



1

Certificações Sustentáveis

- BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) → Reino Unido, Building Research Establishment (1990)
- LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) → U.S.A., Green Building Council (1993)
- HQE (Haute Qualité Environnementale) → França, Cerway (1996)
- DGNB (German Sustainable Building Council) → Alemanha, German Sustainable Building System (2007)
- AQUA (Alta Qualidade Ambiental) → Brasil, Fundação Vanzolini, POLI-USP (2008)

2

Certificações Sustentáveis

*...nenhuma se refere ao projeto e
construção de estruturas (de concreto)*

nem

*ao estudo de dosagem do concreto
para economizar cimento ou matérias-
primas*

3

O concreto em 2016

4,2 bilhões ton de cimento

60% para concreto

320 kg/m³

7,9 bilhões m³ de concreto

19 bilhões ton de concreto

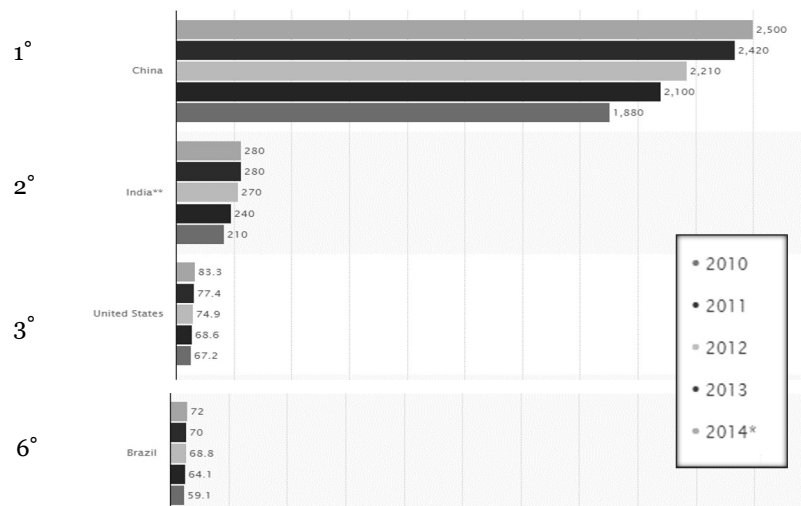
14 bilhões ton de agregado

1,5 trilhões de litros de água

...dobro do que consome a cidade de São Paulo...

4

Principais países na produção mundial de cimento de 2010 a 2014 (em milhões de toneladas métricas)



<http://www.statista.com/statistics/267364/world-cement-production-by-country/>

5

Paradoxo 1

O concreto é o material mais consumido em todo o mundo ($\approx 2,1$ ton per capita)

O cimento é responsável por 6% das emissões de CO₂ (GWP) do planeta (4,3 bilhões de toneladas, $\approx 0,6$ toneladas por habitante).

Por que não controlar o projeto da estrutura de concreto e a dosagem do concreto para economizar cimento e matérias-primas?

6

Paradoxo 2

Concreto Convencional Estrutural (SC)
consumo de cimento 300 kg/m³

Concreto de Alta Resistência (HSC)
consumo de cimento 450 kg/m³

Por que o HSC é mais sustentável?

7

Paradoxo 3

National Ready Mixed Concrete (USA)
EPD1 para concreto (cradle to gate !)

Comparando concreto convencional e
concreto com materiais suplementares

*Por que esses EPDs podem dar falsa
resposta ao objetivo maior?*

8

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design

- ✓ Este é um sistema de pontuação desenvolvido pelo USGBC (United States Green Building Council) para medir o desempenho ambiental do projeto, construção e manutenção de edifícios;
- ✓ O sistema é usado para comparar o desempenho ambiental de uma edificação computando créditos de 1-146;
- ✓ Os quatro níveis de acreditação e pontuação são:

Níveis:

Certified → 40-49 créditos

Silver → 50-59 créditos

Gold → 60-79 créditos

Platinum → 80+ créditos

9

Top 10 LEED países em 2016

10

Ranking	País	Área certificada e registrada pelo LEED (milhões)	Número total de projetos certificados e registrados pelo LEED
*	Estados Unidos	336.84	27.699
1	China	34.62	931
2	Canadá	34.39	2.586
3	Índia	15.90	644
4	Brasil	7.43	380
5	República da Coreia	5.95	97
6	Taiwan	5.66	99
7	Alemanha	5.03	215
8	Turquia	4.78	191
9	Suécia	3.88	210
10	Emirados Árabes Unidos	3.64	180

11

MEMBROS

EDUCAÇÃO

CERTIFICAÇÃO

INICIAATIVAS

Expo GBC - Cursos - Estudos - Revista - Blog - Diretório de Membros - Notícias - Contato

LOGIN

Selecione o idioma ▼

CONSTRUINDO UM FUTURO SUSTENTÁVEL

Busca

EXPO GBC - REVISTAS - NOTÍCIAS - AÇÕES GOVERNAMENTAIS - PROJETOS - VÍDEOS

GREENBUILDING BRASIL CONFERÊNCIA INTERNACIONAL E EXPO

O maior evento da construção sustentável da América Latina

Greenbuilding Brasil Conferência Internacional & Expo é o evento da construção sustentável no Brasil, e um dos principais do segmento no mundo. Em agosto de 2015 foi realizada a 6ª edição deste importante evento que cresce anualmente. Desde sua primeira edição, em 2010, o evento nasceu com o intuito de fornecer conteúdo necessário para o mercado por 3 diferentes formas: Exposição, Conferência e Visitas Técnicas. Na exposição, que ocorre simultaneamente com a Conferência, empresas apresentam suas soluções para greenbuildings, muitas fazem o lançamento de seus produtos/serviços durante o evento. Palestras e Sessões Educacionais de altíssimo nível técnico, com renomados profissionais nacionais e internacionais, podem ser vistos na Conferência, Fernando Henrique Cardoso, Marina Silva, Paul Hawken e Joaquim Barbosa são alguns dos nomes que já participaram da abertura do evento que conta com mais de 120 Palestrantes nacionais e internacionais. No 4º dia de evento, são realizados diferentes roteiros de visitas técnicas, onde os profissionais podem ver na prática tudo o que viram e aprenderam durante os 3 dias de evento.

