

Congresso Internacional de Arquitetura,  
Urbanismo e Engenharia Civil

*UDC Internacional* *ROMA TRE*

---

## O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

**Paulo Helene**  
*Diretor do PhD Engenharia Civil & Consultoria  
Prof. Titular da Universidade de São Paulo USP  
Vice-Presidente do Instituto Brasileiro do Concreto IBRACON*

Foz do Iguaçu 16 / 17 / 18 setembro de 2009 Paraná, Brasil

## 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*

2

## Qual a relação entre desenvolvimento e produção de concreto, o mais consumido material industrial?



---

→ população mundial crescente  
→ **precisa de muitos empregos** → precisa de  
muita infra-estrutura → **precisa de moradias** →  
deseja qualidade de vida → depende da construção  
civil → utiliza intensamente o concreto

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*

4

## Protocolo de Kyoto



---

1997 → Protocolo de Kyoto

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

5

## IPCC Reports 2007



---

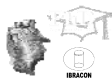
According to IPCC May 4, report, the worst effects of global warming can be avoided if:

- 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

6

## 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%.

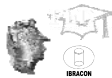
*“Weather Makers, by Tim Flannery. 2005”*

## 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 CO<sub>2</sub> 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 CO<sub>2</sub>



- 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 CO<sub>2</sub> através dos inevitáveis processos de carbonatação (CaO.CO<sub>2</sub>)
- Ainda não há procedimentos viáveis para sequestro de CO<sub>2</sub> em larga escala nas indústrias

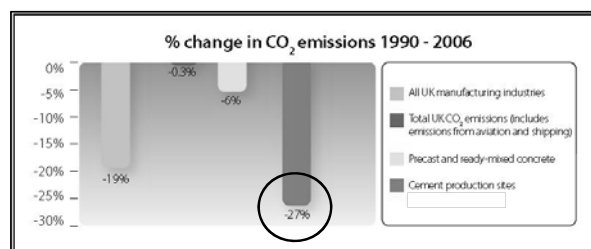
## Como reduzir as emissões de GHG (gás estufa) nos processos industriais?



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

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

## Sustentabilidade e concreto: Situação no Reino Unido



The Concrete Centre

## 2. Como reduzir energia consumida na fabricação de materiais sem prejudicar desenvolvimento e qualidade de vida?



- Co-processamento
- Incorporação de rejeitos industriais (adições)
- Melhoria do processo de mistura, queima, moagem
- Uso de fontes de energia renováveis

## Energia



- O processo de produção de clínquer de cimento Portland é considerado o terceiro maior consumidor de energia, abaixo somente do alumínio e do aço.
- A produção de clínquer Portland requer cerca de 1000kWh de energia por tonelada de clínquer.

## Sustentabilidade e concreto: Situação no Mundo



*A indústria de cimento brasileira é considerada como uma das mais evoluídas em sustentabilidade pois tem uma das melhores relações entre total de clínquer e total de cimento produzidos, com índice da ordem de 60% a 70%.*

## 3. Como reduzir consumo de recursos naturais sem prejudicar desenvolvimento e qualidade de vida?



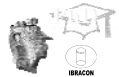
- Aperfeiçoar o processo de transformação das montanhas de granito, calcário, basalto e solos inférteis em saúde, transporte, educação, moradia e qualidade de vida;
- Reaproveitar água de lavagem dos agregados e das caçambas (balão) dos caminhões;
- Captar água de chuva nas Centrais;
- Reduzir consumo de água nos concretos e argamassas

## Recursos Naturais

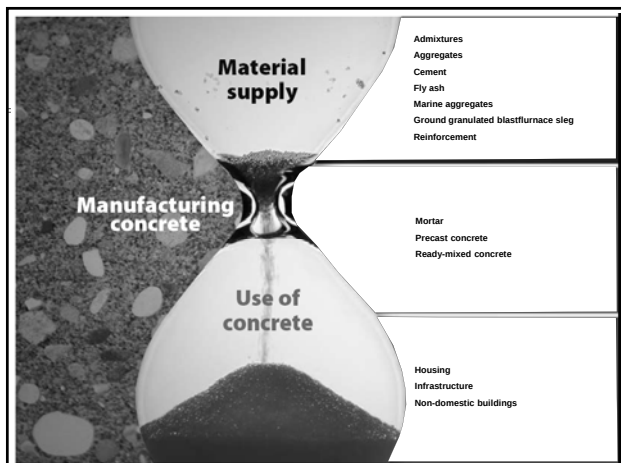


- A produção de 1t de Clínquer Portland requer 1,6t de matéria prima.
- A produção de 1t de concreto requer 0,5t de agregados e 0,2t de água limpa.

