



**INSTITUTO
FEDERAL**
Goiás
Câmpus
Jataí

A Arte de Projetar e Construir Estruturas *dos egípcios aos tempos atuais*



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Paulo Helene
*Presidente e Conselheiro IBRACON
Diretor PhD Engenharia
Miembro Red PREVENIR CYTED
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP
fib (CEB-FIP) Member of Model Code for Service Life Design
Ex Presidente Asociación Latino Americana de Control de Calidad,
Patología y Recuperación de la Construcción ALCONPAT Int.
Conselheiro da CNTU e SEESP*

IFG 14 de julho de 2021 Jataí/GO

1

A profissão do Engenheiro Civil é uma profissão de ***“confiança pública”***

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

2

Juramento do Engenheiro

“ Prometo sob juramento observar os postulados da ética profissional, concorrer para o desenvolvimento da técnica, da ciência e da arte e bem servir aos interesses da sociedade e da nação”.

“este é o juramento dos engenheiros utilizado na colação de grau da POLI.USP”

3

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.



4

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

5

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



64m

2790 A C

Pirâmide escalonada de Sakkara (Faraó Djeser)

6



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

7



8

Materiais Estruturais

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

9

A 1ª Grande Revolução *rocha*

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

10

Genesis, 11.4

O Povo de Deus disse:

“Vamos construir uma cidade e uma Torre que alcance o Paraíso e deixe gravado nosso nome na história antes de que sejamos espalhados por toda a face da Terra”

11



12



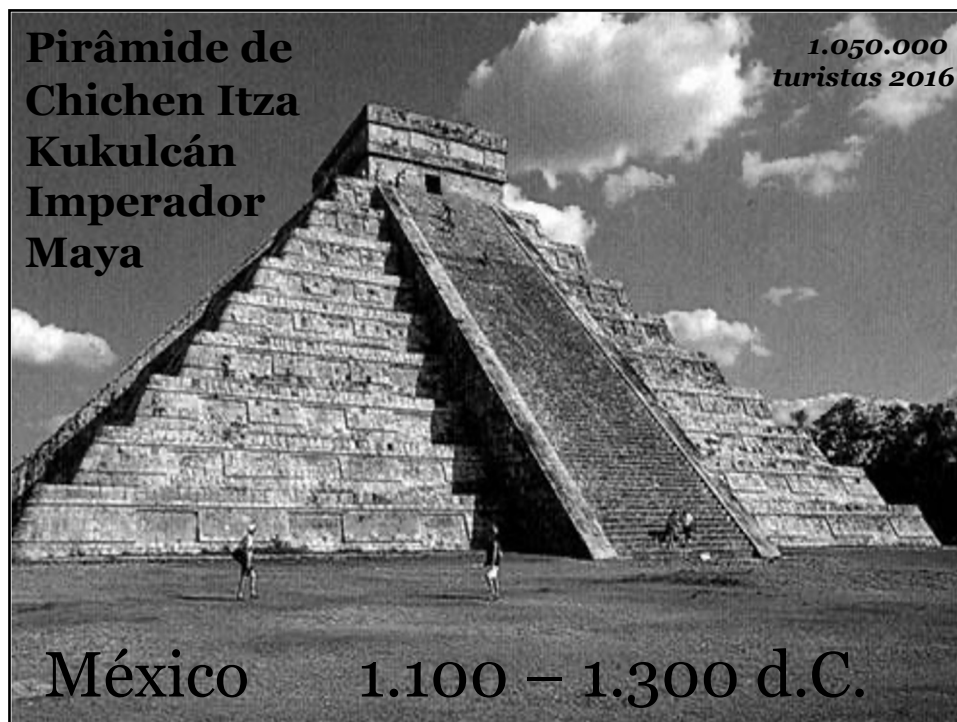
13



14



15



16

O conceito de construir com durabilidade existe desde a antiguidade

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



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”

