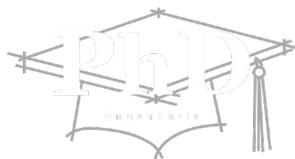


Sustentabilidade Aplicada às Estruturas de Concreto



"do Laboratório de Pesquisa ao Canteiro de Obras"

Carlos Brites
Jéssika Pacheco
Paulo Helene

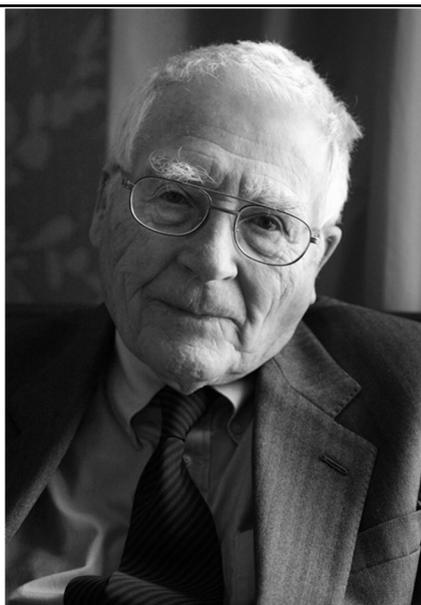
Diretor PhD Engenharia
Conselheiro Permanente IBRACON
Presidente ALCONPAT Internacional
Prof. Titular Universidade de São Paulo
Member fib(CEB-FIP) Service Life of Concrete Structures

Auditório Sede Rio Verde

18 de maio de 2012

Limeira. São Paulo.SP

1



James Ephraim Lovelock (1919)

Lovelock é um pesquisador independente e ambientalista que vive na Cornualha no oeste da Inglaterra.

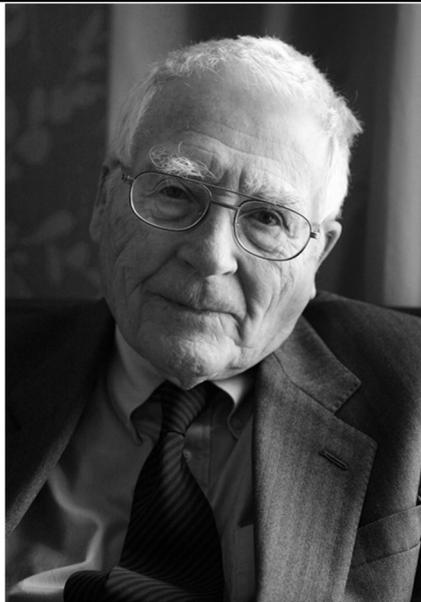
A *hipótese de Gaia* foi sugerida por Lovelock, para explicar o comportamento sistêmico do planeta Terra. A Terra é vista, nesta teoria, como um *superorganismo*.

Lovelock inventou muitos instrumentos científicos utilizados pela NASA para análise de atmosferas extraterrestres e superfície de planetas.

Em 1958 inventou o *Detector de Captura de Elétrons*, que auxiliou nas descobertas sobre a persistência do CFC e seu papel no empobrecimento da camada de ozônio.

Em 2004 Lovelock surpreendeu os ambientalistas ao afirmar que "*só a energia nuclear pode deter o aquecimento global*".

2



James Ephraim Lovelock (1919)

Considerado um dos Pais da *Teoria do Aquecimento Global*, agora volta atrás e se arrepende considerando que estava equivocado e que agiu de forma alarmista.

Em outras palavras o **CO₂** não é mais bandido e a *Revolução Industrial* não destruirá a humanidade...

3

- ❖ Está escrevendo um novo livro, que comporá uma trilogia com *“Revenge of Gaia: Why the Earth Is Fighting Back - and How We Can Still Save Humanity”* e *“The Vanishing Face of Gaia: A Final Warning: Enjoy It While You Can”*.
- ❖ No novo trabalho, mais otimista, registra a sua mudança de opinião: *“O problema é que não sabemos o que o clima está fazendo. A gente achava que sabia há 20 anos. Isso levou a alguns livros alarmistas — o meu inclusive — porque aquilo parecia claro, mas não aconteceu”*.
- ❖ *“O clima está fazendo suas trapaças de sempre. De fato, nada está acontecendo ainda. Nós deveríamos estar a meio caminho da frigideira. O mundo não aqueceu desde o começo do milênio. A temperatura se mantém constante, quando deveria estar crescendo. O dióxido de carbono está crescendo, sobre isso não há dúvida mas ainda não houve consequências claras”*.
- ❖ Ele registra ainda que os filmes *“Uma Verdade Inconveniente”*, de Al Gore, e *“The Weather Makers”*, de Tim Flannery são também alarmistas.

4

Falácia do Aquecimento Global

- ✓ <http://veja.abril.com.br/blog/reinaldo/geral/guia-espiritual-da-turma-do-%E2%80%9Caquecimento-global%E2%80%9D-confessa-era-alarmismo-leia-dilma-antes-de-se-submeter-a-patrolha-no-caso-do-codigo-florestal>
- ✓ <http://programadojo.globo.com/videos/v/o-aquecimento-global-e-uma-mentira-e-o-que-afirma-o-climatologista-ricardo-augusto/1930554/>
- ✓ <http://video.google.com/videoplay?docid=-3309910462407994295#>
- ✓ http://www.youtube.com/watch?v=ZiuDo1_ct1g&feature=related
- ✓ <http://www.youtube.com/watch?v=Pqz4yMzbwFO&feature=related>
- ✓ <http://www.youtube.com/watch?v=mcJVoaSWgSY>

5

La construcción sostenible en el Brasil

Trípode de la sostenibilidad



6

ACI / ISO / ASHRAE.USGBC.IES /

Concrete Sustainability. *Forum I, 2009; Forum II, 2010; Forum III, 2011 e Forum IV, 2012*

“reducir volumen and reducir CO₂”

“concreto es un material regional y como tal debe ser tratado”

ISO TC 71/SC 8. Environmental Management for Concrete and Concrete Structures

ISO 13315-1: General Principles

ISO 13315-2: System Boundary and Inventory Data

ISO 13315-3: Constituents and Concrete Production

ISO 13315-4: Environmental Design of Concrete Structures

ISO 13315-5: Execution of Concrete Structures

ISO 13315-6: Use of Concrete Structures

ISO 13315-7: End of Life including Recycling

ISO 13315-8: Labels and Declaration

7

ACI / ISO / ASHRAE.USGBC.IES /

ISO TC 59/SC 17. Sustainability in Building and Civil Engineering Works

ISO 21929-2: Sustainability Indicators (energy, materials, water and land)

ISO TC 207. Environmental Management

8

ACI / ISO / ASHRAE.USGBC.IES /

ACI Committee 130. Sustainability of Concrete

130-A: Materials

130-B: Production, Transportation, Construction

130-C: Structures in Service

130-D: Rating Systems / Sustainability Tools

130-E: Design / Specifications / Codes / Regulationd

130-F: Social Issues;

130-G: Education / Certification

U.S. Green Concrete Council. Sustainable Concrete Guide.
Strategies ans Examples. Applications

9

ACI / ISO / ASHRAE.USGBC.IES /

ASHRAE / USGBC / IES Standard 189.1 High-Performance Green
Buidings:

the International Green Construction Guide (IGCC)

CALGreen.