Veja como foi o evento deste ano, clicando aqui

Greenbuilding Brasil - Site do evento

GREENBUILDING BRASIL | CONFERÊNCIA INTERNACIONAL E EXPO

Greenbuilding Brasil - Fotos

Greenbuilding Brasil - Vídeo

Efiência Energética na

12

Green Building Design & Construction (BD&C)		
Categoria	NEW 2017 LEED-NC v4	
	Pré-requisitos	Créditos
Integrative Process	-	1
Location and transportation	-	36
Sustainable Sites	2	15
Water Efficiency	3	12
Energy & Atmosphere	4	35
Materials & Resources	3	20
Indoor Environmental Quality	3	18
Innovation	-	6
Regional Priority	-	4
Total de Pontos	15	146

13

Alguns empreendimentos certificados pelo LEED no Brasil:



f_{ck} de projeto: 50MPa



Ventura Corporate Towers
Rio de Janeiro/RJ

2009
GOLD

14

Alguns empreendimentos certificados pelo LEED no Brasil:



Razões para o GOLD:

- ✓ Uso racional da água
- ✓ Desenvolvimento de terrenos
- ✓ Eficiência energética
- ✓ Cuidados ambientais com resíduos
- ✓ Gestão de ar condicionado
- ✓ Materiais com baixa emissão de poluentes
- ✓ Materiais recicláveis
- ✓ Conforto ambiental

15

Alguns empreendimentos certificados pelo LEED no Brasil:



f_{ck} de projeto: 50MPa



Eldorado Business Tower
São Paulo/SP

2009

PLATINUM

16

Alguns empreendimentos certificados pelo LEED no Brasil:



Razões para o Platinum:

- ✓ Uso racional da água
- ✓ Desenvolvimento de terrenos
- ✓ Eficiência energética
- ✓ Cuidados ambientais com resíduos
- ✓ Ar condicionado
- ✓ Elevadores inteligentes
- ✓ Material (redução do impacto do ciclo de vida do edifício e material de baixa emissão de poluentes)

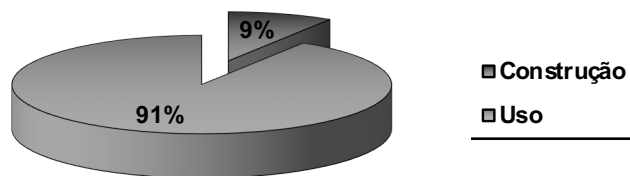
17

Por que esses Programas de
Certificação controlam muito
mais o uso do edifício e não dão
relevância à natureza e
quantidade de Cimento,
Concreto, Aço e ao Projeto e
Construção da Estrutura?

18

Edificações - Emissões de GWP

*Considerando uma vida útil de 50 anos para
uma edificação de classe média →
Visão holística: operação e uso*



19

...apesar de não tão importante...

***O que podemos fazer para
alcançar (mais)
SUSTENTABILIDADE em
estruturas de concreto?***

20

Alternativas:

1. alterar os materiais (materiais suplementares)
2. empregar agregados reciclados
3. empregar concreto autoadensável (SCC)
4. empregar concreto de elevada vida útil (HPC)
5. empregar concreto de alta resistência (HSC)
6. reduzir o uso de matérias primas

21

**1. alterar os materiais
(materiais
suplementares)**

22

CEMENT SUSTAINABILITY INITIATIVE (WBCSD – CSI)



World Business Council for Sustainable Development

Cement Sustainability Initiative

■ No Brasil:



23

2. empregar agregados reciclados

24



Pergamon

Available online at www.sciencedirect.com

SCIENCE @ DIRECT®

Cement and Concrete Research 34 (2004) 1975–1980

**CEMENT AND
CONCRETE
RESEARCH**

Durability of recycled aggregates concrete: a safe way to sustainable development

Salomon M. Levy^{a,b}, Paulo Helene^{b,c,d,*}

^aCentro Universitário Nove de Julho (UNINOVE), São Paulo, Brazil

^bBrazilian Concrete Institute (IBRACON), São Paulo, Brazil

^cPolytechnic School, University of São Paulo, São Paulo, Brazil

^dRehabilitar Network CYTED XVI, Madrid, Spain

O concreto feito com agregados reciclados (substituição de 20% e 50%) de alvenaria antiga ou de concreto antigo pode ter a similaridade de trabalhabilidade e pode atingir a resistência à compressão equivalente a um concreto produzido com agregados naturais, na faixa de 20-40 MPa aos 28 dias .