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



17

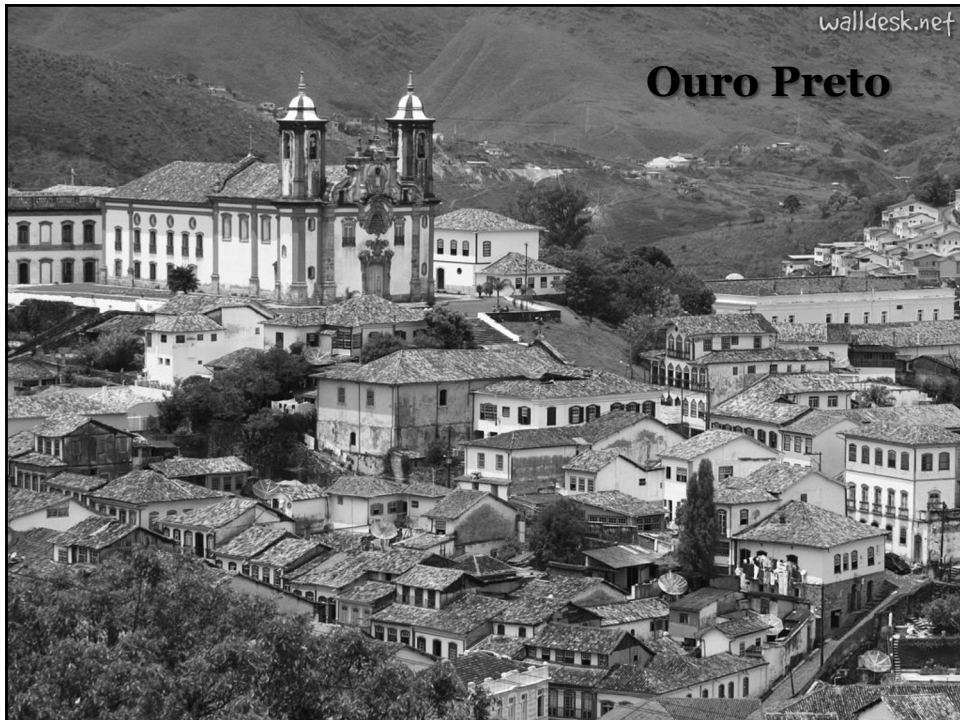
Cartagena de Índias



18



19



20



21



22

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

23

**Panteão
de
Roma**



24



25

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



26



27



28



29

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

30

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

31

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

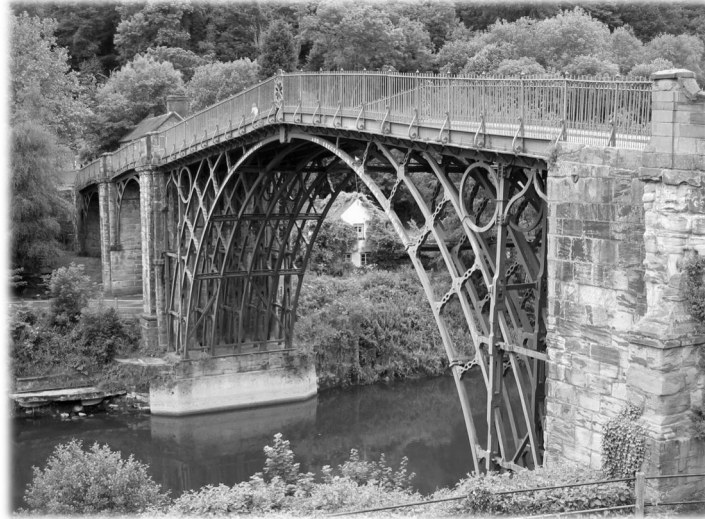
XVII → Estilo Neoclássico → Arco do Triunfo , Paris

XIX → Estruturas metálicas

32

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

Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedestres



33

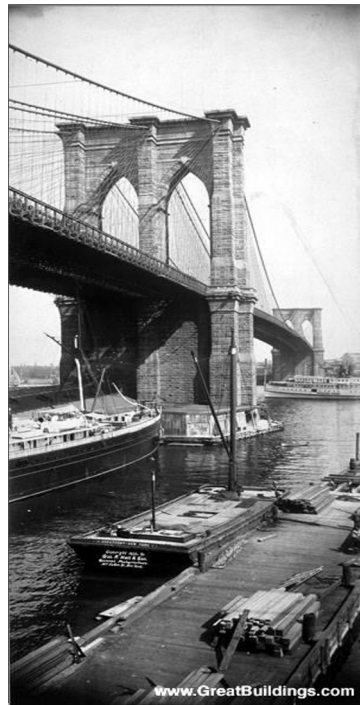


**Ponte do Brooklin, New York, USA → 1.883
John Augustus Roebling**

ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

34

Fundação em rocha e alvenaria de blocos de rocha



35



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

ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

36

2ª 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.