Reducir 10% Energy and 5% compare other solution

Six impact categories:

Clima

Ozonio

Fumaça

Acidificação

Eutrophication

Redução do consumo petróleo

Analisar 2 projetos e escolher um com 10% menos

10

ACI / ISO / ASHRAE.USGBC.IES /

Institute for Sustainable Infrastructure, Inc.™ (ISI™) envision™ Sustainability Rating System

ISI → Institute for Sustainable Infrastructure

ISI's rating system for civil infrastructure Envision™.eo

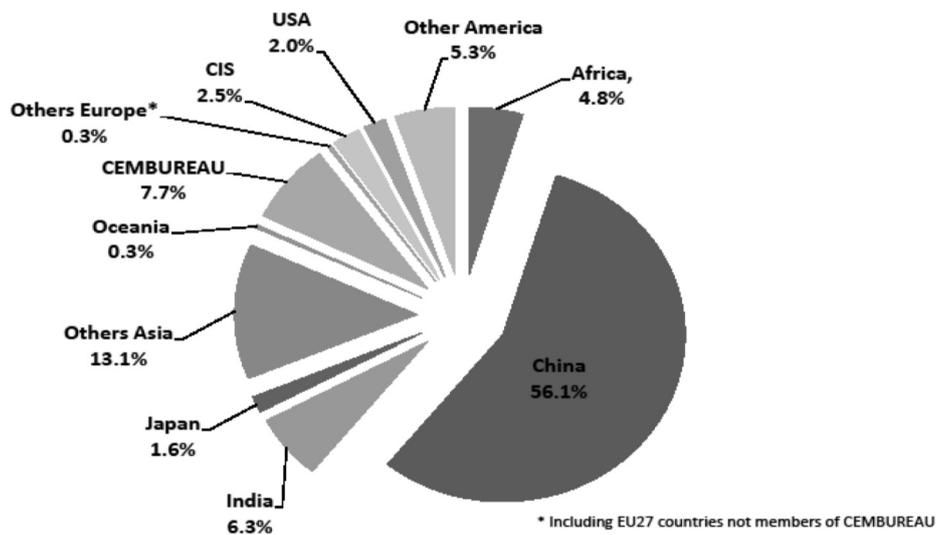
Analisar 2 projetos e escolher um com 10% menos
Score system, rating tools. Refere-se ao LEED.

Obayashi Corporation in Japan:
Redução de 280kg CO₂/m³ para 50kgCO₂/m³
Para 36MPa com 15% de cimento + 65 escoria + 17,5 de fly ash
e sílica fume

11

O Concreto em 2010

World cement production 2010, by region and main countries
3.3 billion tonnes



12

O Concreto em 2010

3,3 bilhões de t de cimento
60% para concreto
2 bilhões de t de cimento
320kg/m³
6,2 bilhões de m³
16 bilhões de t
4 bilhões de m³ de agregado
1,2 trilhões de litros de água

13

PANORAMA DA INDÚSTRIA DE CIMENTO

Distribuição das fábricas

- 12 grupos industriais
- 71 fábricas
 - 47 fábricas completas
 - 24 moagens
- Produção Nacional:
2011 → 67 Mt/ano



Fonte: SNIC, 2010

14

O Concreto, no Brasil, em 2011

67 milhões de t de cimento
60% para concreto
40 milhões de t de cimento
320kg/m³
124 milhões de m³
301 milhões de t
75 milhões de m³ de agregado
23 bilhões de litros de água

15

O Concreto

Estima-se que 6% do total de gases estufa do planeta sejam decorrentes da produção de clínquer de cimento Portland e que a Construção Civil no geral seja responsável por 20% do total de emissões, sendo a principal no consumo de recursos naturais não renováveis.

16

Análise de Eco Eficiência

- ✓ Consumo de energia
- ✓ Emissões de gases estufa
- ✓ Contaminação do solo e água
- ✓ Grau de toxidez
- ✓ Consumo de matéria prima
- ✓ Uso do espaço urbano
- ✓ Risco de acidentes

17

Relatório de Sustentabilidade ROSSI 2010



Sustentabilidade.xps

**Membro Fundador do
U.S. Green Building Council Brasil
Categoria Platinum**

18

BASF → Green Sense Concrete

The Technology Green SenseSM Concrete, introduces a revolutionary advanced concrete mixture proportioning service that achieves new levels of performance, economics and sustainability.

Green Sense Concrete is an environmentally-friendly, cost-effective concrete with optimized proportions in which supplementary cementitious materials, non-cementitious fillers, or both, are used with special Master Builders brand Glenium[®] high-range water-reducing admixtures and/or RheoTEC[™] Z-60 workability-retaining admixture to meet or exceed performance targets.

Green Sense Concrete is a new concrete that, relative to a baseline reference mix, attains desired setting characteristics, strength, durability, and if needed, a higher slump at a reduced cost to the producer.

The innovative Green Sense Concrete allows producers to increase their profitability, provide the contractor with a user-friendly mix that pumps and places efficiently, increases the service-life of structures, and offers the opportunity to positively influence the environment.

19

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

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

- CISC → UK Concrete Industry Sustainable Construction Forum
- 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

20

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

O que é LEED?

(Leadership in Energy and Environmental Design)

Certificação para edifícios sustentáveis criada e concedida pela ONG norte-americana *U.S. Green Building Council (USGBC)*, no Brasil essa certificação é feita pelo Green Building Council Brasil.



21

LEED

O objetivo do sistema é reduzir a pegada de carbono do “ambiente construído” e criar um sistema competitivo para a eficiência de edifícios, recompensando a prática de melhor design, construção e manutenção e criando um mercado de produtos mais sustentáveis para o setor construtivo.

A última versão do LEED também inclui Créditos Regionais que permite a tropicalização, ou a adequação do sistema, para qualquer lugar ou clima do mundo.

E por ser um sistema de certificação documentado online isto também permite o crescimento e a adoção internacional do LEED, criando um padrão mundial de fato para construções sustentáveis.

Aplica-se a obras novas de edificações comerciais ou habitacionais, obras industriais, edifícios escolares, edifícios existentes, focando projeto e construção, projeto de interiores, operação e manutenção (uso).

Para mais informações sobre o LEED no Brasil consultar o GBC Brasil.

22

LEED

Leadership in Energy and Environmental Design

Liderança em Energia e Projeto Ambiental)

É um sistema de pontuação desenvolvido pelo USGBC (Estados Unidos Green Building Council dos EUA) para medir o desempenho ambiental de design, construção e manutenção de edifícios.

O sistema é usado para comparar o desempenho ambiental entre um edifício e outro pela soma de créditos de 1-110.

Os quatro níveis de certificação e pontuação são:

Certified	→ 40-49 créditos
Silver	→ 50-59 créditos
Gold	→ 60-79 créditos
Platinum	→ 80-110 créditos

23

Green Building Design & Construction (BD&C)					
Category	PREVIOUS LEED-NC v.2.2		NEW 2009 LEED-BD&C v3*		CHANGE
	Prerequisites	Credits	Prerequisites	Credits	
Sustainable Sites	1	14	1	26	+12 credits
Water Efficiency	-	5	1	10	+1 prereq.; +5 credits
Energy & Atmosphere	3	17	3	35	+18 credits
Materials & Resources	2	13	2	14	+1 credit
Indoor Environmental Quality	3	15	3	15	no change
Innovation in Design	-	5	-	6	+1 extra credit
Regional Priority	-	-	-	4	+4 extra credit
Total Points	9	69	10	100 + 10	

*Point structure is shown for LEED for New Construction and Major Renovations. LEED for Core & Shell and LEED for Schools point structures vary.

Green Interior Design & Construction (ID&C)					
Category	PREVIOUS LEED-CI v.2.0		NEW 2009 LEED-ID&C v3		CHANGE
	Prerequisites	Credits	Prerequisites	Credits	
Sustainable Sites	-	7	-	21	+14 credits
Water Efficiency	-	2	1	11	+1 prereq.; +9 credits
Energy & Atmosphere	3	12	3	37	+25 credits
Materials & Resources	1	14	1	14	no change
Indoor Environmental Quality	2	17	2	17	no change
Innovation in Design	-	5	-	6	+1 extra credit
Regional Priority	-	-	-	4	+4 extra credit
Total Points	6	57	7	100 + 10	

Green Building Operations & Maintenance (O&M)					
Category	PREVIOUS LEED-EBOM v.2.0		NEW 2009 LEED-O&M v3		CHANGE
	Prerequisites	Credits	Prerequisites	Credits	
Sustainable Sites	-	12	-	26	+14 credits
Water Efficiency	1	10	1	14	+4 credits
Energy & Atmosphere	3	30	3	35	+5 credits
Materials & Resources	2	14	2	10	-4 credits
Indoor Environmental Quality	3	19	3	15	-4 credits
Innovation in Design	-	5	-	6	+1 extra credit
Regional Priority	-	-	-	4	+4 extra credit
Total Points	9	90	7	100 + 10	

24

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

Alguns Empreendimentos com certificação *LEED* no Brasil:



f_{ck} de projeto: 50MPA
Utilização de Protensão para redução de dimensões da estrutura.

Rochaverá Corporate Towers
São Paulo/SP

25

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

Alguns Empreendimentos com certificação *LEED* no Brasil:



f_{ck} de projeto: 50MPA
Utilização de Protensão para redução de dimensões da estrutura.

