



ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPTO. ENG. CONSTRUÇÃO CIVIL

Sustentabilidade e inovação na cadeia produtiva do cimento

Vanderley M. John
Escola Politécnica da USP





sobrevivência



Válvula de dupla descarga.

Torneiras automáticas



Aeradores



Limitadores de vazão









CONSTRUÇÃO
SUSTENTÁVEL

Energia Edifício Completo

Nome: FACULDADE DE TECNOLOGIA NOVA PALHOÇA – FATENP

Endereço: Rua T s/n, Bairro: Loteamento Nova Palhoça

Cidade/UF: Palhoça/SC

Ano: 2009

Grupo Tarifário: não definido

Validade: 02/07/2012

Pontuação: 4,78

Bonificações: 0

Mais eficiente



Menos eficiente



Sistemas Individuais

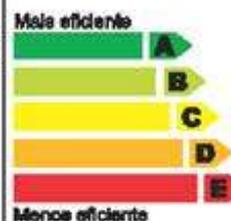
Envoltória

Zona Bioclimática: 03



Iluminação

Pavimento ou Bloco: Edifício Completo
Área Iluminada: 3722,0 m²



Condicionamento do ar

Tipo: Split
AC/AU: 0,32



PROGRAMA NACIONAL DE
CONSERVAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA





verde legítimo

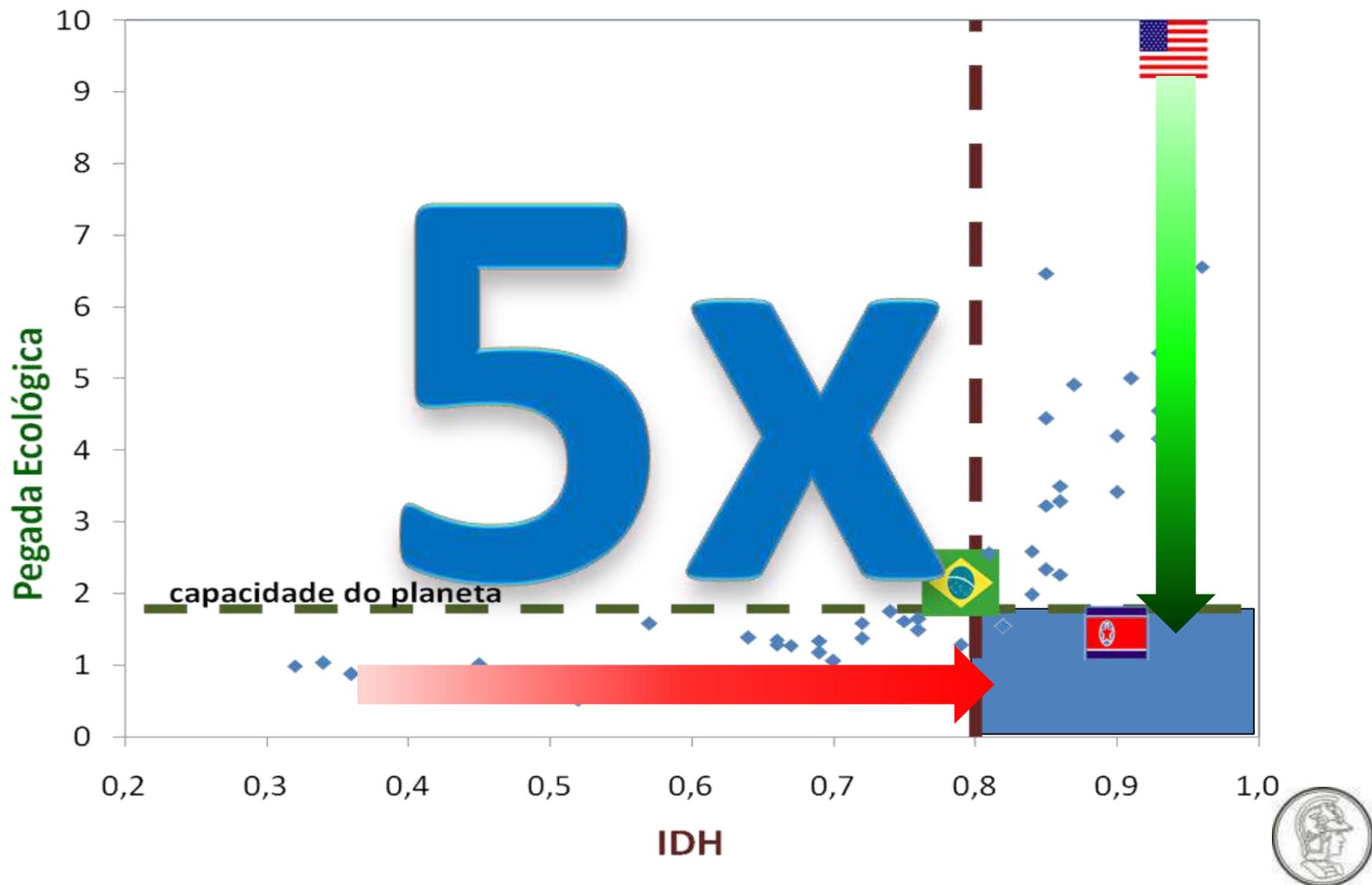
Green Building Inquestionável



Problema Resolvido?



Desafio da sustentabilidade



não

Problema Resolvido?



inovação



*For advanced economies, innovation is a matter of pushing the world **frontier of knowledge**.*

*For developing countries technology **assimilation** is the central challenge.*

(Porter & Ketels 2003 - UK Competitiveness)



**Progress depends
upon a flow of
new scientific knowledge.**

V. Bush, "the Endless Frontier" 1945



crescimento econômico:

87%

NOVAS TECNOLOGIAS

Robert Solow (Prêmio Nobel 1987)



Industrialização: Uma Idéia Antiga



Cassino Biarritz, 1882

Arq. Calinaud. Construção: Edmond Goignet

Solução Atual Predominante





31 10'96

Solução Predominante





1983



2007

“the construction industry is infamous for the barriers it places in the way of innovation”

(Civil Engineering Research Foundation, 1998).



Inovação em nichos de mercado



140MPa

Inovação em TODOS os mercados

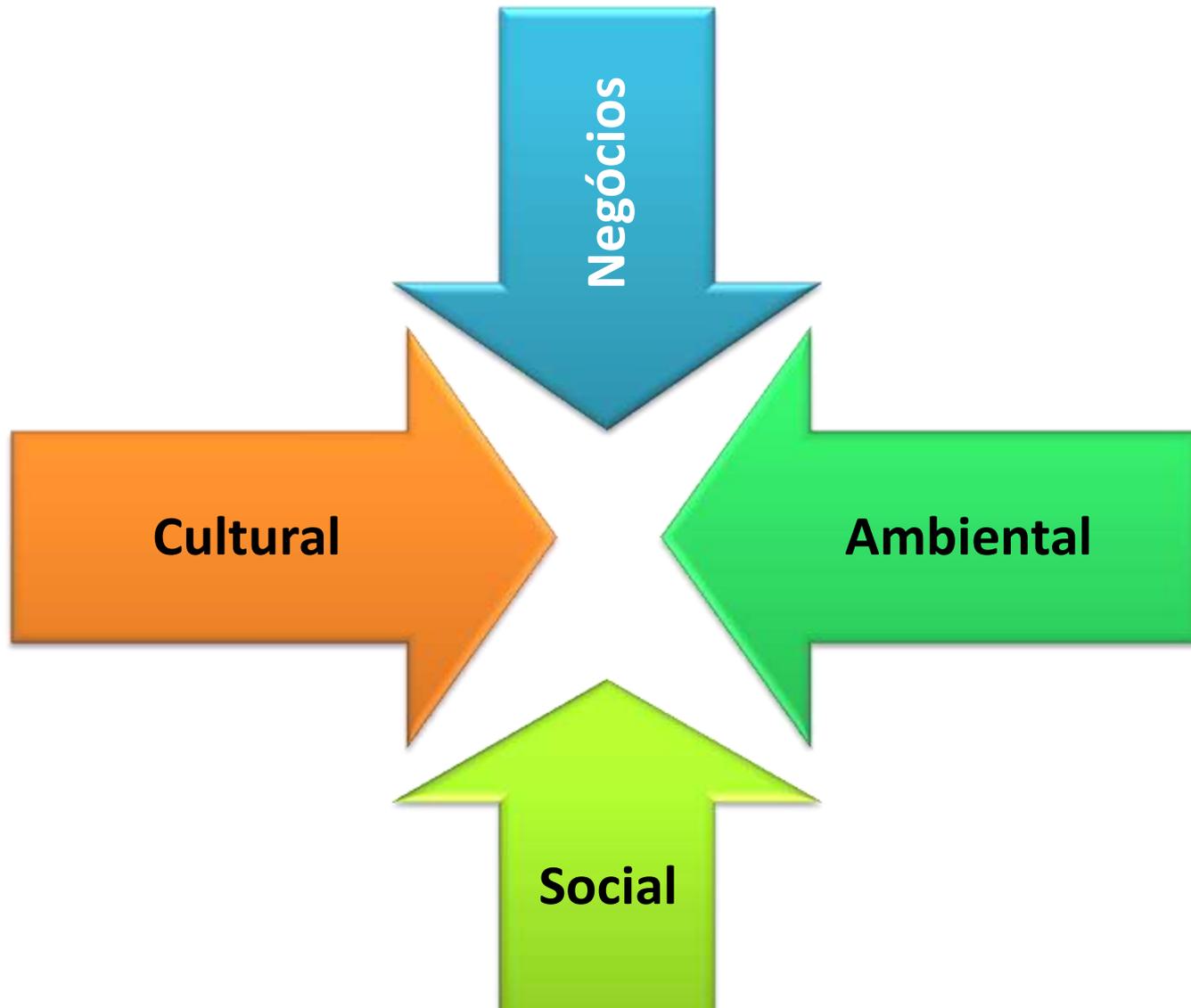


Como fazer?