37



38



39



40

**Onde estão os
edifícios
comerciais e
habitacionais?**

O que aconteceu?

41

**Grande incêndio de
Londres - 1666**



duração de 3 dias

42



Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben

43

- **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)

44



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

45

**Século “XX”
1892**

**aparece um
novo material**

Concreto Armado

46

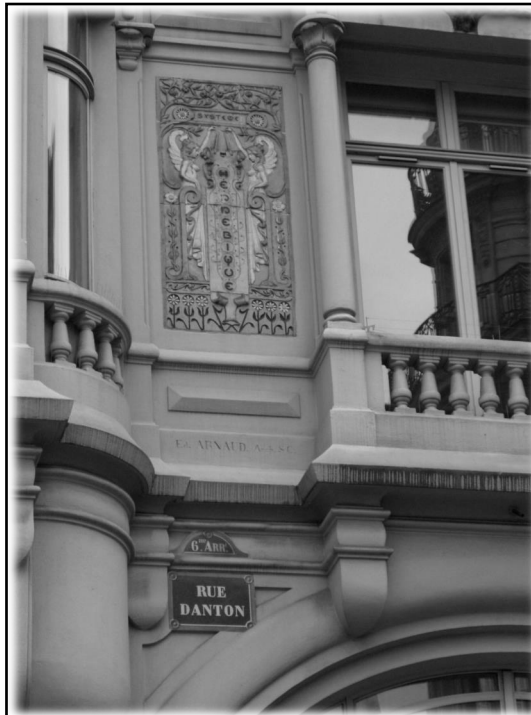
Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suiça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

47



48



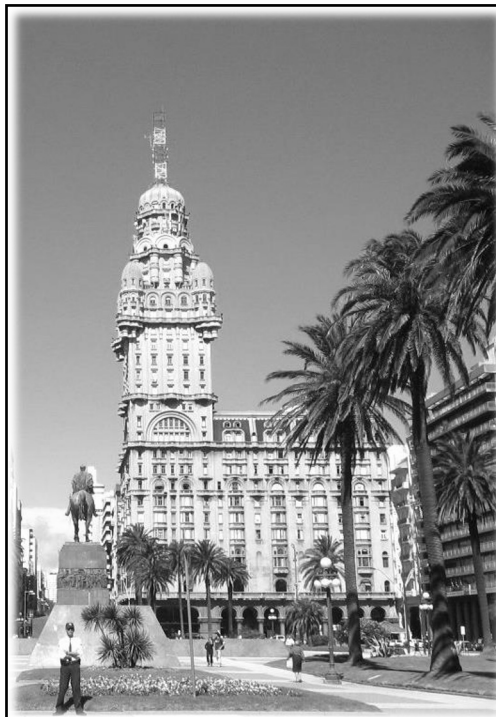
**Système
Hennebique**
Paris, Rue Danton

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$
120 anos !

*edifício em concreto
armado mais antigo do
mundo*

49



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares

Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$
96 anos !