Ventura Corporate Towers
Rio de Janeiro/RJ

26

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

Alguns Empreendimentos com certificação *LEED* no
Brasil:



f_{ck} de projeto: 50MPa

Eldorado Business Tower
São Paulo/SP

27

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil

Porque controla o edifício e não a estrutura ou
a construção?

*É concedido conforme os critérios de racionalização global
dos recursos do edifício (energia, água, meio ambiente, etc.)*

*São avaliadas as fases de projeto
arquitetônico, construção e de
utilização da edificação em toda sua
vida útil.*

28

Como o Concreto pode Contribuir?

LEED Credit Contribution Potential

May contribute to earning LEED credits in the category:

Credit 1.1 → Innovation and Design, desde que cimento $\leq 0,6^*C$

Credit 4.1 → Recycled Content, 10% (um ponto)

Credit 4.2 → Recycled Content, 20% (dois pontos)

Credit 5.1 e 5.2 → Materials and Resources category, if materials used in the mixture are extracted or produced within 500 miles of the project site (um ponto para 10% e dois pontos para 20%)

29

Edificação - Emissões de GWP (CO₂)

Visão holística:

Vida Útil funcional;

Vida Útil econômica;

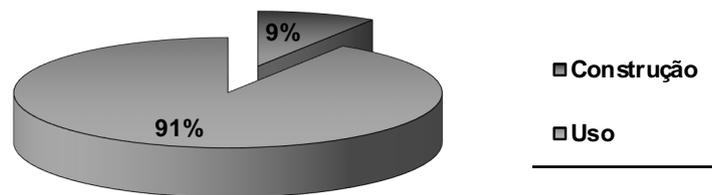
Vida Útil técnica

Considerando uma vida útil de 50 anos para uma habitação de classe média estima-se:

30

Edificação - Emissões de GWP

Visão holística: *operação e uso*



31

Construção Civil

tempo – custo – qualidade (trinômio clássico)

- PRODUÇÃO → pós-guerra
- CAMINHO CRÍTICO → anos 60
- DESEMPENHO → anos 70, ISO 6241
- QUALIDADE → anos 80, ISO 9000
- Gestão AMBIENTAL → anos 90, ISO 14000
- VIDA ÚTIL → anos 00, ISO 15686
- Produtividade, Re-engenharia, Lean Construction (*Toyota Production System*), Life Cycle Cost, Life Cycle Analysis, Life Cycle Assessment, Inovação Tecnológica
- SUSTENTABILIDADE → 2005

32

Por que tantas “palavras de ordem” ?

- ✓ criar novos desafios;
- ✓ impulsionar o conhecimento;
- ✓ alcançar o desenvolvimento;
- ✓ superar a inércia da acomodação.

→ *Maior aproveitamento dos países desenvolvidos.*

→ *Na Construção Civil e em especial o CONCRETO pode e tem acompanhado o movimento internacional*

33

Revolução Industrial 1750 ...

→ carvão 1750-1850; → petróleo; → nuclear, hidroelétrica, → gás, renovável

→ gerou inúmeros benefícios porém hoje há *quase* consenso sobre a necessidade de redução:

- do aquecimento global e
- do consumo de fontes de energia não renováveis

34

Cronologia da Sustentabilidade:

- 1972 → Clube de Roma
livro → “Limites do Crescimento”
- 1972 → “ONU Declaration on the Human Environment” *26 princípios*
- 1980 → “IUCN World Conservation Strategy”
introduziu o termo sustentabilidade
- 1987 → “ONU Brundtland Commission”
definiu o termo *sustentabilidade*

35

- 1992 → ECO 92 no Rio de Janeiro
→ “Agenda 21” *com 40 cap. 4 partes e 900 p.*
1. Sociais e Econômicos
 2. Conservação e Gestão dos Recursos
 3. Fortalecer Grupos Majoritários
 4. Meios de Implementação
- 1997 → Protocolo de Kyoto:
em 2020 emitir 6% menos gases estufa que em 1990 → países desenvolvidos

36

2012 → ECO 92 no Rio de Janeiro
→ “

37

Sustentabilidade

“...é o desenvolvimento que
atende as necessidades do
presente sem comprometer as do
futuro...”

Ambiental – Social - Econômica

38

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “*De Architectura*”

10 volumes → 800 anos como best - seller

Utilitas	(funcional)
Firmitas	(estável e durável)
Venustas	(bonita)

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

39

Arte e Ciência da Construção

Marcus Vitruvius Pollio (*Engenheiro / Arquiteto Romano*)

40 anos aC → “*De Architectura*”

Sustentável

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

40

Water consumption by Continent

Continent	Water Consumption Litres/day
North America	600
Europe	300
Africa	30

41

Concreto e Sustentabilidade

1. Sustentabilidade na construção civil

2. Concreto

 Materiais constitutivos

 Concreto com agregados reciclados

 Concreto auto-adensável SCC

 Concreto de elevada vida útil HPC

 Concreto de alta resistência HSC

42

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 da construção civil → precisa das estruturas de concreto

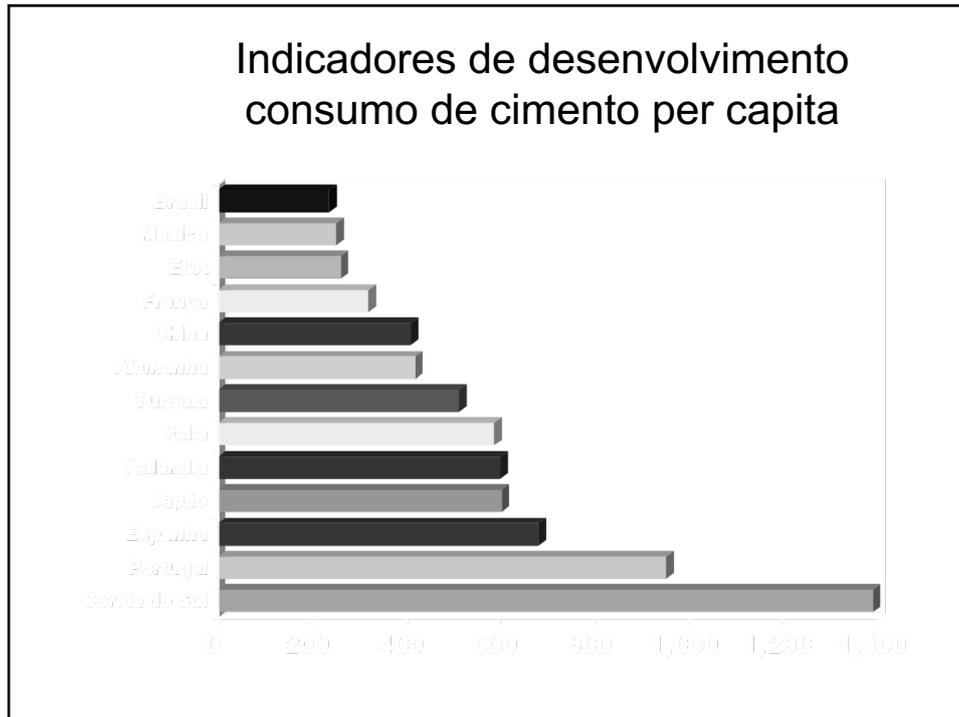
43

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 índice de degradação do meio ambiente?

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

44



45

**Como caminhar em direção
à SUSTENTABILIDADE
nas estruturas de concreto?**

46

Alternativas ou caminhos

1. atuar sobre os materiais
2. empregar agregados reciclados
3. empregar concreto auto-adensável
4. empregar concreto de elevada vida útil
5. empregar concreto de alta resistência

47

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

1. Atuando sobre os materiais constitutivos:

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

48

A INICIATIVA DE SUSTENTABILIDADE DO CIMENTO (WBCSD – CSI)

- 6 grupos no Brasil são membros do CSI, representando mais de 70% da produção nacional, com suas próprias metas específicas de redução para os próximos anos.



49

COMO MITIGAR AS EMISSÕES DE CO₂?