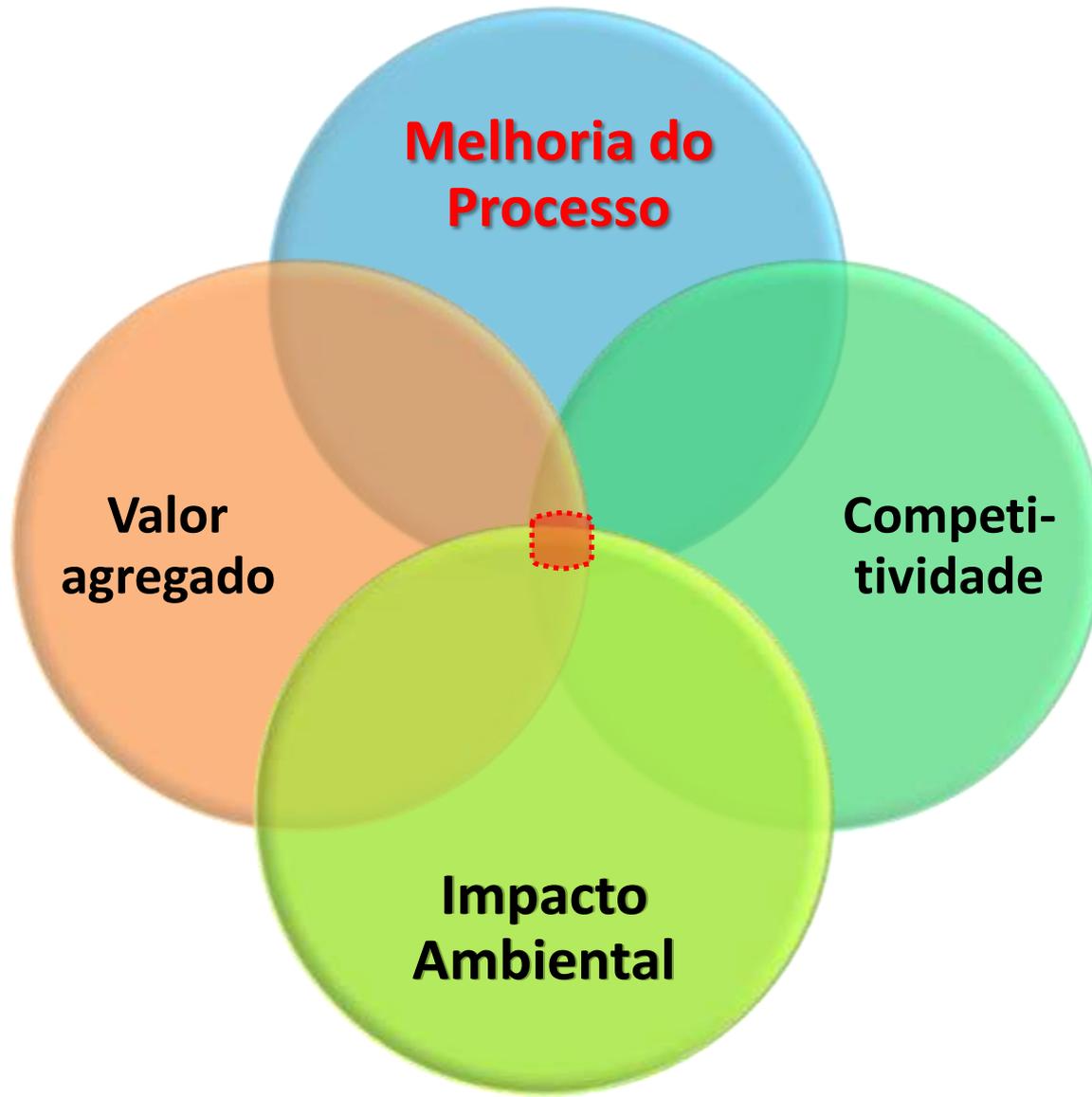


Abordagem Sistêmica

Dimensões da Inovação

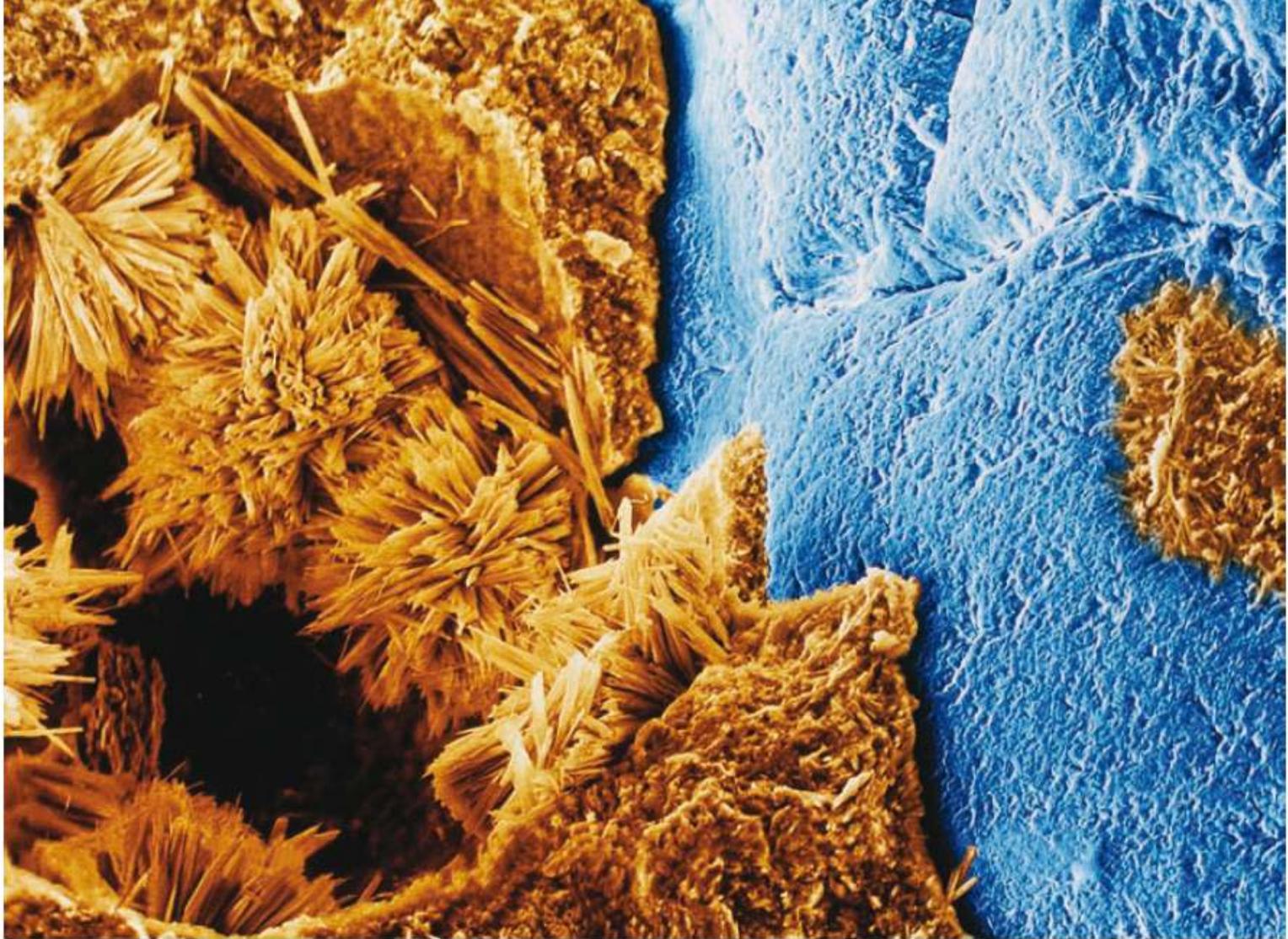


Foco da Inovação

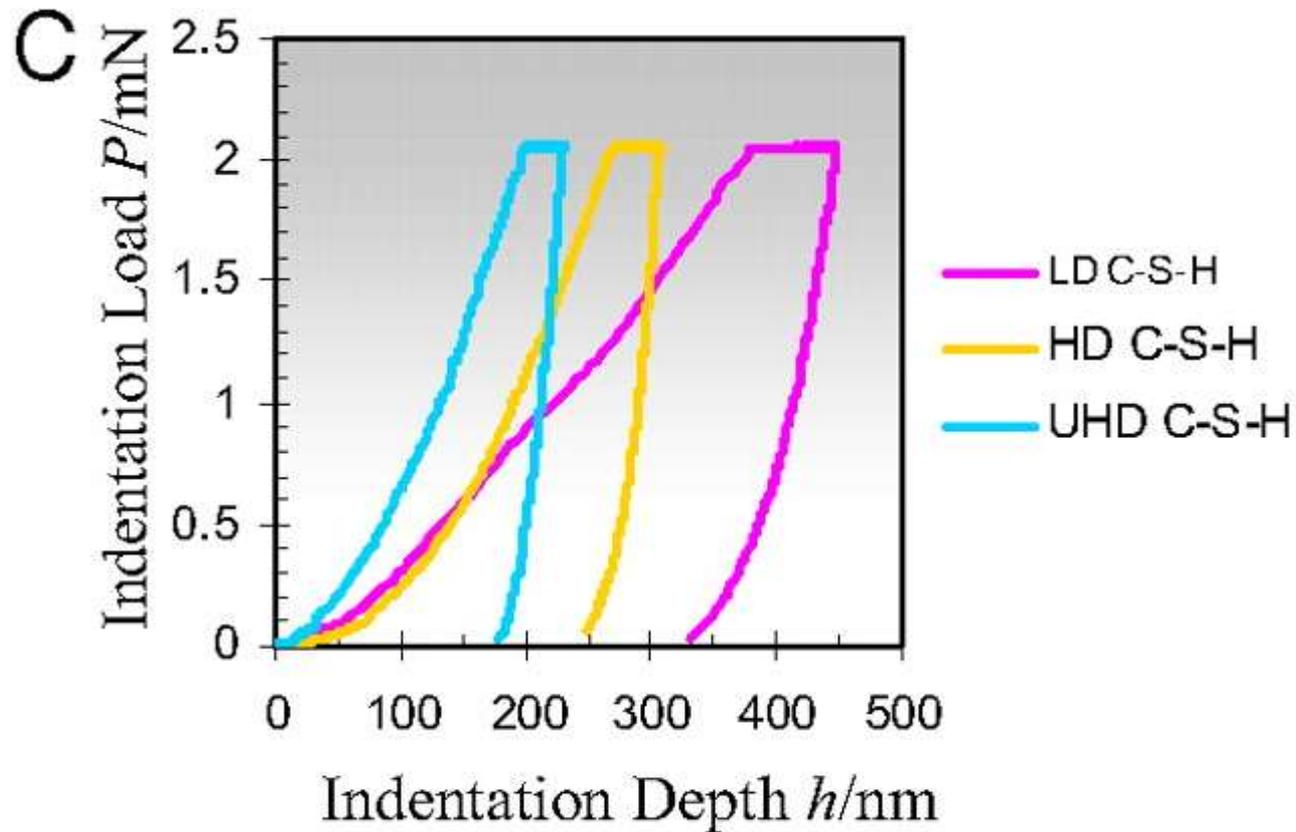


Ciência

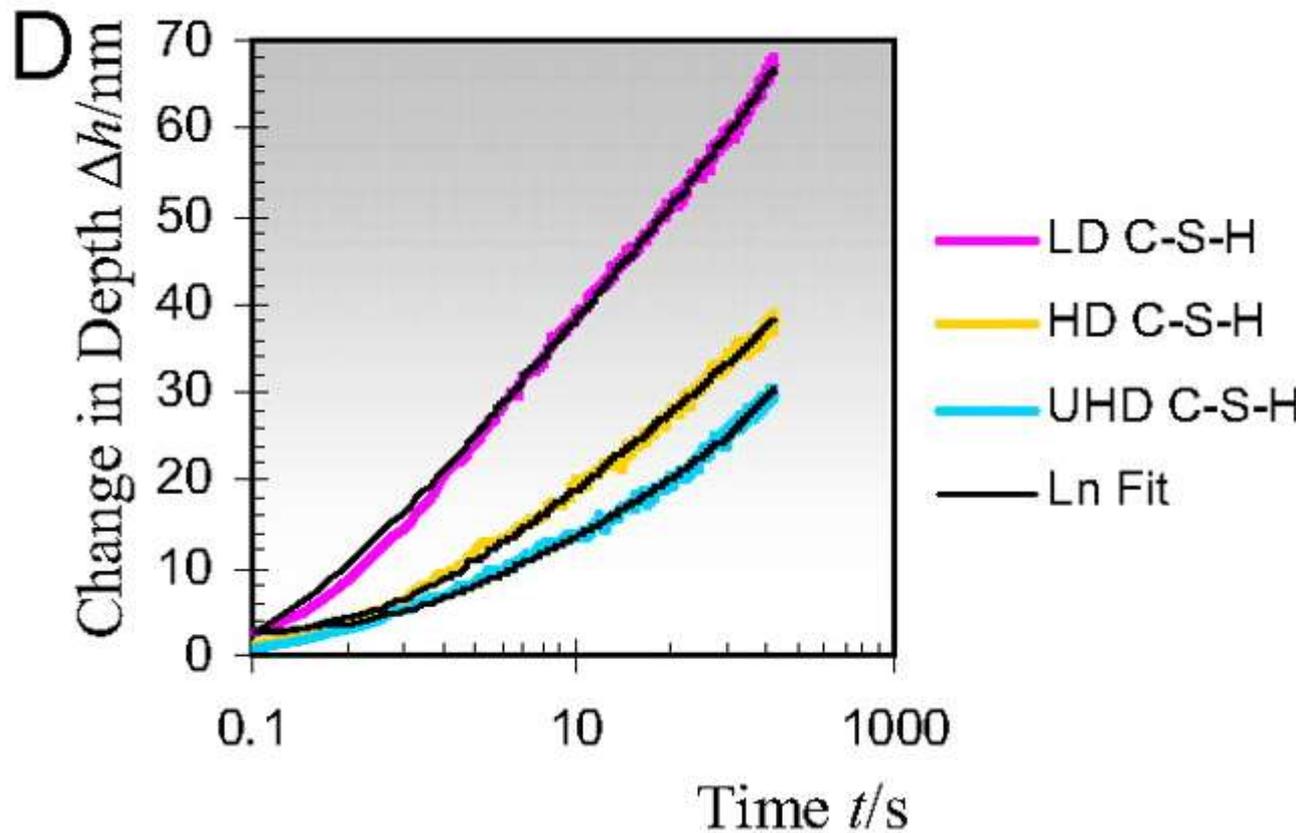
PASCAL GOETGHELUCK / SCIENCE PHOTO LIBRARY



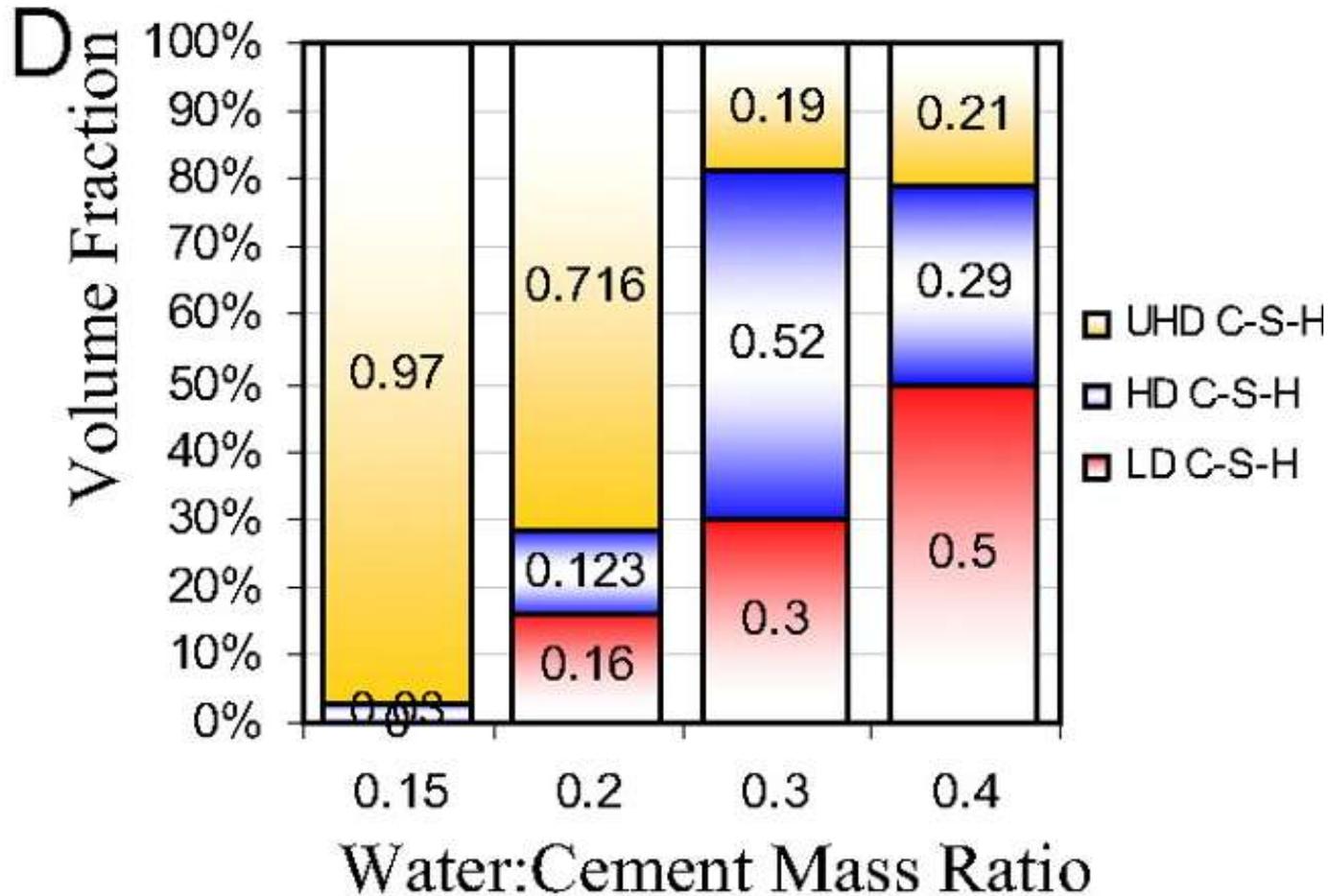
Fluência em escala nano



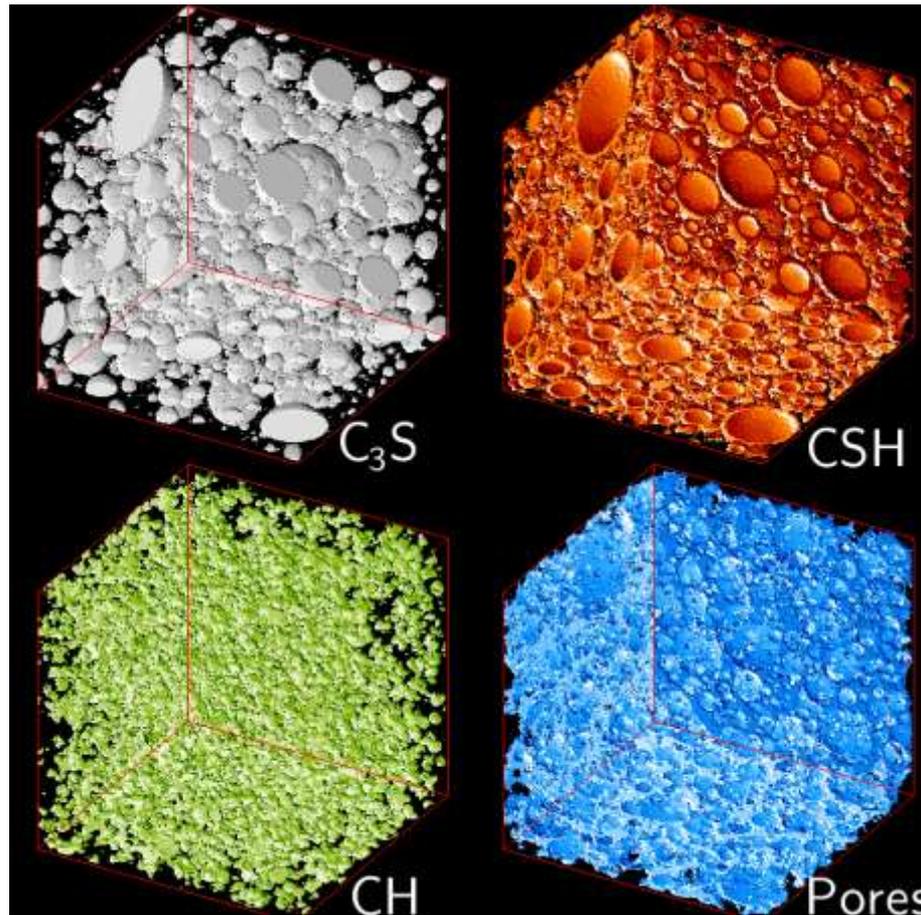
Fluência em escala nano



Controlando a fluência



Vector modelling of cement hydration



Consórcios de pesquisa

NACNet

Inglaterra



**Virtual Cement and Concrete
Testing Laboratory**

ACBM

NIST
National Institute of
Standards and Technology



Consórcios de Pesquisa



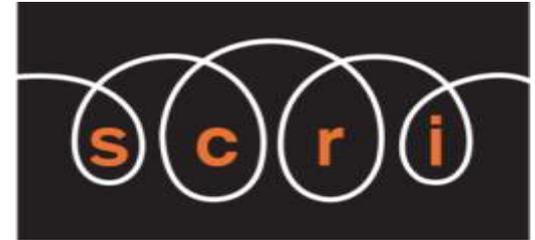
www.pathnet.org



CIFE

Center for Integrated Facility Engineering

<http://cive.stanford.edu>



www.scri.salford.ac.uk



<http://acbm.northwestern.edu>



nano cem

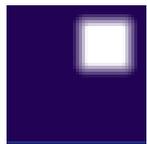
THE INDUSTRIAL-ACADEMIC RESEARCH NETWORK ON CEMENT AND CONCRETE

www.nanocem.org



www.netzeroenergyhome.ca/

Integração com a Cadeia Produtiva



**CONSTRUCTING
EXCELLENCE**
in the built environment

www.constructingexcellence.org.uk/



www.cidb.org.za



CRC Construction Innovation
BUILDING OUR FUTURE

www.construction-innovation.info



www.ccic-ccic.ca



BYGGSEKTORNS INNOVATIONSCENTRUM
Swedish Construction Sector Innovation Centre

www.bic.nu/



CONCRETO & SUSTENTABILIDADE



WBCSD Cement Sustainability Initiative



Futuro : Fatores Críticos

- **Clima**
- **Combustíveis e matérias primas**
- Saúde e segurança
- **Redução de emissões**
- Impactos Locais
- **Reciclagem**