Referenciado por 301 artigos - Google Scholar

25

3. utilizar concreto autoadensável (SCC)

26



27

Auto Adensável

SCC

1. reduz ruído → saúde
2. reduz tempo → produtividade
3. aumenta uniformidade
4. reduz energia elétrica → não usa vibrador
5. reduz desgaste de fôrmas
6. aumenta vida útil

28

4. empregar concreto de elevada vida útil (HPC)

29

Durabilidade

- ✓ **ISO** 16204:2012. Durability: Service Life Design of Concrete Structures
- ✓ **fib** Model Code 2010. Concrete Structures
- ✓ **fib** Model Code for Service Life Design 2006.

Helland, Steinar. Design for Service Life: Implementation of fib Model Code 2010 rules in the operational code ISO 16204. Structural Concrete 14 (2013), n.1. p. 10-18

30

Modelos de previsão de vida útil

Difusão de cloretos

- **Com base em enfoque determinista**

(LIFE-365)

- **Com base em enfoque probabilista**

(DURACON)

31

Life-365



O software Life-365 é uma ferramenta de auxílio para calcular a vida útil considerando a difusão por cloreto segundo o ACI 365.

É possível fazer o download pelo site:
www.life-365.org/download.html

32

DURACON



O software Duracon é uma ferramenta desenvolvida na Dinamarca para calcular a vida útil considerando a difusão por cloreto.

Foi o software utilizado por Odd E. Gjorv em seu livro “Projeto da durabilidade de estruturas de concreto em ambiente de severa agressividade”, publicado pelo IBRACON

É possível fazer o download pelo site:
www.pianc.no/duracon.php

33

Exemplo

Um edifício deverá ser projetado na região de Recife/PE, com cobrimentos de 40mm e 75mm, atendendo a vida útil de 50 anos, considerando o ataque por cloretos.

Para isso devem ser analisados:

- Tipo de cimento
- Relação a/c
- Adições



Utilizando os softwares Duracon e Life-365, tendo em vista as seguintes regiões:

- Obra na zona de respingos de maré ($C_s = 1,0$)
- Obra localizada a 800m da praia ($C_s = 0,6$)

34

CPIII Escória de alto forno (60% escória) + 8% Sílica Ativa						
c (mm)	C _{cr} (% wt. conc)	C _s (% wt. conc)	a/c	D ₂₈ (10 ⁻¹² m ² /s)	Vida útil (anos)	
					Life 365	Duracon
40	0.05	1	0.55	4.8611	9	5
			0.5	3.6575	11.6	8
			0.45	2.7973	15.3	13
			0.35	1.6096	29.2	34
75	0.05	1	0.55	4.8611	70.4	51
			0.5	3.6575	94.6	86
			0.45	2.7973	126.4	141
			0.35	1.6096	224.2	379

35

Carbonatação

$$e = 2,0 \text{ cm}$$

$$f_{ck} = 15 \text{ MPa} \rightarrow t = 8 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 25 \text{ MPa} \rightarrow t = 38 \text{ anos}$$

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 240 \text{ anos}$$

36

**World Trade Center
São Paulo - 1997**

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

A black and white photograph of the World Trade Center in São Paulo, 1997. The image shows three prominent skyscrapers with a distinctive stepped, pyramidal top design. The central tower is the tallest and features a grid-like facade. The two flanking towers are slightly shorter and also have grid facades. The sky is cloudy, and there are trees and a lower building visible in the foreground.

37

38

Sustainable Development

“Increasing service life of concrete structures we can preserve the natural resources.

If we develop the design and construction ability we can get concrete structures with 500 years service life. Doing this we can multiply by ten our productivity which means preserve the 90% of them”

Kumar Mehta

Reducing the Environmental Impact of Concrete
Concrete International. ACI, v.23, n. 10, Oct. 2001. p.61-66

39

5. empregar concreto de alta resistência (HSC)

40

Indicadores de Impacto ambiental

- **Emissão de CO₂ (GWP)?**
- **Energia? Água?**
- **Recursos naturais?**
- **Vida útil?**

41

Exemplo

Pilar para 500 tf

$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

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

42

Considerando um pilar central típico de um edifício de 20 andares seção quadrada, 3m de altura, armadura principal

Força normal característica = 500 tf			
f_{ck} (MPa)	Taxa de aço (%) → total do pilar	Seção (cm)	adotado (cm)
20	0.4 → 49kg	71.8 x 71.8	72 x 72
50	0.4 → 24kg	46.9 x 46.9	50 x 50
20	4.0 → 255kg	51.2 x 51.2	52 x 52
50	4.0 → 151kg	39.5 x 39.5	40 x 40

43

Composição do concreto

$$f_{ck} = 20\text{MPa}$$

$$\text{Cimento} = 280 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Areia} = 845 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Brita} = 1036 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Água} = 210 \text{ kg/m}^3$$

44

Composição do concreto

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

Cimento = 420 kg/m³

Areia = 801 kg/m³

Brita = 1010 kg/m³

Água = 160 kg/m³

45

Emissões gasosas e energia consumida

Material	NOx (kg/t)	CO₂ (kg/t)	GWP (kg/t)	Energia consumida (kWh/t)
Cimento Portland	1.85	855	1447	998
ferro gusa (minério)		1588	3006	5,060
CA 50 & CA 60 (sucata)	4.43	380	719	20,000

**Global warming potential (GWP) is a measure of how much a given mass of greenhouse gas is estimated to contribute to global warming. It is a relative scale which compares the gas in question to that of the same mass of carbon dioxide.*

46

1 m³ → Concreto estrutural
f_{ck} 20MPa

	1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
Cimento	280kg	1447	405	280
Areia	845kg	0	0	1
Brita	1036kg	0	0	12
Água	210kg	0	0	0
Armadura	32kg	719	23	640
	315kg		226	6300
Fôrma 12 m ² /m ³ 6 reusos Chapa de 1.4 cm	0.0280 m ²	0	0	43
TOTAL			428	933
			631	6636

