

Universidade de São Paulo USP
Escola Politécnica EP
Curso de Tecnologia de Edificações para Engenheiros e Arquitetos
Patologia e Terapia das Estruturas de Concreto

Sobre a Arte de Projetar e Construir Estruturas

passado, presente e futuro

Paulo Helene

*Prof. Titular da Universidade de São Paulo
Vconselheiro do IBRACON
Presidente de ALCONPAT
Membro do Model Code For Service Life (fib)*

PECE. PROMINP

São Paulo

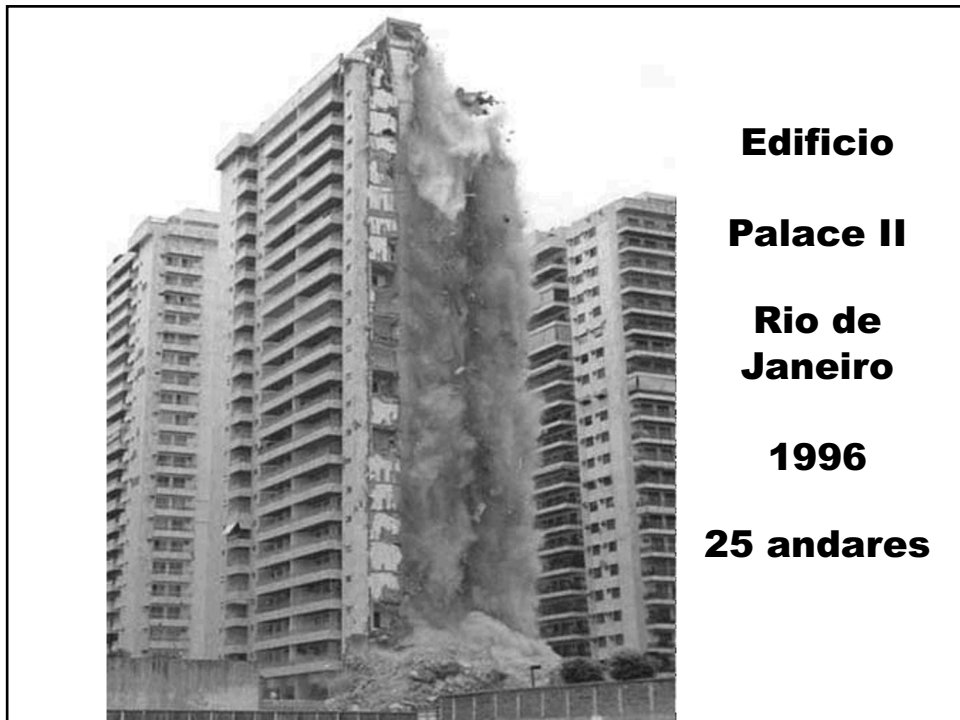
22 de fevereiro de 2010

São Paulo

1

**O que vocês estão
fazendo aqui, em
2010, na POLI num
curso de Tecnologia
de Edificações para
Arquitetos e
Engenheiros?**

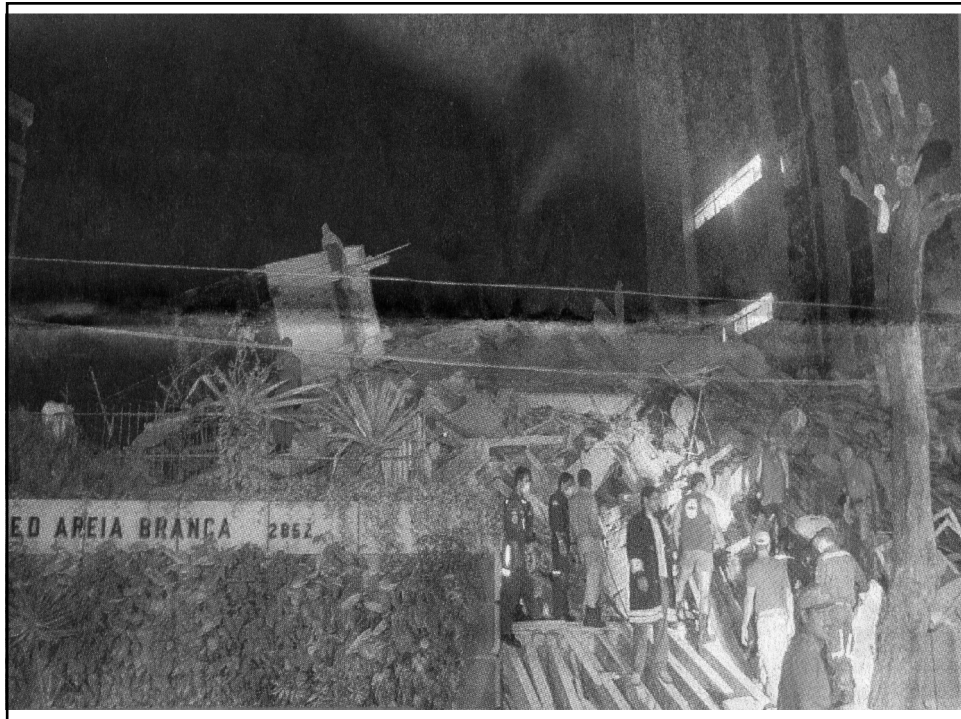
2



3



4



5



Edifício de luxo

15 andares

Maringá PR

2008

6



7

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

8

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

9

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.

10

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

11

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

12

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

13

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.

14

ACBM Center for Advanced Cement-Based Materials

*Our purpose is to
improve and enhance
the performance of
vital construction
materials.*

15

Pesquisas em Concreto

No Brasil, BR

2000, Ministério da Ciência e Tecnologia, MCT
Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico, CNPQ, PADCT

Instituto do Milênio em Pesquisa Inovação e Difusão "Concreto Brasil"

Linhas de Pesquisa

- 1 - Patologia, Manutenção e Recuperação das Estruturas de Concreto
- 2 - Pré-Moldados de Concreto
- 3 - O Concreto e o Desenvolvimento Sustentado
- 4 - Desenvolvimento de Indicadores de Competitividade para Monitoramento da Cadeia Produtiva

16

Pesquisas em Concreto

Instituto do Milênio "Concreto Brasil"

Instituições Experientes:

Escola de Engenharia de São Carlos USP
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
Instituto Tecnológico de Aeronáutica
Universidade de Campinas
Universidade de São Paulo
Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Universidade Federal de Santa Catarina

Instituições emergentes:

Universidade de Pernambuco
Universidade Federal de Goiás

Associações e Entidades:

Associação Brasileira das Empresas de Serviços de
Concretagem – ABESC
Associação Brasileira de Cimento Portland - ABCP
Instituto Brasileiro do Concreto – IBRACON

19

BRASIL → Institutos do Milênio MSI (17 em 2001, hoje 33)

Advanced Technologies

1. Avanço Global e Integrado da Matemática Brasileira
2. Instituto do Milênio para Evolução de Estrelas e Galáxia
3. Instituto de Informação Quântica
4. Instituto de Nanociências

Engineering and Manufacturing

1. Fábrica do Milênio
2. Instituto do Milênio de Materiais Complexos
3. Instituto Multidisciplinar de Materiais Poliméricos
4. Rede de Pesquisa em Sistema em Chip, Microsistemas e Nanoeletrônica

Human Development and Biotechnology

1. Estratégias integradas para estudo e controle da tuberculose no Brasil
2. Instituto de Investigação em Imunologia
3. Bioengenharia e Terapias celulares para doenças crônico-degenerativas
4. Integração de melhoramento genético, genoma funcional e comparativo

Natural Resources and Environment

1. Água - uma visão mineral
2. Semi-Árido Biodiversidade, Bioprospecção e Conservação de Recursos
3. Mudanças de uso de solo na Amazônia
4. Núcleo de Estudos Costeiros
5. Oceanografia Uso e Apropriação de recursos costeiros

20

Pesquisas em Concreto

Brasil

- 131 grupos de pesquisa cadastrados em concreto na CAPES
 - 22% de excelência
- 10 melhores escolas de engenharia MEC → coincidem com os melhores Centros de Excelência em Concreto

Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON

Diretoria de Pesquisa e Desenvolvimento

Banco de Teses e Dissertações

“Concreto Brasil”

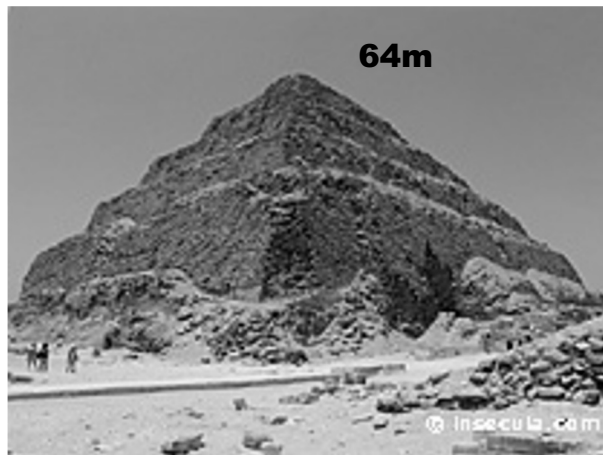
48 Congressos → 2.600 artigos → práticas recomendadas → livros

21

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

22

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



Pirâmide escalonada de Djeser

23

I Grande Revolução !

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

24



25



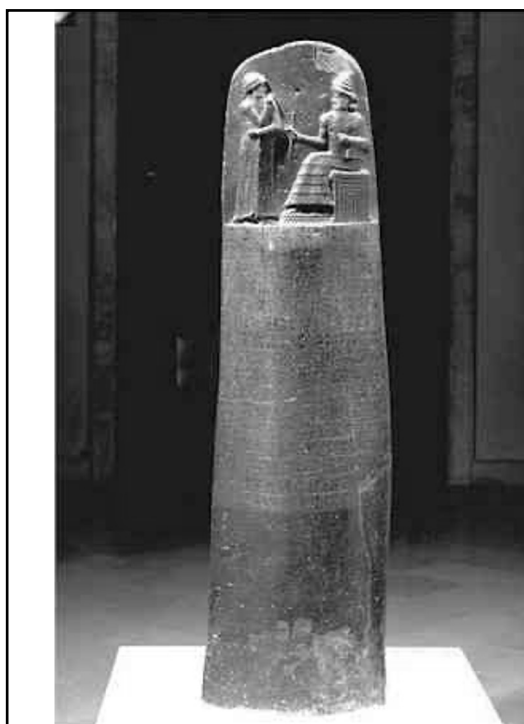
Stonehenge , Wiltshire, Inglaterra, perto de Salisbury.
Blocos montados em um campo circular. Considerado obra pré-histórica !!
2.800 a 2.200 aC

26

A CONSTRUÇÃO ESTÁ no PRIMEIRO CÓDIGO CIVIL da HUMANIDADE

“Durabilidade!”

27



**Código de Leis de
Hammurabi
(1.780 aC)**

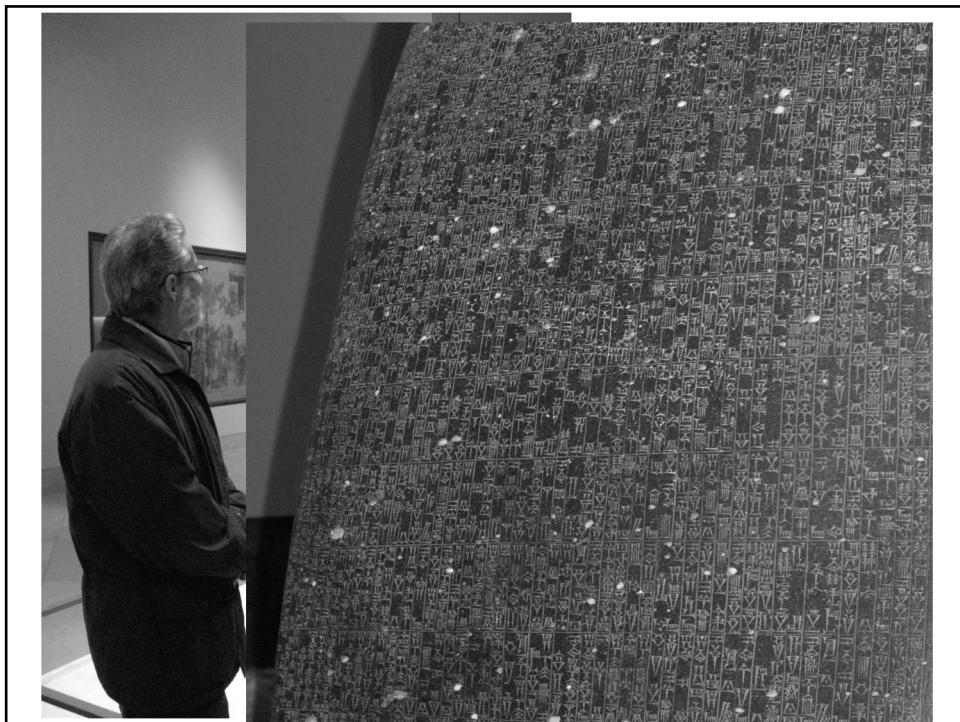
Rei da Babilonia

**Uma copia foi
gravada num
bloco de rocha
diorito negro com
2,4m de altura
contendo 282
artigos**

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 construtor deve morrer;

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

231....

