altura a torre
Sears em Chicago
(metálica)

159

Passados somente
13 anos, 7 novos
edifícios mais altos
que o Petronas
foram construídos

160

**Hoje há 57 edifícios
em construção com
altura superior a
300m, para serem
inaugurados até
2013...**

161

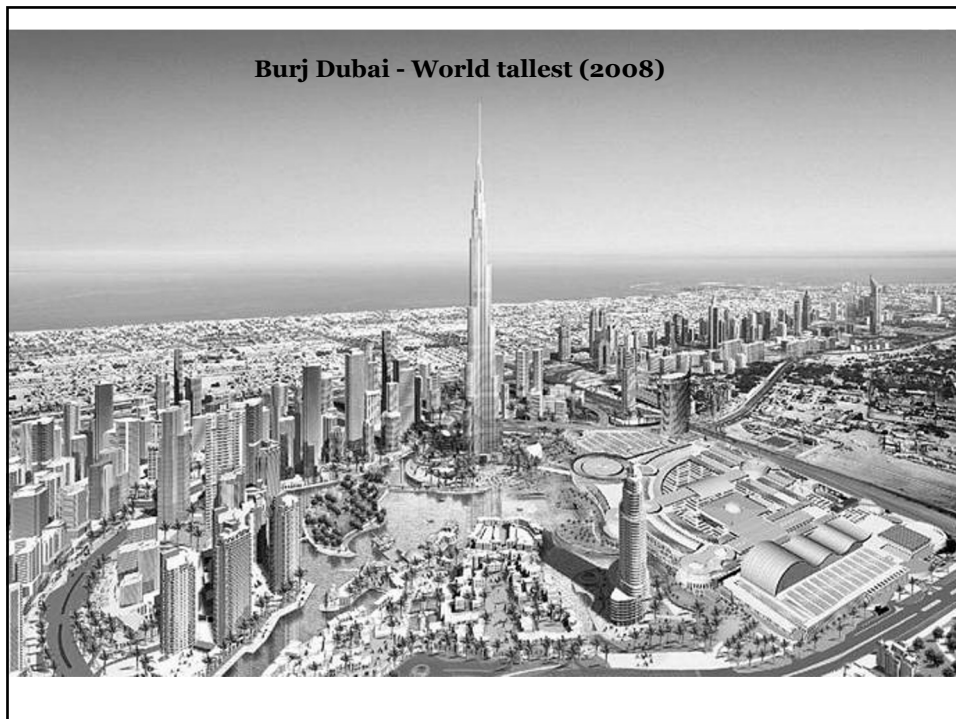
Desse total de 57
“arranha-céus”:

- 37 são em concreto
- 19 são mistos concreto / aço
- apenas 1 é metálico

162

Inclusive o mais alto
edifício do mundo,
hoje, a Burj Khalifa,
em Dubai, tem
estrutura em concreto

163



164

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

165

e... ainda continua em
franco progresso e
evolução não sendo
possível prever seus
limites, nem seu
substituto !

166

***Os Arquitetos e os Engenheiros Civis
constroem os marcos de pujança, de
grandeza, de desenvolvimento e de
poder das civilizações.***

***Traduzem sua história, seus sonhos e
seus ideais em majestosas e duráveis
obras que elevam a auto-estima de
seu povo.***

167



***O estudo dos problemas
patológicos , a pesquisa
de como corrigir-los e
principalmente como
bem construir, com ética
e qualidade, é uma das
maiores oportunidades
atuais de resgatar essa
importância e vocação
da arquitetura e
engenharia civil
brasileiras.***

168



169



170