47

1 m³ → Concreto estrutural
f_{ck} 50MPa

	1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
Cimento	420kg	1447	607	419
Areia	801kg	0	0	3
Brita	1010kg	0	0	12
Água	160kg	0	0	0
Armadura	32kg	719	23	640
	315kg		226	6300
Fôrma 12 m ² /m ³ 6 reusos Chapa de 1.4 cm	0.0280 m ²	0	0	43
TOTAL			630	1117
			833	6777

48

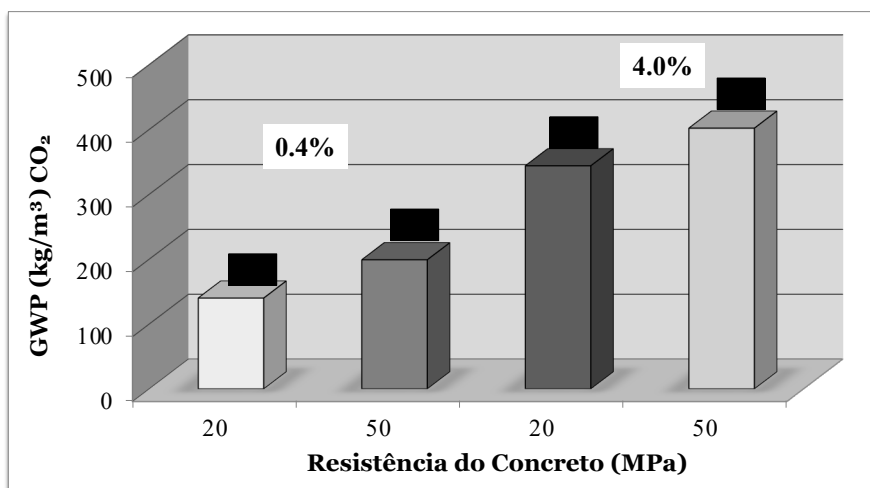
1 m³ de concreto estrutural

Material	Tipo	f_{ck}	GWP	Energia
		MPa	kg/m ³	kWh/m ³
Concreto armado	70% escória	20	140 / 344	777 / 6437
Concreto armado	70% escória	50	199 / 402	820 / 6480

0.4% & 4%
Taxa de aço

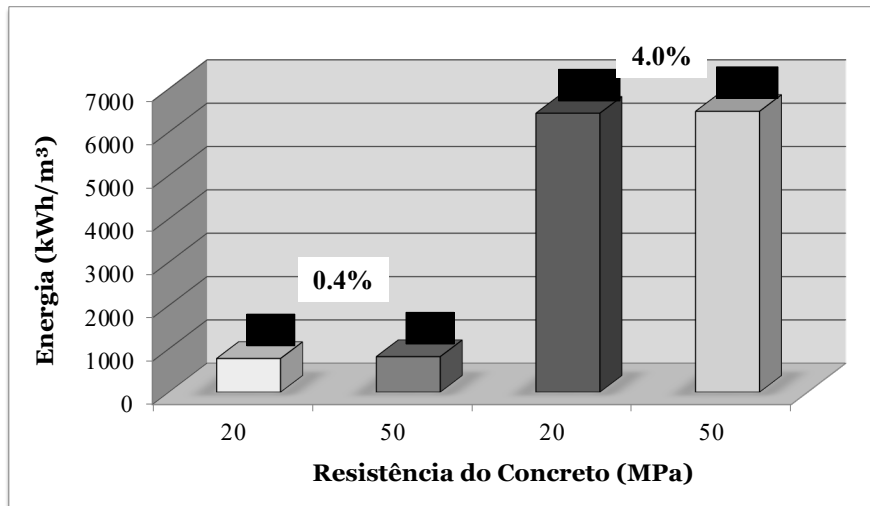
49

1 m³ de concreto estrutural com 70% escória



50

1 m³ de concreto estrutural



51

Conclusão

20MPa com a taxa mínima de armadura é mais sustentável!!

EPD1 (cradle to gate !)

Maneira errada, porque 1m³ não é funcional

52

Pilar com 3m 0,4% armadura, 500tf

Material	f_{ck}	seção	energia	GWP
	MPa	cm	kWh	kg
Concreto armado	20	72x72	1208	218
Concreto armado	50	50x50	615	149

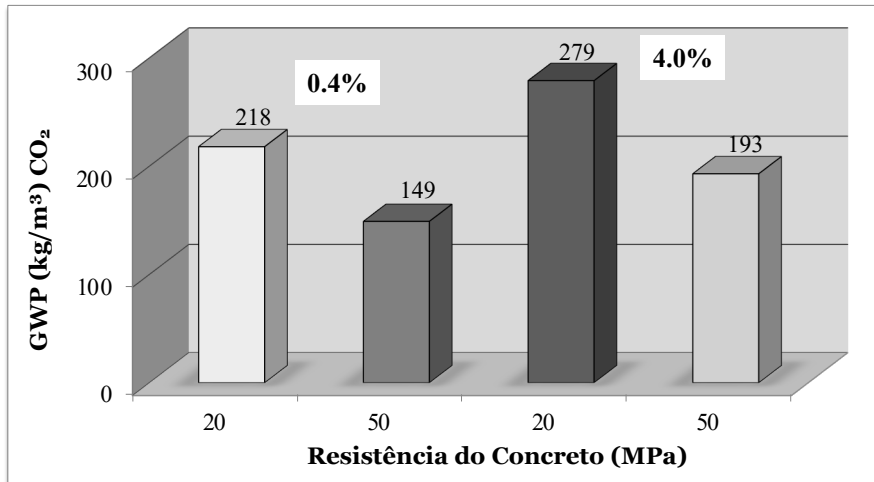
53

Pilar com 3m 4,0% armadura, 500tf

Material	f_{ck}	seção	energia	GWP
	MPa	cm	kWh	kg
Concreto armado	20	52x52	5221	279
Concreto armado	50	40x40	3110	193