232.....

233....

31

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”**

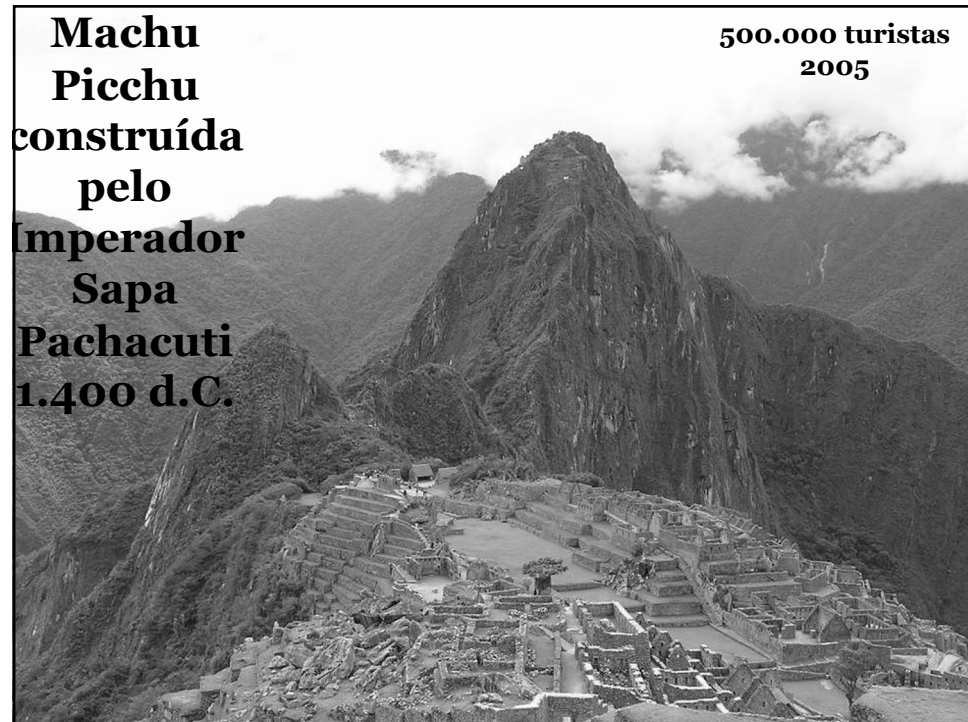
32



33



34



35



36



37

Construir com Materiais Resistentes e Duráveis

38

O CONCEITO DE CONSTRUIR COM DURABILIDADE NASCEU COM a ENGENHARIA e a ARQUITETURA NA ANTIGUIDADE

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



Pártenon, 440 aC
“século de Péricles”



39

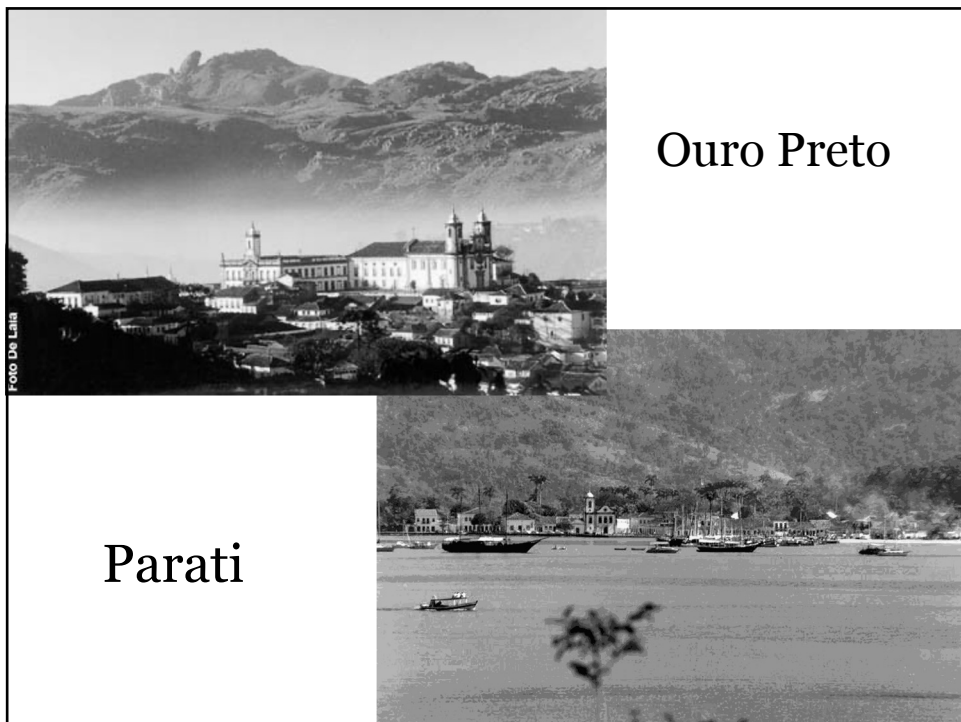
Cartagena de Indias



40



41



42



43

**QUANDO APARECEU
O CONCRETO
POR PRIMEIRA VEZ
NA HISTÓRIA?**

44

Panteão
de
Roma



45

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



46

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

XVIII → Estilo Neoclasico → Arco do Triunfo , Paris

47

Catedral de Notre Dame



1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

48

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

49

Primeira Ponte Metálica → 1.779 d.C.

Coalbrookdale Bridge in Telford, Inglaterra

still in use today carrying occasional light transport and pedestrians



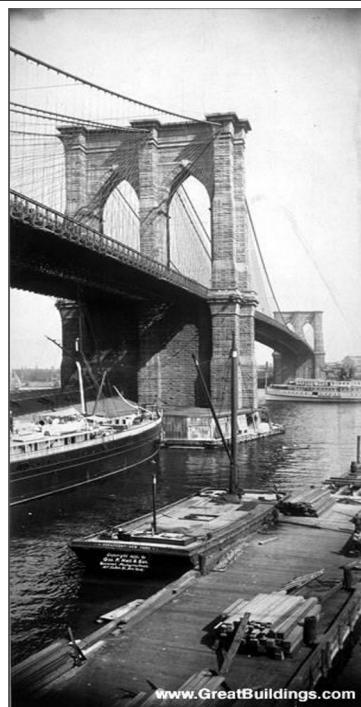
50



Ponte do Brooklin, New York, USA → **1.883**
John Augustus Roebling
ponte suspensa com cabos de aço galvanizados

51

Fundações em rocha e alvenaria



52

II Grande Revolução !

