A Arte de Projetar e Construir Estruturas

dos egípcios....

Paulo Helene

Diretor PhD Engenharia
Presidente e Conselheiro IBRACON
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 PMSP, CNTU e SEESP

"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

APODI **12 de maio de 2022** **Fortaleza.CE**

1

...aos tempos atuais

Paulo Helene

Diretor PhD Engenharia
Presidente e Conselheiro IBRACON
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 PMSP, CNTU e SEESP

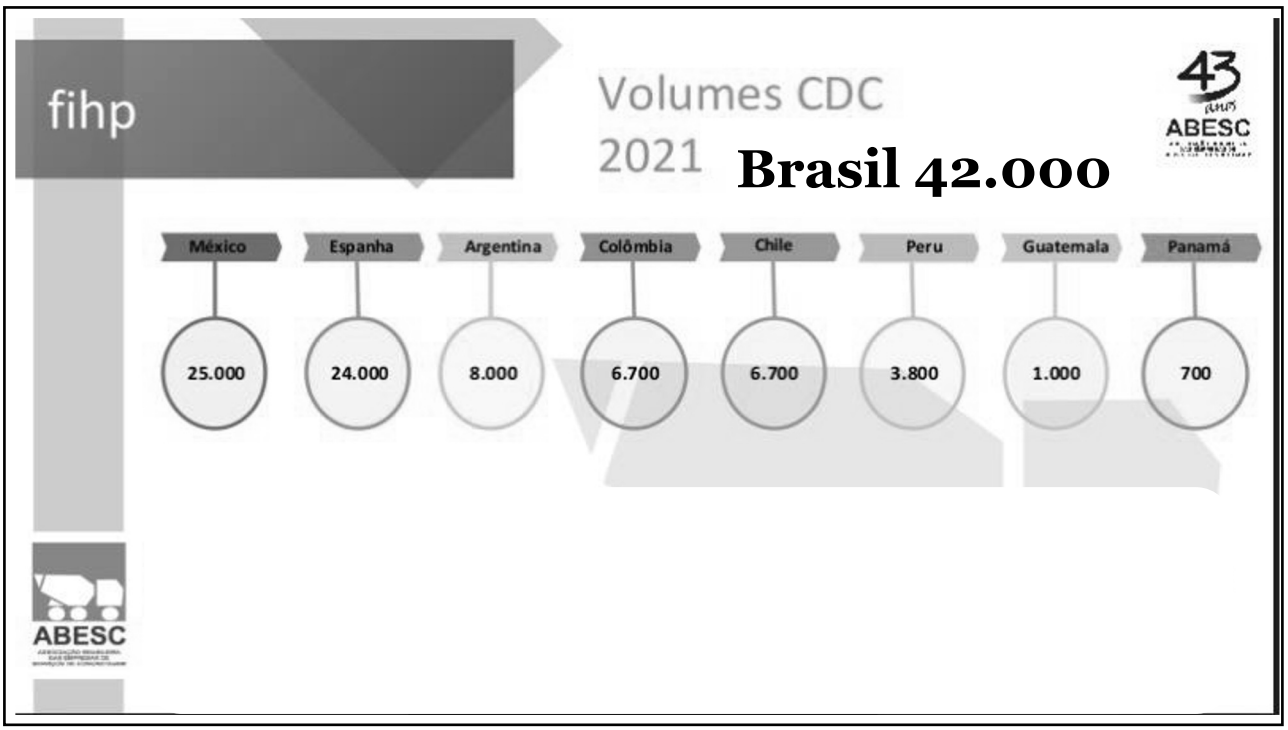
"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

APODI **12 de maio de 2022** **Fortaleza.CE**

2

...ser Engenheiro de
concreto é muito
bom...