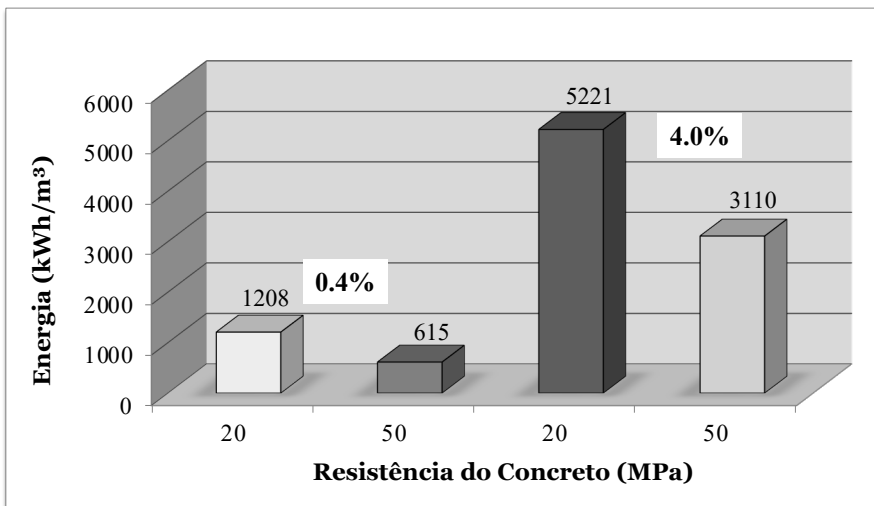
54

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf



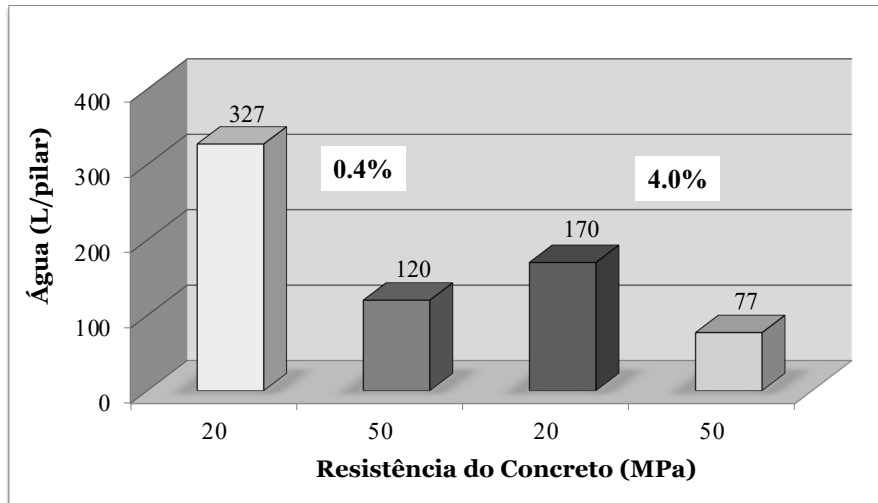
55

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf



56

Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf



57

Outra tese de doutoramento

Qual é a estrutura de concreto mais sustentável?

$$f_{ck} = 25\text{MPa (250kgf/cm}^2\text{)}$$

$$f_{ck} = 30\text{MPa (300kgf/cm}^2\text{)}$$

$$f_{ck} = 45\text{MPa (350kgf/cm}^2\text{)}$$

58

Investigação: edifício de concreto armado

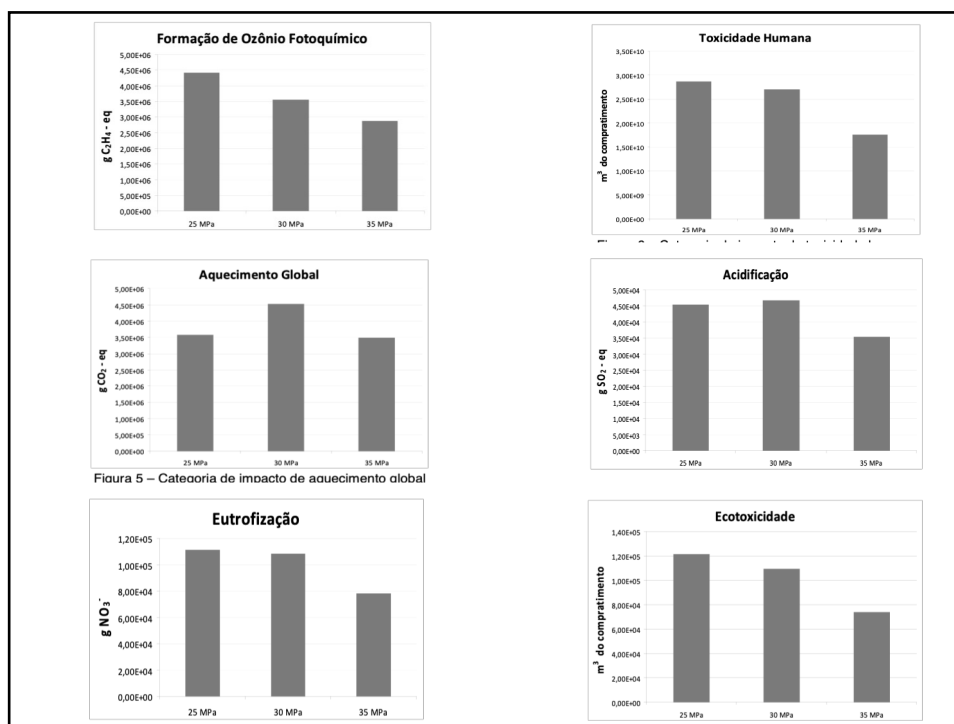
- 20 andares;