A Engenharia estrutural (e a Arquitetura) podia projetar obras antes inimagináveis, com muito mais velocidade, segurança para vencer grandes vãos e podia construir em altura como nunca dantes.

53

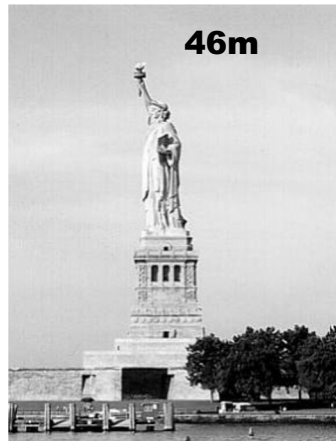


54

“Gustave Eiffel”

1.884 → Estatua da Liberdade

1.889 → Torre Eiffel



46m

**(5a+2a)
60t
pintura**

2.004 → 6.230.050 visitantes



312m

55

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

O que houve?

56



**Palácio de Westminster → Houses of Parliament
1.868 dC Big Ben**

57

- **1.888 → Leroy Buffington
USA, esqueleto reticular**
- **1.853 → Otis, elevador seguro,
1889 → 1º elevador elétrico em
NY**

58



**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**

59

**SÉCULO XX
1.900**

**APARECE UM
NOVO MATERIAL**

Concreto Armado

60

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903 **Suiça**

1903 **Alemanha**

1906 **França**

1907 **Inglaterra**

61



62



**Système
Hennebique**
Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

$f_{ck} = ?$

107years !

**Oldest Building
in world**

63



Palácio Salvo
Montevideu

27 andares
Uruguai 1925

103m

$f_{ck} = ?$

83 anos !

world record

64



Edifício Martinelli

1929

106m

78 anos

world record

São Paulo, Brasil

65



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 Maximillien Paul Landowski

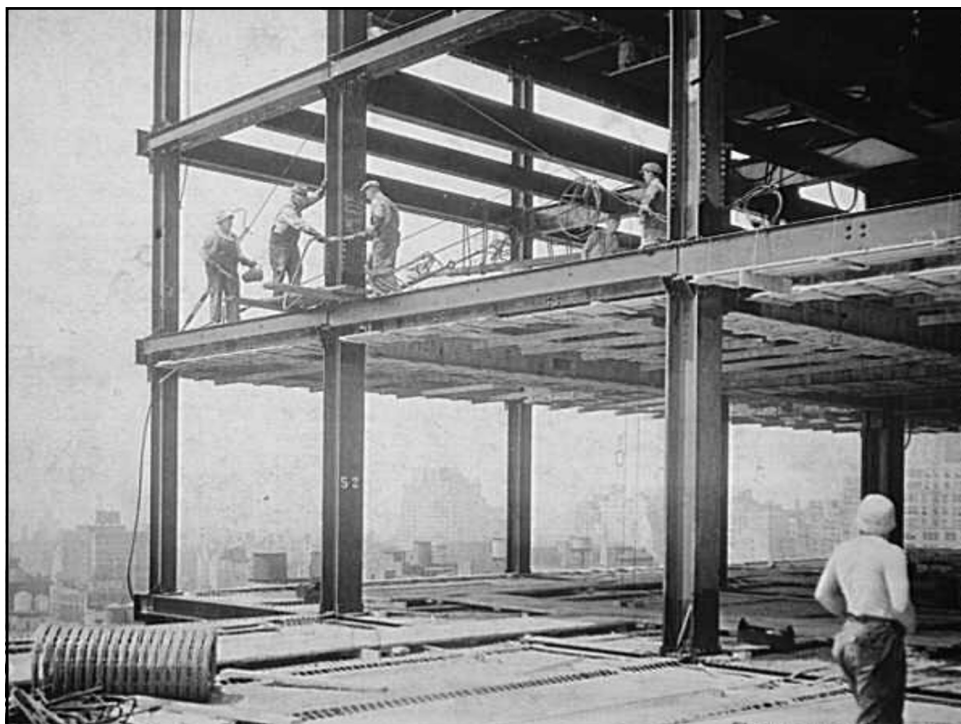
Hoje com 76 anos de idade, a estrutura dessa estátua, requereu apenas duas intervenções para manutenção realizadas nas décadas de 80 e 90, o que a caracteriza como de exemplar vida útil.

66



Empire State Building
381m , New York, 1.931

67



68

Século XX
1.928

“novo material estrutural”

Concreto
Protendido

Eugene Freyssinet

69



70



71



72



73



**Aduelas
prefabricadas**

$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$

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

**Vida Útil
100 anos!**

74

III Grande Revolução !

A Arquitetura e a Engenharia estrutural podiam ousar muito mais pois descobriram como combinar dois materiais fantásticos. O concreto tinha a durabilidade da rocha, era compatível com o aço e ainda o protegia “eternamente”

75

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

76

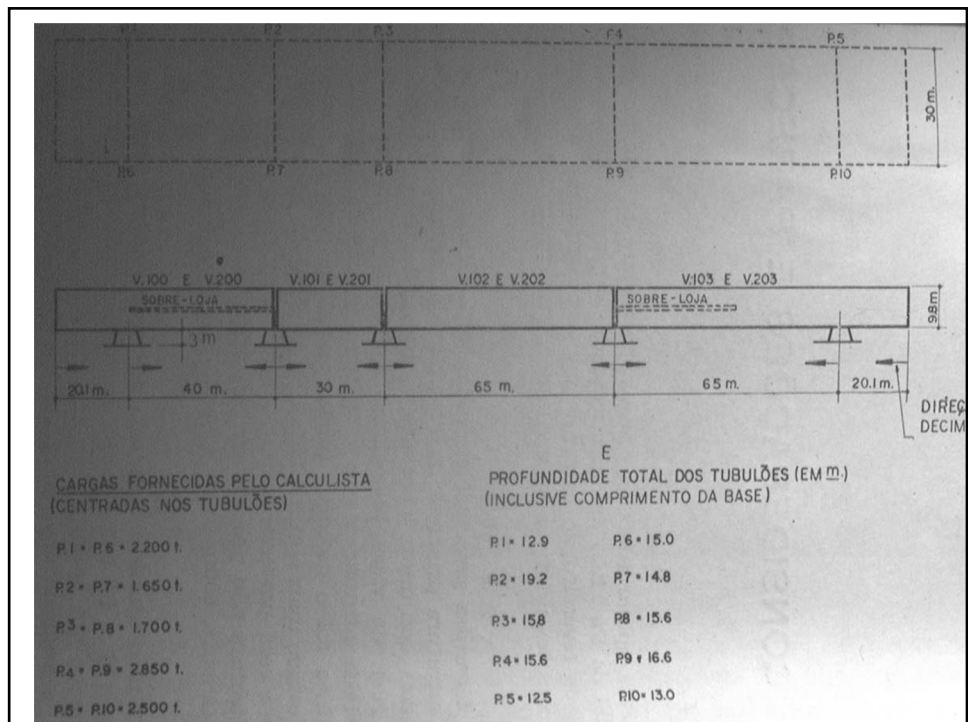


240m por 31m
Vigas 9,8m de altura
apoiadas em 5 pilares
Desabou na hora do almoço