world record

50



Edifício Martinelli

1929

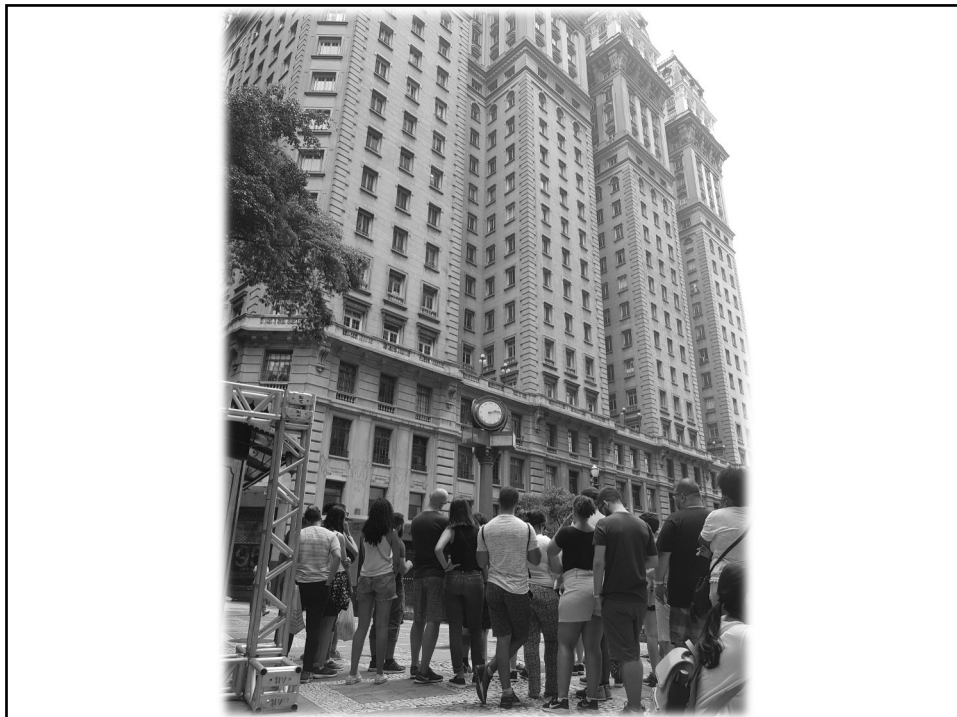
106m

92 anos

world record

São Paulo, Brasil

51

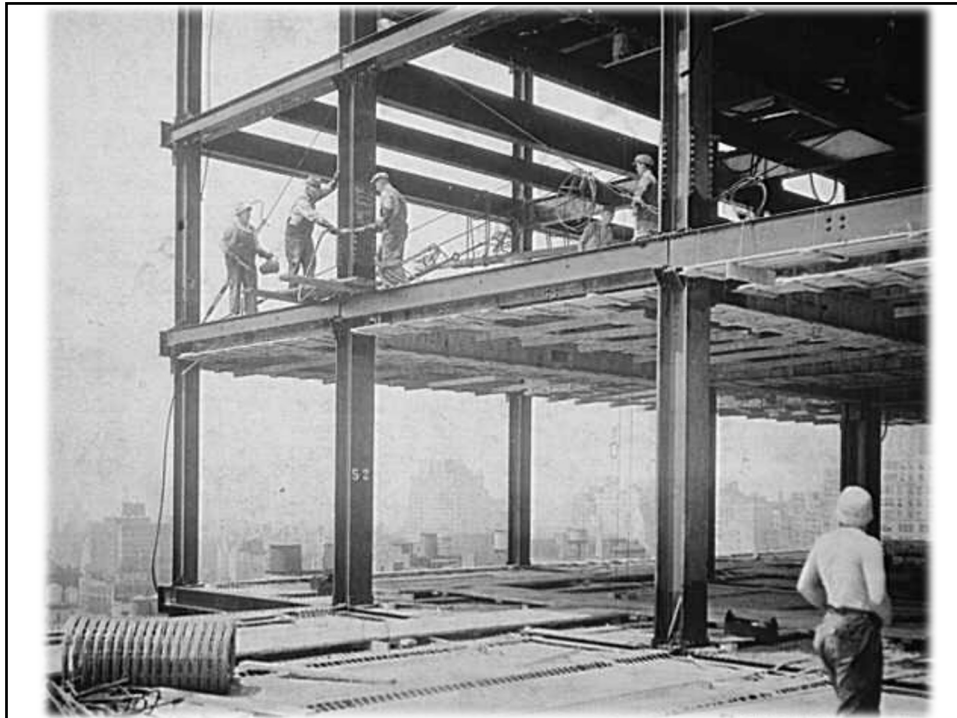


52



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