## As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



Como caminhar em direção à  
“sustentabilidade”  
nas estruturas de concreto?



## 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

20

## Desperdício



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



Direitos Reservados 2009

21

## 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

22

## 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

23

## Centro Empresarial Nações Unidas



Direitos Reservados 2009

24



## 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*

27

## 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**

28

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

# Empregando concreto de alta resistência HSC

29

## As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

- CO<sub>2</sub>?
- Energia?
- Recursos naturais?
- Vida Útil?

*(Life Cycle Analysis)*

30

## As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



### Pilar para 500t

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

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

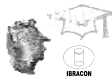
Considerando um pilar central típico de um edifício de 20 andares secção quadrada, 3m de altura, armadura principal



Força normal característica = 500 tf

| $f_{ck}$ (MPa) | taxa de armadura (%)<br>→ total do pilar | secção (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      |

## As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



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

Cimento = 280 kg/m<sup>3</sup>

Areia = 845 kg/m<sup>3</sup>

Brita = 1036 kg/m<sup>3</sup>

Água = 210 kg/m<sup>3</sup>

## As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade



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

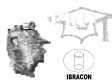
Cimento = 420 kg/m<sup>3</sup>

Areia = 801 kg/m<sup>3</sup>

Brita = 1010 kg/m<sup>3</sup>

Água = 160 kg/m<sup>3</sup>

## Emissões gasosas e energia consumida



| Material                                          | NOx<br>(kg/t) | CO <sub>2</sub><br>(kg/t) | GWP<br>(kg/t) | Energia consumida<br>(kWh/t) |
|---------------------------------------------------|---------------|---------------------------|---------------|------------------------------|
| Clinker Portland<br>(≈ CP I)                      | 1,85          | 855                       | 1447<br>(880) | 998                          |
| ferro gusa (minério)<br>CA 50 & CA 60<br>(sucata) | 4,43          | 1588<br>380               | 3006<br>719   | 5.060<br>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.

## Concreto estrutural $f_{ck}$ 20MPa



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

## Concreto estrutural $f_{ck}$ 50 MPa

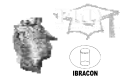


|                                                                               | Para 1 m <sup>3</sup> | GWP<br>kg/t | GWP<br>kg/m <sup>3</sup> | Energia<br>kWh/m <sup>3</sup> |
|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------|-------------|--------------------------|-------------------------------|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

Direitos Reservados 2009

37

## 1 m<sup>3</sup> de Concreto estrutural



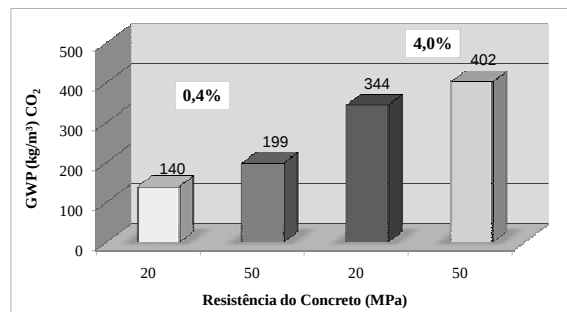
| Material        | Tipo   | $f_{ck}$<br>MPa | GWP<br>kg/m <sup>3</sup> | Energia<br>kWh/m <sup>3</sup> |
|-----------------|--------|-----------------|--------------------------|-------------------------------|
| concreto armado | CP I   | 20              | 428 / 631                | 933 / 6636                    |
| 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