Análise comparativa:

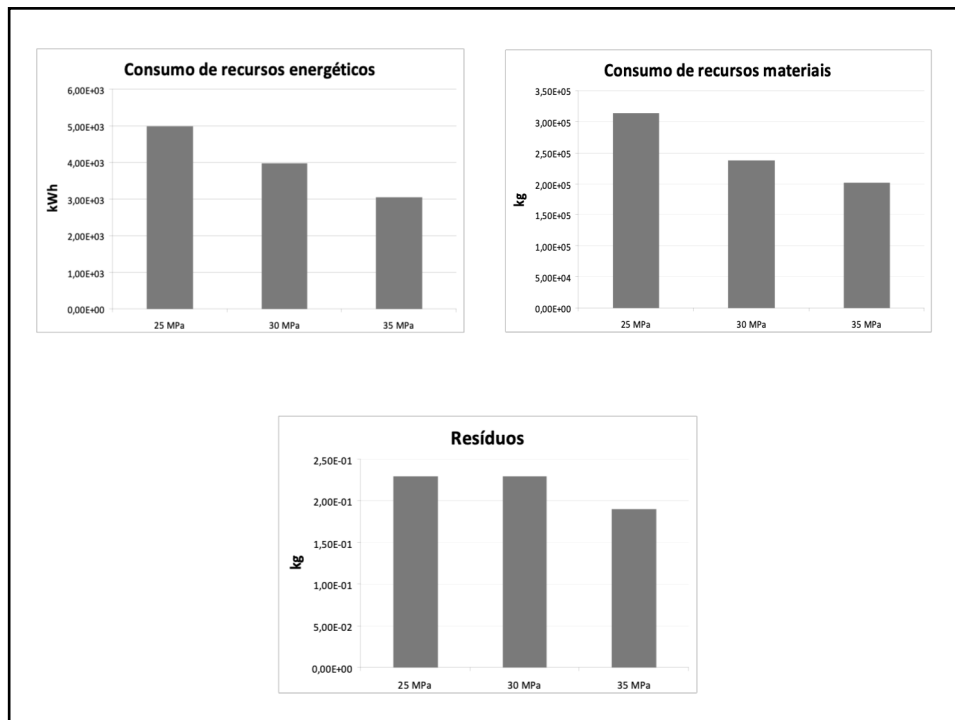
- 25MPa;
- 30MPa, mantendo as mesmas dimensões dos elementos estruturais com 25MPa;
- 45MPa, reduzindo as dimensões dos elementos estruturais.

Indicadores de impacto ambiental:

59



60



61

Investigação: edifício de concreto armado

Conclusão:

Para todas as categorias de impacto ambiental, a estrutura de 45MPa tem os valores mínimos, realizando a mesma função estrutural.

Ricardo BENTO, IAU.USP Tese.

62

HELENE, Paulo; HARTMANN, Carine T. HPCC in Brazilian Office Tower. *Concrete International*, v.25, p.64 – 68. 2003.



63

e-Tower

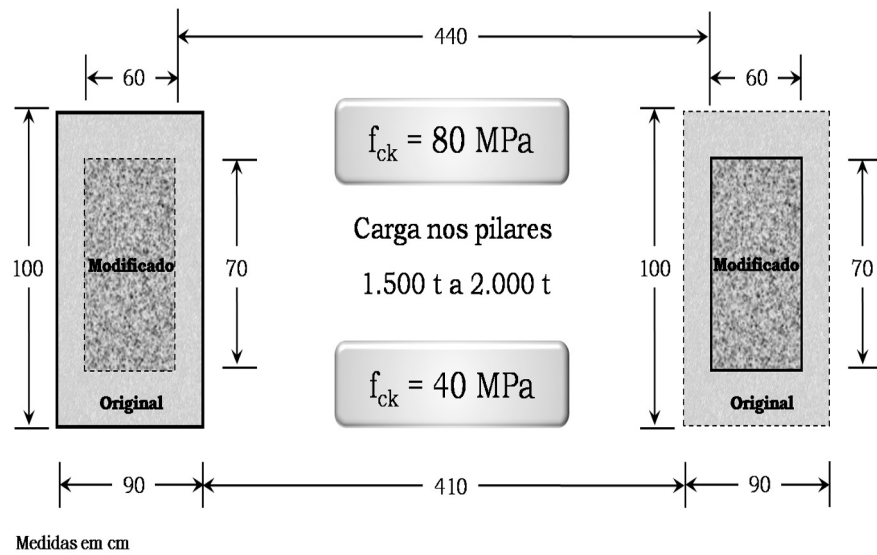
- Edifício e-Tower SP
- 42 andares
- heliponto
- piscina semi-olímpica
- academia de ginástica
- 2 restaurantes
- concreto colorido
- f_{ck} pilares = 80 MPa

HELENE, Paulo; HARTMANN, Carine T. HPCC in Brazilian Office Tower. *Concrete International*, v.25, p.64 – 68. 2003.