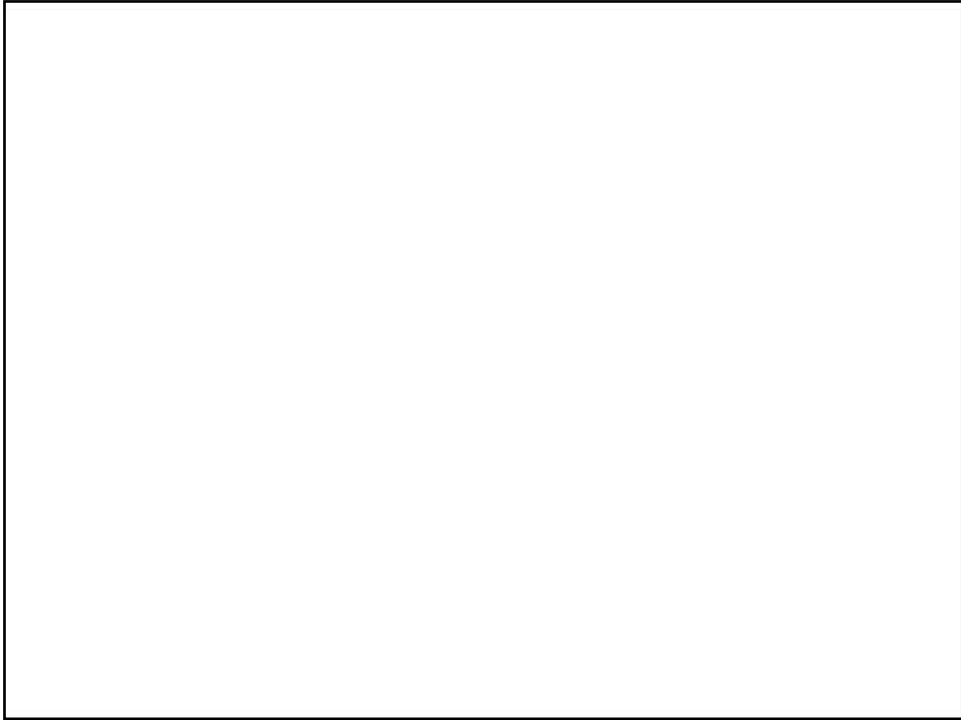
53



54



55



56

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto Protendido

Eugene Freyssinet

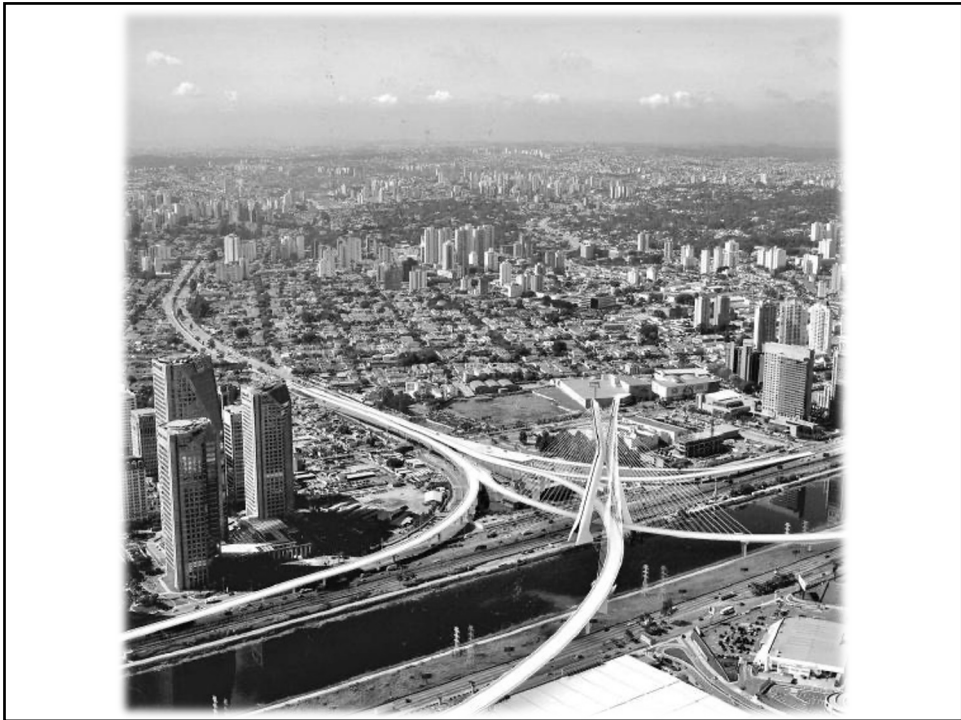
57



58



59



60

PONTE SOBRE o RIO GUAMÁ
“O COLOSSO DO PARÁ”