3


fihp
Volumes CDC
2021
Brasil 42.000
43 anos
ABESC
México
25.000
Espanha
24.000
Argentina
8.000
Colômbia
6.700
Chile
6.700
Peru
3.800
Guatemala
1.000
Panamá
700
ABESC

4

A profissão do Engenheiro Civil é uma profissão de

"confiança pública"

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

5

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

6

político, alquimista, papiro, primeiro Arquiteto → Imhotep

2.790 A C

Pirâmide escalonada de Sakkara (Faraó Djeser)

7

8

Materiais Estruturais

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

9

A 1ª Grande Revolução
rocha

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

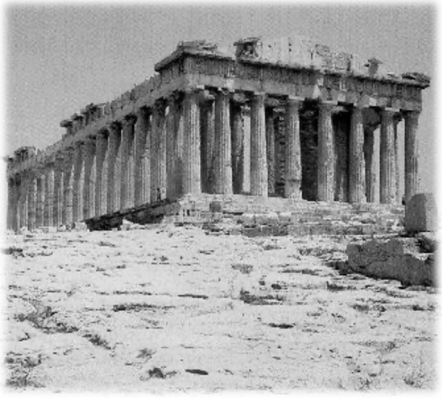
10

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 Phídias)***



11

Catedral de Notre Dame

1163-1330

Abóbada da nave central → 35 m de altura

12

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

13

... na cúpula do Panteão de Roma

14

15

Cúpula do Panteão de Roma

Século II dC → Diâmetro de 44m

16

17

18

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

XVIII → Estruturas metálicas

19

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

Ainda hoje em uso suportando tráfego leve e de pedrestres

20

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

21

2ª Grande Revolucão
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.

22

23

2.019 → 9.930.000

24

1824

Patente outorgada pelo rei Jorge IV do Reino Unido:

An Improvement in the Mode of Producing an Artificial Stone

Joseph Aspdin

Seu filho William Aspdin é considerado o inventor do cimento Portland "moderno" década de 1840.

O **cimento Portland** → pedra da ilha de Portland, muito usada na construção civil.

«Cimento Portland». In: Isaia, Geraldo Cechella. Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais. 2017. Volume 1. 3ª ed. São Paulo: IBRACON. pp. 761–792. ISBN 978-85-98576-27-5

25

Naquele século houve muito investimento em pesquisa sobre esse novo material Vicat e Le Chatelier na França, Ramsone na Inglaterra, Saylor nos USA em 1875.

No Brasil, o pionerismo aconteceu numa instalação produtora de cimento Portland na ilha de Tiriri, na Paraíba, em 1890, por iniciativa do engenheiro Luis Nóbrega, que estudou na França e voltou ao Brasil com novas ideias.

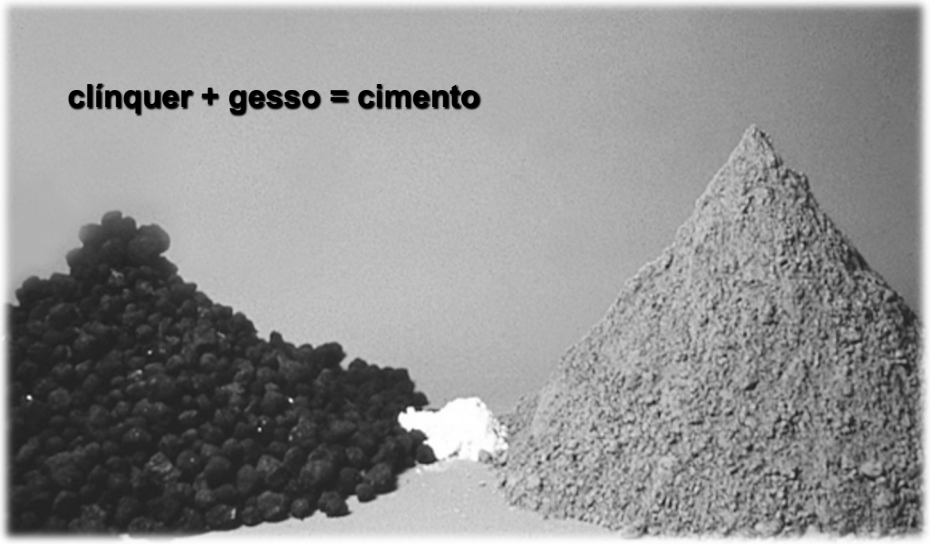
FIGURA 49 – INDICAÇÃO DOS GRUPOS DE FORNOS E NUMERAÇÃO ATRIBUÍDA.

