

IIIº SICEM 2010

O Concreto e a Sustentabilidade das Estruturas

Paulo Helene

*Diretor PhD Engenharia
Prof. Titular Universidade de São Paulo USP
Conselheiro Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures
Presidente ALCONPAT*

Aracajú

27 de agosto de 2010

UFS

1

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

Como pode o setor de concreto contribuir
para o movimento global de
“sustentabilidade” na construção civil?

- *European Concrete Platform ASBL. Sustainable Benefits of Concrete Structures. Feb. 2009*
- *The Concrete Centre. The Environmental, Social and Economic Sustainability Credentials of Concrete. Dec. 2009*
- *Comitê Técnico de Meio Ambiente do IBRACON. 1996-2009. Presidente: Prof. Dr. Salomon Mony Levy*

Direitos Reservados 2009

2

2

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

O que é LEED?
Porque controla o edifício e não a estrutura ou
a construção?

Direitos Reservados 2009

3

3

Paradoxo!

Como o consumo de cimento e de concreto que são
utilizados como índices de desenvolvimento de uma nação,
podem, ao mesmo tempo serem utilizados como índices de
degradação do meio ambiente?

*Uma das respostas está em pensar na estrutura, na obra,
no produto final, e não nos materiais isoladamente*

Direitos Reservados 2009

4

4

Protocolo de Kyoto

1997 → Protocolo de Kyoto

*Em 2012 emitir 6% menos gases estufa
que em 1990 → países desenvolvidos.*

IPCC Reports 2007

According to IPCC May 4, report, the worst effects of global warming can be avoided if:

- GHG emissions to peak in 15 years, and fall to 50% of current levels by 2050.
- Limit temperature increase to 1.6°C
- Above actions will stabilize GHG emissions below 490 ppm, the current concentration being about 430 ppm.

→IPCC → Intergovernmental Panel on Climate Change
→UNEP → United Nations Environmental Programme
→WMO → World Meteorological Organization

Qual o problema?

Aquecimento Global (Global Warming) no qual a indústria tem contribuição destacada ao lado do chamado “modo de viver” de vários dos cidadãos ingênuos que vivem nos países desenvolvidos.

Atualmente os países desenvolvidos emitem cerca de 66% do total de gases estufa do planeta e se considerado per capita essa contribuição nefasta pode chegar a 80%.

“Weather Makers, by Tim Flannery, 2005”

Como reduzir o aquecimento global?

- 1. reduzir emissão de gases estufa**
- 2. reduzir energia consumida**
- 3. reduzir consumo de recursos naturais não renováveis**
- 4. mudar o “modo de viver de alguns”**

1. Como reduzir emissão de gases estufa, sem prejudicar desenvolvimento e qualidade de vida?

- **Sequestrar o CO₂ gerado nos processos industriais**

ou

- **Reduzir as emissões de GHG (gás estufa) nos processos industriais e no modo de viver de alguns**

Fixação (sequestro) de CO₂

- **Trata-se de procedimentos de captura das emissões de GHG e fixação destes gases na superfície da crosta terrestre ou enterrados no solo**
- **O próprio concreto e as argamassas de base cimento sequestram e fixam CO₂ através dos inevitáveis processos de carbonatação (CaO.CO₂)**
- **Ainda não há procedimentos viáveis para sequestro de CO₂ em larga escala nas indústrias (Calera Process).**

Como reduzir as emissões de GHG (gás estufa) nos processos industriais?

Atuando sobre a fabricação dos materiais constitutivos das estruturas de concreto:

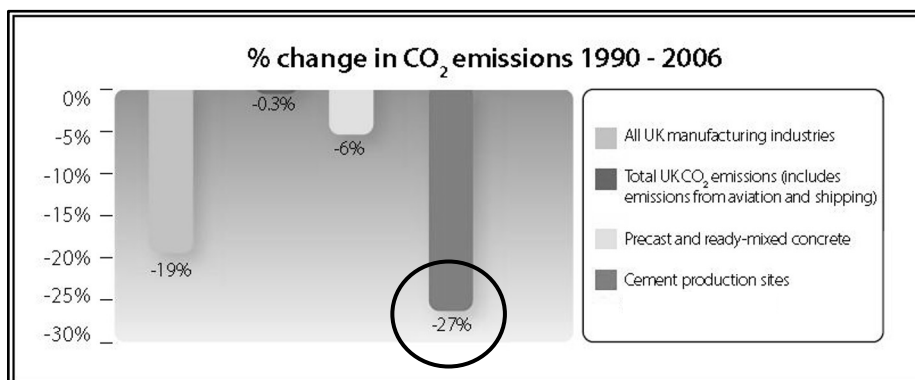
- cimento
- agregado miúdo
- agregado graúdo
- água;
- aditivos;
- armadura / aço;
- fôrmas