World Business Council for
Sustainable Development



CONSUMO DE RECURSOS NATURAIS



Consumo de recursos naturais

10 ton/hab.ano

países desenvolvidos 45 – 85 ton/hab





Cadeia Produtiva da Construção Consome

40 – 75%
dos recursos naturais





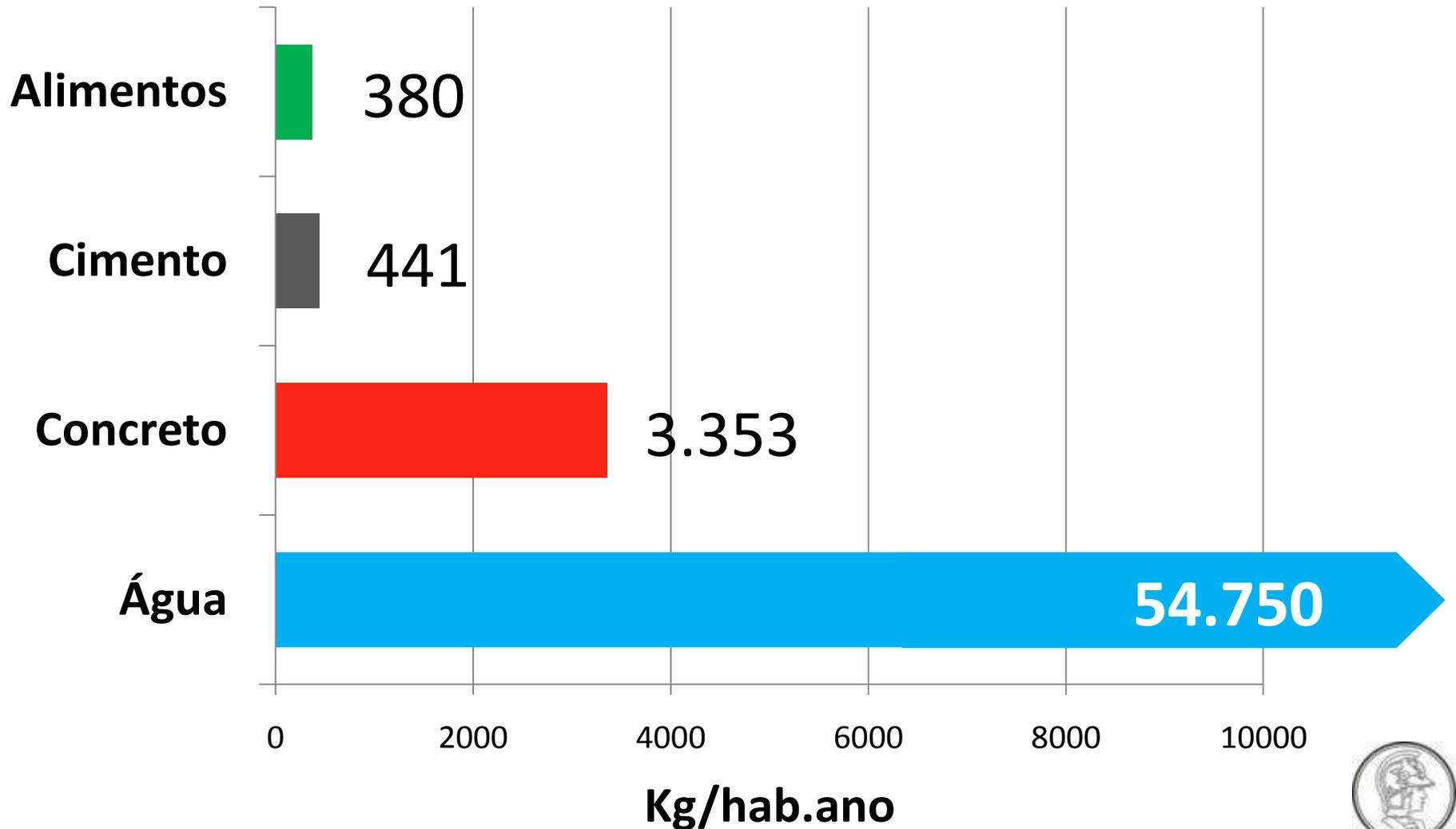


Cadeia produtiva do cimento

1/3 +
dos recursos naturais.



