

Concreto e Gases do Efeito Estufa – Visão Holística

José Marques Filho



Professor da Universidade Federal do Paraná
Engenheiro Consultor da COPEL



INTRODUÇÃO



Sociedade Humana
Atual



Totalmente dependente da INFRA-
ESTRUTURA Civil Instalada

Direito de ir e vir

Acesso à água

Energia

Tratamento de Dejetos

Empregos de Qualidade



Manutenção do Tecido Social
Responsabilidade com o Meio Ambiente



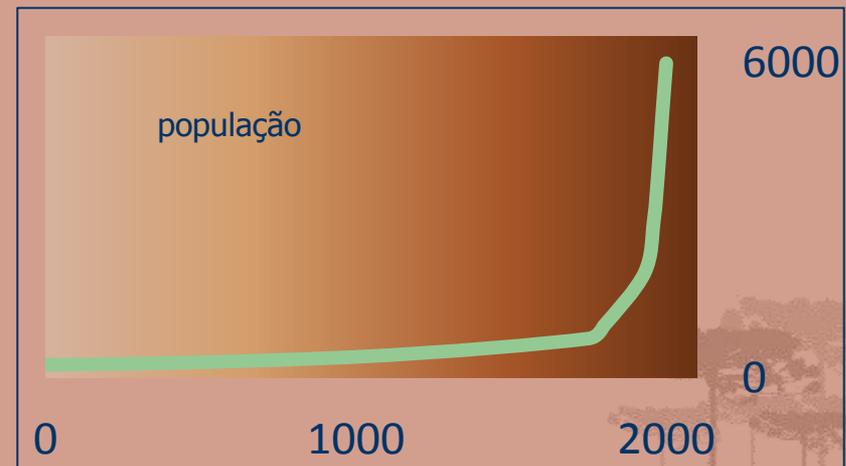
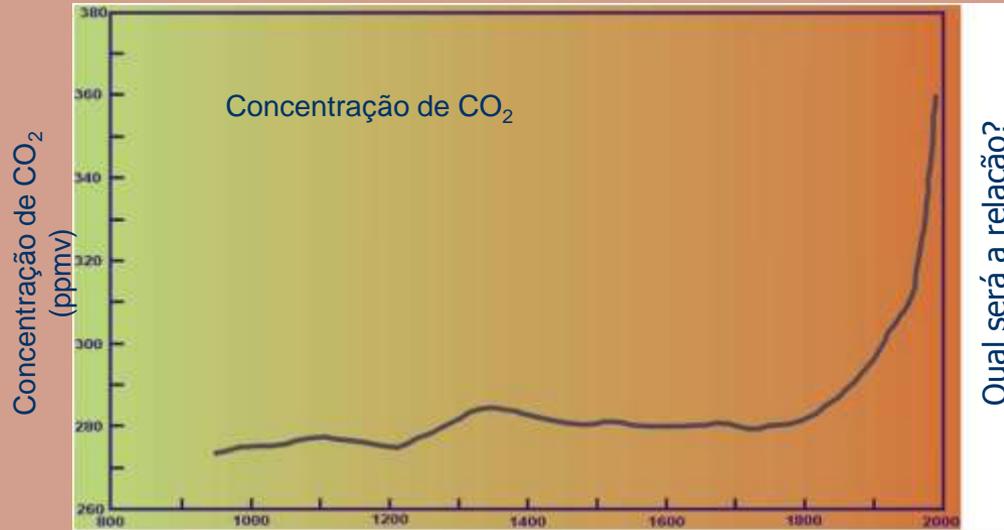
Nos últimos 100 anos

População Humana:	Cresceu de 1,5 para 7 bilhões
Atividade Econômica:	Aumentou 10 vezes de 1950 a 2000
Maioria dos pesqueiros:	Sobre-explorados
Atmosfera:	Aumento das concentrações de gases-estufa
Reservas de Petróleo conhecidas:	40% exauridas

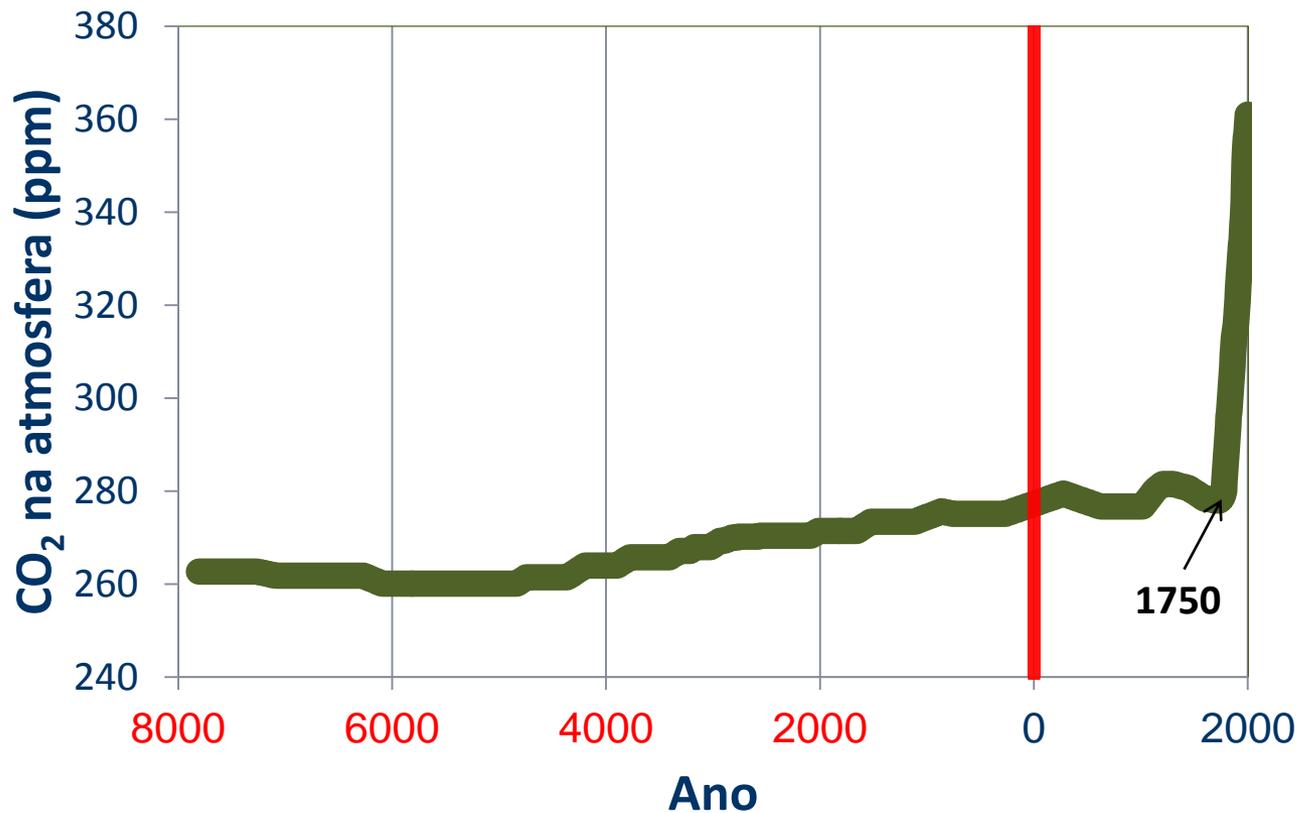
Fonte: *Global Change and the Earth System – A Planet Under Pressure*, IGB



Dados do último milênio



CO₂ na atmosfera



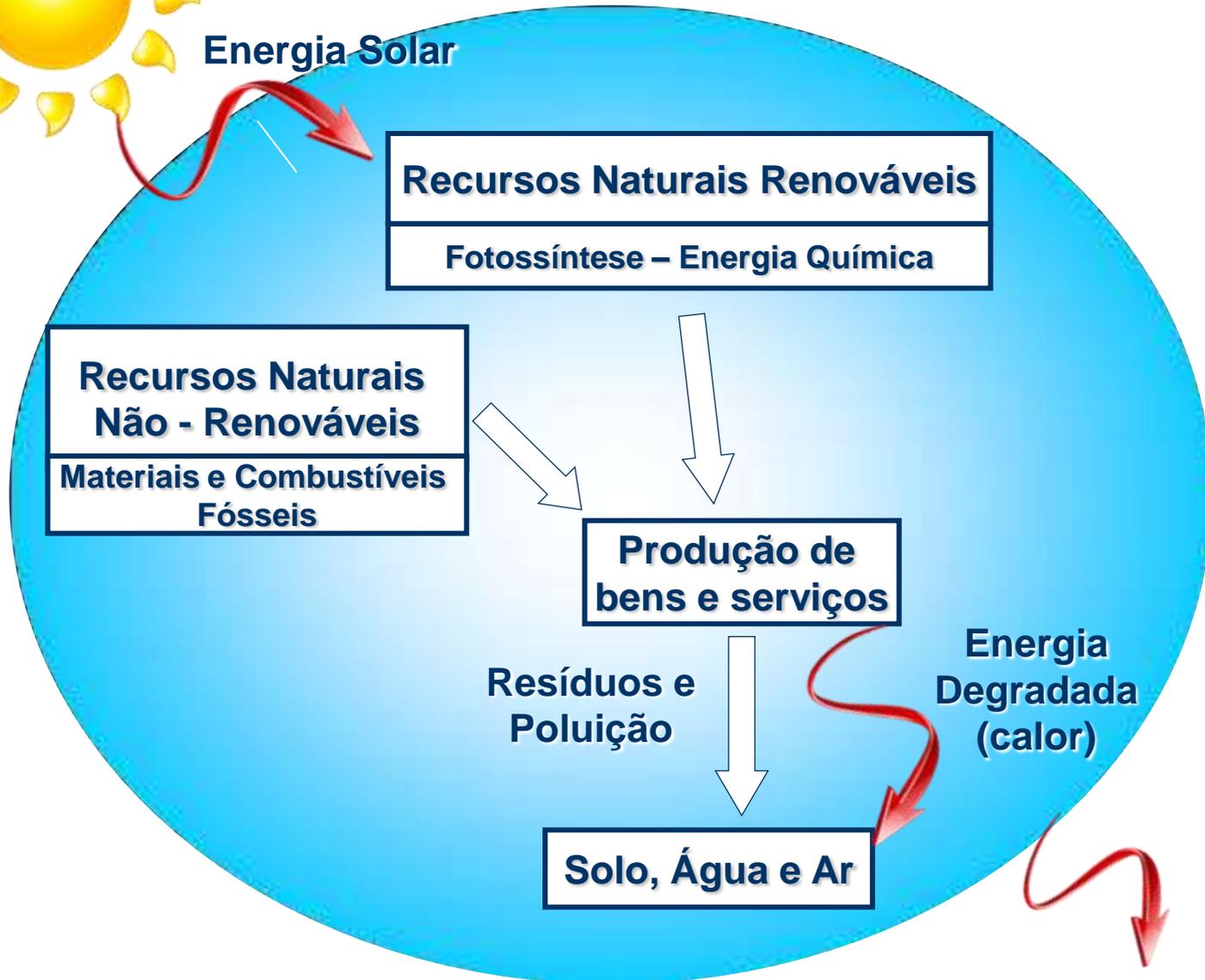
IPCC - Climate Change 2007: The Physical Science Basis - Summary for Policymakers
<http://www.ipcc.ch/>