Medeiros, José Alysson Moraes. Cimento Portland na Ilha de Tiriri. Tese de doutorado. Universidade Federal da Paraíba. 2019

26

CIMENTO

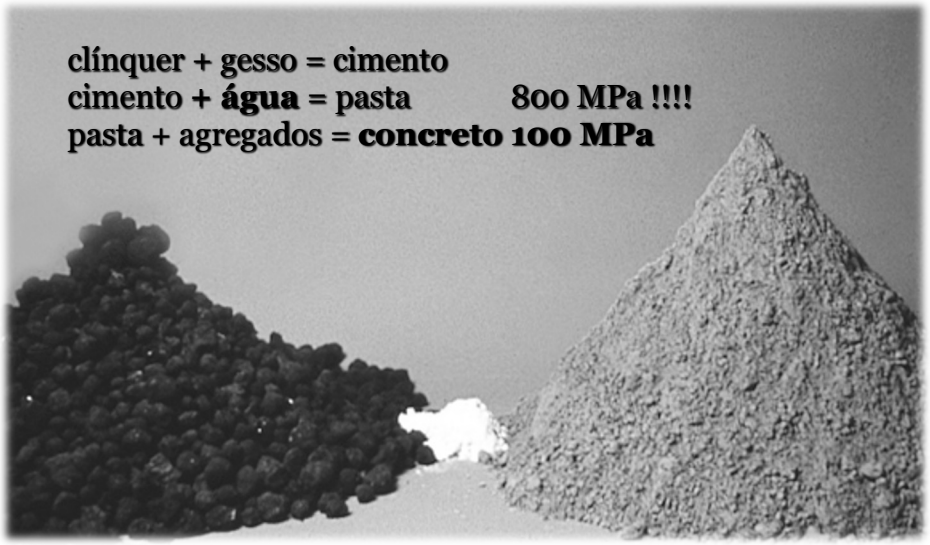
Aglomerante hidráulico constituído de uma mistura de
CLÍNQUER PORTLAND e GESSO



27

CIMENTO

Aglomerante hidráulico constituído de uma mistura de
CLÍNQUER PORTLAND e GESSO



28

Século "XIX"

1892

aparece um novo material

Concreto Armado

29

Primeiras Normas sobre Estruturas de Concreto

1903	Suíça
1903	Alemanha
1906	França
1907	Inglaterra

30

31

Systeme Hennebique

Paris, Rue Danton1

7 andares
França 1.901
30m

f_{ck} = ?
121 *anos !*

edifício em concreto armado mais antigo do mundo

32

Palácio Salvo
Montevidéu

27 andares

Uruguai 1925

103m

f_{ck} = ?

97 anos !

world record

33

Edifício Martinelli

1929

106m
93 anos

world record

São Paulo, Brasil

34

35

36

37

Século XX

1.928

“novo material estrutural”