61



Ponte Rio Guamá
Belém Pará 320m de vão 2003

62



Aduelas pré-fabricadas
 $f_{ck} = 45 \text{ MPa}$

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

**Vida Útil
 100 anos!**

63

José Carlos de Figueiredo Ferraz



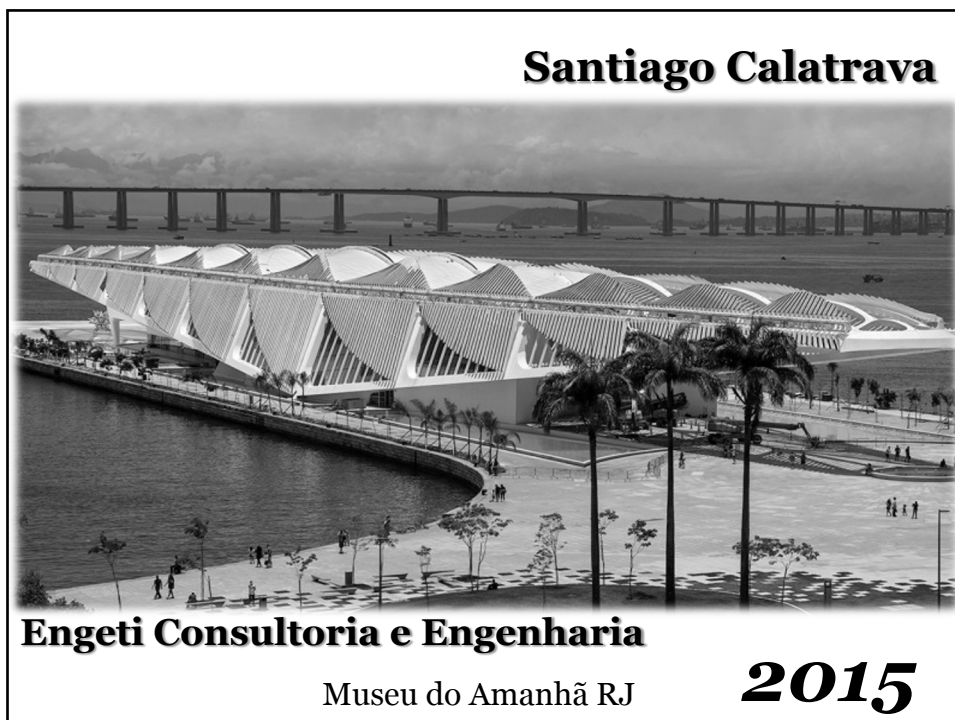
Lina Bo Bardi

MAASP Museu de Arte São Paulo **1968**

64



65



66



67

3ª 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”

68



Petronas Towers
Cesar Pelli

Kuala Lumpur

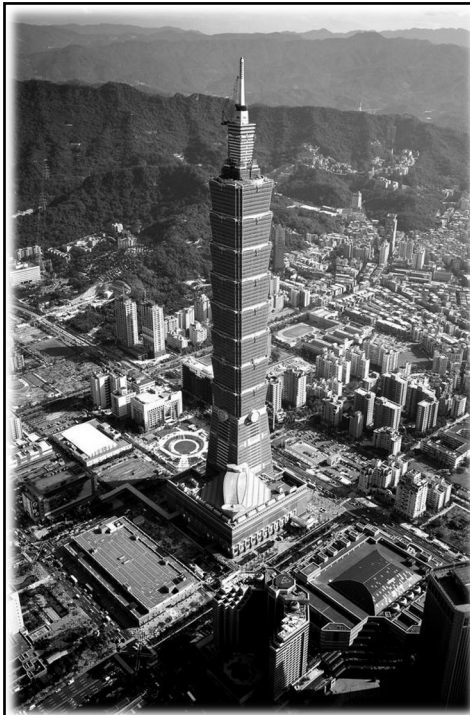
Malasia 1.997

452m

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

before/after

69



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

2005

509m

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

steel / concrete

70

Como pode ser o futuro?

71

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “De Architectura”

10 volumes → 800 anos como best - seller

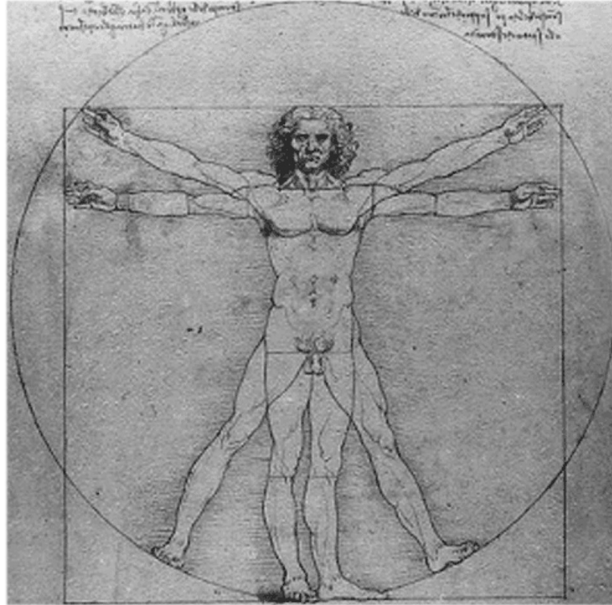
Utilitas
Firmitas
Venustas

(funcional)
(estável e durável)
(bonita)

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

72

Arte e Ciência da Construção



Leonardo da Vinci
Homem Vitruviano
1.490 DC

73

Venustas
Bonita !