64

Projeto estrutural (e-Tower)



65



66

Controle



67



68

Economia de Recursos Naturais

Original:

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

Seção transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm} \rightarrow 0.90\text{m}^2$

HPC / HSC:

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

**Seção transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm} \rightarrow$
0.42m²**

69

Sustentabilidade



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

70

Classe de concreto sustentável

Considerando apenas o consumo de cimento:

Concreto 120MPa → 4.3 kg cimento/MPa

Concreto 40MPa → 7.4 kg cimento/MPa

Concreto 20MPa → 14.0 kg cimento/MPa

71

CONCRETO RESPONSÁVEL, SUSTENTÁVEL, BELO E CONTEMPORÂNEO É:

- mais resistente
- mais durável
- mais humano (< ruído e < esforço físico)
- consumir menos recursos materiais não renováveis
- consumir menos água
- consumir menos energia
- produzir menos resíduos e entulho

72

Como ser um melhor arquiteto ou engenheiro?

reduzindo as emissões de gases com efeito de estufa

reduzindo o consumo de energia

reduzindo o consumo de recursos naturais não renováveis

**usar o concreto racionalmente
(fazer mais com menos)**

*...e aproveitar os últimos 30 anos de
desenvolvimento do concreto...*

73

Conclusão

**Estruturas sustentáveis de concreto
devem ser construídas utilizando**

HPC

HSC

SCC

Concreto durável

Materiais suplementares

**...em outras palavras, estávamos no
caminho certo nos últimos 100
anos!...**

74

Panteão de Roma



75

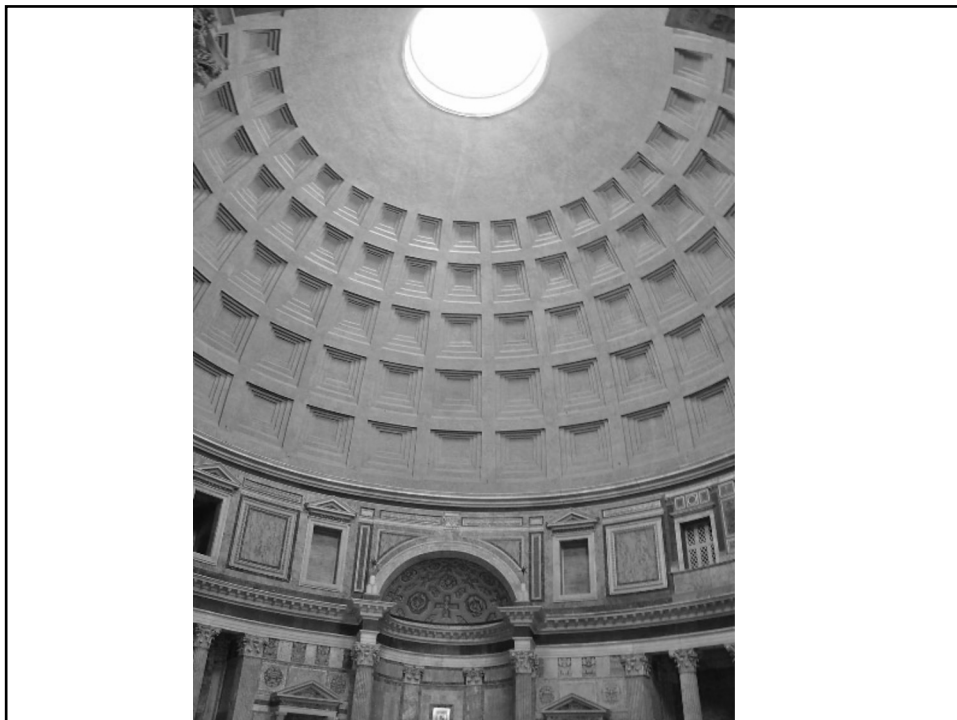


76

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



77



78



79



Systeme Hennebique

Paris, Rue Danton1

7 andares

França 1.901

30m

$f_{ck} = ?$

112 anos !