Direitos Reservados 2009

11

11

Sustentabilidade e concreto: Situação no Reino Unido



The Concrete Centre

Direitos Reservados 2009

12

12

Sustentabilidade na Construção Civil

1. **reduzir desperdício na construção civil**
2. aperfeiçoar processos de fabricação de cimento e aço
3. reduzir consumo de aço, madeira e cimento
4. aumentar uso de adições e aditivos
5. aumentar uso de agregados reciclados
6. aumentar uso de concreto de elevada vida útil
7. aumentar uso de concreto de alta resistência

Direitos Reservados 2009

13

13

Desperdício

O desperdício no concreto é de 2% enquanto na Construção Civil (alvenarias, pisos, etc.) pode ser de...



Direitos Reservados 2009

14

14

Alternativas para tornar as Estruturas de Concreto ainda mais “verdes”

1. reduzir desperdício na construção civil
2. aperfeiçoar processos de fabricação de cimento e aço
3. reduzir consumo de madeira, aço e cimento
4. aumentar uso de adições e aditivos
5. aumentar uso de agregados reciclados
6. **aumentar uso de concreto de elevada vida útil**
7. aumentar uso de concreto de alta resistência

Reduzir.Reaproveitar.Reciclar.Raciocinar

Direitos Reservados 2009

15

15

Carbonatação

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

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

$$f_{ck} = 50 \text{ MPa} \rightarrow t = 250 \text{ anos}$$

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

Direitos Reservados 2009

16

16

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*

Direitos Reservados 2009

20

20

Alternativas para tornar as Estruturas de Concreto ainda mais “verdes”

1. reduzir desperdício na construção civil
2. aperfeiçoar processos de fabricação de cimento e aço
3. **reduzir consumo de madeira, aço e cimento**
4. **aumentar uso de adições e aditivos**
5. aumentar uso de agregados reciclados
6. aumentar uso de concreto de elevada vida útil
7. **aumentar uso de concreto de alta resistência**

Direitos Reservados 2009

21

21

**Como tornar as estruturas de
concreto ainda mais sustentáveis?**

Empregando concreto de alta resistência HSC

Direitos Reservados 2009

22

22

**As Estruturas de Concreto e a
Sustentabilidade**

▪CO₂?

▪Energia?

▪Recursos naturais?

▪Vida Útil?

(Life Cycle Analysis)

Direitos Reservados 2009

23

23

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

Pilar para 500t

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

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

Direitos Reservados 2009

24

24

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

Força normal característica = 500 tf

f_{ck} (MPa)	taxa de armadura (%) → 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

Direitos Reservados 2009

25

25

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

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

Cimento = 280 kg/m³

Areia = 845 kg/m³

Brita = 1036 kg/m³

Água = 210 kg/m³

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

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

Cimento = 420 kg/m³

Areia = 801 kg/m³

Brita = 1010 kg/m³

Água = 160 kg/m³

Emissões gasosas e energia consumida

Material	NOx (kg/t)	CO ₂ (kg/t)	GWP (kg/t)	Energia consumida (kWh/t)
Clinker Portland (≈ CP I)	1,85	855	1447 (880)	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.*

Direitos Reservados 2009

28

28

Concreto estrutural *f_{ck} 20MPa*

	Para 1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
Cimento CP I	280kg	1447	405	280
Areia	845kg	0	0	1
Pedra	1036kg	0	0	12
Água	210kg	0	0	0
Aço	32kg 315kg	719	23 226	640 6300
Formas 12 m ² /m ³ 6 reutilizações chapa de 1,4cm	0,0280 m ²	0	0	43
TOTAL			428 631	933 6636