74

***Oscar Niemeyer
Bruno Contarini***



75

**Auditório de Tenerife
Espanha
2003
Santiago Calatrava**



76



77



78

Firmitas

estável e durável

79



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

Torre Norte

São Paulo
1997

Altura 179 m

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

80

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “De Architectura”

10 volumes → 800 anos com bons segredos

Utilitas → *functio*
firmitas → *structura*
venustas → *decor* (bonita)

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

83

Considerações Finais

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

84

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)

85



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

86

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

87

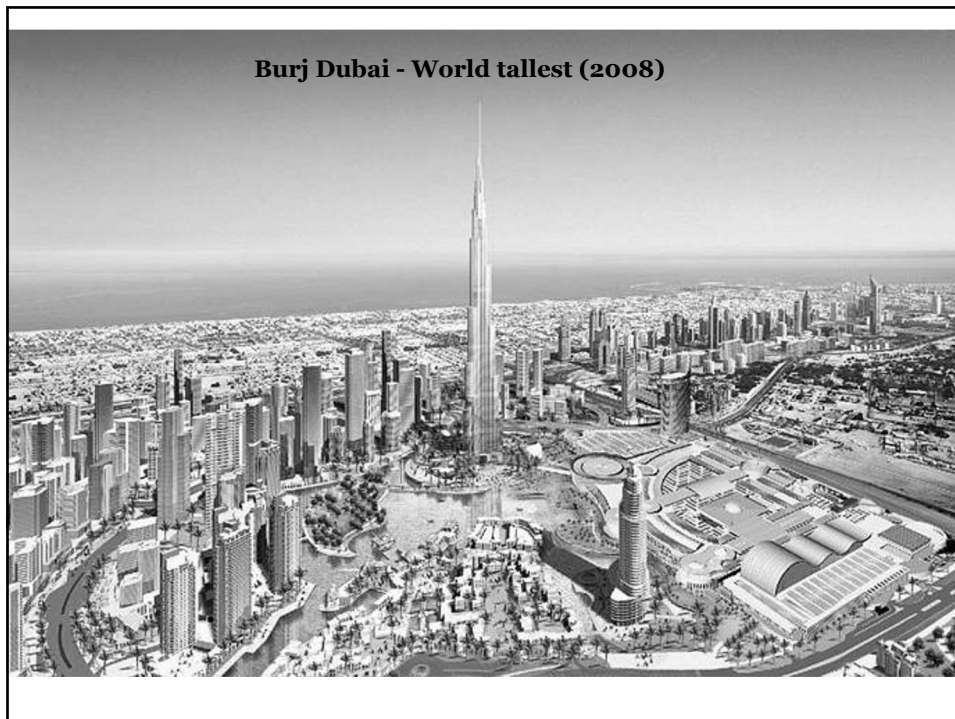
Desse total de 106 “arranha-céus”:

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

88

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

89



90

O Maior Edifício do Mundo



Fonte: www.nbmcw.com

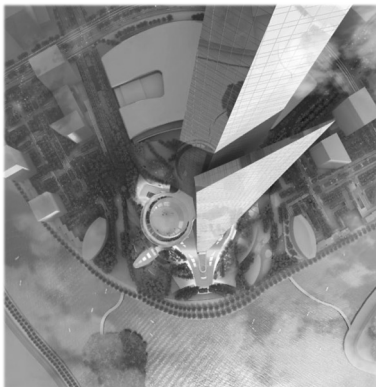
Jeddah Tower

- O edifício terá mais de 1 km de altura

- Localização: Jeddah, Arábia Saudita

91

Jeddah Tower



Fonte: www.nbmcw.com



Custo estimado:
\$20 bi

Em construção

92



93



94

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

95

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

96



97