Biosfera



Energia Solar



Eventos Extremos

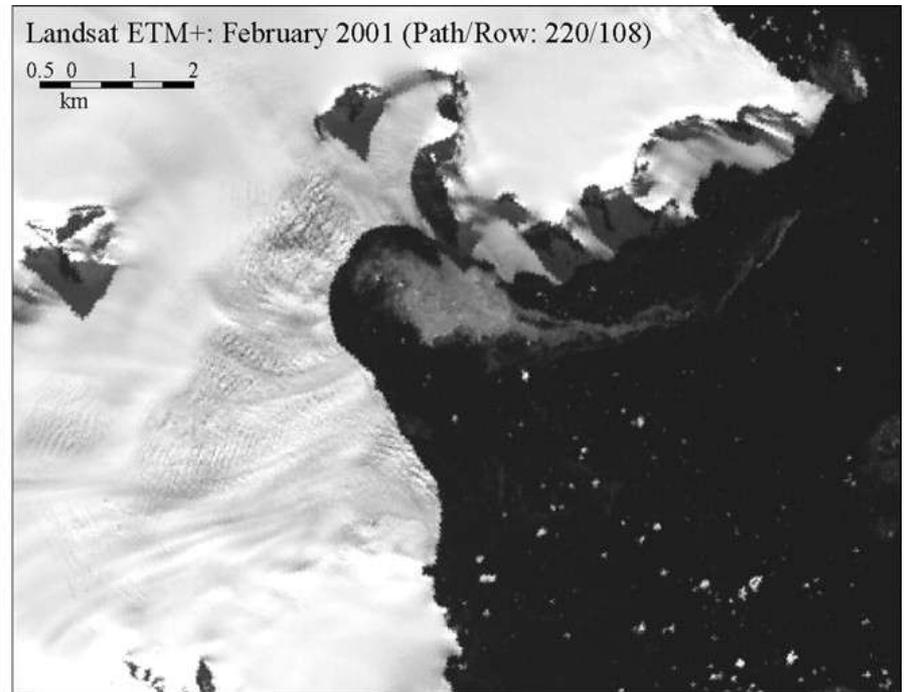
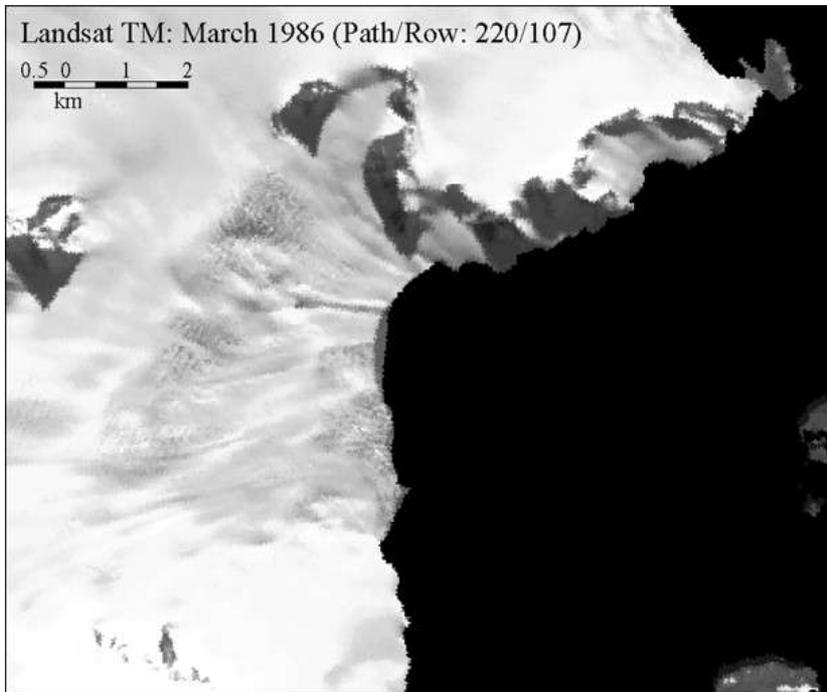


Barragem do sistema Cantareira 2007 (Marcos Bahé)

Enchentes e chuvas torrenciais Frequentes

Secas intensas e prolongadas

Aumento do nível do mar



Satellite image pair showing glacier retreat of Sheldon Glacier, Adelaide Island ($67^{\circ}32'S$, $68^{\circ}17'W$)

A. J. Cook et al., Science 308, 541 -544 (2005)
DOI: 10.1126/science.1104235

Mudança no regime de ventos



1º furacão observado na América do Sul

Estatisticamente **não** é possível afirmar que o **clima médio** alterou



Verifica-se que os **eventos extremos** são **mais frequentes**



Conseqüências

- Pressão por água
- Pressão sobre energia
- Dificuldades com produção de alimentos
- Esgotamento de Produtos não renováveis



Desenvolvimento Sustentável



Atender às necessidades do presente, sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem às suas próprias necessidades.

Fonte: Relatório da Comissão Brundtland, “Nosso Futuro Comum”, 1987



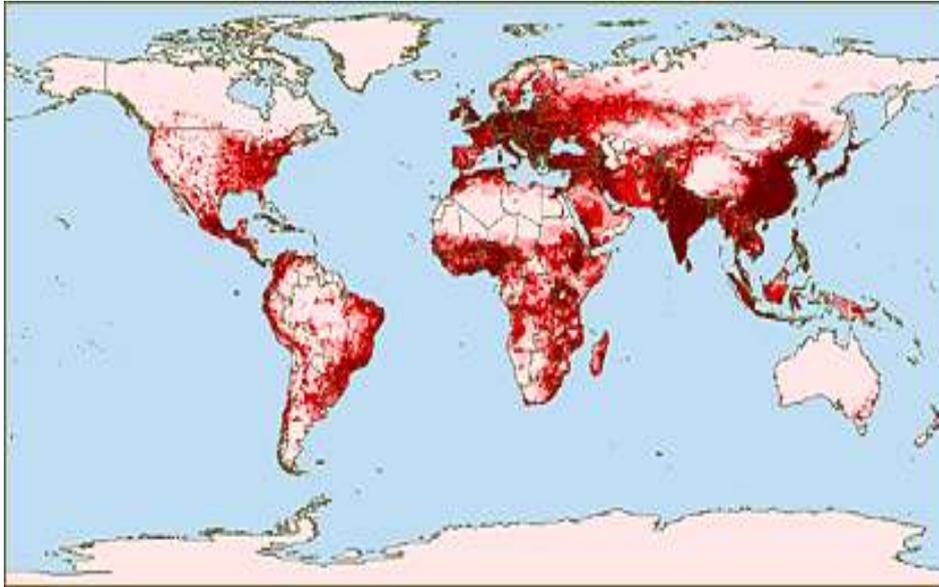
ANÁLISE SITUACIONAL



População Mundial

Deverá crescer 50% até 2050:
➔ 7 bilhões 9,3 bilhões.

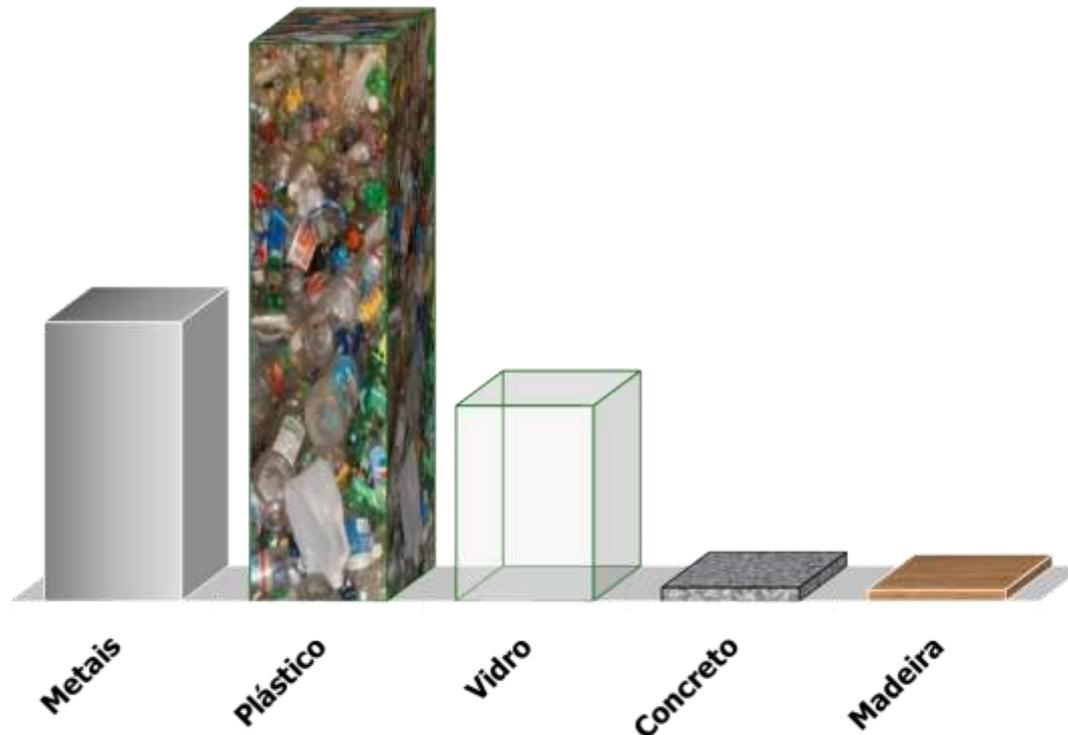
(3,2 bilhões: países pobres)



Fonte: *World Population Prospects, The 2000 Revision*,
Divisão de População,
ONU, 2001.