Direitos Reservados 2009

29

29

Concreto estrutural **f_{ck} 50MPa**

	Para 1 m ³	GWP kg/t	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
Cimento CP I	420kg	1447	607	419
Areia	801kg	0	0	3
Pedra	1010kg	0	0	12
Água	160kg	0	0	0
Aço	32kg	719	23	640
	315kg		226	6300
Formas 12 m ² /m ³ 6 reutilizações chapa de 1,4cm	0,0280 m ²	0	0	43
TOTAL			630 833	1117 6777

Direitos Reservados 2009

30

30

1 m³ de Concreto **estrutural**

Material	Tipo	f_{ck} MPa	GWP kg/m ³	Energia kWh/m ³
concreto armado	CP I	20	428 / 631	933 / 6636
concreto armado	CP III	20	140 / 344	777 / 6437
concreto armado	CP I	50	630 / 833	1117 / 6777
concreto armado	CP III	50	199 / 402	820 / 6480

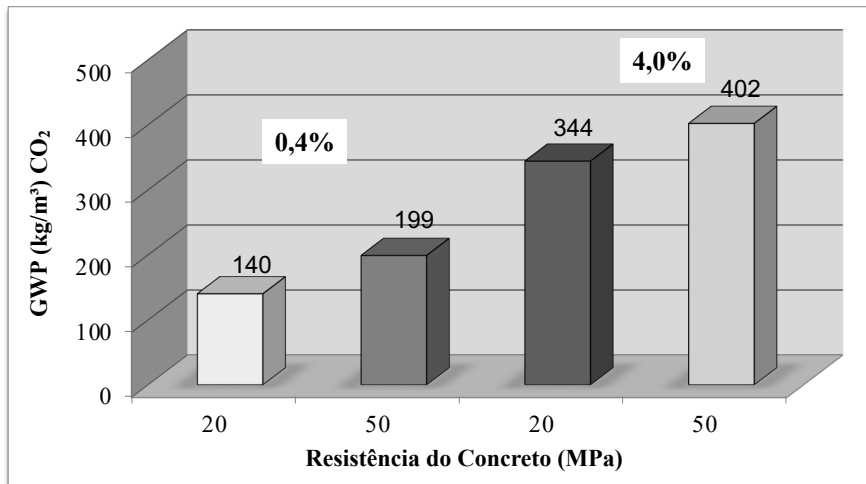
0,4% & 4% de
taxa de armadura