edifício em concreto mais antigo do mundo

80



81



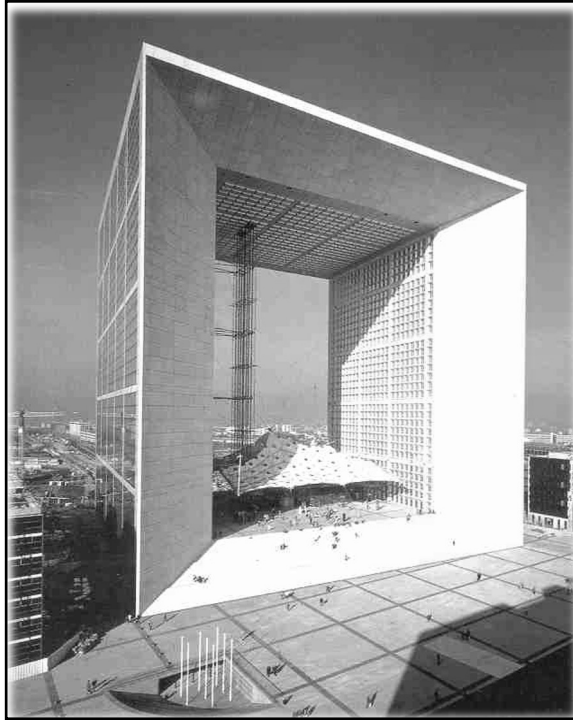
82



83



84



Grand Arch
La Defense

Paris

França 1990

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

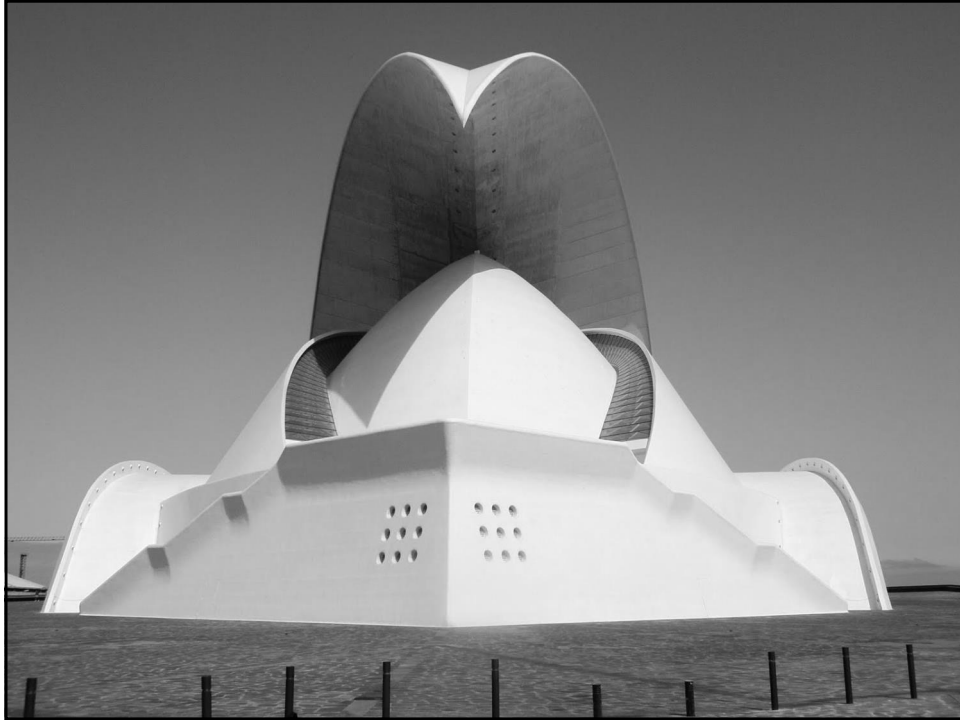
“high-tech style”

85



Auditório de Tenerife
Espanha
2003
Santiago Calatrava

86



87



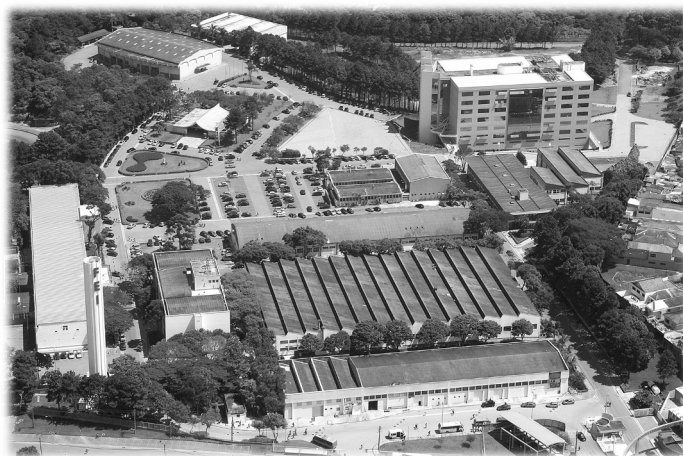
88

*Os Arquitetos e os Engenheiros Cíveis
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.*

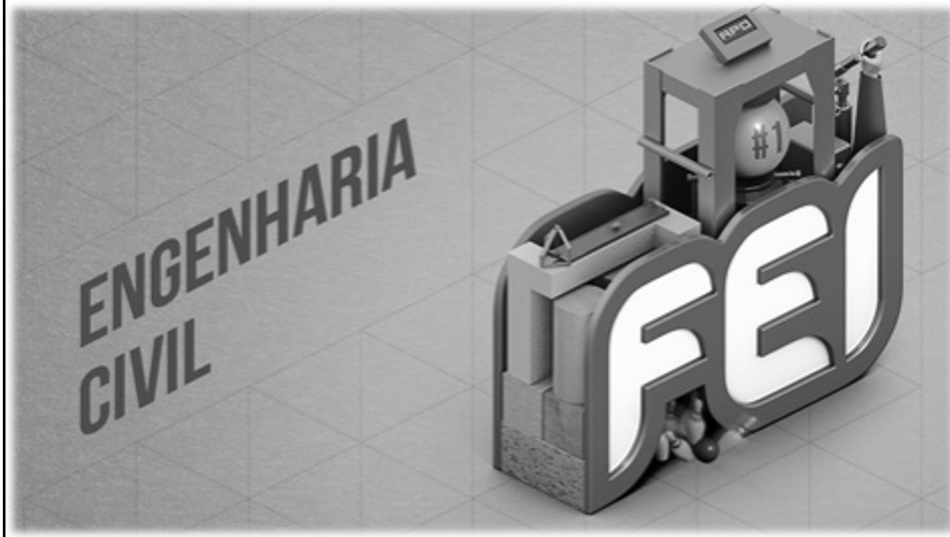
89

**Não basta ser estudante
da FEI...**



90

Tem que ser Civil !!!



91

Obrigado!



92