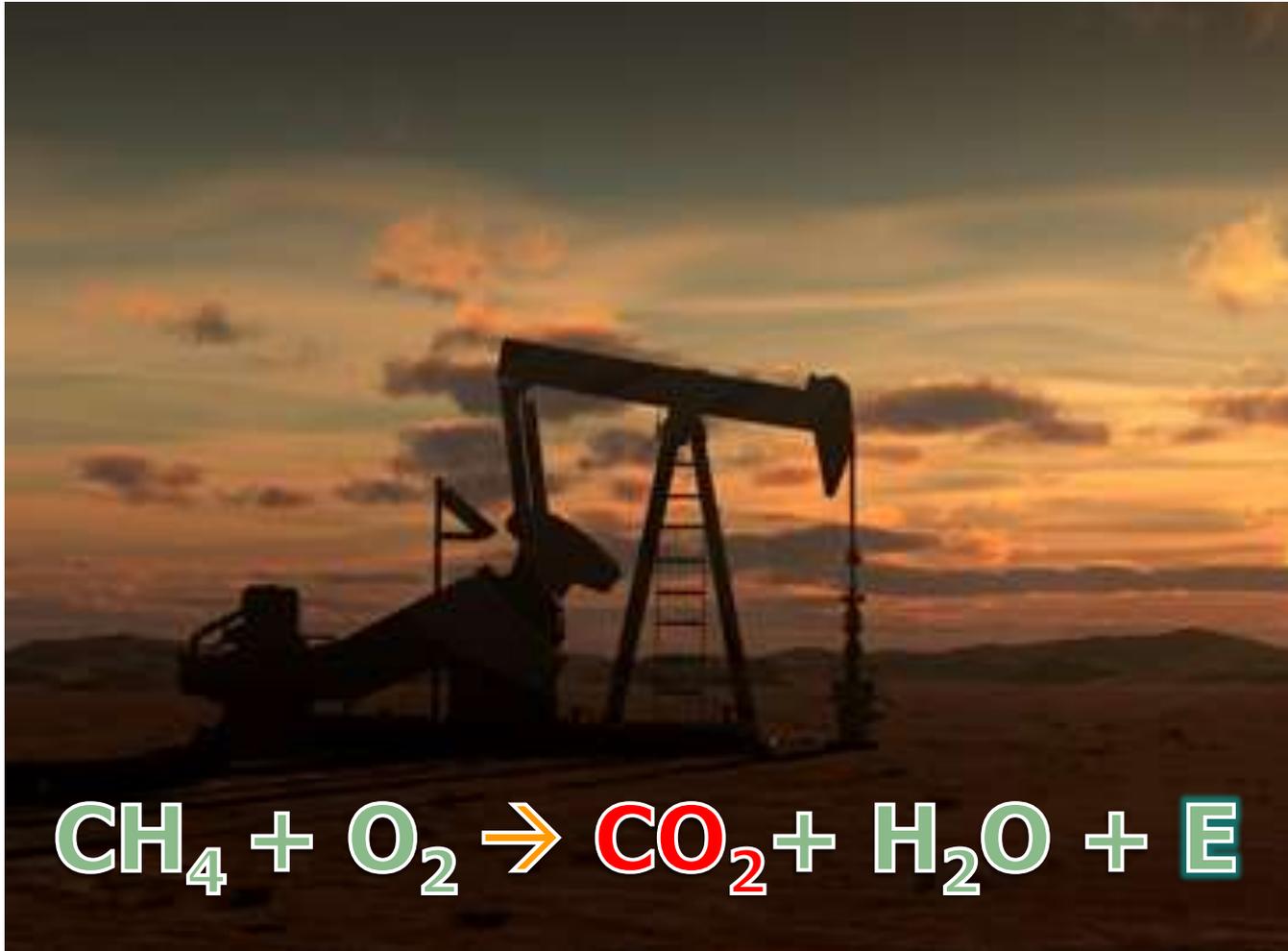
Emissão de CO2 de materiais de construção



fonte: PENTTALA, ACI Materials Journal, set-out 1997



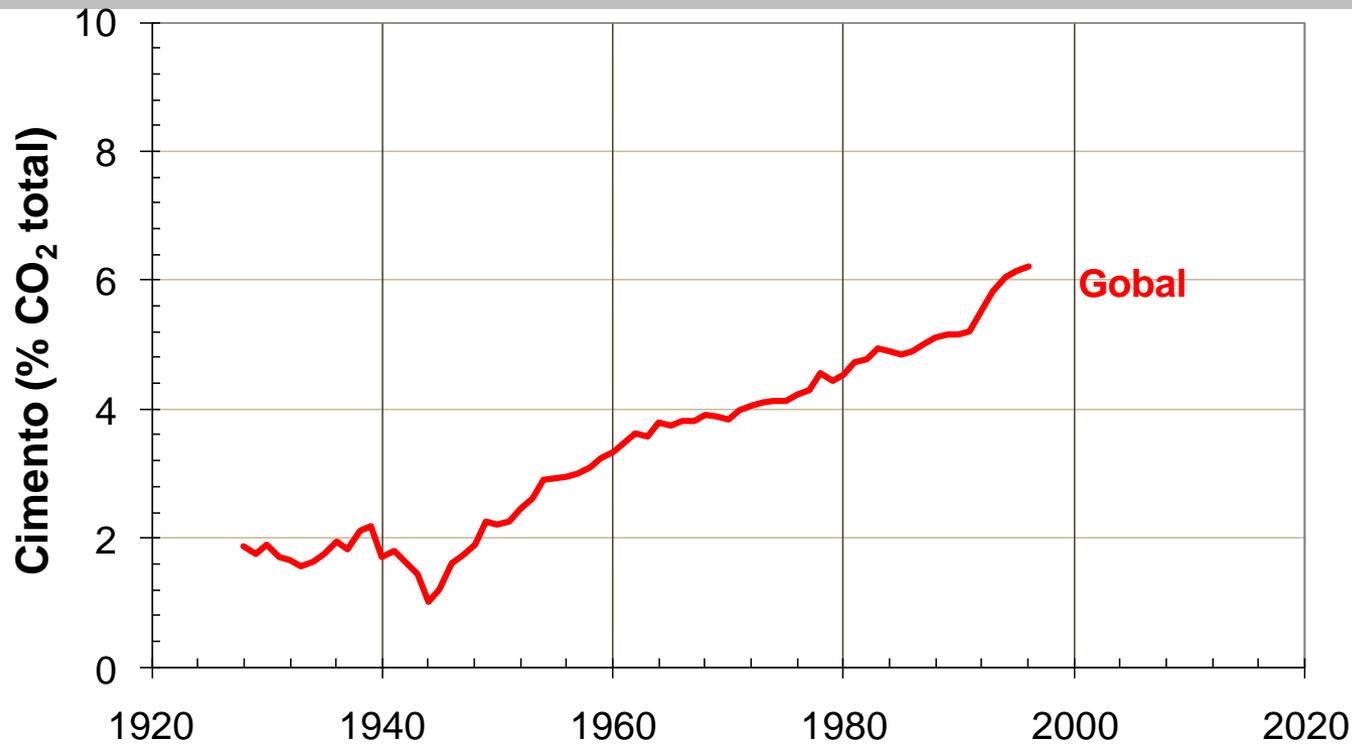
Queima de Combustíveis Fósseis



Calcinação do Calcário



Participação do Cimento e CO₂

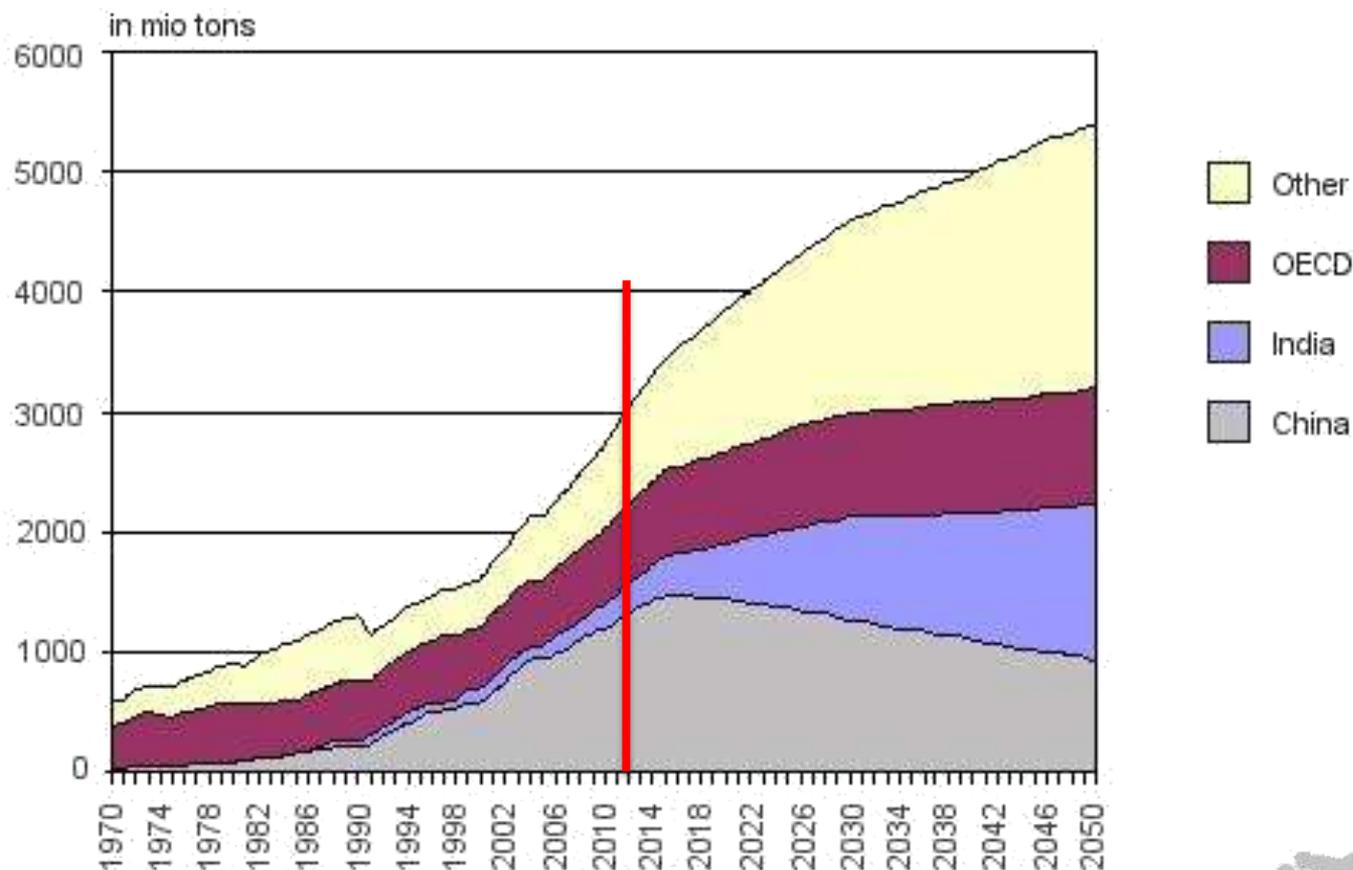


BRASIL: ~1,4%



Evolução da produção de cimento (outros materiais crescem junto)