Direitos Reservados 2009

31

31

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40

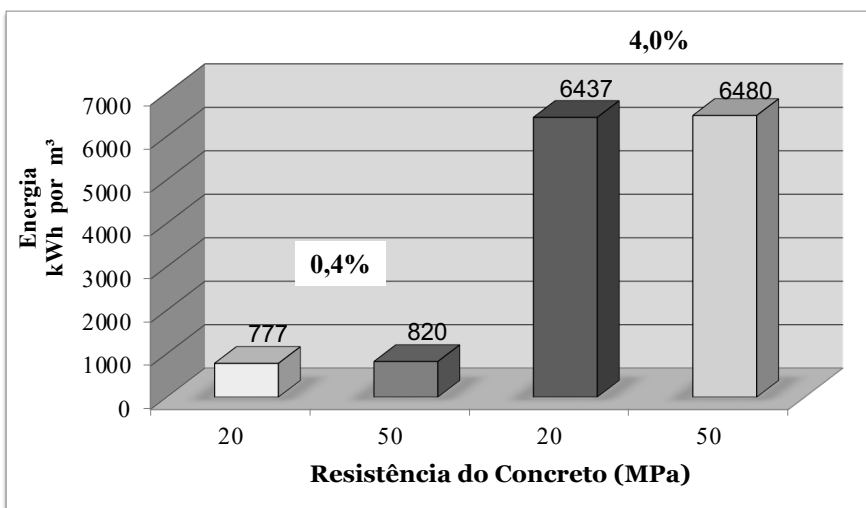


Direitos Reservados 2009

32

32

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40

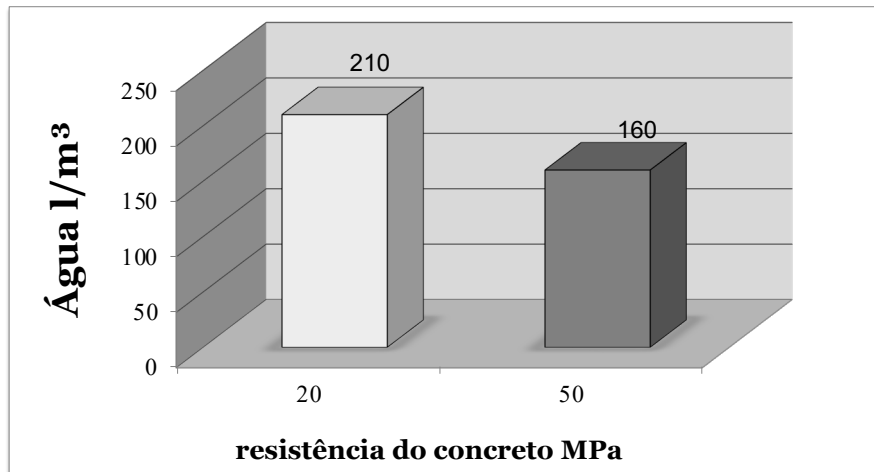


Direitos Reservados 2009

33

33

1 m³ de concreto estrutural com qualquer cimento



Direitos Reservados 2009

34

34

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

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

Direitos Reservados 2009

35

35

Pilar com 3m 4% armadura, 500tf com CP III

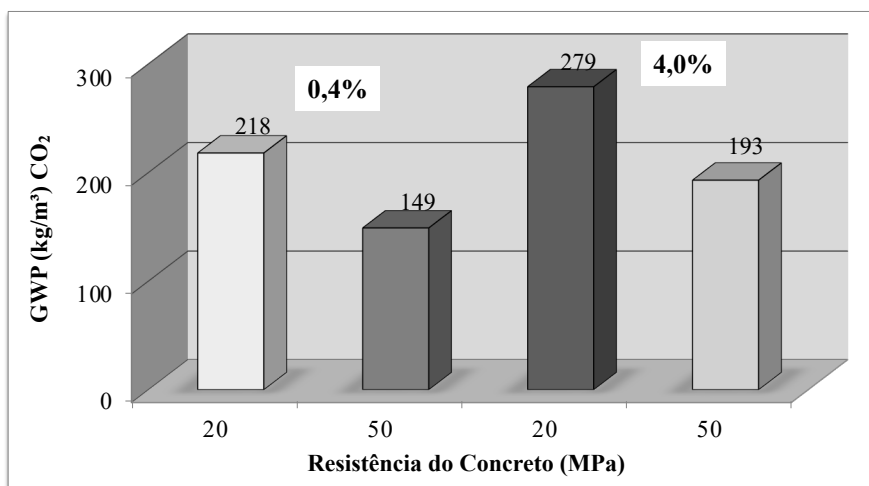
Material	f_{ck} MPa	Seção cm	energia kWh	GWP kg
concreto armado	20	52x52	5221	279
concreto armado	50	40x40	3110	193