Consumo de recursos naturais





desmaterialização





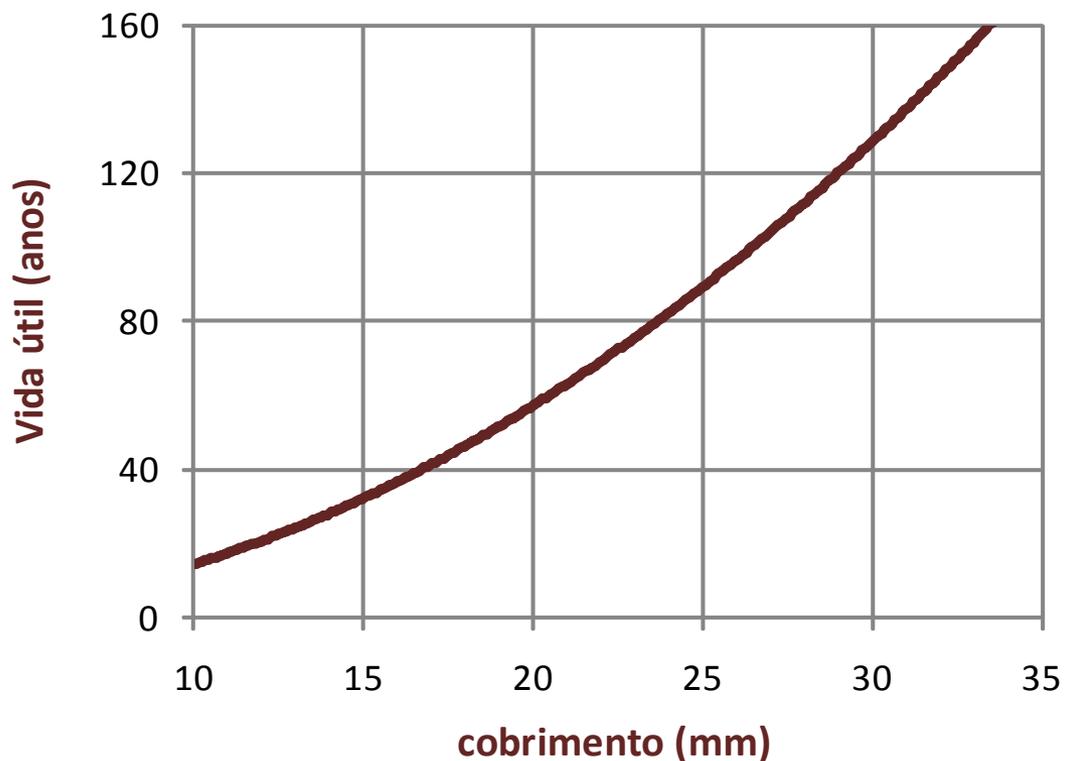
31 10 '96



Como Reduzir as Perdas



Durabilidade do material





Durabilidade do projeto

GERAÇÃO DE RESÍDUOS



Resíduos da Construção

~ 500 kg/hab.ano

Quantidade **superior** ao do lixo urbano



São Paulo, SP

Próximo ao Shopping Jardim Sul



TRANSPORTE BEBÊS CRIANÇAS
ADOLESCENTES VANS EXCLUSIVAS
PARA O PORTINHO
37421578 7857-3269

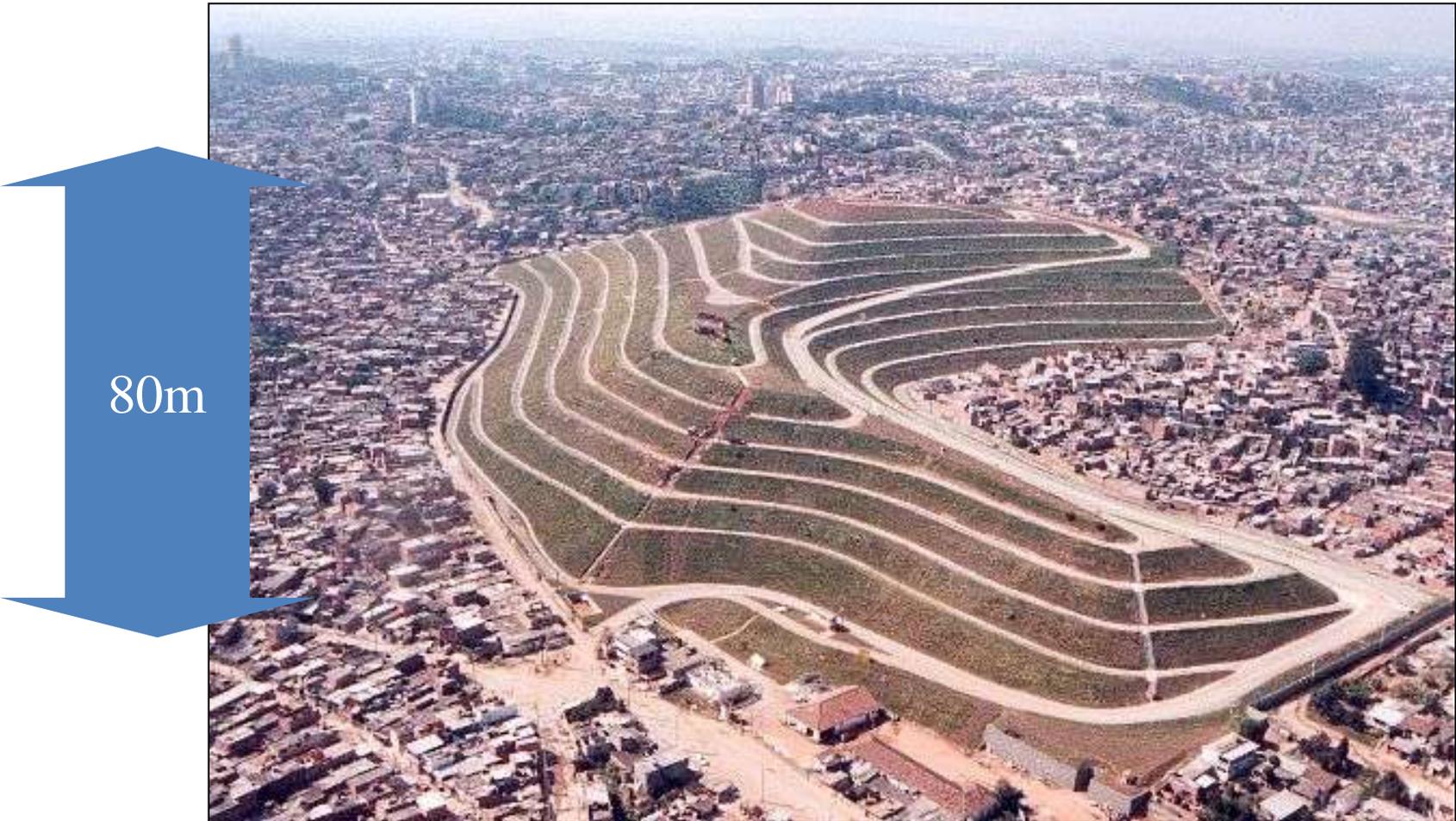
04/11/2001



Resíduos da cadeia produtiva do cimento



Maior parte dos resíduos de construção são cimentícios