Cimento (milhões ton)

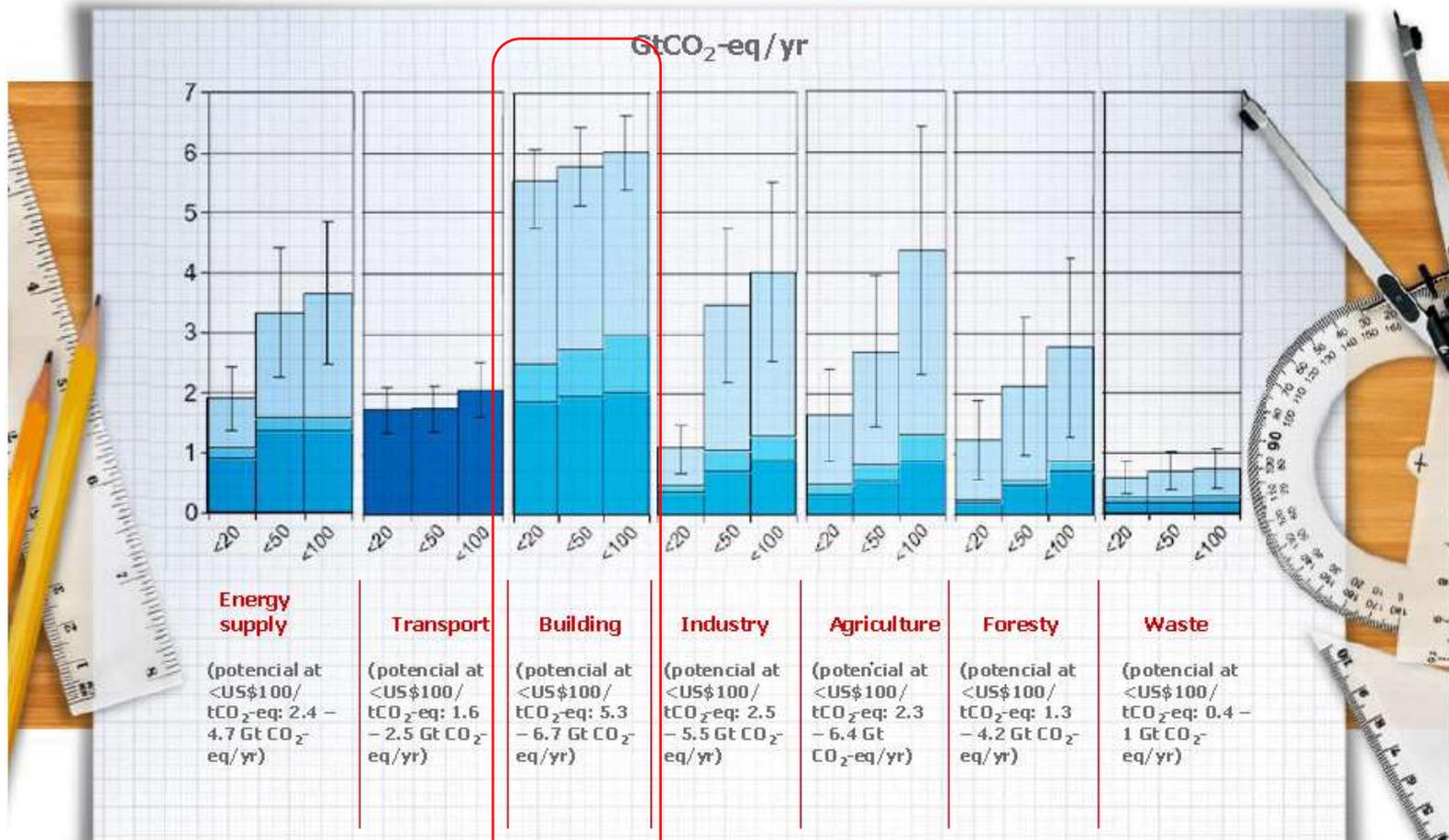


“O desenvolvimento sustentável será alcançado pela oferta de produtos e serviços a **preços competitivos**, que **satisfaçam as necessidades** humanas, melhorem a qualidade de vida e, ao mesmo tempo, *reduzam progressivamente* os **impactos ambientais** e a intensidade do uso de recursos, através do ciclo de vida, para um nível compatível com a capacidade de suporte da Terra.”

Conselho Empresarial Mundial para o Desenvolvimento Sustentável.



Potencial de Mitigação até 2030



Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007

Brasil →

Emissões de GEE durante a construção são **maiores** que durante a vida em serviço



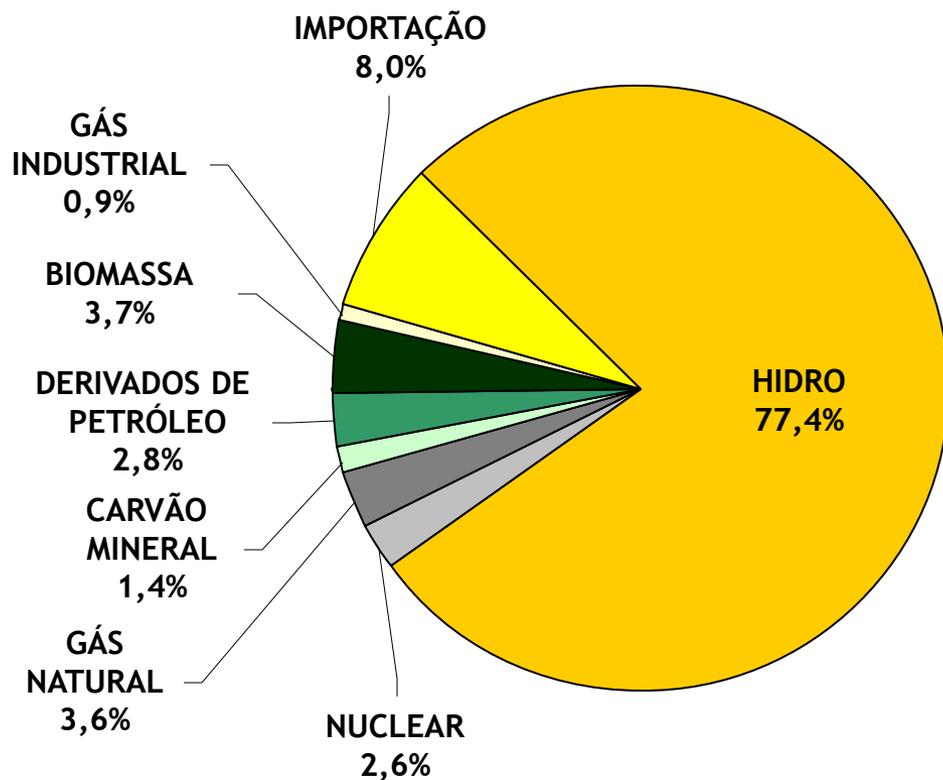
Brasil →

Emissões de GEE durante a construção são **maiores** que durante a vida em serviço

DEVIDO À MATRIZ ENERGÉTICA EXISTENTE



Matriz de Oferta de Energia Elétrica 2007



Nota: inclui Autoprodutores (47,1 TWh)

	TWh
TOTAL	483,4
HIDRO	374,0
GÁS NATURAL	15,5
DER. PETRÓLEO	13,3
NUCLEAR	12,4
CARVÃO	6,8
BIOMASSA	18,1
GÁS INDUST.	4,5
IMPORTAÇÃO	38,8

RENOVÁVEIS:	
Brasil:	89 %
OECD:	16 %
Mundo:	18 %

NO MUNDO É O INVERSO!
 Fonte Renovável: 18 %
 Fonte Não-Renovável: 82 %

Fonte: MME

Desafios Empresariais do DS

1. Fase 1

Melhoria dos Processos de Produção

2. Fase 2

Melhoria no Projeto e Desenvolvimento
de Produtos



INOVAÇÃO



Desafios Empresariais do DS

1. Fase 1

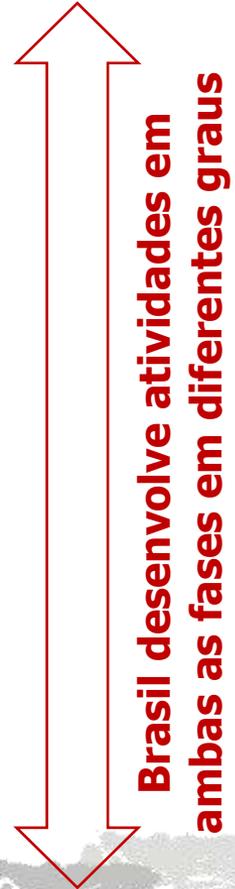
Melhoria dos Processos de Produção

2. Fase 2

Melhoria no Projeto e Desenvolvimento de Produtos



INOVAÇÃO



Concreto

- Material mais utilizado na Construção civil no Brasil
- Matéria-prima abundante
- Versátil, durável e barato

País precisa aumentar a qualidade de vida e dignidade de seus cidadãos



Materiais baseados no cimento são fundamentais para a melhoria da infraestrutura



Esforços na direção da sustentabilidade

- Todos as fases do processo de produção estão caminhando para a abordagem da sustentabilidade

Principais iniciativas

1. Indústria do cimento
2. Esforços de construção sustentável
3. Avanços na Tecnologia do Concreto
4. Durabilidade
5. Normalização e Educação
6. Inovação
7. Medidas, Índices e Metas
8. Abordagem Holística