Direitos Reservados 2009

36

36

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

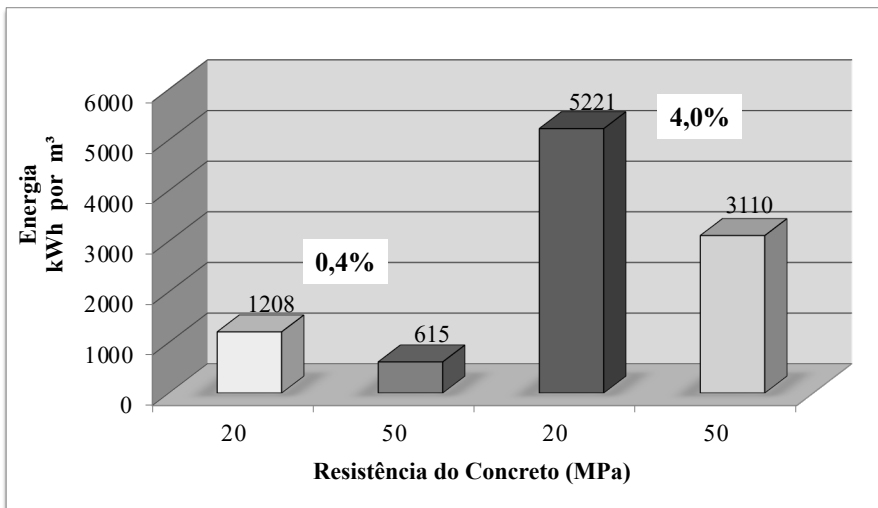


Direitos Reservados 2009

37

37

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

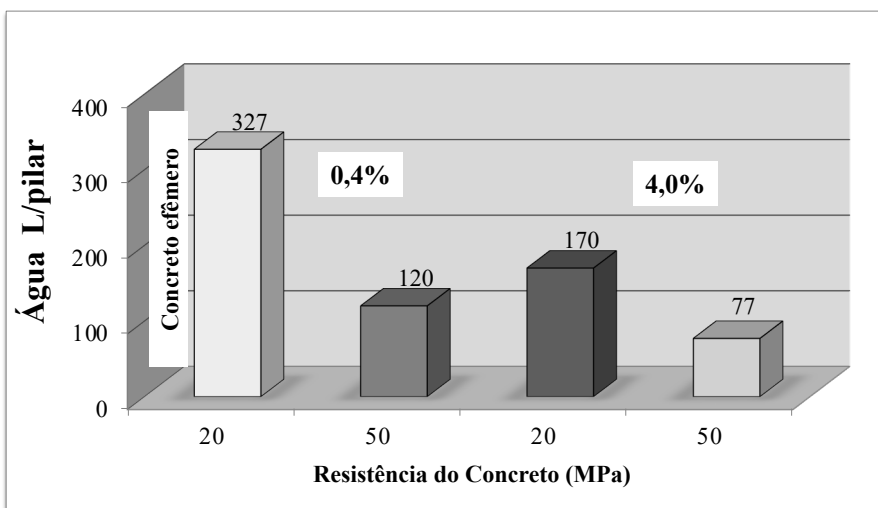


Direitos Reservados 2009

38

38

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



Direitos Reservados 2009

39

39



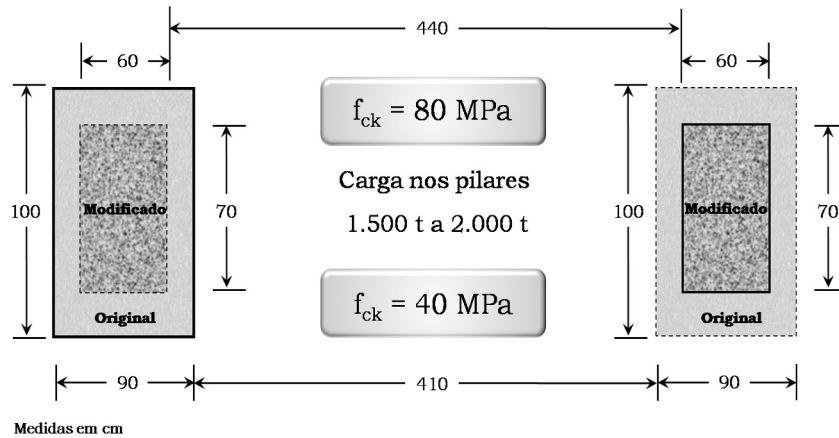
40

<i>e-Tower</i>	
▪ Edifício e-Tower SP ▪ 42 andares ▪ heliponto ▪ piscina semi-olímpica ▪ academia de ginástica ▪ 2 restaurantes ▪ concreto colorido ▪ f_{ck} pilares = 80 MPa	41

Direitos Reservados 2009

41

Projeto estrutural (e-Tower)



Direitos Reservados 2009

42

42



43

Controle



44



45

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

Direitos Reservados 2009

46

46

Sustentabilidade



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

Direitos Reservados 2009

47

47

Sustentabilidade



- **25% mais de reaproveitamento de fôrma**
- **43% menos aço**
- **16 vagas a mais**
- **1000% vida útil maior**
- **100% desforma mais rápida**

Direitos Reservados 2009

48

48

Pontos para Discussão

1. Índice de “sustentabilidade” do concreto?