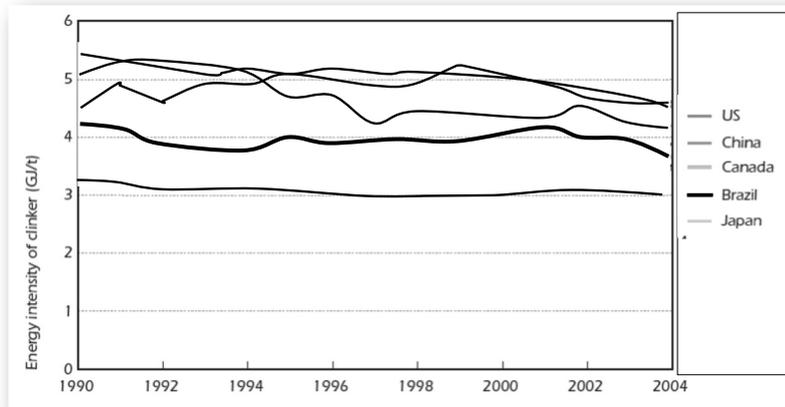
- Eficiência Energética
- Combustíveis alternativos
- Adições ao cimento
- Captura e armazenamento de carbono

WBCSD- CSI

50

ENERGIA

- Consumo de energia por tonelada de clínquer, incluindo combustíveis alternativos



Fonte: FICEM

51

Cimento sem Pó

- Nova tecnologia de cimento com aditivos que promove a eliminação do pó
- Contribui para eliminação do desperdício de material e, principalmente, impede a inalação do cimento (saúde)

52

Cimento sem Pó



53

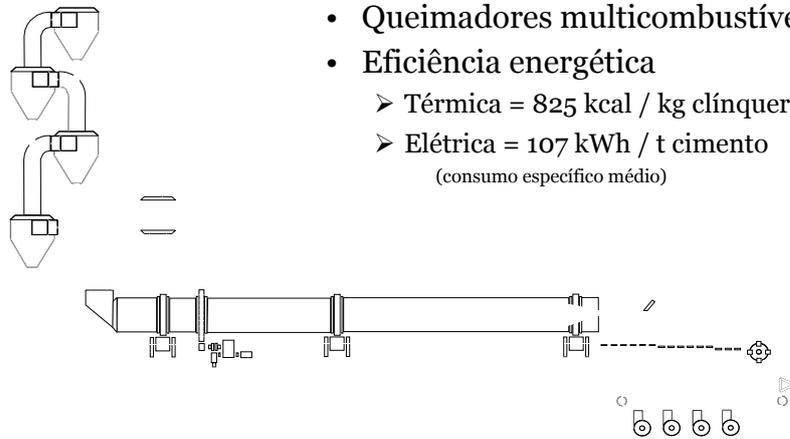
REDUZINDO
Consumo de Energia

CO-PROCESSAMENTO

54

Linha de produção moderna

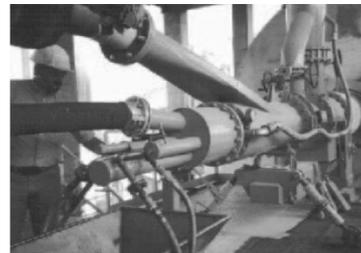
- 97% via seca
- Pré-aquecedor / pré-calcinador
- Queimadores multcombustíveis
- Eficiência energética
 - Térmica = 825 kcal / kg clínquer
 - Elétrica = 107 kWh / t cimento
(consumo específico médio)



55

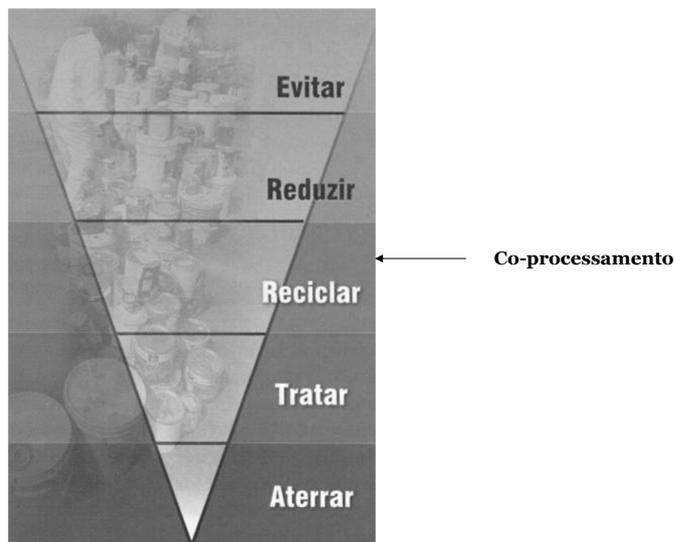
Maçarico multi-combustíveis

- Adaptação às alternativas de combustíveis disponíveis no mercado
- Canais para introdução de vários resíduos e combustíveis simultaneamente



56

Hierarquia da gestão de resíduos

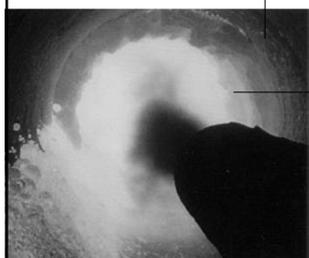


57

Volumes co-processados

1991 a 2003
~
1,6 milhão t

Atual
~
800 mil t / ano



Potencial da indústria
cimenteira nacional
~
1,5 milhão t resíduos/ano

58

COMBUSTÍVEIS ALTERNATIVOS

**Segundo o WBCSD – CSI, no estudo
“Getting the Numbers Right” (GNR):**

“Brazil is the leader in the use of biomass as substitute fuel, with 12% of total thermal energy generated. Adding 9% fossil waste, Brazil also replaces more than one fifth of fossil fuels with alternative fuels”.

59

**REDUZINDO
Consumo de Energia**

**INCORPORAÇÃO DE
REJEITOS INDUSTRIAIS**

60

atuando no processo →adições

- **ESCÓRIAS**
 - subproduto da fabricação do ferro gusa (siderurgia) → CP III (29% do CPI)
- **CINZAS VOLANTES (pozolanas)**
 - subproduto de usinas termo-elétricas → CP IV (49% do CP I)
- **FÍLER CALCÁRIOO → CP II**
 - - pó das pedreiras (82% do CP I)

61

justificativas para o uso das adições

- **TÉCNICAS:** melhoria de propriedades específicas
- **ECONÔMICAS:** redução de custos, diminuição do consumo energético
- **ECOLÓGICAS:** aproveitamento de resíduos poluidores
- **ESTRATÉGICAS:** preservação das jazidas

62

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

2. Empregando concretos com agregados reciclados a partir de entulho gerado por construções novas ou demolições

63

Agregados reciclados



- Reciclados de base cimentícia (concreto e argamassas)
- Reciclados de base cerâmicas (pisos, alvenarias)
- Substituição de 20% a 50% do agregado miúdo e graúdo sem prejuízo da resistência e da durabilidade

64

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil
Clarissa Rodriguez. Agregados reciclados.

concreto	$f_{c,28}$	C	E_{ci}
referência	30MPa	441	28GPa
50%	30MPa	439	27GPa
100%	30MPa	456	25GPa

65

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil
Clarissa Rodriguez. Agregados reciclados.

concreto	$f_{c,28}$	C	E_{ci}
referência	23MPa	350	23GPa
50%	20MPa	350	20GPa
100%	18MPa	350	19GPa

66

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil
Clarissa Rodriguez. Agregados reciclados.

concreto	$f_{c,28}$	C	E_{ci}
referência	26MPa	410	25GPa
50%	27MPa	425	25GPa
100%	28MPa	455	25GPa

67

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

**3. Empregando concreto auto-
adensável de elevado desempenho
SCC**

68



69

estudo comparativo



70

concreto
auto-adensável



concreto
vibrado

71

10 x produtividade

CC: moldagem e acabamento: 4,4min + 3,3min
n° de operários empregado: 5 (cinco)
caçamba (2), vibração (1) e acabamento (2)

0,870 homens-hora / m³ de concreto

CAA: moldagem e acabamento: 1,2min
n° de operários empregado: três (3)
caçamba (1) e acabamento (2)

0,081 h.h/ m³ de concreto

72



73

CAA ou 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

74

Como alcançar SUSTENTABILIDADE nas estruturas de concreto?

4. Empregando concreto de elevada vida útil

75

VIDA ÚTIL

...período de tempo durante o qual a estrutura mantém certas características mínimas de segurança, estética, estabilidade e funcionalidade, sem necessidade de intervenção não prevista...

76

...se a estrutura de concreto deteriora implica em novos consumos de materiais, energia, geração de entulho...