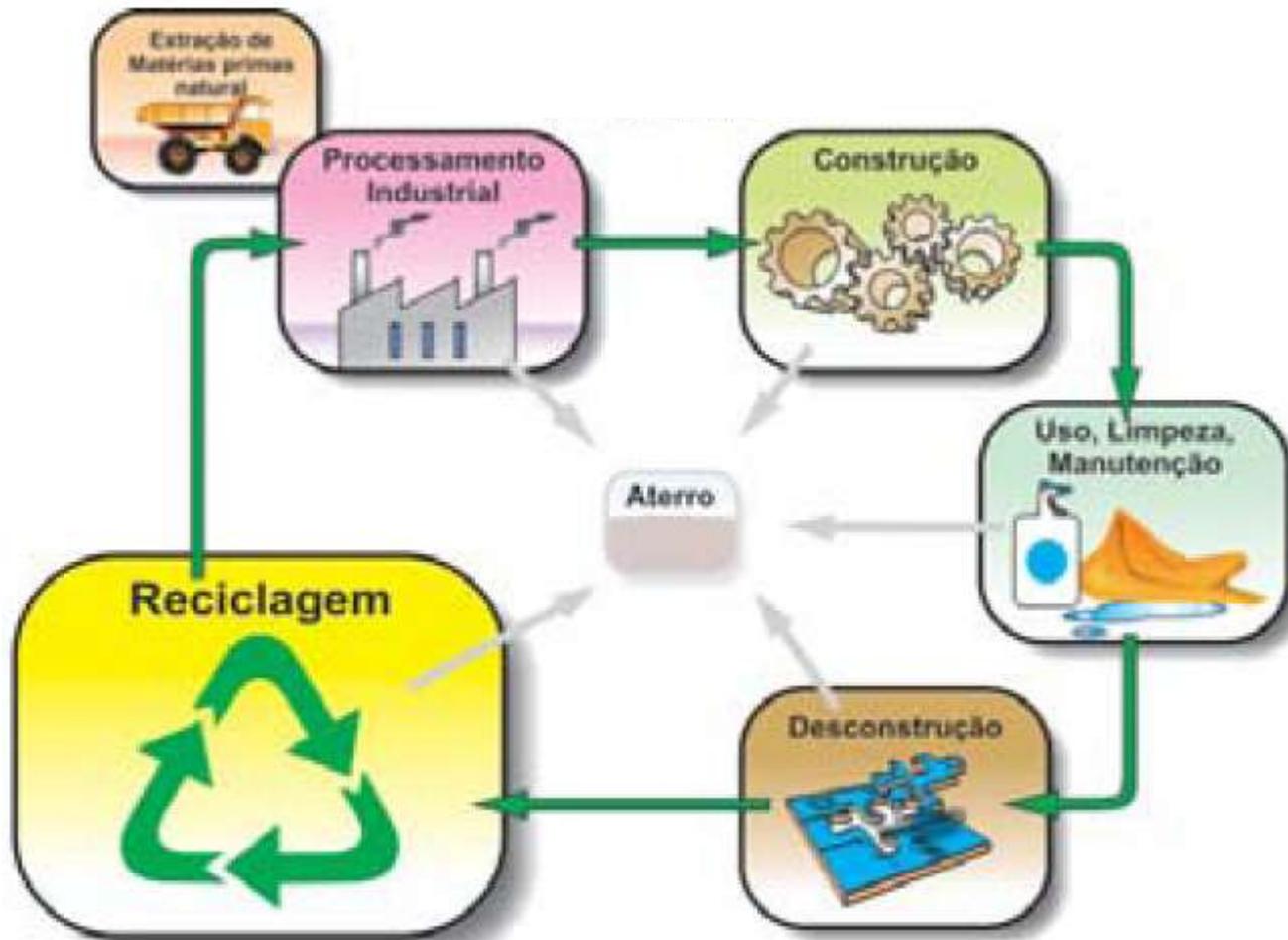


80m

Picture: Marco Antonio Fialho



Desafio: Reciclagem & Prevenção



100%
reciclavél

Cimento
hidradato

finos

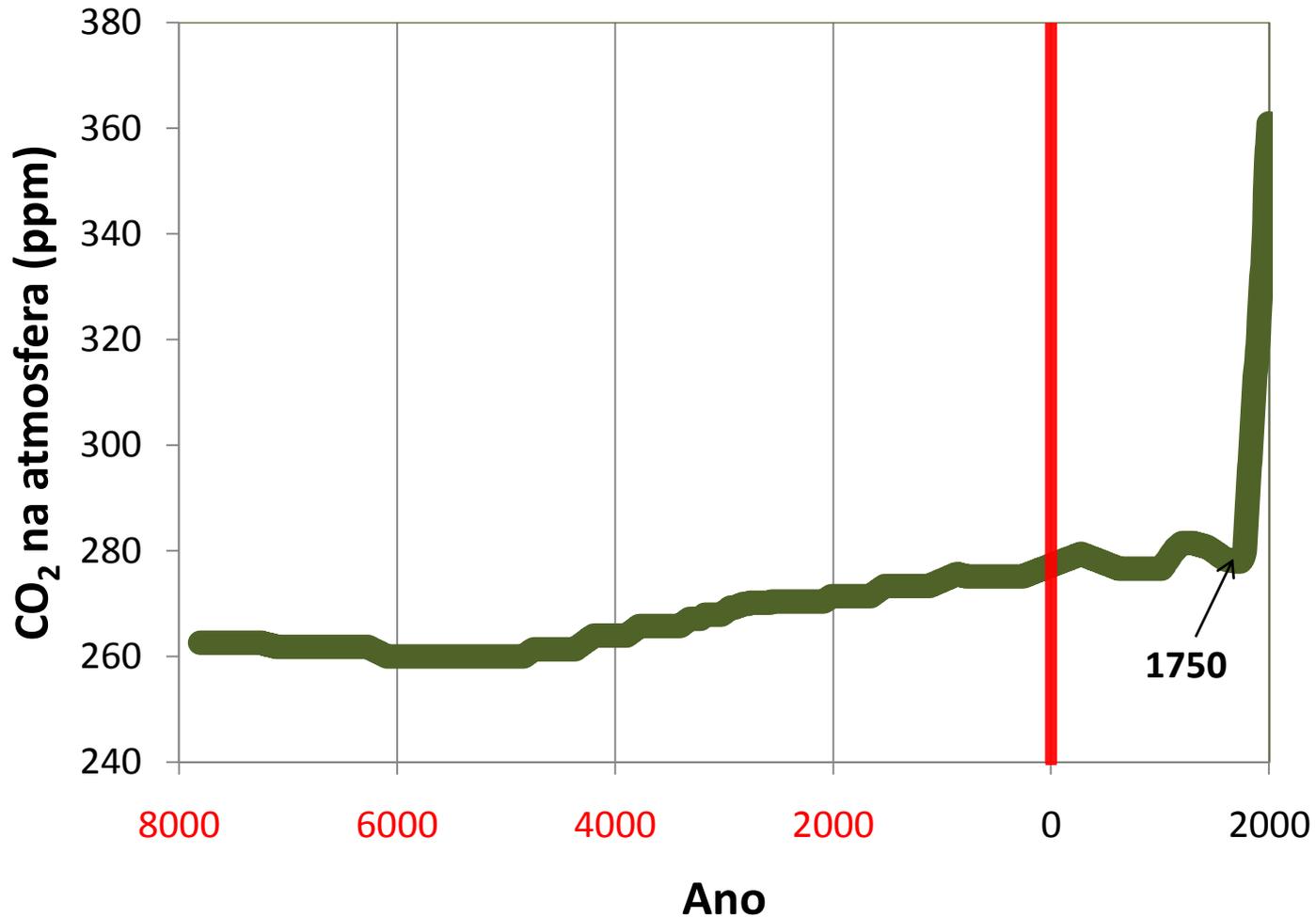
Agregados
graúdos



MUDANÇAS CLIMÁTICAS



CO₂ na atmosfera





Enchentes urbanas



Eventos extremos

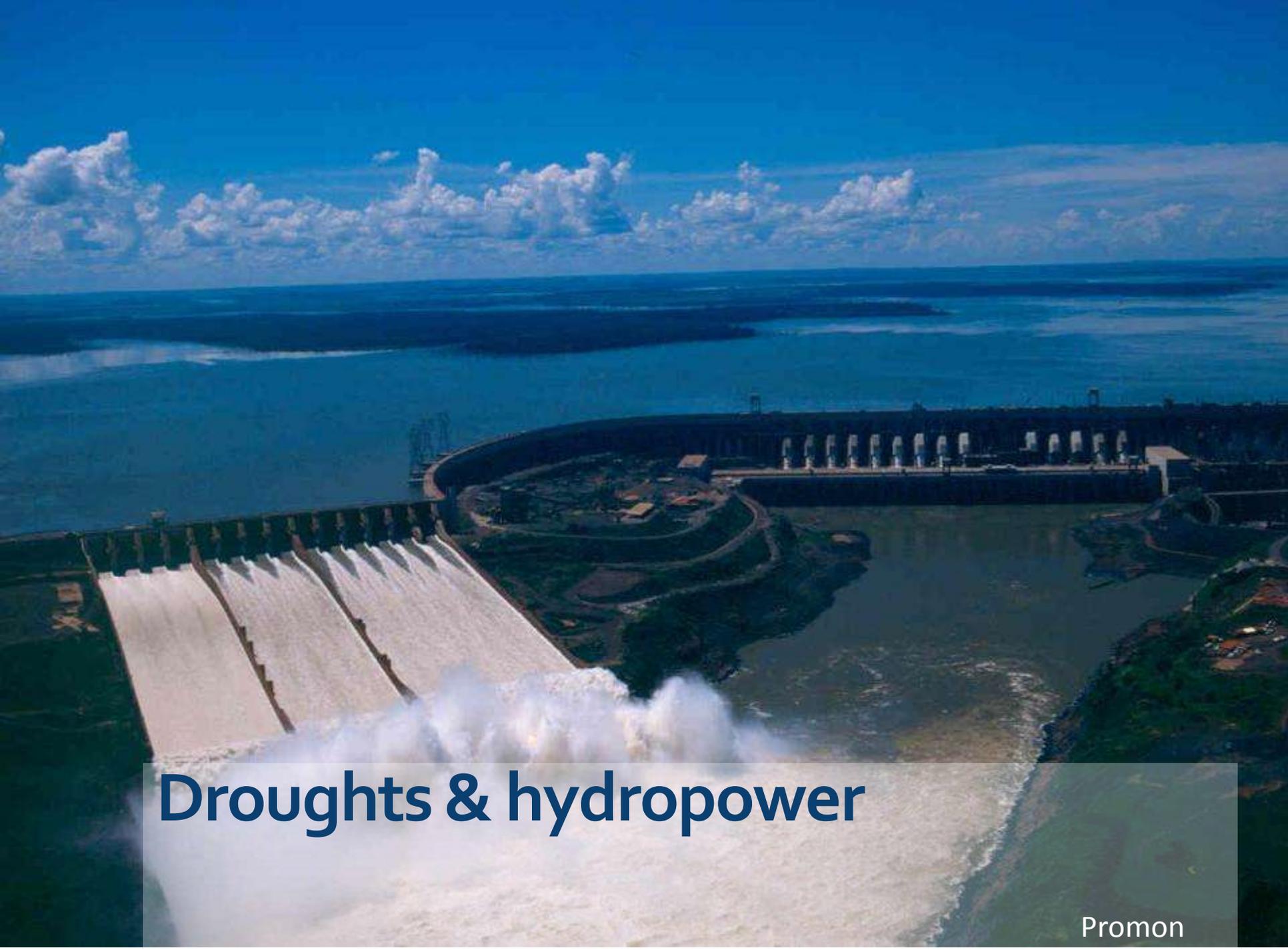


Eventos extremos



Secas



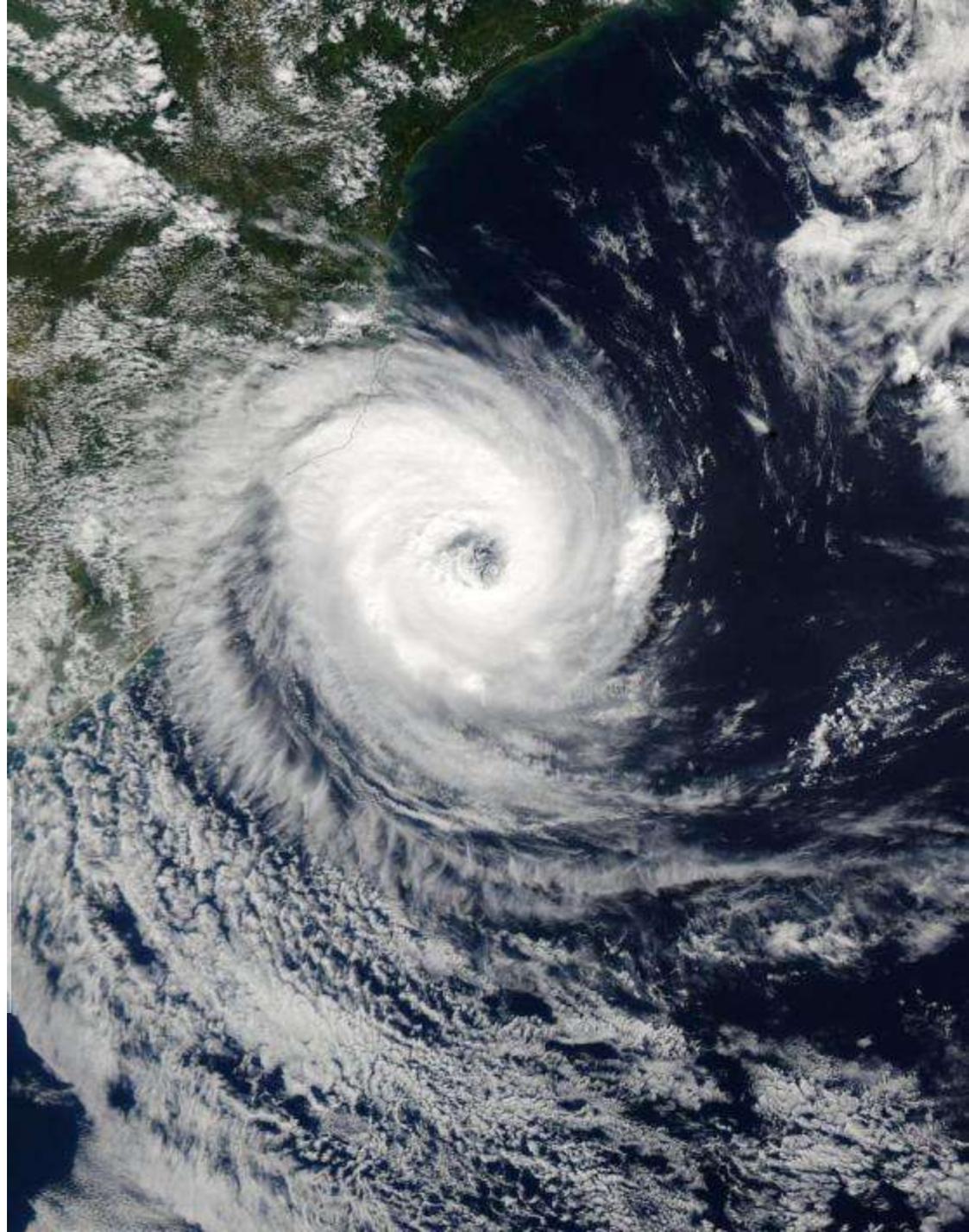


Droughts & hydropower

Novas cargas de vento

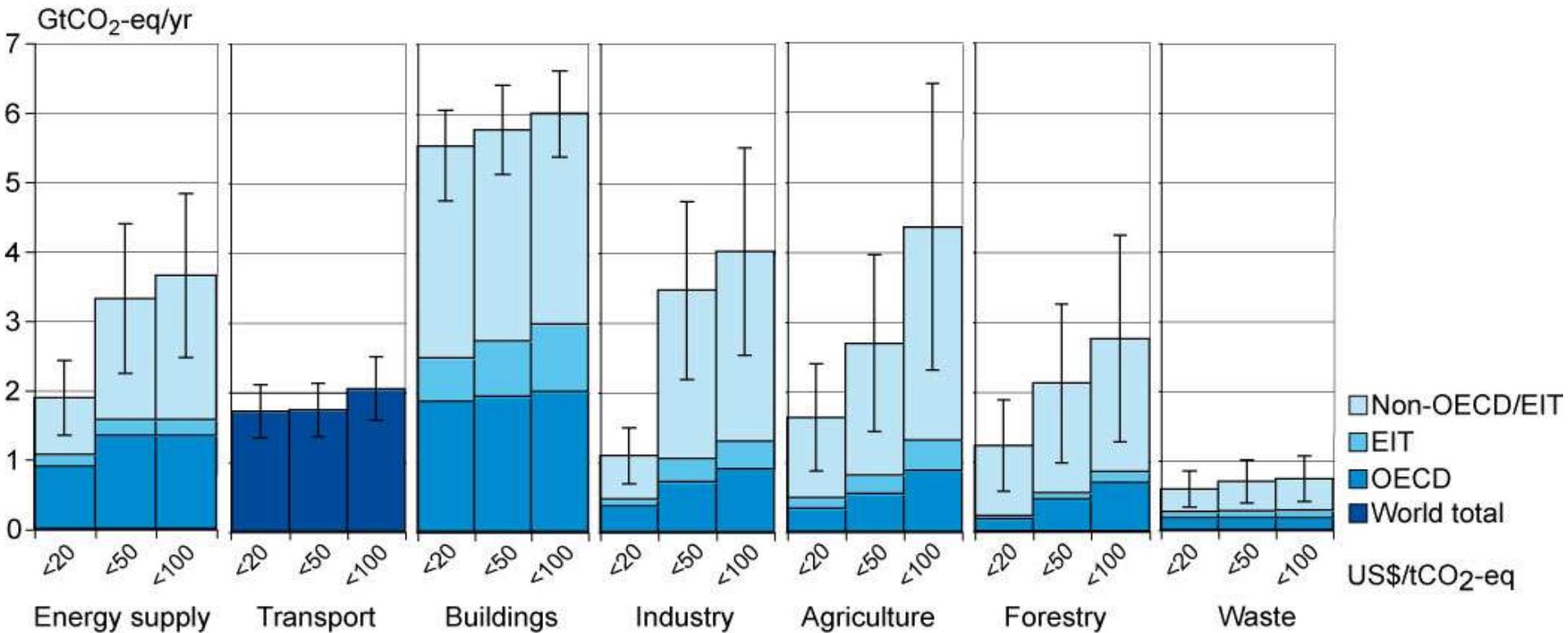
Hurricane Catarina
1st South American

28-mar-2004