- GHG/GW; kWh; Água; por kg → furado! demonstrado.
- GHG/GW; kWh; Água; por m³ → furado! demonstrado.
- GHG/GWP; kWh; Água: por (m³.MPa) ou por (Mg.MPa)

índice	20 MPa	50 MPa
GHGGWP / m ³ .MPa ou Mg.MPa	24 / 10	12 / 5
kWh / m ³ .MPa ou Mg.MPa	360 / 153	146 / 61
Água / m ³ .MPa ou Mg.MPa	10 / 4,3	3 / 1,3

Direitos Reservados 2009

49

49

Pontos para Discussão

1. Índice de “sustentabilidade” do concreto?

→ GHG/GW; kWh; Água; por kg → furado! demonstrado.

→ GHG/GW; kWh; Água; por m³ → furado! demonstrado.

→ GHG/GWP; kWh; Água: por (m³.MPa) ou por (Mg.MPa)

índice	20 MPa	50 MPa
GHGGWP / m³.MPa ou Mg.MPa	24 / 10	12 / 5
kWh / m³.MPa ou Mg.MPa	360 / 153	146 / 61
Água / m³.MPa ou Mg.MPa	10 / 4,3	3 / 1,3

58%

Direitos Reservados 2009

50

50

Pontos para Discussão

2. Índice de “sustentabilidade” da estrutura de concreto?

→ GHG/GW; kWh; Água; por pilar de 500tf

índice	20 MPa	50 MPa
GHGGWP / pilar 500tf (0,4%)	218	149
GHGGWP / pilar 500tf (4,0%)	279	193
kWh/ pilar 500tf (0,4%)	1208	615
kWh/ pilar 500tf (4,0%)	5221	3110
água / pilar 500tf (0,4%)	327	120
água/ pilar 500tf (4,0%)	170	77

36%

45%

55%

Direitos Reservados 2009

51

51

Pontos para Discussão

1. Adotar algo do tipo CO₂/Mpa → furado
2. Fixar um concreto de referência?
20MPa; CP I; Slump 100mm; brita 2; sem aditivo
3. Fixar uma estrutura de referência: pilar, uma viga, uma laje?
4. Fazer a análise completa com formas, aço, espaços, reaproveitamentos, etc.?

Direitos Reservados 2009

52

52

Resumindo

1. A Engenharia de Concreto tem caminhado na direção certa?
2. A Engenharia de Concreto tem conhecimento de sua importância?
3. Como pode atuar para focar ainda mais?
4. É uma grande oportunidade de pesquisa na área de Engenharia de Materiais no Brasil?

Direitos Reservados 2009

53

53

- ✓Qualidade de vida
- ✓Economia de recursos
- ✓ Segurança / Robustez
- ✓Compromisso Ambiental

Direitos Reservados 2009

54

- ✓Adições
- ✓Aditivos
- ✓Coprocessamento
- ✓HSC / HPC
- ✓ Durabilidade

Direitos Reservados 2009

55

Resumindo

1. A Engenharia de Concreto tem caminhado na direção certa?
2. A Engenharia de Concreto tem conhecimento de sua importância?
3. Como pode atuar para focar ainda mais?
4. É uma grande oportunidade de pesquisa na área de Engenharia de Materiais no Brasil?

Água
Concreto
Alimentos
per capita
volume → importância social

Resumindo

1. A Engenharia de Concreto tem caminhado na direção certa?
2. A Engenharia de Concreto tem conhecimento de sua importância?
3. Como pode atuar para focar ainda mais?
4. É uma grande oportunidade de pesquisa na área de Engenharia de Materiais no Brasil?

Direitos Reservados 2009

58

58

- sequestro de CO₂
- economia energia
- processo ?
- aumentar a ecoeficiência
no uso

Direitos Reservados 2009

59

Resumindo

1. A Engenharia de Concreto tem caminhado na direção certa?
2. A Engenharia de Concreto tem conhecimento de sua importância?
3. Como pode atuar para focar ainda mais?
4. É uma grande oportunidade de pesquisa na área de Engenharia de Materiais no Brasil?

Direitos Reservados 2009

60

60

- ✓ *Referência mundial → cimento + ecoeficiente*
 - ✓ *É o setor mais competitivo do Brasil*
- ✓ *Tem os melhores centros de pesquisa da AL*
 - ✓ *Tem recursos para pesquisa*
 - ✓ *Paga bem os pesquisadores*

Direitos Reservados 2009

61

**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 CO₂

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

IBRACON | **CT-MAB**

62



63