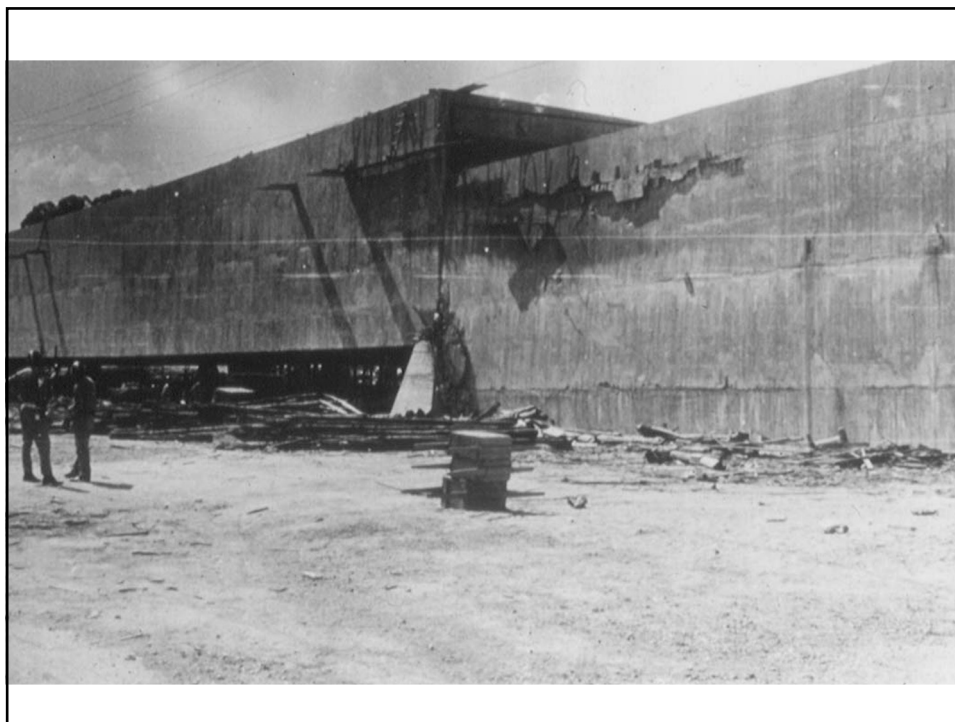
77



78



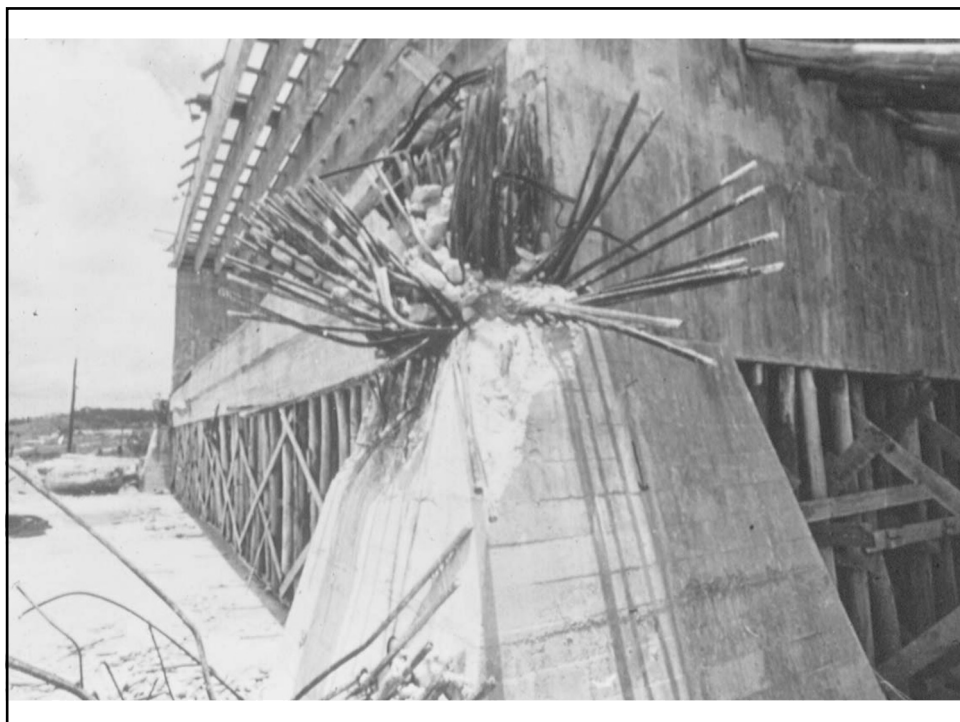
79



80



81



82

Melhoria arquitetônica

Concreto aparente, grandes vãos

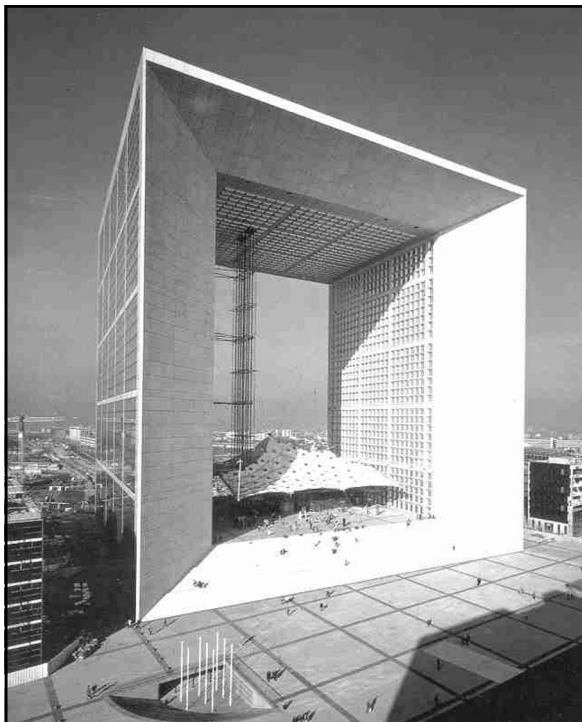
Bruno Contarini



Oscar Niemeyer

Superior Tribunal de Justiça

83



Grand Arch

La Defense

Paris

França 1990

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

**“high-tech
style”**

84