Concreto Protendido

Eugene Freyssinet

38

39

40

José Carlos de Figueiredo Ferraz

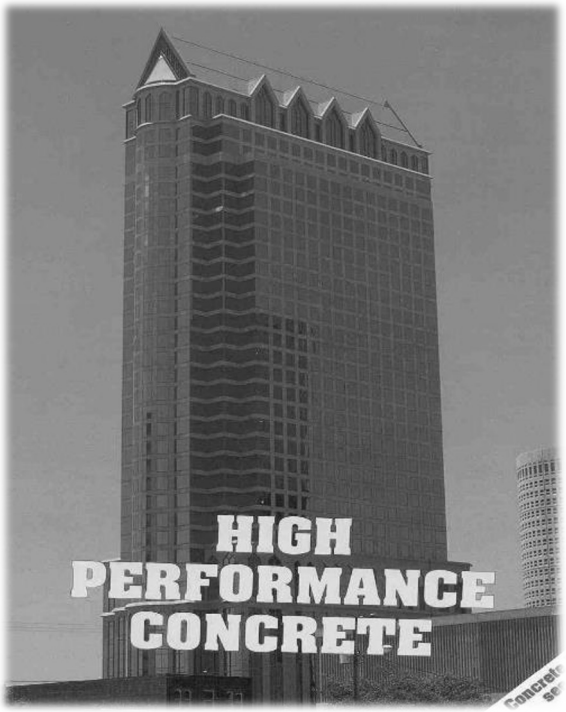
MASP Museu de Arte São Paulo ***1968***

41

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"

42



43

Centro Empresarial Nações Unidas

Torre Norte

São Paulo
1997

Altura 179 m

f_{ck} = 50MPa

44

45

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

46

PETRONAS TOWERS
TECNOLOGIA

Protótipo:

Pilar experimental: 2,4m de diâmetro por 3,0m altura

Concretagem 1,5h

Retirada fôrmas 8,5h, 13h e 15h

Escopo: calor de hidratação, concreto com gelo, efeito da forma, cura, retração.

47

PETRONAS TOWERS → TECNOLOGIA

f_{ck} = 80 MPa → 28 dias

56 dias → 100 MPa

extração de testemunhos

decisão: As formas deveriam retiradas em 15 h e com, pelo menos, 15MPa de resistência de concreto

fator A/C_m = 0,27

200mm < slump < 250mm

Temperatura do concreto fresco < 18ºC, podendo atingir 60ºC com até 29 h.

Gradiente de temperatura entre a borda e o miolo do pilar podia chegar a no máximo 24ºC.

48

record mundial
f_{cm} = **125** MPa

winner
f_{cm} = 90 MPa
E_{cm} = 48 GPa
low carbon

49

...segundo o CTBUH e até 2028, haverá 106 novos edifícios com altura superior a 300m

50

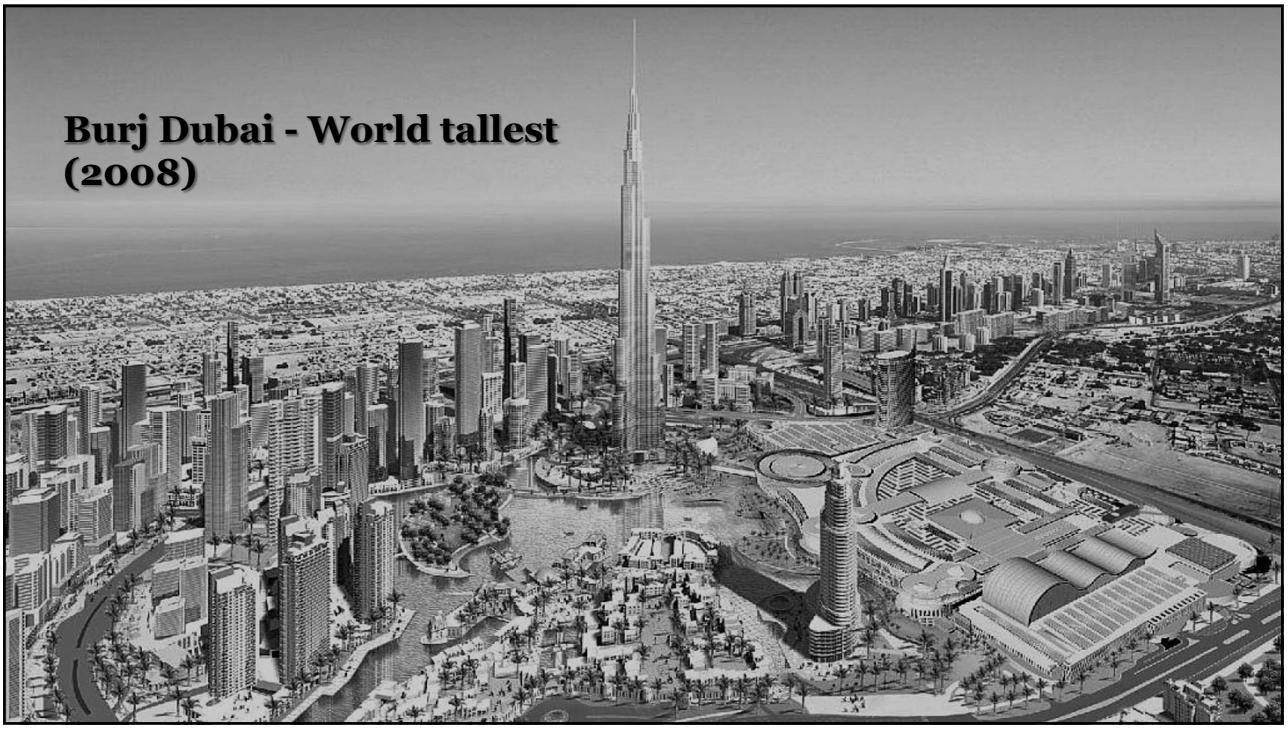
...desse total de 106 "arranha-céus":