INDÚSTRIA DO CIMENTO

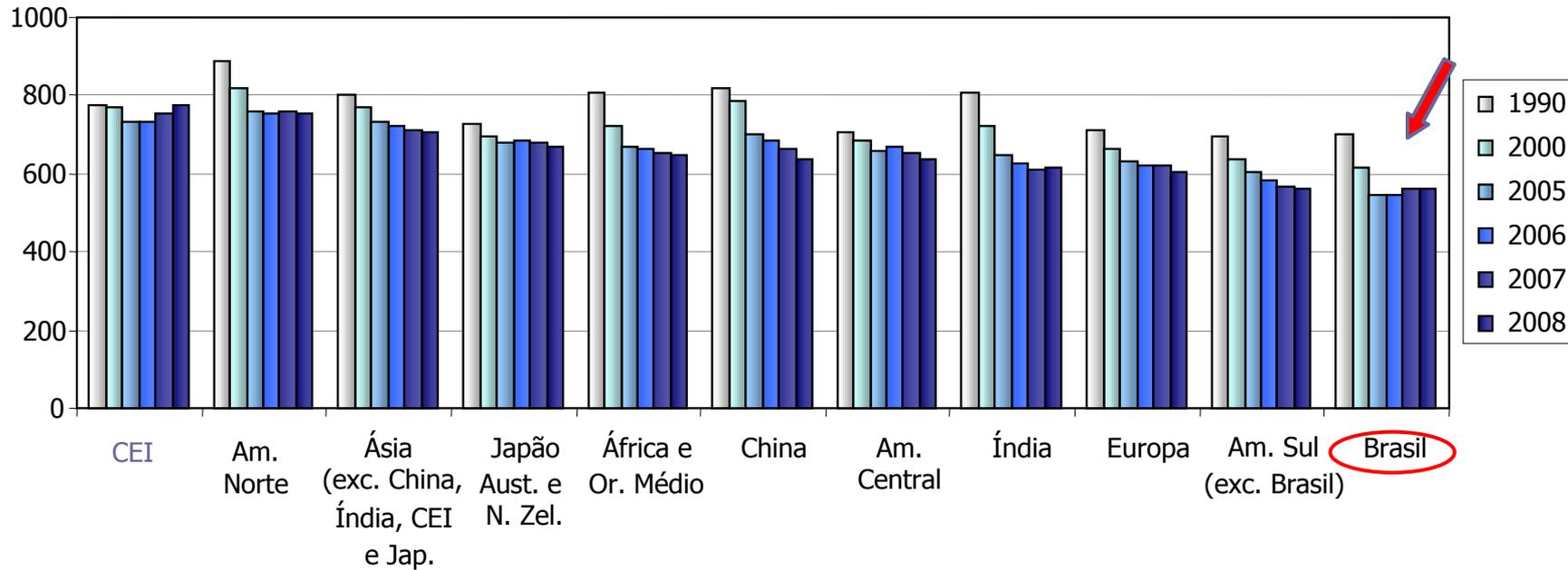


Esforços da Indústria do Cimento

- Melhoria da Eficiência Energética
- Matéria-prima alternativa
- Combustíveis alternativos
- Captura e Armazenamento de Carbono
- Materiais cimentícios complementares e adições



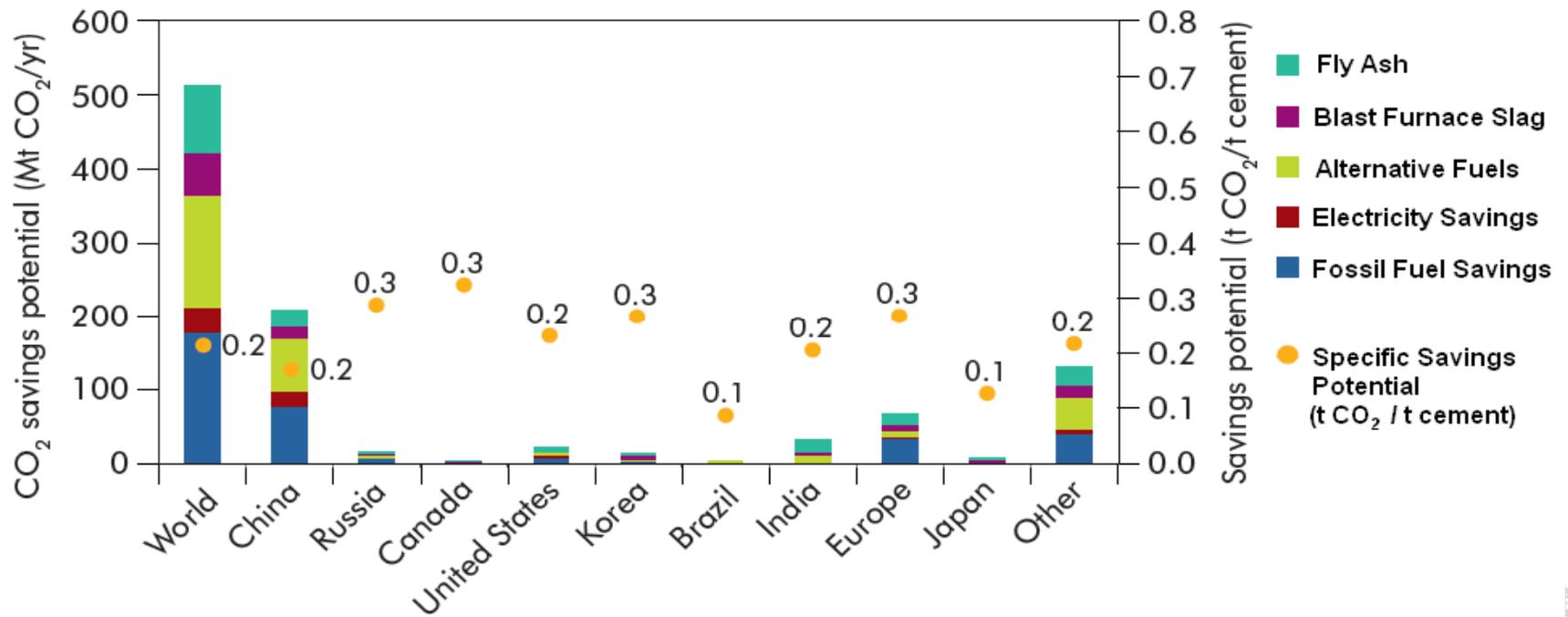
Emissão de CO₂/ t de cimento



Valores em quilos

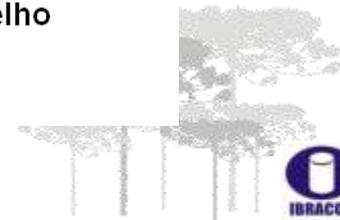
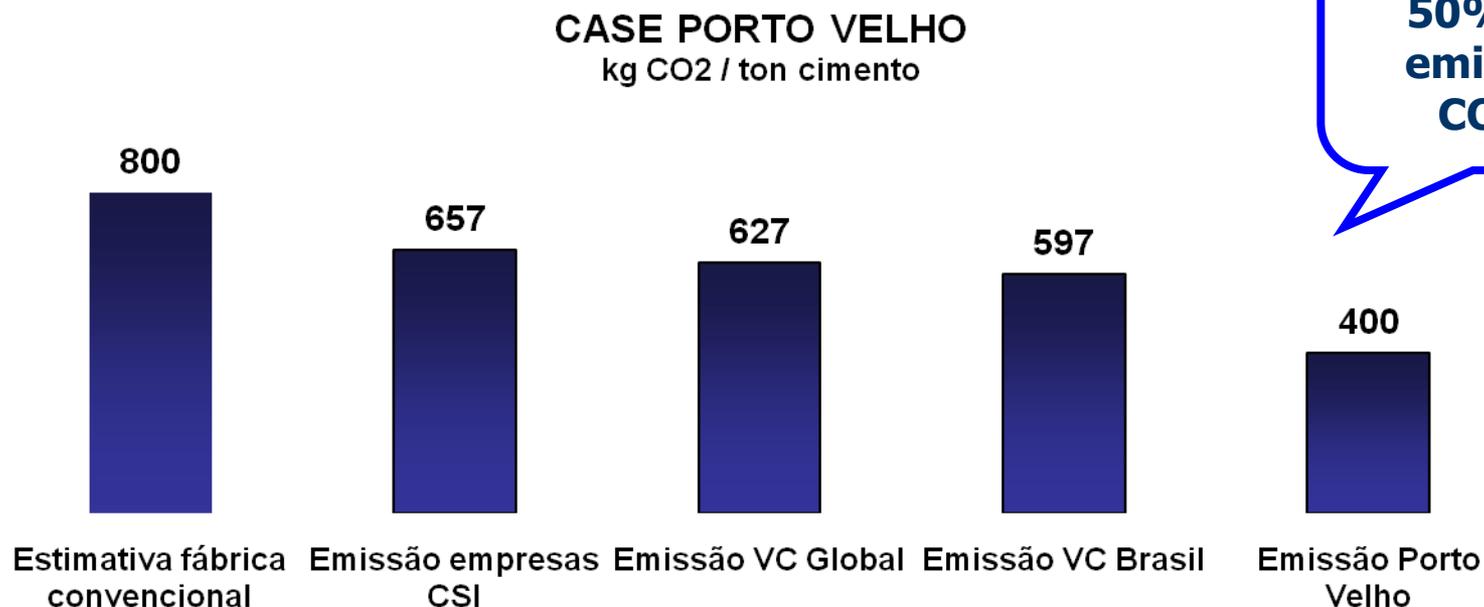