Petronas Towers

Cesar Pelli

Kuala Lumpur

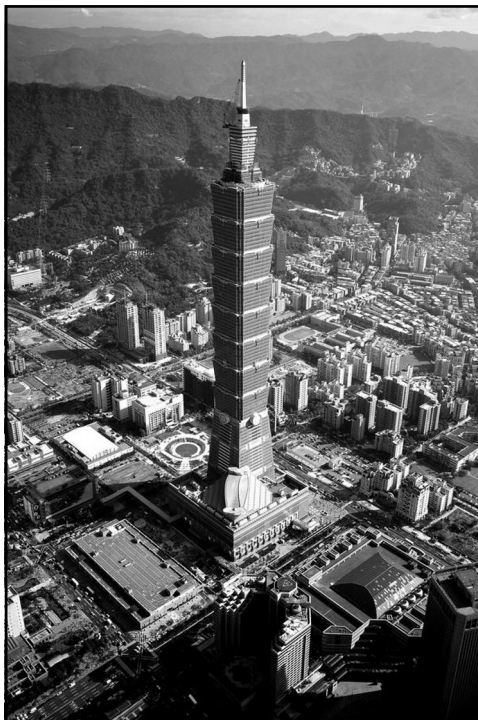
Malasia 1.997

452m

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

before / after

85



TAIPEI 101

Shangai World Financial Centre

Taiwan, China

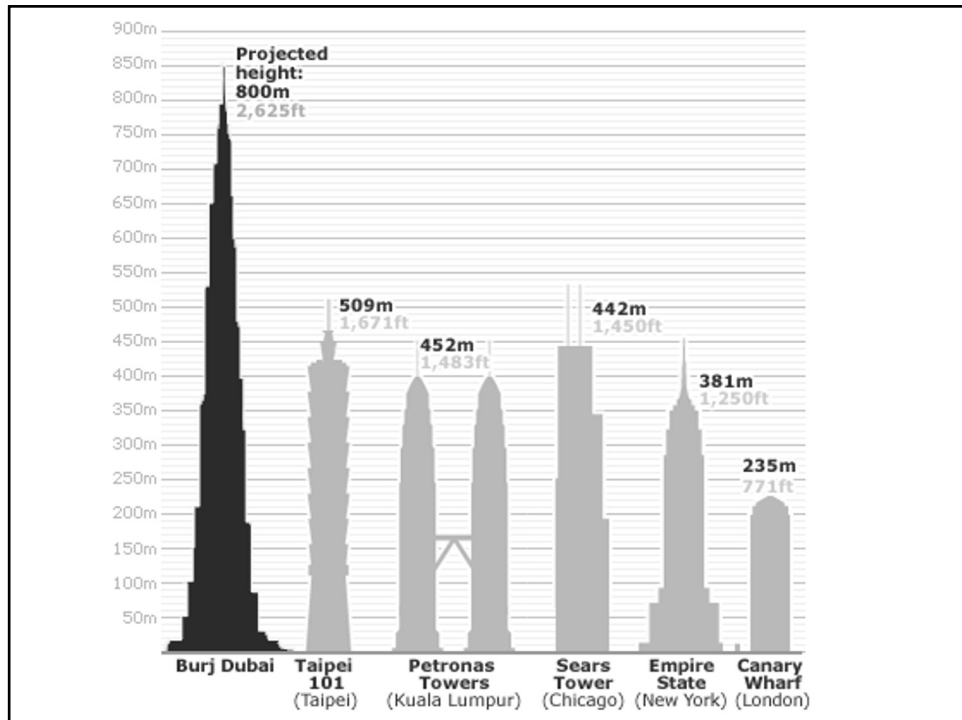
2005

509m

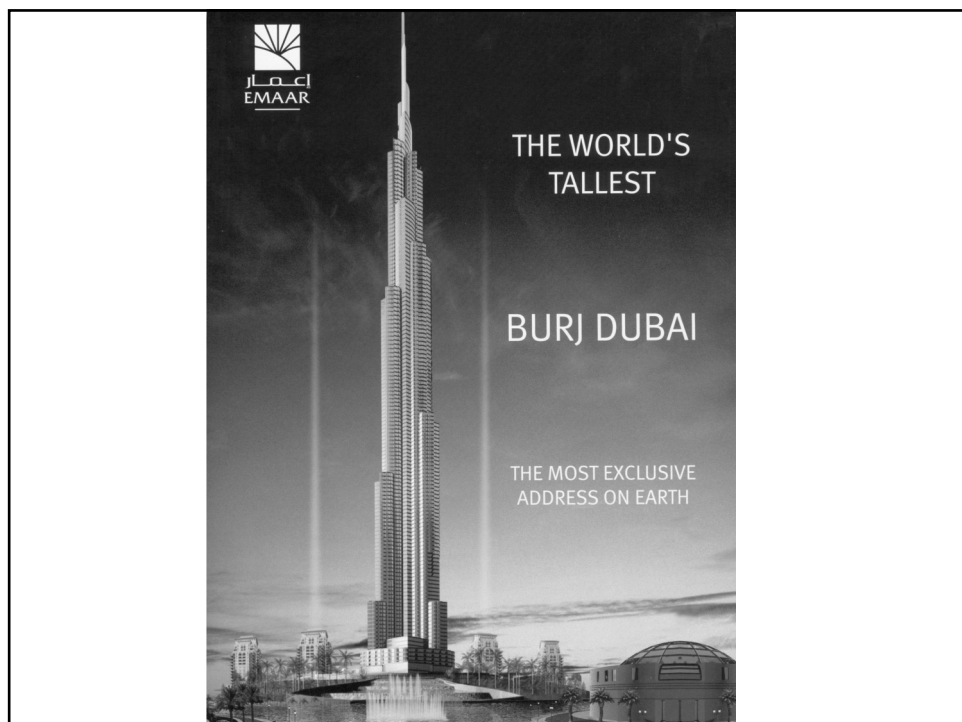
$f_{ck} = 80 \text{ MPa}$

steel / concrete

86



87



88

Como será o futuro?