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

51

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

52



53

O Maior Edifício do Mundo

Fonte:/www.nbmcw.com

Jeddah Tower

→ terá mais de 1 km de altura

→ localização: Jeddah, Arábia Saudita

54

55

...em 120 anos, o concreto superou todos os limites e fronteiras do conhecimento em Arquitetura e Engenharia de projeto e de construção !

56

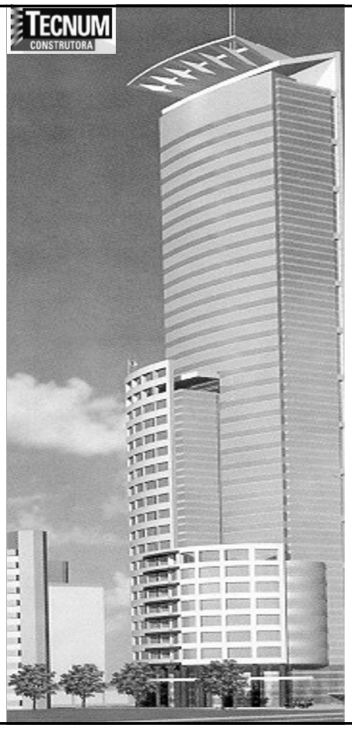
e... continua em franca evolução, com elevado potencial sustentável!