38

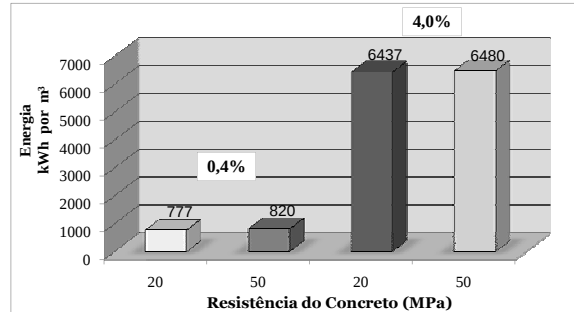
## 1 m<sup>3</sup> de concreto estrutural com CP III 40



Direitos Reservados 2009

39

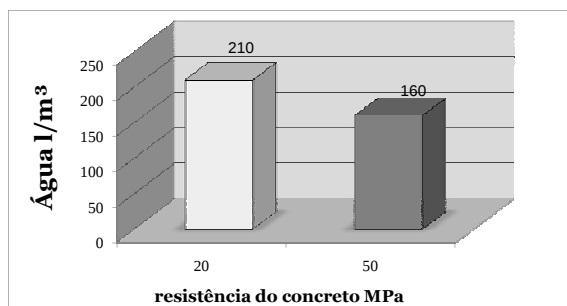
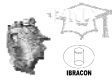
## 1 m<sup>3</sup> de concreto estrutural com CP III 40



Direitos Reservados 2009

40

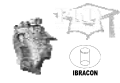
## 1 m<sup>3</sup> de concreto estrutural com qualquer cimento



Direitos Reservados 2009

41

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



| Material        | $f_{ck}$<br>MPa | seção<br>cm | energia<br>kWh | GWP<br>kg |
|-----------------|-----------------|-------------|----------------|-----------|
| concreto armado | 20              | 72x72       | 1208           | 218       |
| concreto armado | 50              | 50x50       | 615            | 149       |

Direitos Reservados 2009

42

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

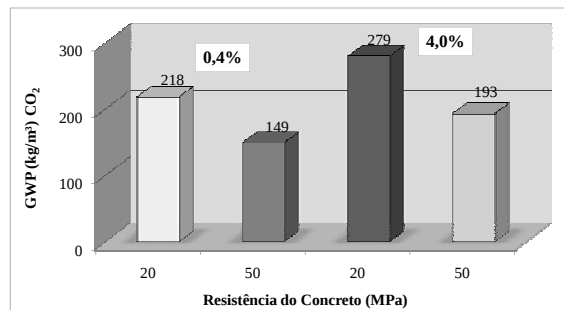


| Material        | $f_{ck}$ | Seção | energia | GWP |
|-----------------|----------|-------|---------|-----|
|                 | MPa      | cm    | kWh     | kg  |
| concreto armado | 20       | 52x52 | 5221    | 279 |
| concreto armado | 50       | 40x40 | 3110    | 193 |

Direitos Reservados 2009

43

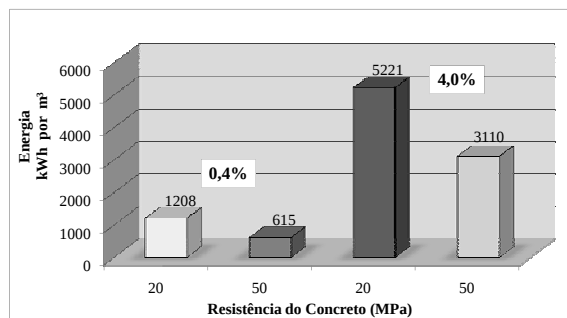
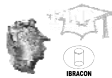
### Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf com CP III



Direitos Reservados 2009

44

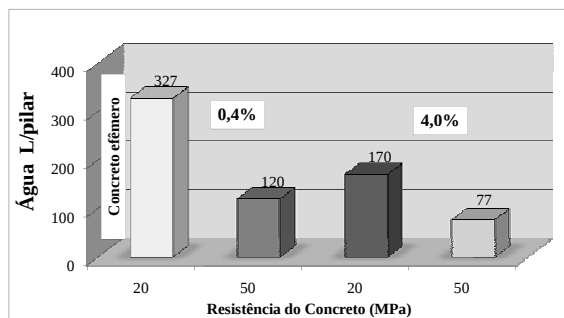
### Pilar com 3m de altura, seção quadrada, 500tf com CP III