89

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

90

Venustas *Bonita !*

91

Oscar Niemeyer
Bruno Contarini

Art Museum, Rio de Janeiro

92

Firmitas

estável e durável

93



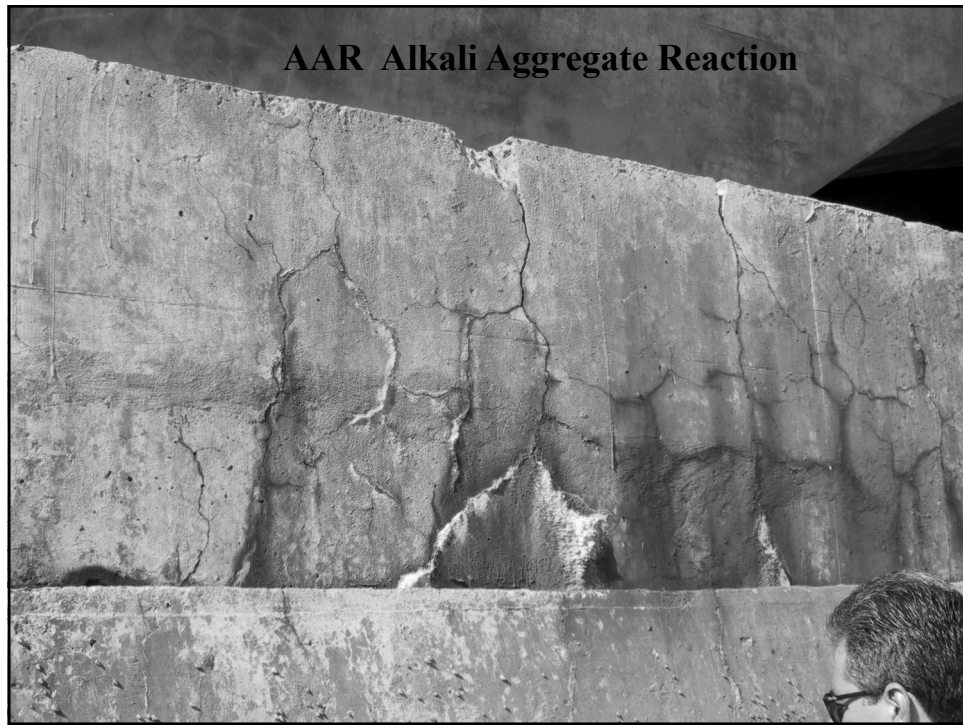
94



95



96



97



98



99



100

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e competência, precisa de Engemix. Com a história Engemix é pioneira, quando foi criada a tecnologia de bombeamento de concreto da Torre Norte do Centro Empresarial Nuplex Unilux, um bloco de 20m x 24m x 8m, correspondente a 2.624 m³ de concreto, lançado em 20 metros de altura. Com a utilização de 360 metros de galo para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um esboço de 4m x 4m x 24m. O concreto da Concretora foi produzido para a montagem de uma estrutura de concreto, um bloco de 30 parafusos e 150 metros, e mais alto de São Paulo, com 26.000 m³ de C40 e concreto de alto desempenho. Estruturas que não são mais consideradas por especialistas e normas como um dos grandes desafios de execução do C40, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no 1º estágio, é a mais utilizada de C40 e 10m, e não deve permitir qualquer tipo de problema pelas próximas 250 anos, ou até 2045, segundo pesquisas e estudos realizados por consultores e técnicos especializados para o desenvolvimento e aplicação de altura, e por isso, a construção do edifício, o recorde brasileiro de bombeamento de concreto em altura 150 metros.

Em menos de 4 horas, foram bombeados quase 40 m³ equivalentes para 30 Andares. Bombardeio de concreto que superou a carga de 5 m³ de concreto na área de lançamento, equivalentes a 7,5 toneladas.

O resultado é que, mais o Centro Empresarial Nuplex Unilux é também uma verdadeira obra de tecnologia de concretagem inovadora. E as soluções propostas para construção e controle de qualidade, com o uso de tecnologia de Engemix. Que garante ao empresário não só a redução de custos, mas também a duração do tempo de concretagem, otimização das propriedades dos edifícios em altura, de redução de riscos na qualidade, eliminação de reatância e de cancelamento do concreto na fôrma.

Quem precisa de solução segura em concretagem não tem medo, chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX®

101

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

102

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → "De Architectura"

10 volumes → a obra mais importante

De Architectura é uma obra-prima da literatura técnica (bonita)

Sustentável

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

103

Concrete R & D

SCC → Self –Compacting Concrete

HPC → High Performance Concrete

HSC → High Strength Concrete

CRC → Compact Reinforced Composite

RPC → Reactive Powder Concrete

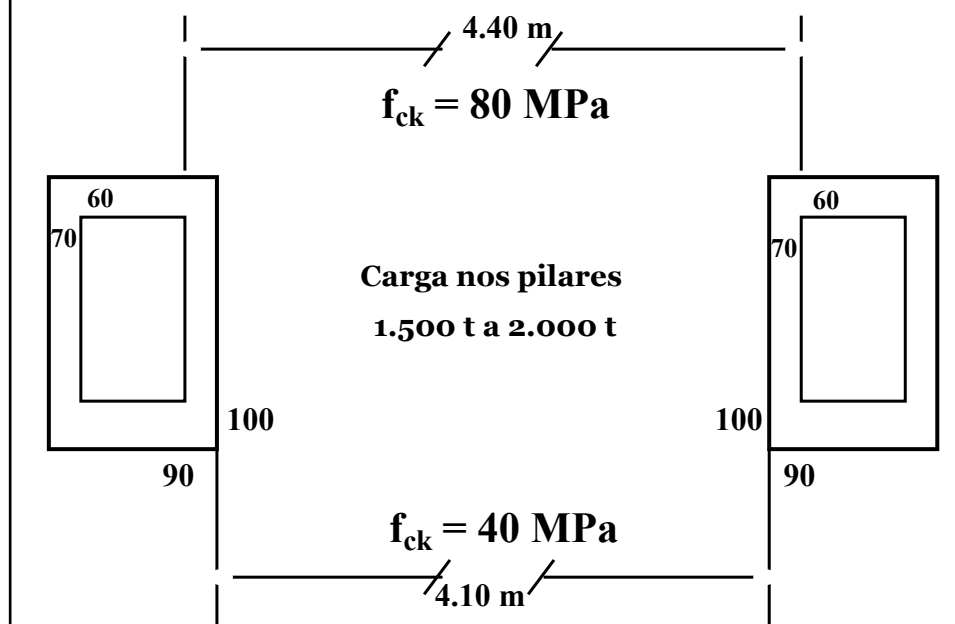
104

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



105

Projeto estrutural (*e-Tower*)