57

58

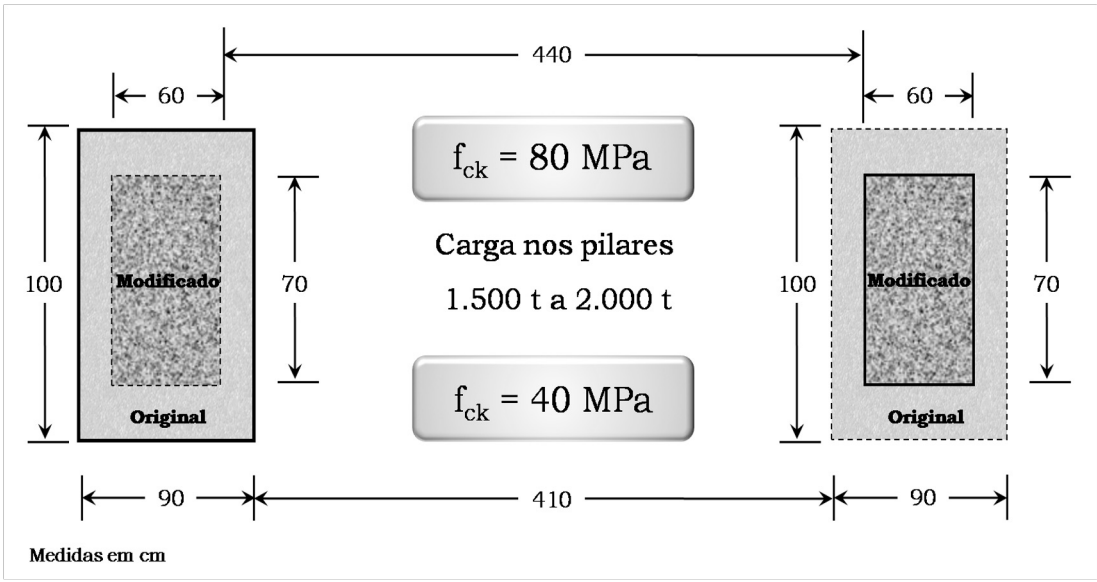
e-Tower

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



59

Projeto estrutural (e-Tower)



60

Dosagem

materiais	consumo	quantidade	obs
CPV ARI Plus RS	1,00	460 kg/m³	623
adição	0,15	93 kg/m³	escória+sílica ativa
graúdo	1,65	1.027 kg/m³	basalto, 19mm, 3.020kg/m³
miúdo	0,88	550 kg/m³	quartzo, 2,4mm, 2.670 kg/m³
pigmento	0,04	25 kg/m³	óxido de ferro
superplastificante	0,01	6,2 kg/m³	policarboxilato
retardador	0,0058	3,6 kg/m³	ácido hidrocarboxálico
água	0,19	135 kg/m³	A / Cm = 0,19

61

IPT
Instituto de Pesquisas Tecnológicas

1/1

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.

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. nº 4376.0

3a 4m 18d

1233 dias

62

Economia de Recursos Naturais

Original:
f_{ck} = 40MPa
seção transversal → 90cm x 100cm
0,90m²

HPC / HSC:
f_{ck} = 80MPa
seção transversal → 60cm x 70cm
0,42m²

63

Sustentabilidade

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

64

Sustentabilidade

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

65

como pode ser o futuro?

como será o futuro?

66

...não é para esperar...

...nem para adivinhar...

é preciso construir !

67

Ultra-High Performance Concrete:
A State-of-the-Art Report for the
Bridge Community

PUBLICATION NO. FHWA-HRT-13-060

JUNE 2013

68

- ✓…the energy demanded for production of 1 m^3 of UHPC was approximately double that for conventional concrete.
- ✓ however, when the total energy demand to construct bridge using UHPC and was compared with the energy demand for an equivalent conventional prestressed concrete bridge, was reduced in 25 %.
- ✓ if the steel structure could be replaced by UHPC tubes, the estimated energy, greenhouse effect and water demand, could drop by about 50%.

69

conventional concrete, allowing the use of a smaller crane. The overall weight of the bridge was reduced by 30 percent.

Photo. Sakata-Mirai bridge, Sakata, Japan

70

Source: Iowa State University

Photo. Experimental precast pile made of UHPC

71

Considerações finais

Nas 2 últimas décadas, muitas empresas e projetistas no mundo, às vezes até sem terem plena consciência, têm tirado proveito das novas tecnologias desenvolvidas pelos centros de pesquisa e desenvolvimento em concreto, que ocorrem nas Universidades, na Indústria e nos Laboratórios.

Só no Brasil há mais de 100 Centros de P&D em concreto registrados no sistema do CNPq e a totalidade conectada ao IBRACON, vários no Nordeste e em Fortaleza.

72

Considerações finais

Os investimentos em tecnologia, ou seja, em ciência aplicada, resultam em vários novos produtos revolucionários no mercado tais como: aditivos superplastificantes, controladores de pega, redutores de retração, fibras, novos cimentos, novos concretos HPC e UHPC.

As pesquisas nesses centros trazem tranquilidade e segurança a projetistas, construtores e usuários que encontram farto material de consulta e suporte para seus projetos e alternativas construtivas.

Pesquisa, conhecimento, e permanente transferência de tecnologia, são os pilares de sustentação do pujante mercado das estruturas de concreto no Brasil e no mundo.

73

74