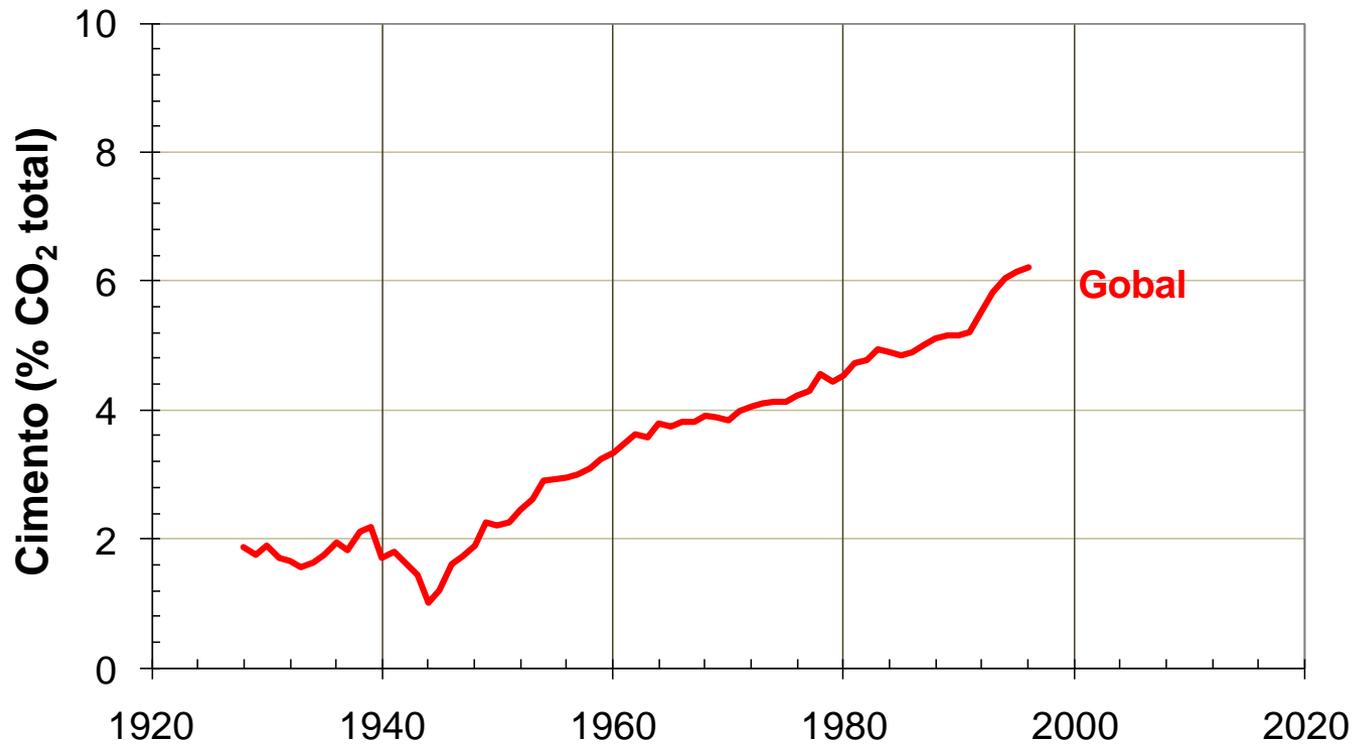




IPCC: edifícios são prioridade



Participação do Cimento e CO₂



BRASIL: ~2%



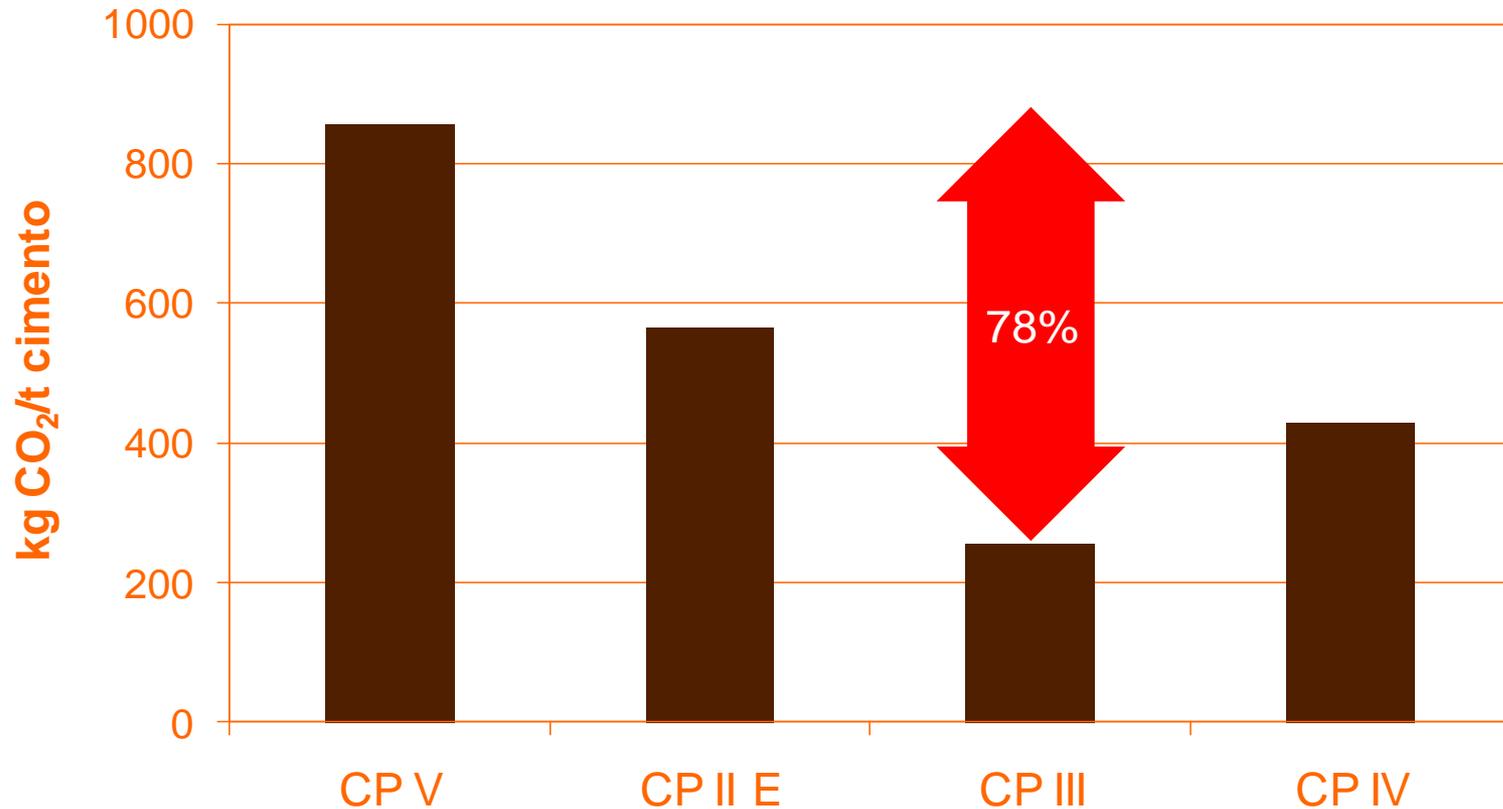
Queima de Combustíveis Fósseis



Decomposição do Calcário



Adições e emissões de CO₂ Cimentos Brasileiros



Emissões do Cimento

~600 kg/ton



Emissões do Concreto

100 – 600 kg/m³

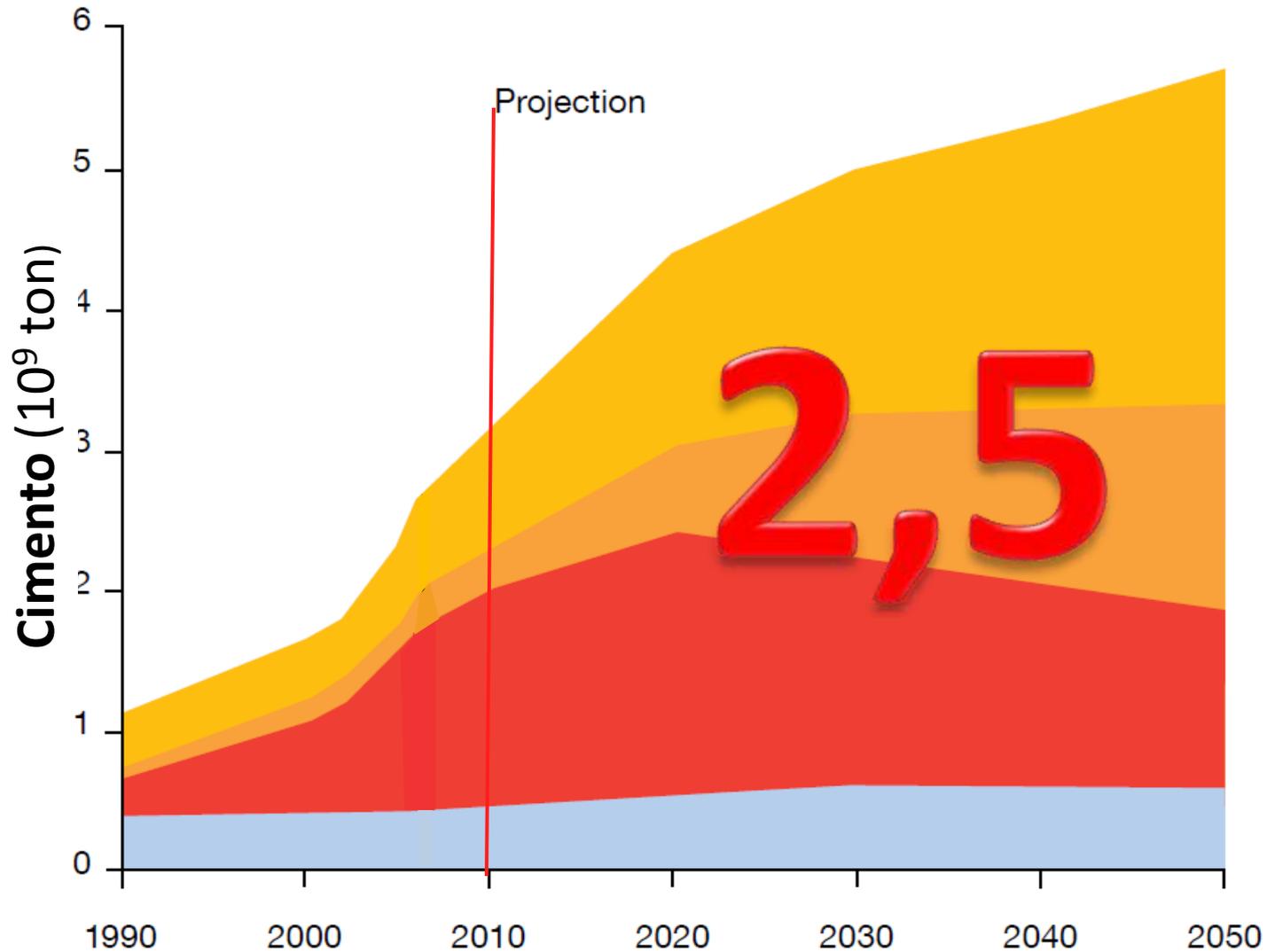


Estratégia de mitigação

adições
cliquer



Evolução da demanda

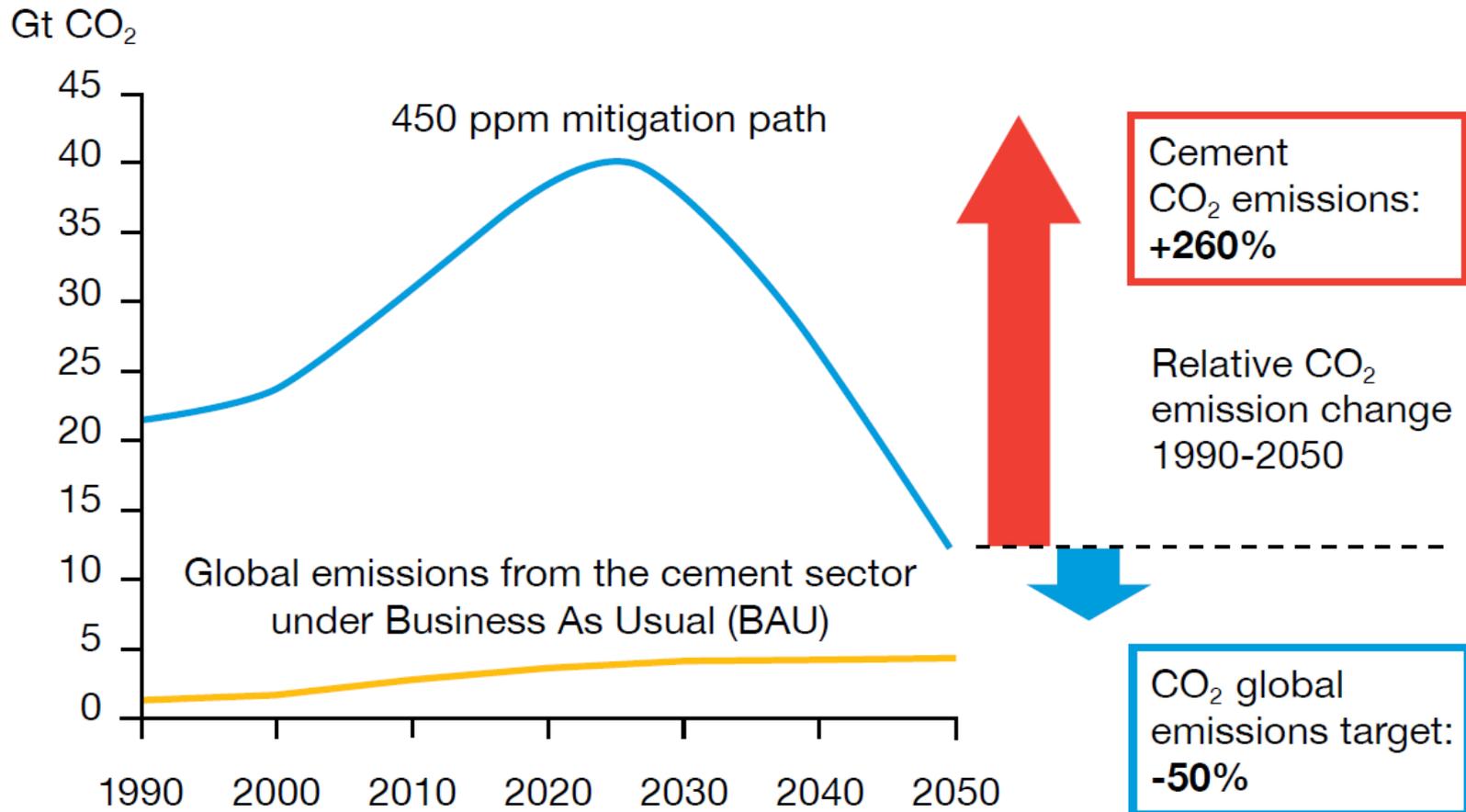


Adições residuais

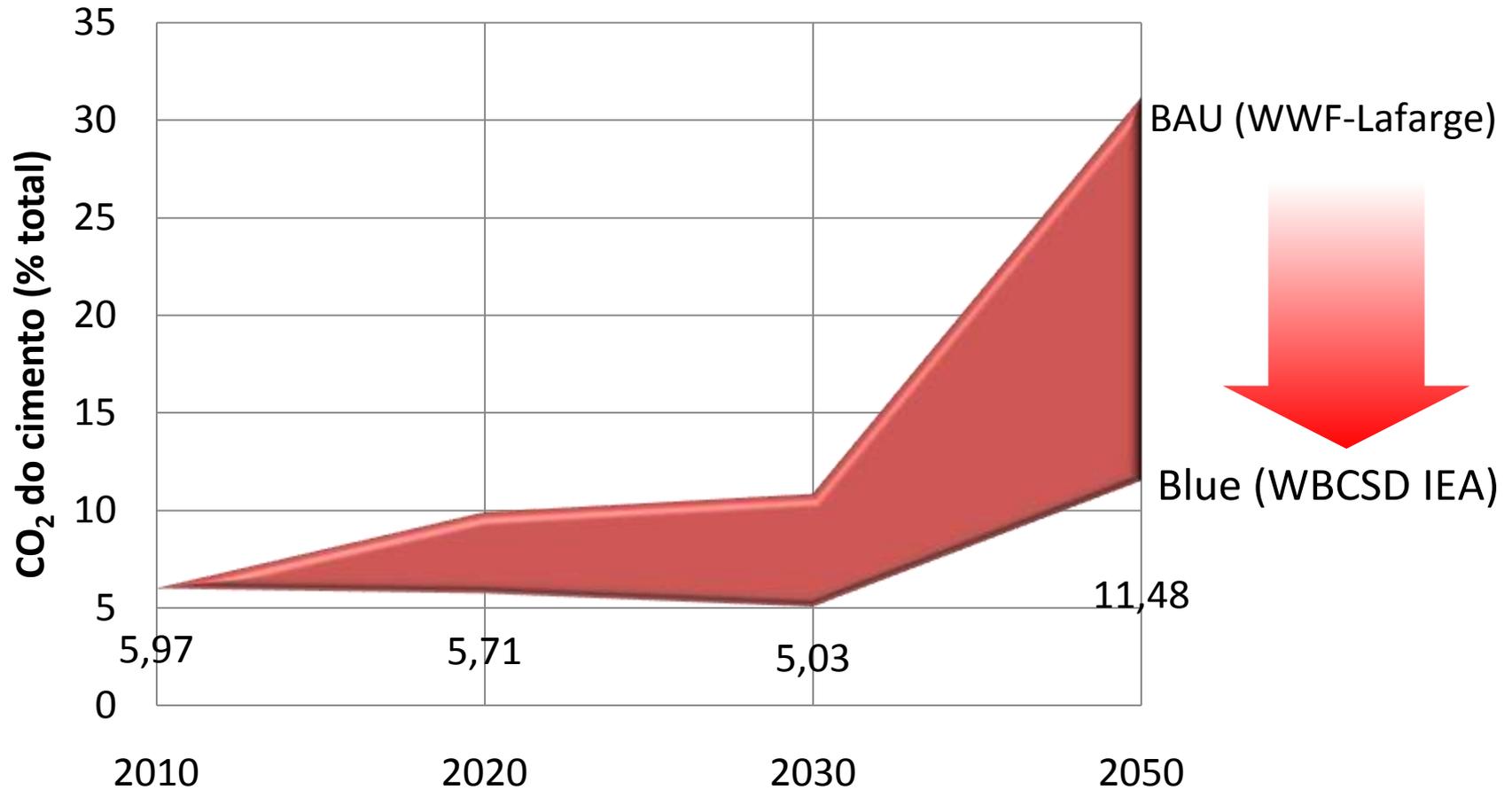
oferta limitada.



Emissões de CO₂