...interessa aumentar vida útil de projeto...

interação entre a estrutura e o meio ambiente

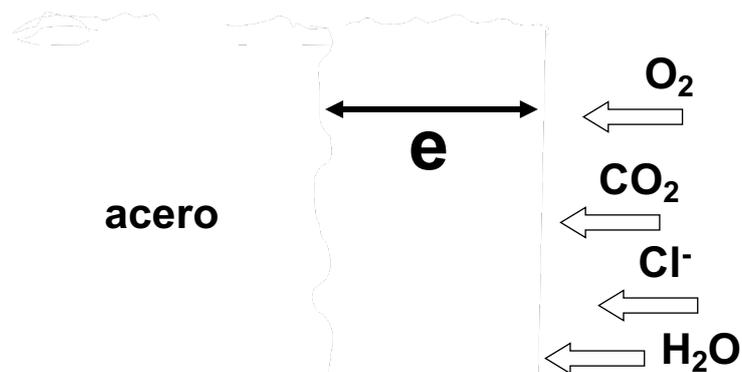
principal mecanismo deletério é a corrosão do aço

como reduzir risco de corrosão precoce?

77

Carbonatação

$$e = k \cdot \sqrt{t} \quad (\text{cm})$$



78

Carbonatação

$$t = \frac{e_{\text{CO}_2}^2}{k_{\text{CO}_2}^2} \quad (\text{año})$$

➤ $e_{\text{CO}_2} \rightarrow 1 \text{ a } 5 \text{ cm}$

➤ $k_{\text{CO}_2} \rightarrow 0.1 \text{ a } 1.0 \text{ cm/año}^{1/2}$

79

Carbonatação

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

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

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

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

80



**Centro
Empresarial
Nações
Unidas**

Torre Norte

**São Paulo
1997**

Altura 179 m

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

81

250 anos de garantia.

Quem precisa de segurança, tecnologia e confiabilidade, precisa da Engemix. Como o Método Engemix é preciso, quando foi usado a tecnologia foi usada para a Torre Norte do Centro Empresarial Nações Unidas, um ícone de 20m x 36m x 4m, correspondente a 2.820 m³ de concreto, lançado em 23 dias consecutivos. Com a utilização de 360 toneladas de gelo para controlar a temperatura do concreto, volume equivalente a um iceberg de 4m x 4m x 20m. Ou seja, a Engemix usa tecnologia para a construção de um ícone de 20m x 36m x 4m, com 25.000 m³ de CAD, o produto de alto desempenho. Tecnologia que vai além do concreto, por regularidade e resistência como um dos grandes exemplos de aplicação do CAD, a mais nova tecnologia em sistemas de concretagem, mesmo no 1º estágio, a mais utilizada no CAD no Brasil, e não deixa de ser o tipo de problema pela próxima 250 anos, ou até 2045, segundo pesquisas e estudos realizados por consultores e técnicos especializados para o desenvolvimento e validação de obras importantes.

É a construção, ao longo da história da humanidade, o registro brasileiro de lançamento de concreto em altura 156 metros.

Em menos de 4 horas, foram concretadas quase 90 m³ de concreto. Com 30 MPa, foram de lançamento de concreto que suportam carga de 3 m² de concreto em área de lançamento, equivalentes a 75 toneladas.

O resultado é que hoje o Centro Empresarial Nações Unidas também usa tecnologia Engemix. Tecnologia de concretagem inovadora, de tecnologia projetada para controlar a temperatura, adaptar o concreto para a realidade da competição da Engemix. Que garante, ao empreendimento, não apenas redução de custos, mas também diminuição do tempo de concretagem, otimização das pesquisas dos especialistas, redução de risco do concreto na aplicação, otimização da resistência e da característica do concreto na forma.

Quem precisa de solução segura em concretagem não nome marca, Chama a Engemix.

CONCRETO ENGEMIX

82

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

83

Vida Útil

- 1.Funcional (arquitetura)*
- 2.Econômica (economista)*
- 3.Técnica (Engenharia)*

84

Panteão
de
Roma



85

Cúpula do Panteão
Século II dC → Diâmetro de 44m



86

**Como alcançar SUSTENTABILIDADE
nas estruturas de concreto?**

5. Empregando concreto de alta resistência HSC

87

**Projetar e Construir
*obras lindas, funcionais,
resistentes e duráveis*, levando
em conta os princípios de
sustentabilidade**

88

**O Concreto e a Sustentabilidade na
Construção Civil**

Consumo de recursos naturais

10 ton/hab.ano

países desenvolvidos 45 – 85 ton/hab.ano

89

**O Concreto em 2010
(sustentabilidade)**

- ✓ produção e transporte de matérias primas
- ✓ produção de concreto
- ✓ transporte de concreto de central
- ✓ transporte de pre moldados
- ✓ execução da estrutura
- ✓ vida útil
- ✓ operação e uso da estrutura
- ✓ demolição
- ✓ reciclagem

90

O Concreto em 2010 (sustentabilidade)

- ✓ produção e transporte de matérias primas
- ✓ **produção de concreto**
- ✓ transporte de concreto de central
- ✓ transporte de pre moldados
- ✓ **execução da estrutura**
- ✓ vida útil da estrutura
- ✓ operação e uso da estrutura
- ✓ demolição
- ✓ reciclagem

91

O Concreto em 2010 → UK 1. resíduos

- ✓ consumiu 1.300.000 de t de resíduos
- ✓ gerou (6%) 83.000 de t de resíduos
- ✓ aditivo gera < 1kg/t
- ✓ pre moldado gera < 5kg/t
- ✓ cimento gera < 9kg/t
- ✓ concreto central gera < 10kg/t
- ✓ concreto in loco gera > 40kg/t

92

O Concreto em 2010 → Brasil

1. resíduos

CBC2010 52º IBRACON

*Implantação de modelo sustentável para centrais dosadoras de concreto
(programa de Perda Zero)*

Luiz de Brito Prado Vieira

Engemix/Votorantim

Princípio: usar aditivos para controlar pega

Lavagem do balão gerava 100kg de resíduo e consumia 800L de água

Após o piloto, previa-se que o PPZ iria economizar R\$

1,45/m³ em reaproveitamento de matérias-primas, em 2009 a

economia foi em R\$ 2,23/m³, e em 2010, com todas as filiais

capacitadas no projeto, a economia hoje é de R\$ 3,03/m³ o

que em massa monetária representa para a Engemix um

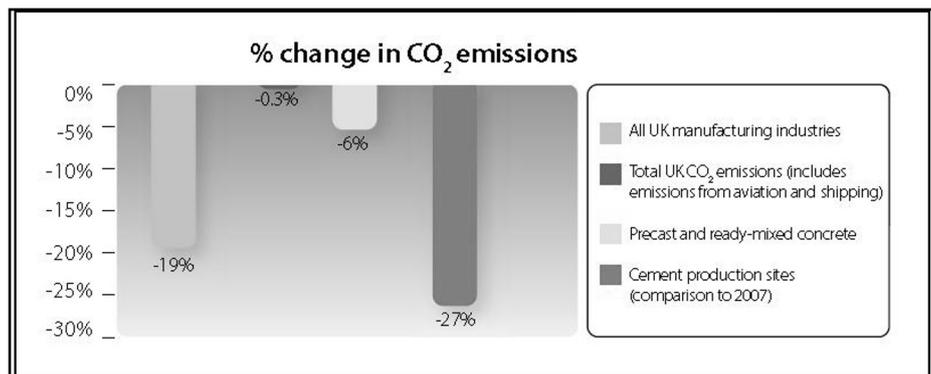
pouco mais que R\$ 11 milhões/ano.