106



107



108

Economia de recursos naturais

Original:

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

**seção transversal → 90cm x 100cm
0,90m²**

HPC / HSC:

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

**seção transversal → 60cm x 70cm
0,42m²**

109

Economia de recursos naturais

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

110

Considerações Finais

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

111

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

112

Passados somente
10 anos, 5 novos
edifícios mais altos
que o Petronas
foram construídos

113

**Hoje há 22 edifícios em
construção com altura
superior a 300m (*novo
patamar de arranha-céu*) e
14 outros já foram
inaugurados...
desde 1.997 !**

114

Desse total de 36

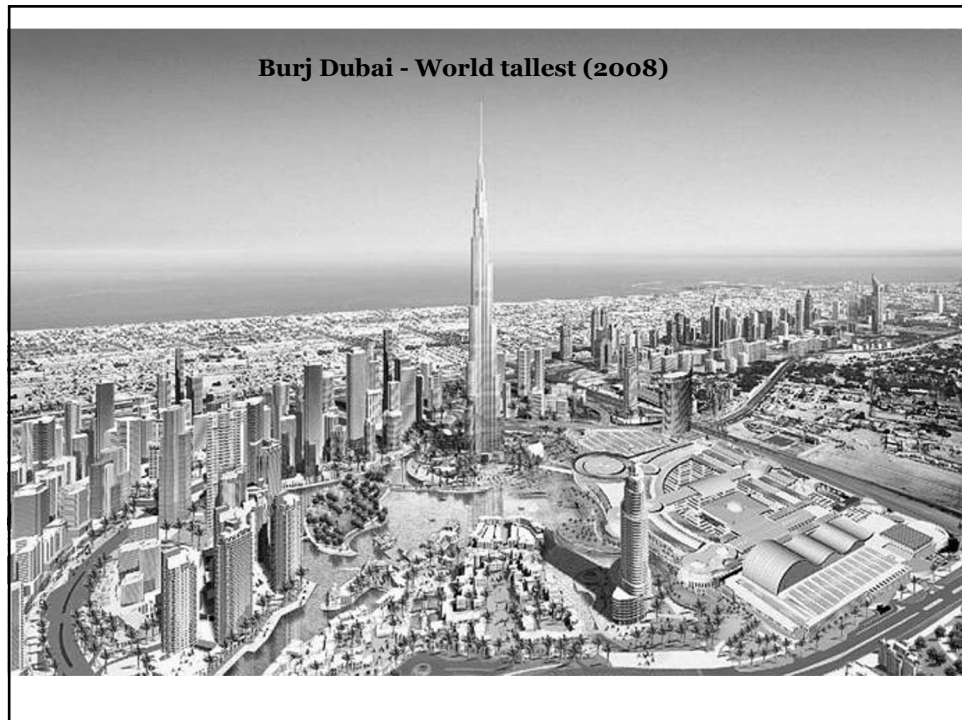
“arranha-céus”:

- 13 são em concreto
- 19 são mistos concreto / aço
- apenas 4 são metálicos

115

Inclusive o mais alto
edifício em construção
no mundo, a Burg
Dubai, tem estrutura
totalmente em
concreto

116



117

Em 100anos, o concreto
(*vital construction
material*) superou todos os
limites e fronteiras do
conhecimento em
Engenharia de projeto e de
construção!

118

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

119

*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
ideais em majestosas e duráveis obras
que elevam a auto estima
de seu povo.*

120



O concreto de alto desempenho é uma das maiores oportunidades atuais de resgatar essa importância e vocação da arquitetura e da engenharia civil brasileiras

121

**Beleza
Segurança
Durabilidade**



Abastado por
90 milhões
de votos.

O **Concreto** tem respeito pelo
Meio Ambiente por sua capacidade de:

- Ser reciclável
- Incorporar os rejeitos industriais
- Confinar materiais perigosos
- Fixar gás carbônico CO_2

O **Concreto** é o **material estrutural** mais adequado para uma **construção sustentável**.

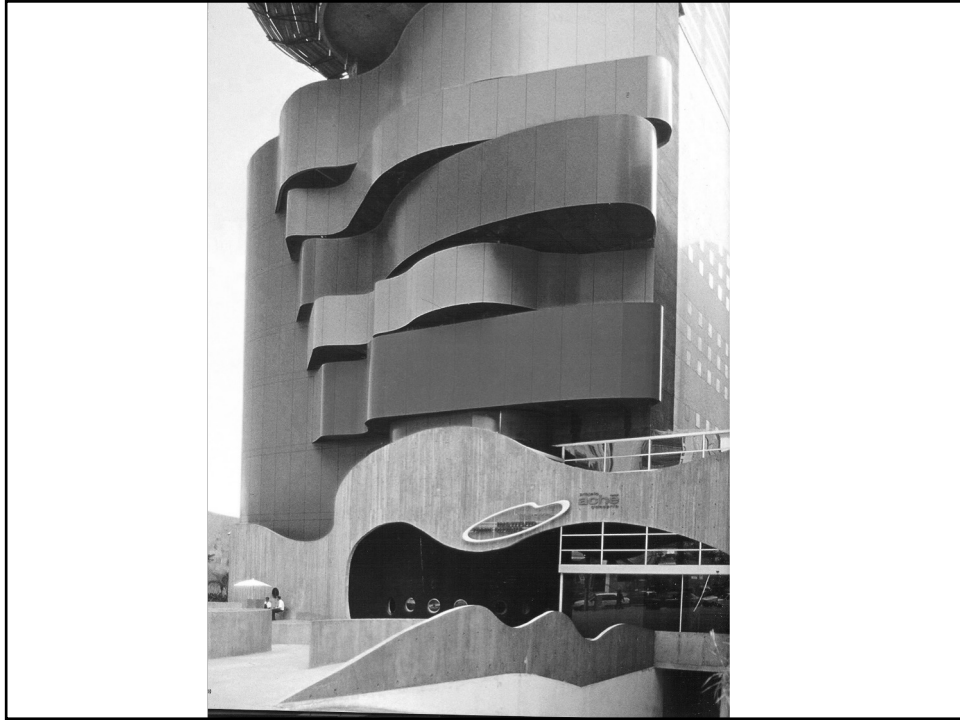


IBRACON



CT-MAB

122



123



124