Direitos Reservados 2009

45

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



Direitos Reservados 2009

46



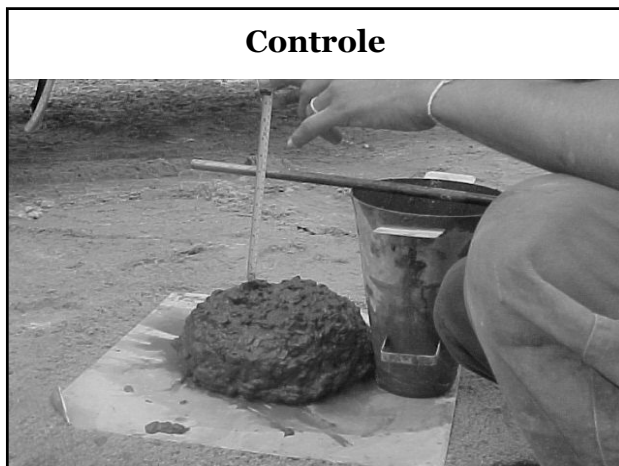
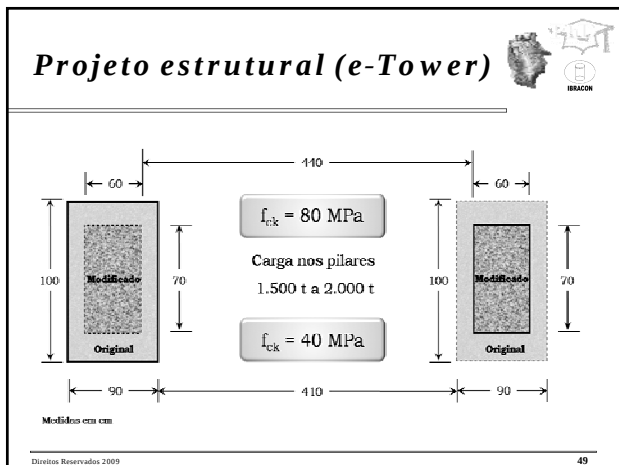
### e-Tower

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



Direitos Reservados 2009

48



### Economia de Recursos Naturais

Original:  
 $f_{ck} = 40 \text{ MPa}$   
seção transversal  $\rightarrow 90 \text{ cm} \times 100 \text{ cm}$

0,90m<sup>2</sup>

HPC / HSC:  
 $f_{ck} = 80 \text{ MPa}$   
seção transversal  $\rightarrow 60 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$

0,42m<sup>2</sup>

IBRACON

53

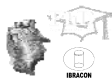
### Sustentabilidade

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

IBRACON

54

## 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

55

## Pontos para Discussão



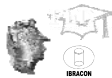
1. Índice de "sustentabilidade" do concreto?
  - GHG/GW; kWh; Água; por kg → furado! demonstrado.
  - GHG/GW; kWh; Água; por m<sup>3</sup> → furado! demonstrado.
  - GHG/GWP; kWh; Água: por (m<sup>3</sup>.MPa) ou por (Mg.MPa)

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

Direitos Reservados 2009

56

## Pontos para Discussão



1. Índice de "sustentabilidade" do concreto?
  - GHG/GW; kWh; Água; por kg → furado! demonstrado.
  - GHG/GW; kWh; Água; por m<sup>3</sup> → furado! demonstrado.
  - GHG/GWP; kWh; Água: por (m<sup>3</sup>.MPa) ou por (Mg.MPa)

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

58%

Direitos Reservados 2009

57

## 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

58

## Pontos para Discussão



1. Fixar um concreto de referência?  
20MPa; CP I; Slump 100mm; brita 2; sem aditivo
2. Fixar uma estrutura de referência: pilar, uma viga, uma laje?
3. Fazer a análise completa com formas, aço, espaços, reaproveitamentos, etc.?

Direitos Reservados 2009

59

## Beleza Segurança Durabilidade



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

- Ser reciclável
- Incorporar os rejeitos industriais
- Confinar materiais perigosos
- Fixar gás carbônico CO<sub>2</sub>

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