93

O Concreto em 2010 → UK

2. emissão de CO₂

- ✓ 85% do CO₂ decorreu do clínquer
- ✓ 15% do CO₂
- ✓ de 1990 a 2010 reduziu CO₂ em 27%



94

2º INVENTÁRIO NACIONAL DE GASES DE EFEITO ESTUFA

- O 2º Inventário Nacional de GEE foi feito em 2010

Indústria do cimento

Emissão média mundial 5%

Emissão média brasileira 1,1%

2,2%

16,5%

1,1%*

1,0%

Uso do Solo e

Trat. de Resíduos

Energia

Processos Industriais

Agropecuária

57,7%

21,9%

Brasil (2005): 2,2 Bi toneladas de CO₂

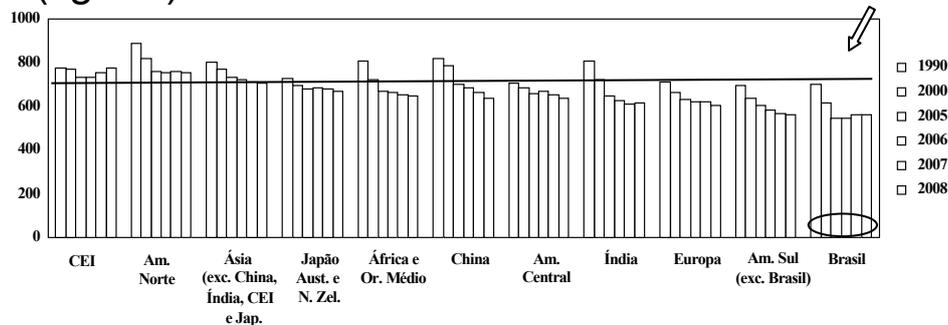
Fonte: MCT

(*) Resultado preliminar

95

EMISSÕES DE CO₂ DO CIMENTO (CSI)

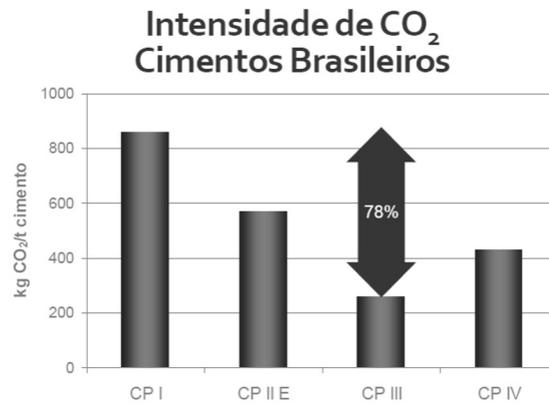
- Emissões de CO₂ por tonelada de cimento (kg/ton)



Fonte: CSI

96

O Concreto e a Sustentabilidade na Construção Civil



Carvalho, 2001



97

O Concreto em 2010 → UK

3. energia

Sector	Energy used
Aggregate	12.7 kWh/t ¹⁷
Fly ash	9.3 kWh/t ¹⁸
GGBS	238 kWh/t ¹⁹
Admixtures	2.500 kWh/t ²⁰
Cement	1.194 kWh/t ²¹
Ready-mixed	4.6 kWh/t
Precast	52.9 kWh/t

98

O Concreto em 2010 → UK

4. água

Sector	Water
Aggregate	48 L/t
Fly ash	0
GGBS	11 L/t
Admixtures	650 L/t
Cement	45 L/t
Ready-mixed	59 L/t
Precast	110 L/t

99

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).**

100

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. **construir mais com menos**

101



102



103



104

**As Estruturas de Concreto e a
Sustentabilidade**

- **CO₂?**
- **Energia?**
- **Recursos naturais?**
- **Vida Útil?**

(Life Cycle Analysis)

105

**As Estruturas de Concreto e a
Sustentabilidade**

Pilar para 500t

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

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

106

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

107

As Estruturas de Concreto e a Sustentabilidade

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

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

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

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

$$\text{Água} = 210 \text{ kg/m}^3$$

108

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

109

Emissões gasosas e energia consumida

Material	NO _x (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) CA 50 & CA 60 (sucata)	4,43	1588 380	3006 719	5.060 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.*

110

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	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			428 631	933 6636