Brasil – Potencial de Redução de Emissões de CO₂

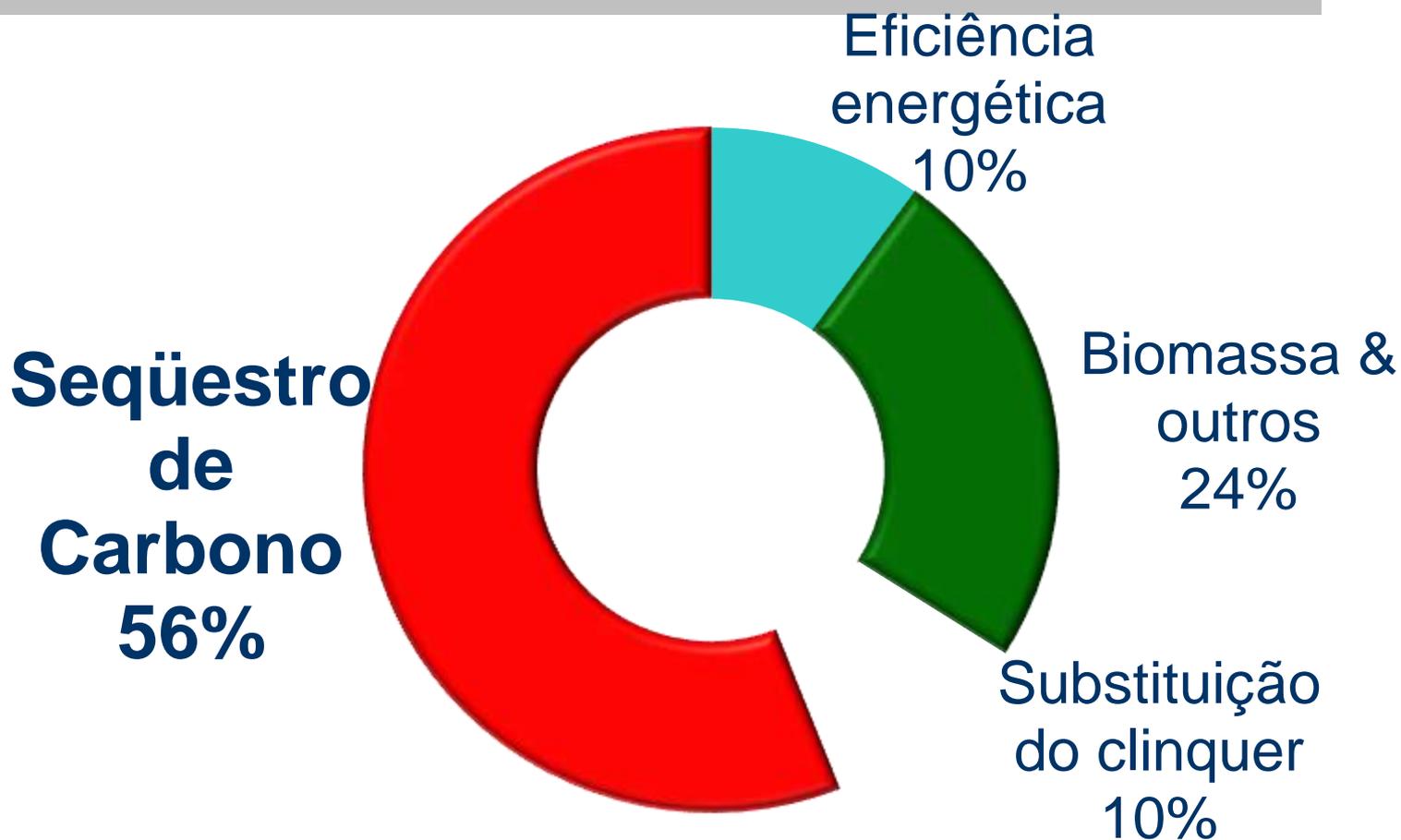


Votorantim: Case Porto Velho

- Produção: 750.000 t/ano
- Inauguração: Agosto de 2009



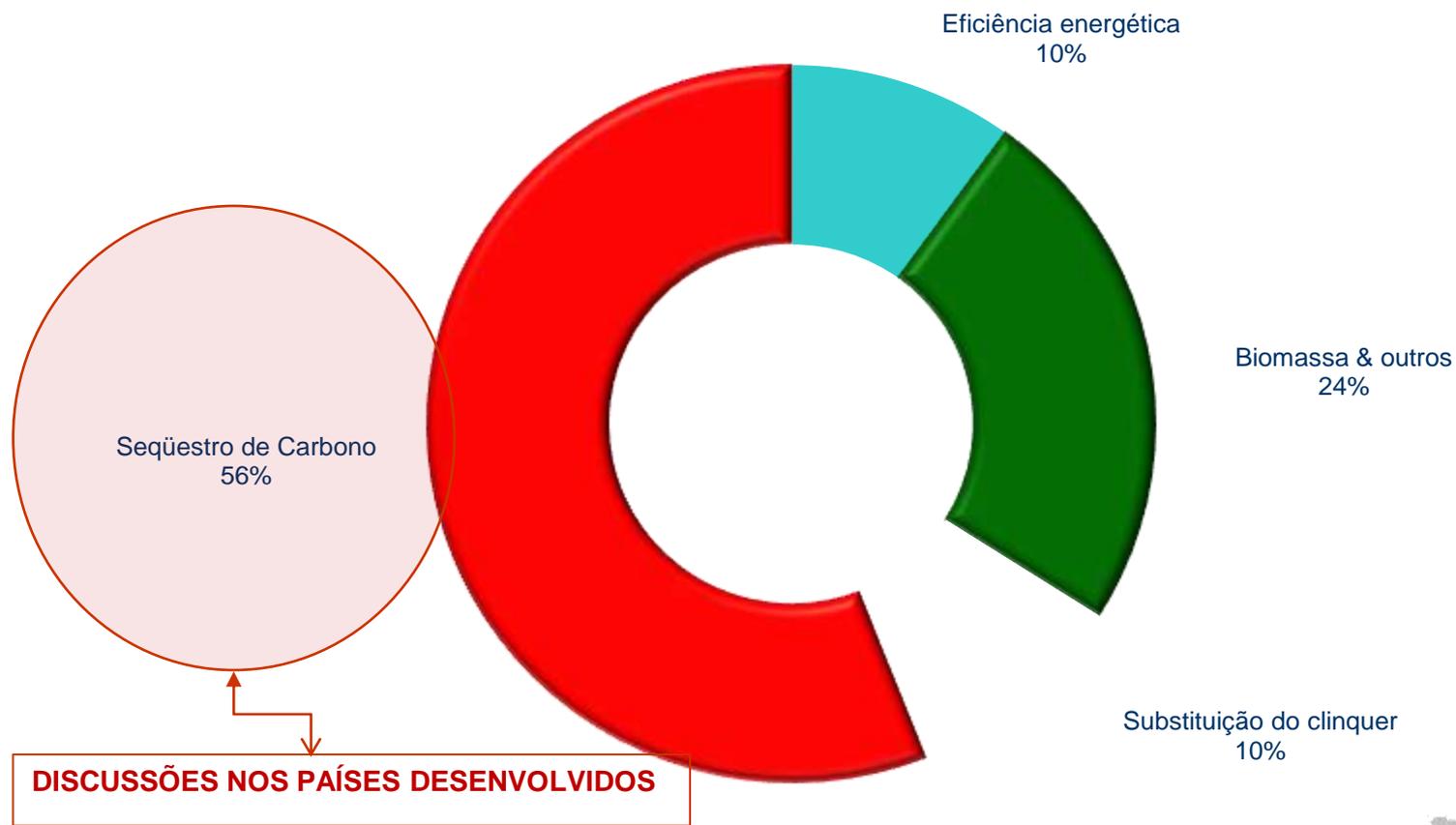
Mundo: Possibilidades Mitigação de CO2



WBCSD & IEA Cement Technology Roadmap 2009



Mundo: Possibilidades Mitigação de CO2



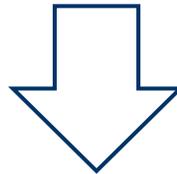
WBCSD & IEA Cement Technology Roadmap 2009



Captura e Seqüestro de Carbono

USD \$40–170/t CO₂
custo?

WBCSD & IEA Cement Technology Roadmap 2009



- DESASTRE PARA PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO
- HÁ MUITAS ALTERNATIVAS EFICIENTES PARA SEREM EMPREGADAS
 - Na fabricação, na qual o Brasil é inovador
 - No concreto



ESFORÇOS DA CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL



Ferramentas

- **Sistemas da Qualidade**
 - Substituição de Matérias-primas
 - Ganhos de produtividade
 - Minimização de desperdícios e resíduos
 - Incremento da Durabilidade
 - Melhoria da Satisfação do Cliente
- **Benefícios Sociais aos Empregados**
 - Em todo o processo incluindo fornecedores de materiais e serviços
- **Inovação**



Programa de Construção Sustentável- CBIC

CBIC: Câmara Brasileira da Indústria da Construção

Objetivos:

- Estudos de mudanças climáticas
- Uso racional da água
- Materiais alternativos
- Reciclagem
- Manutenção da Biodiversidade



RECICLAGEM



Resíduos - Problemas

- Produz-se 5 vezes mais resíduos que produtos
- 500Kg/hab.ano de resíduos da construção, mais que lixo urbano



Aterro de Resíduos de Construção em São Paulo



80m

pirâmides da era industrial?

Picture: Marco Antonio Fialho

José Marques Filho





Usos



NORMALIZAÇÃO E ESFORÇOS EDUCACIONAIS



- Brasil com grande respeitabilidade internacional e presença na ISO
- Normalização na direção da sustentabilidade
- Esforços crescentes e importantes



Esforços educacionais

- Necessidade de mudanças curriculares
- IBRACON faz esforços importantes
- Dois eventos poderiam ser utilizados para impulsionar a abordagem sustentável (dinheiro e visibilidade)