111

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

112

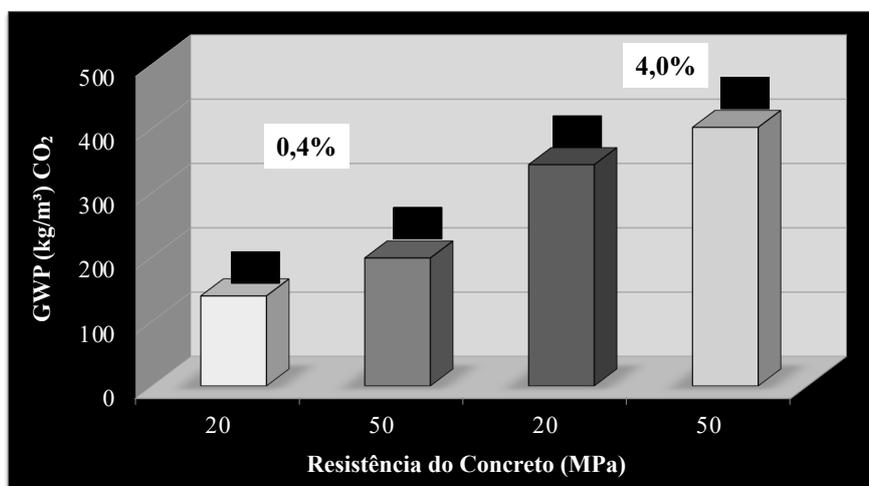
1 m³ de Concreto estrutural

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

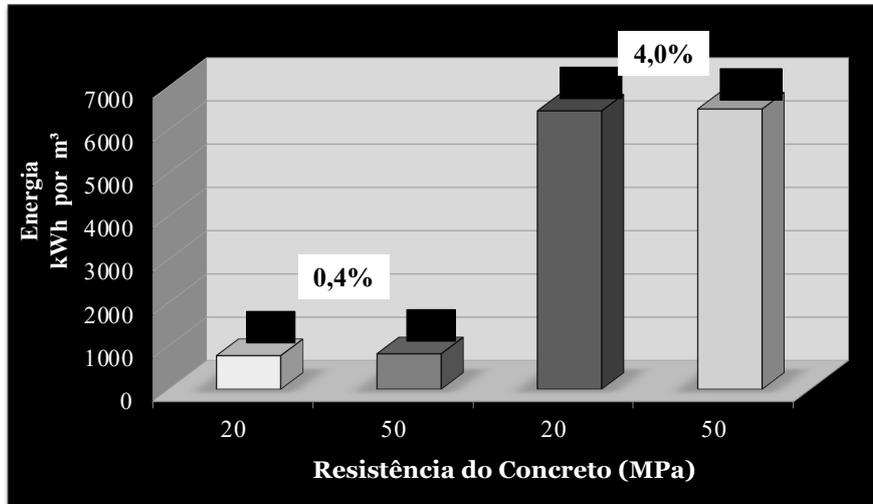
113

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40



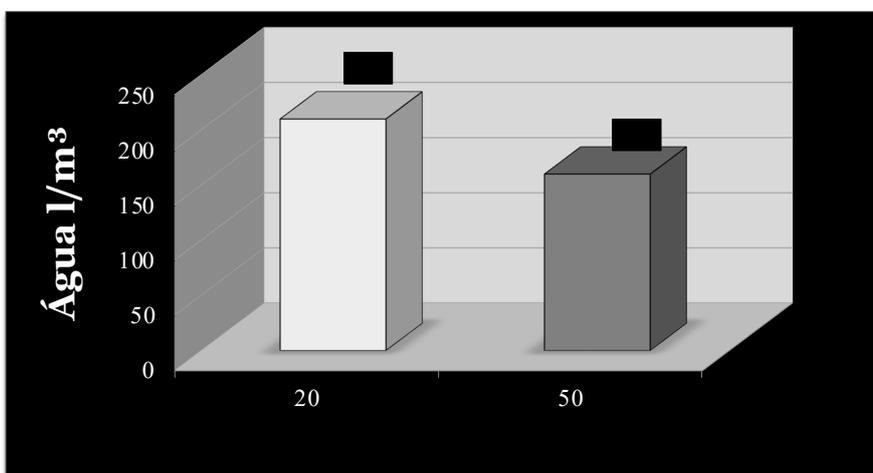
114

1 m³ de concreto estrutural com CP III 40



115

1 m³ de concreto estrutural com qualquer cimento



116

**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

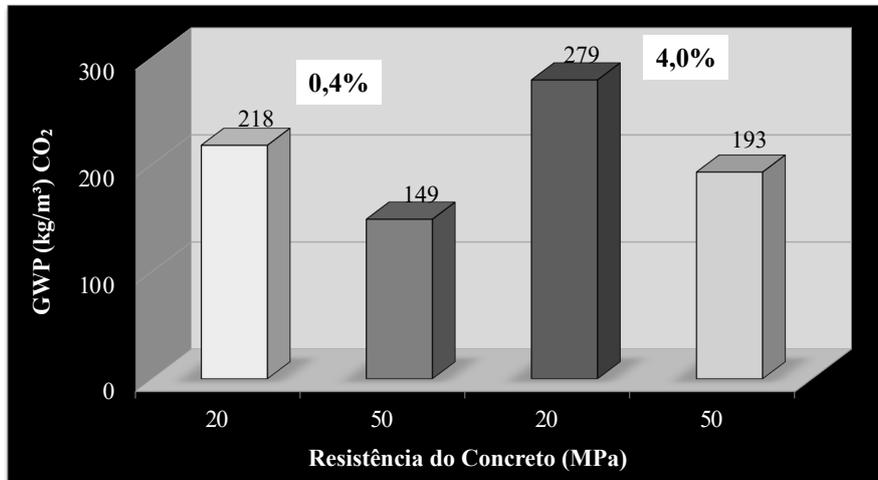
117

**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

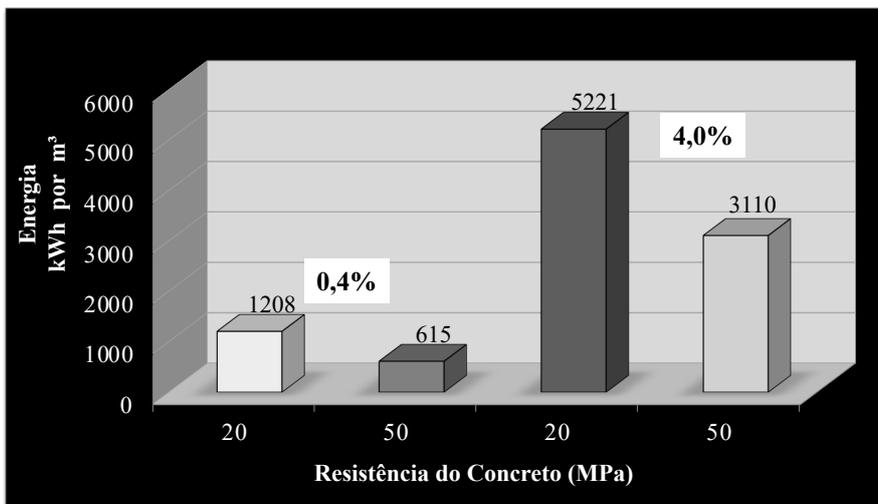
118

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



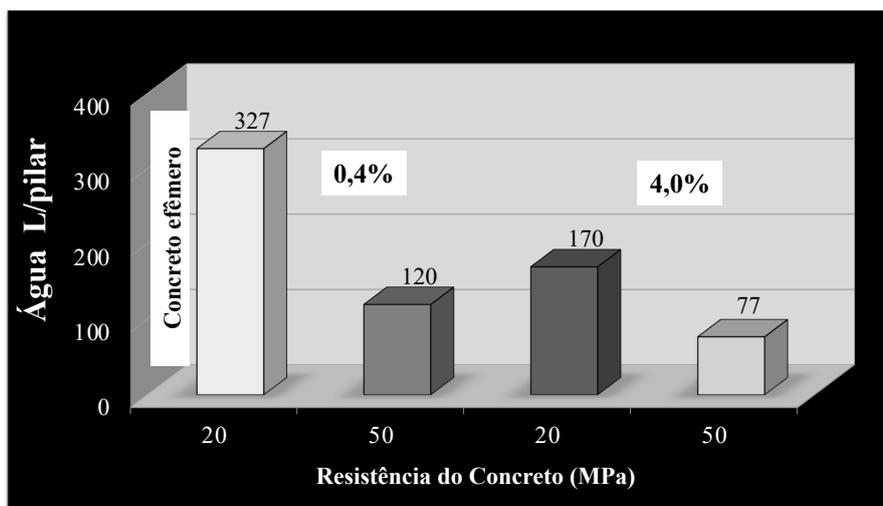
119

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



120

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



121



122

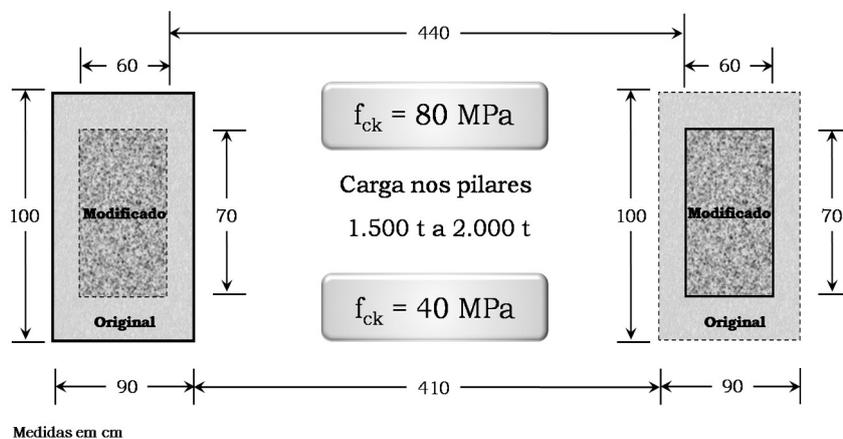
e-Tower

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



123

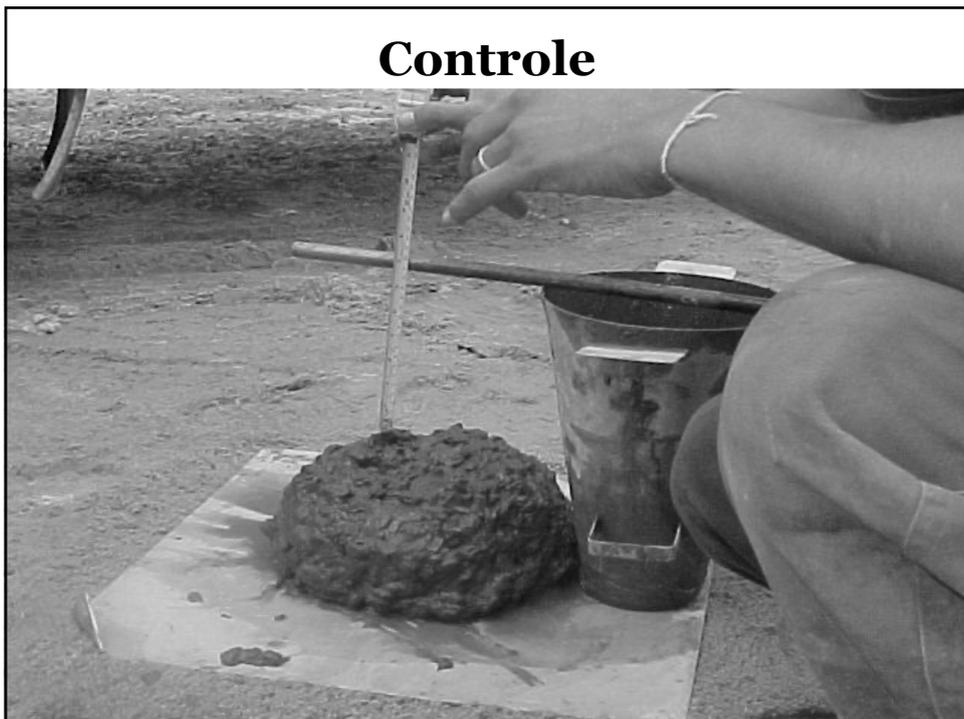
Projeto estrutural (e-Tower)



124



125



126



127

Economia de Recursos Naturais

Original:

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

seção transversal $\rightarrow 90\text{cm} \times 100\text{cm}$

$0,90\text{m}^2$

HPC / HSC:

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

seção transversal $\rightarrow 60\text{cm} \times 70\text{cm}$

$0,42\text{m}^2$

128

Sustentabilidade



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

129

Sustentabilidade



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

130

Pontos para Discussão

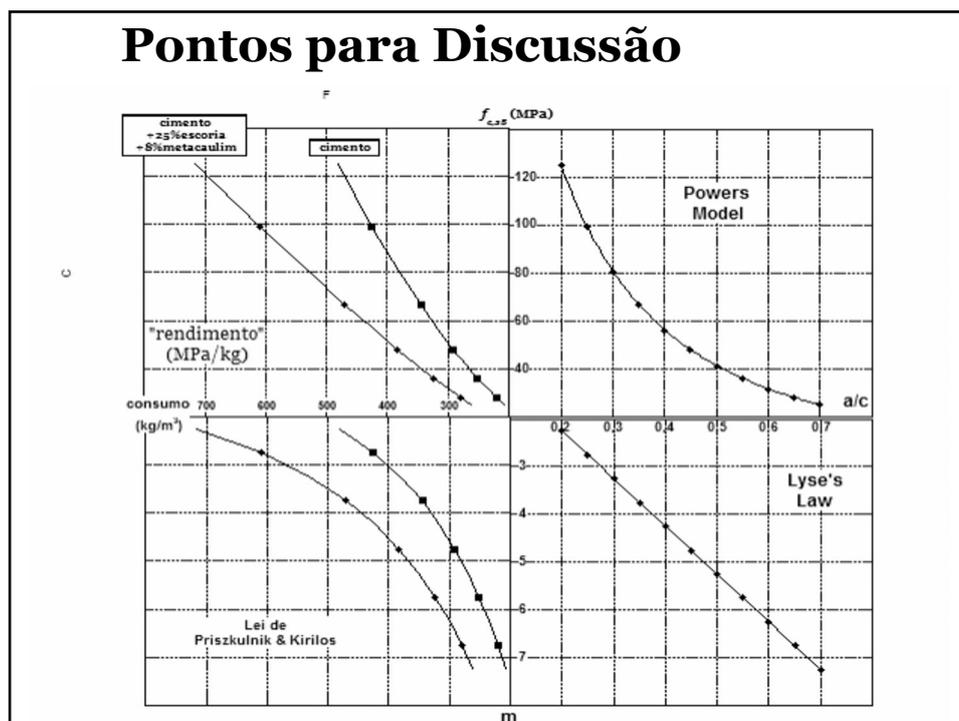
Conceito de rendimento:

O rendimento da relação resistência à compressão (MPa) / consumo de cimento (kg/m^3) tem um ponto ótimo máximo, para cada traço e aumenta com o crescimento da resistência, ou seja, quanto maior a resistência de um concreto, maior seu rendimento em MPa/kg. (ou o inverso em kg/MPa)

Um concreto corrente de 20 MPa pode ter rendimento baixo, da ordem de 0,08MPa/kg (12,5kg/MPa), enquanto um concreto de elevado desempenho e resistência pode ter rendimento alto, mais do que o dobro, da ordem de 0,20MPa/kg (5kg/MPa) a 0,40 MPa/kg (2,5kg/MPa).

131

Pontos para Discussão



132

Pontos para Discussão

Conceito de rendimento:

O rendimento no caso de considerar todos os materiais cimentícios variou neste caso de 0,17MPa/kg (5,8 kg/MPa) para $f_c = 120$ MPa a 0,11MPa/kg (8,7 kg/MPa) para $f_c = 40$ MPa.

Considerando apenas o consumo de cimento, obtêm-se 0,25 MPa/kg (4kg/MPa) para $f_c = 120$ MPa e 0,15MPa/kg (6,7 kg/MPa) para $f_c = 40$ MPa.

133

- ✓ *Referência mundial → cimento + ecoeficiente*
 - ✓ *Mundo 850kg/t e Brasil 660kg/t*
 - ✓ *É o setor mais competitivo do Brasil*
- ✓ *Tem os melhores centros de pesquisa da AL*
 - ✓ *Tem recursos para pesquisa*
 - ✓ *Paga bem os pesquisadores*

134

Como reduzir o aquecimento global?

- 1. reduzir emissão de gases estufa**
- 2. reduzir energia consumida**
- 3. reduzir consumo de recursos naturais não renováveis**
- 4. usar racionalmente o concreto (mais com menos)**
- 5. mudar o “modo de viver de alguns”**

135

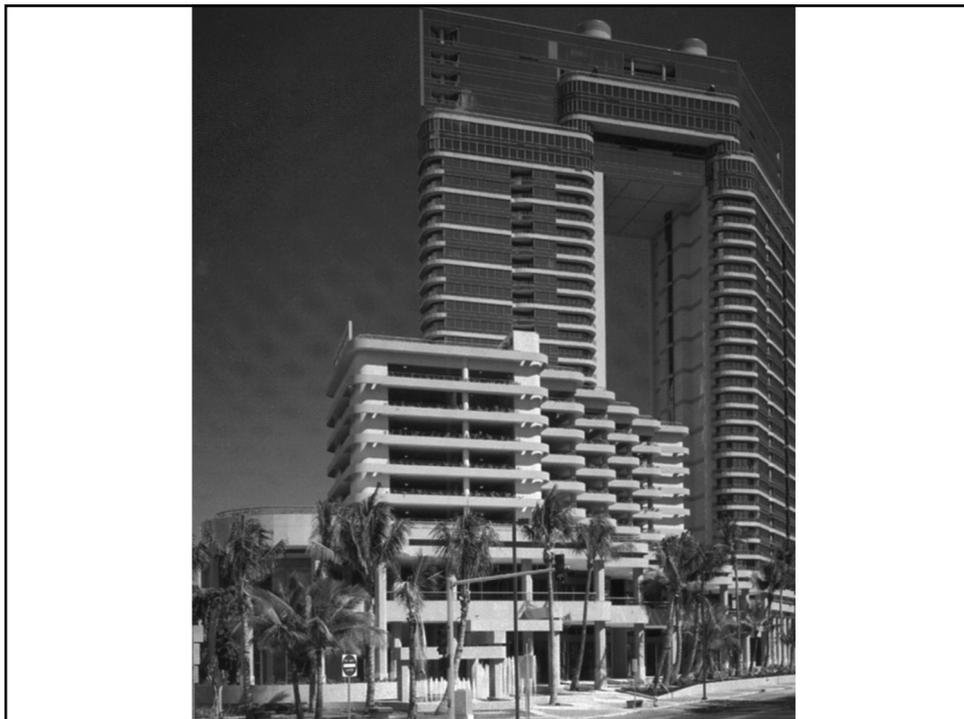
Concreto Sustentável é aquele:

- 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**

136

**Sustentabilidade combina
em gênero, número e grau com
Concreto Pré-Fabricado**

137



138

**Beleza
Segurança
Durabilidade**

Anistado por
99 milhões
de votos.

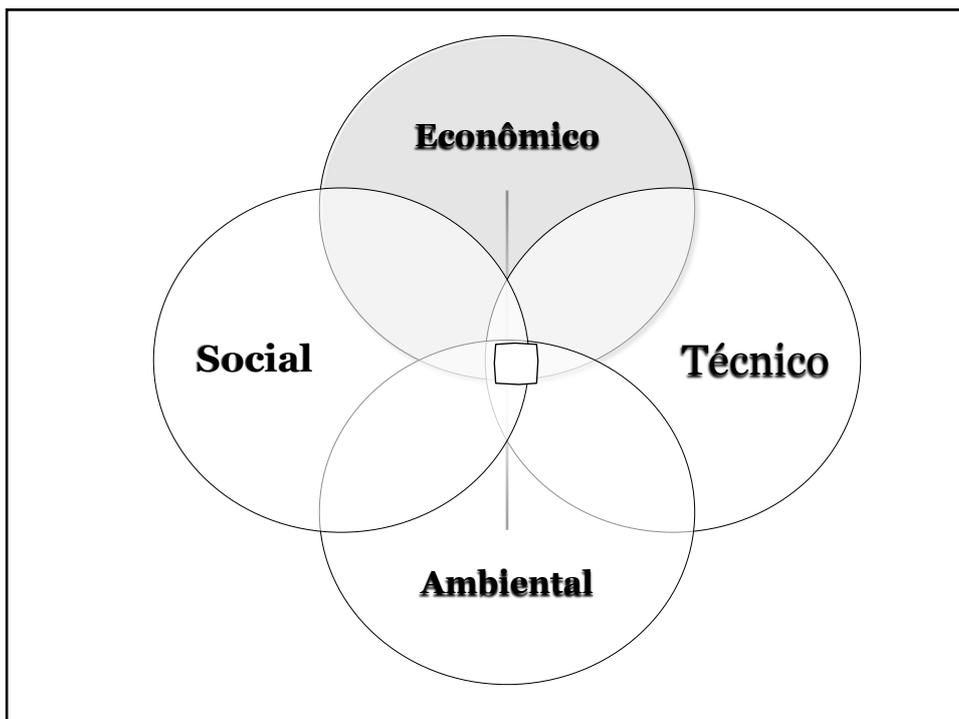
O **Concreto** tem respeito pelo **Meio Ambiente** por sua capacidade de:

- 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

139



140

Obrigado