Campeonato Mundial de Futebol



Rio 2016 Jogos Olímpicos

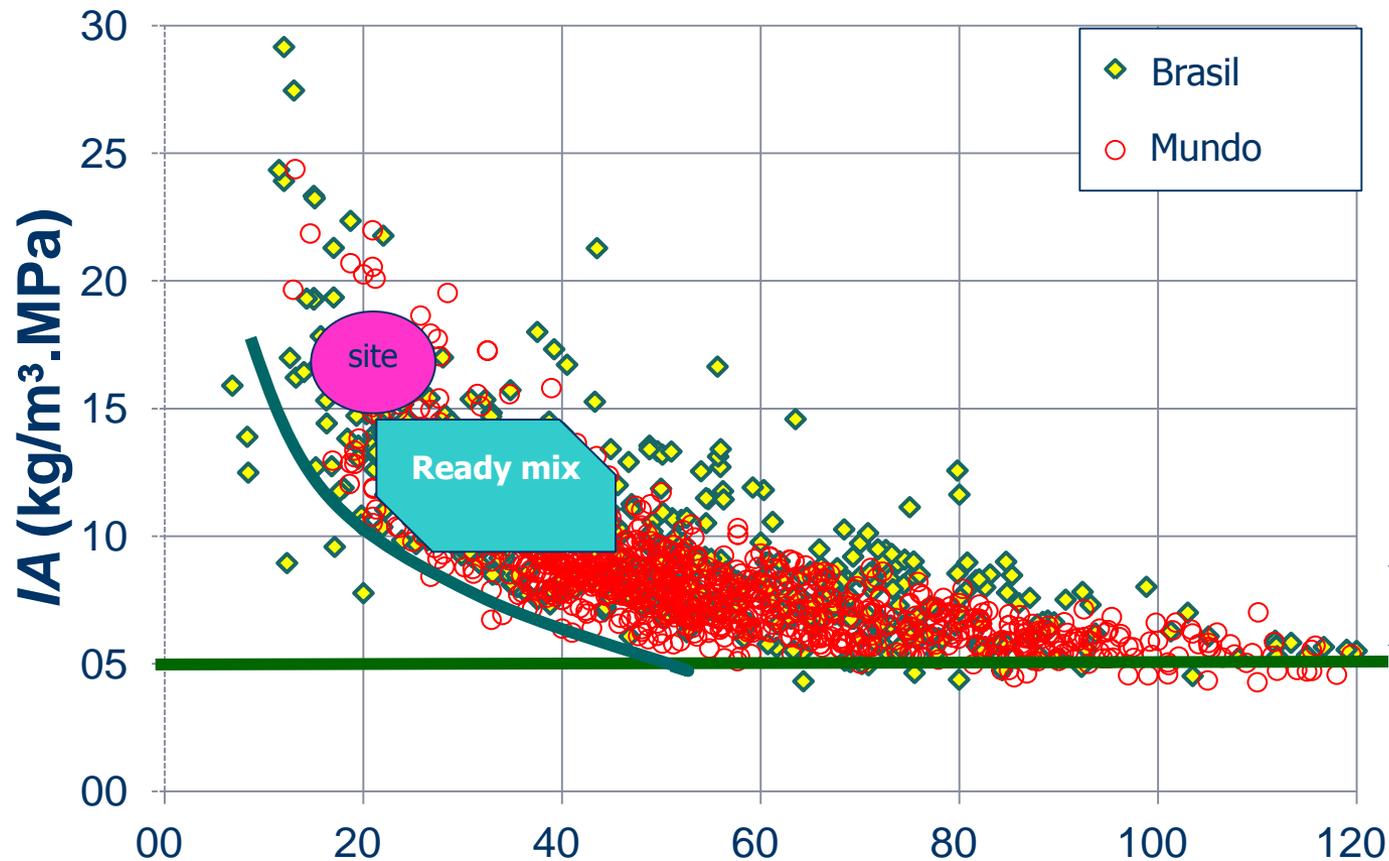


AVANÇOS EM TECNOLOGIA DO CONCRETO



Ibracon + Internacional

literatura + preliminary market data (Brazil) + BAT



Resistência à Compressão (MPa)

Damineli, Kemeid, Aguiar; John Measuring the eco-efficiency of cement use.
Cement & Concrete Composites, p. 555-562, 2010



1. Disseminação do Uso de Concreto de Alta Resistência
 - Use intensivo de pozolanas e argila calcinada
 - Sílica ativa
 - Aditivos
 - Hoje CAR é competitivo em várias situações
2. Dosagem com abordagem em sustentabilidade
3. Aumentar o uso de Concreto Auto Adensável



4. Pesquisa de novos materiais cimentícios com uso de resíduos industriais e agrícolas.
5. Uso de agregado pulverizado- minimizar vazios e obtenção de finos para trabalhabilidade
6. O uso de resistências mais elevadas pode:
 - Reduzir relação CO_2/MPa
 - Minimizar o uso de materiais como um todo
 - Aumentar durabilidade
 - Aumenta cuidados com geração de temperatura e retração térmica



7. Estudos de granulometria fundamentais
8. Aumento do concreto usinado e/ou melhoria de atividades de campo
 - 20 % no Brasil
 - 80% nos países industrializados
9. Minimização do uso de cimento sem perda de qualidade
10. Uso de aditivos mais eficientes
11. Uso de parâmetros necessários ao invés de limitar apenas a resistência à compressão
12. Minimizar variabilidade



DURABILIDADE



Infraestrutura existente precária





José Marques Filho



- Durabilidade é um vetor óbvio da sustentabilidade
- Normas brasileiras exigem a consideração da durabilidade nas fases de projeto e construção
- Várias pesquisas em andamento, com grande quantidade de material que pode ser empregado imediatamente.
- Durabilidade envolve grande interação projeto e obra.



INOVAÇÃO



- Desenvolver novas abordagem de projeto levando ao uso múltiplo, sempre considerando a questão durabilidade.
- Aplicação intensiva de recursos em P&D.
- Ligar os projetos de P&D em andamento com a questão sustentabilidade.
- Além de resistência e durabilidade, colocar a pesquisa em concreto com inovações em acústica, iluminação, conforto térmico e novas concepções arquitetônicas.



MEDIDAS, ÍNDICES E METAS



- São fundamentais estudos que proponham novos métodos de medida e índices, que permitam verificar a efetividade dos processos sustentáveis.
- Os índices devem ser aderentes a metas nacionais e internacionais
- O IBRACON intenciona propor novos índices para 2011 (incluindo CO₂/MPa/idade (durabilidade))
- Estes índices seriam aplicados aos últimos 15 anos de modo a dar um panorama da situação nacional.
- Processos construtivos, análises estruturais, estudos de durabilidade e estudos de dosagem de concreto devem ter estudos de para otimização sustentável



ABORDAGEM HOLÍSTICA



CADEIA PRODUTIVA

Novos materiais

Processos construtivos otimizados

Análise estrutural otimizada

Arquitetura e design

Criatividade e inovação

Responsabilidade Social
Respeito aos recursos naturais
Mitigação de impactos



Conceito Fundamental

VARIABILIDADE



- Todos os processos físicos tem variações inerentes
- Toda medida tem variabilidades e precisões
- Decisões em Engenharia Civil são tomadas baseadas em ensaios ou modelos com falhas e variabilidades



Variabilidades

DEPENDE DO QUE SE MEDE – QUAL PARÂMETRO SERIA IMPORTANTE?

P. EX.: CONSISTÊNCIA, RESISTÊNCIA

- Pesos
- Diferença de granulometria
- Tempo de mistura
- Região do caminhão betoneira
- Tempo
- Outros



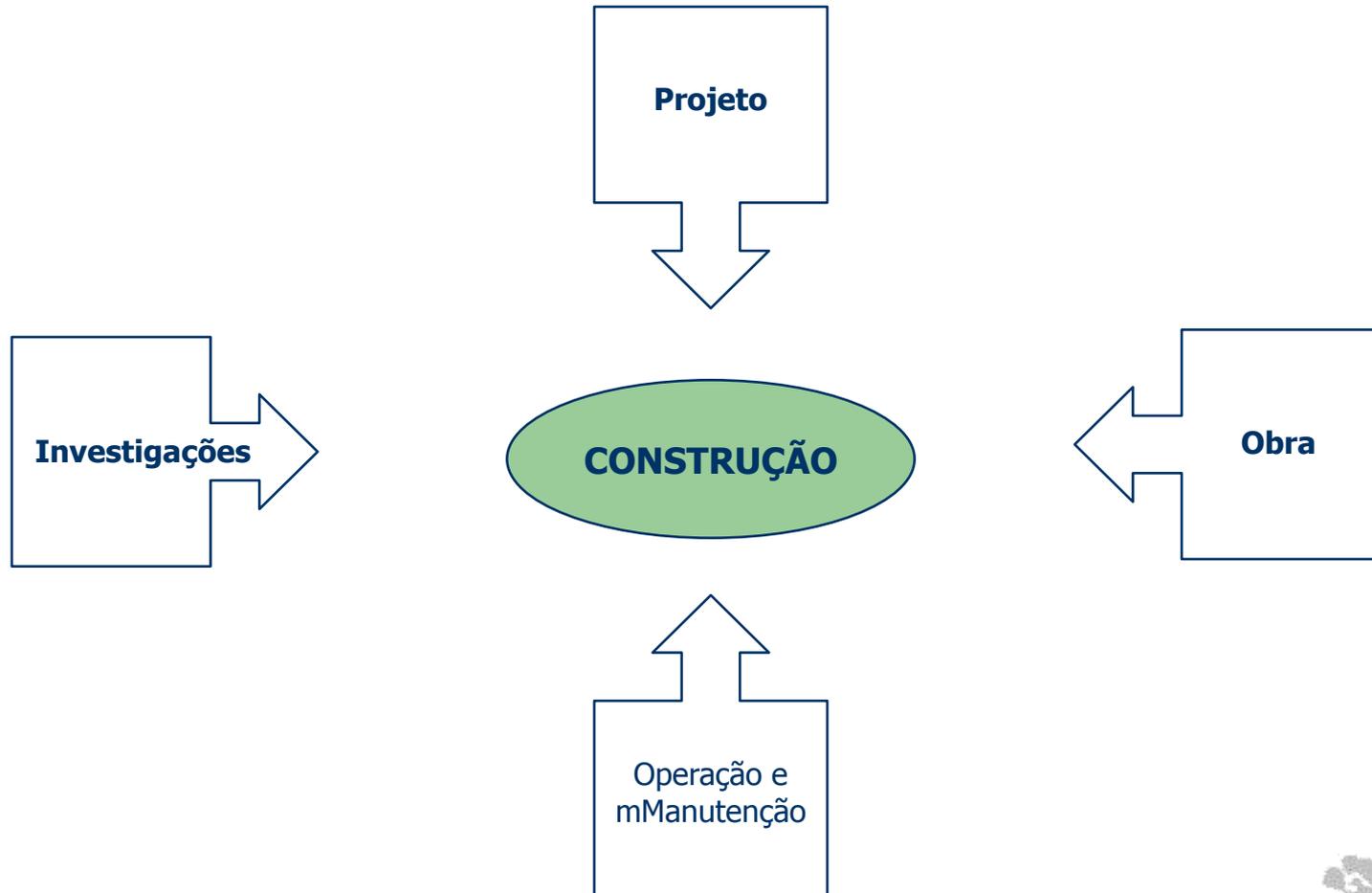
Variabilidades da Construção

OCORREM EM TODAS AS FASES DA IMPLANTAÇÃO

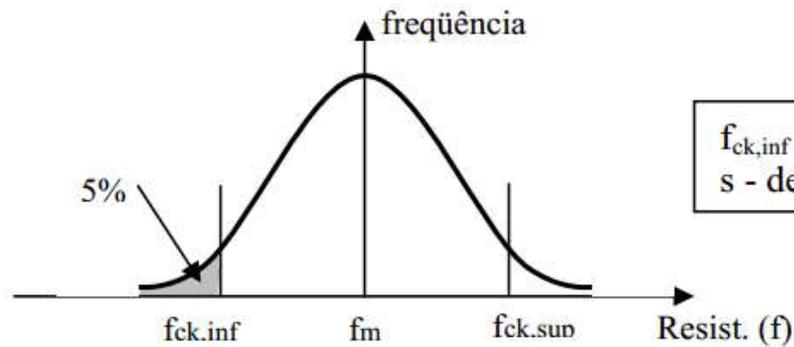
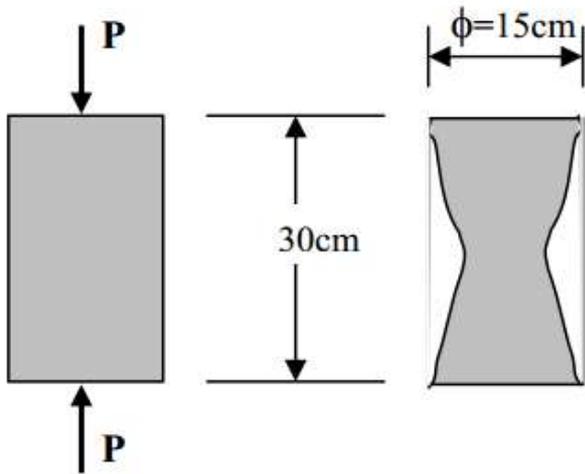
- Incluem erros de investigação e ensaios
- Modelos simplificados de projeto e erros de modelo são comuns
- Variabilidades inerentes do material
- Não conformidades e variabilidades construtivas
- Interferências ambientais e variabilidades geradas pela manutenção



Engenharia Civil tem Interação Contínua



Resistência Característica à Compressão



$$f_{ck,inf} = f_{cm} - 1,65 \cdot s$$

s - desvio padrão da amostra



Qualidade do Concreto

- Depende de todas as fases do concreto
- Caracterização
- Dosagem
- Projeto
- Fornecimento
- Construção
 - Transporte
 - Colocação
 - Adensamento
 - Cura



Variabilidades dos Materiais

- Variações de Granulometria
- Variabilidade de processos
- Variabilidade das propriedades do cimento
- Variabilidade dos aditivos
- Temperatura, umidade, insolação e vento
- Treinamento de mão-de-obra
- Desgaste de equipamentos
- Tempo



Variabilidade dos Ensaaios

- Treinamento de mão-de-obra
- Interação fornecedor X obra
- Problemas comuns
 - Mau adensamento
 - Acondicionamento inadequado logo após a moldagem
 - Cura insatisfatória
 - Preparação ineficiente do corpo-de-prova
 - Falta de calibragem do equipamento
 - Procedimento de ensaio incorreto
 - Treinamento de mão-de-obra insuficiente



Diferenças entre obra e caracterização

- Claramente há uma diferença entre a fabricação e cura de cp's e a construção
- Curas diferentes
- Adensamentos diferentes
- Probabilidades de não-conformidades diferentes
- Devem ser levados em conta no cálculo de estruturas



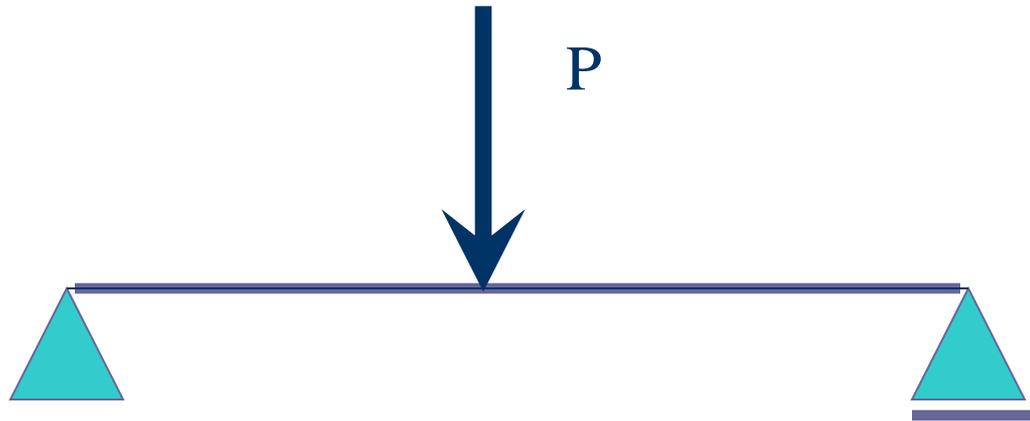
Adensamento

Segundo Neville:

Aumento nos Vazios do Concreto	Redução da Resistência à Compressão
5%	30%
2%	10%



Procedimento de Análise QUAL Modelo utilizado?

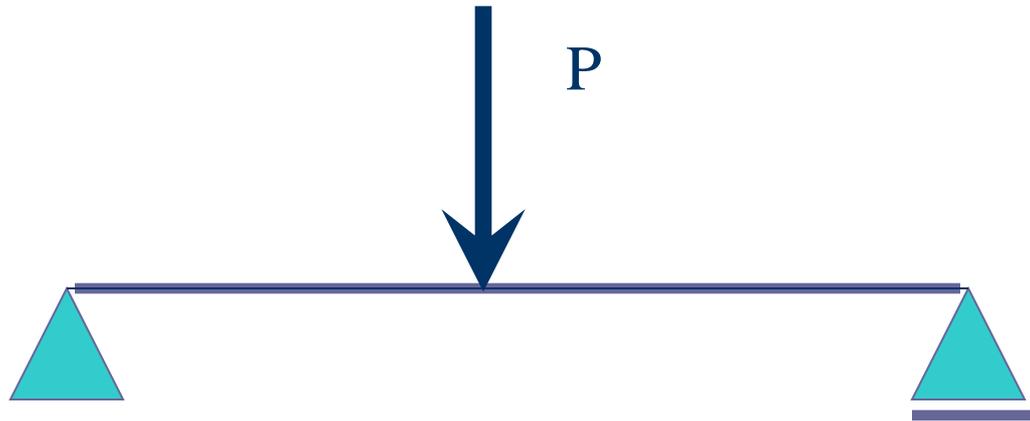


HIPÓTESES:

- Homogêneo
- Isotrópico
- Obedece a Lei de Hooke
- Seções Planas



Procedimento de Análise QUAL?



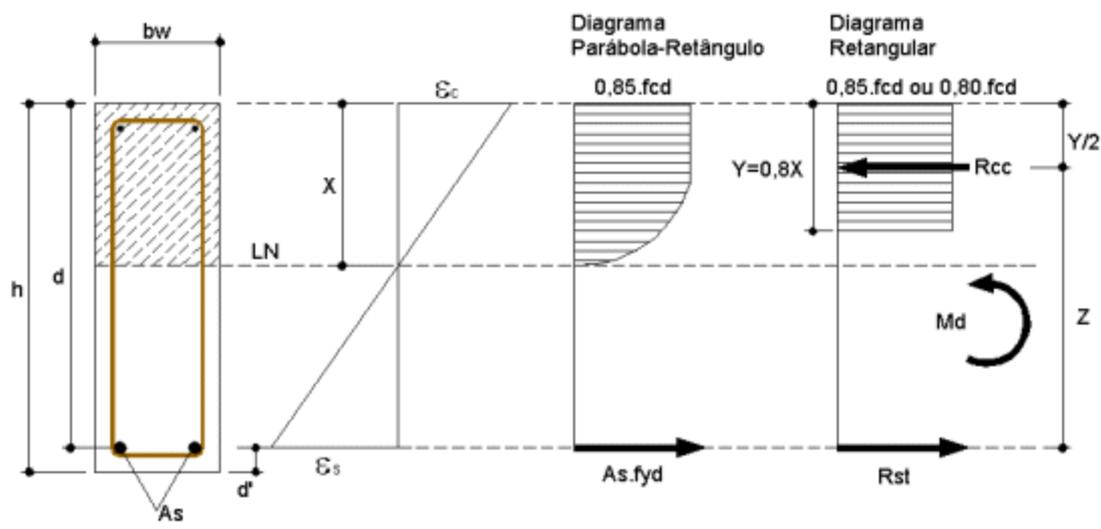
HIPÓTESES:

- Homogêneo
- Isotrópico
- Obedece a Lei de Hooke
- Seções Planas



**Qual é
Satisfeita?**

!!!!!!!!!!!!

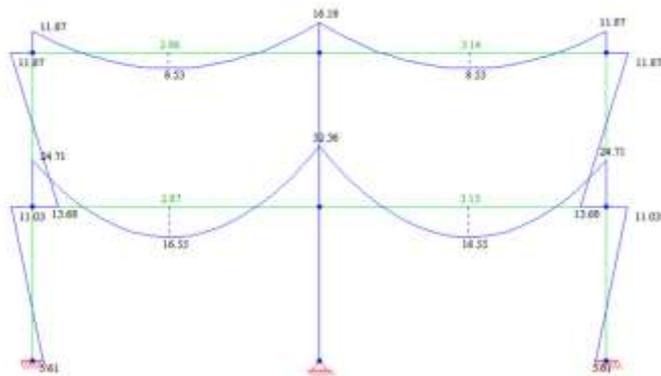


Erros de Modelo

- Todos os Modelos de Cálculo são aproximações da realidade
- Em geral, o dimensionamento considera os materiais elástico lineares
- Utiliza-se a teoria de primeira ordem, que com a diminuição das formas pode ser uma aproximação perigosa
- O dimensionamento ensinado na universidade não discute as variabilidades e erros presentes, nem como se leva em conta as não-conformidades



Como se inter-relacionam?



Métodos Semi-probabilísticos

- No dimensionamento, os fatores de ponderação consideram todos os fatores
- O balizamento do modelo se faz ao longo do tempo, na Europa os coeficientes são outros
- Como manter as probabilidade de ruína aceitáveis com a minimização do uso de clínquer e energia?



CONCLUSÕES

- Há emissão de CO₂ considerável durante a implantação da infraestrutura civil
- A conscientização dos envolvidos é relativamente baixa
- A necessidade de aumento da infraestrutura é contínua e importante.
- É necessário manter a matriz energética com predominância de energia renovável



- Sustentabilidade depende de todos os processos da cadeia de produção
- Esforços isolados podem não ser totalmente efetivos
- Repensar a Normalização
- Qualidade, inovação e foco na sustentabilidades devem estar dentro de todos os processos da cadeia do concreto
- A soluções devem estar orientadas para os parâmetros necessários e não simplesmente à resistência à compressão
- Metodologias construtivas, análises estruturais, estudos de durabilidade e dosagem são tão importantes quanto as iniciativas de melhoria do cimento



- As soluções devem ser efetivas na redução da emissão de GEE e evitar o aumento do custo final do concreto
- Deve-se utilizar adequadamente o cimento e minimizar o consumo desnecessário de clínquer
- Palavras chave
 - Conhecimento
 - Educação
 - Metas
 - Perseverança



José Marques Filho

Companhia Paranaense de Energia
UFPR - Universidade Federal do Paraná

jmarquesfilho@gmail.com

(41) 3331 4400