CO₂ da produção de cimento

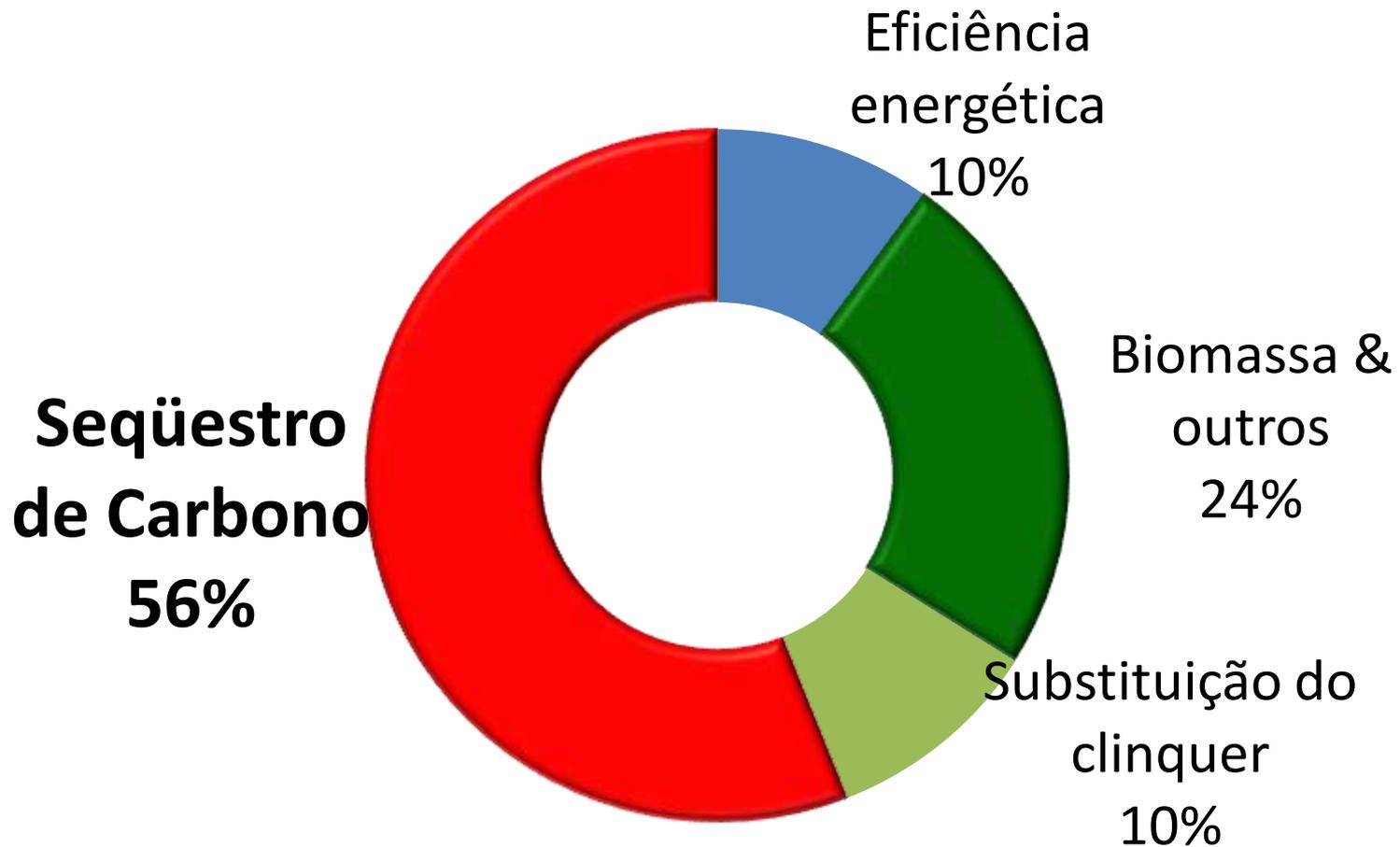


WBCSD & IEA Cement Technology Roadmap 2009

A blueprint for a climate friendly cement industry. WWF-Lafarge 2008



Contribuição para Mitigação de CO₂



Investimento para Mitigação

US \$354 a 843 bilhões



Investimento para Mitigação

US \$354 a 843 bilhões

CSC ~80%

Apesar do investimento, mantidas as soluções tecnológicas, as emissões irão crescer.



Captura e Seqüestro de Carbono

USD \$40–170/t CO₂

custo?



~~CS C~~



Outras alternativas são necessárias.

Uso mais eficiente de ligantes

Desmaterialização

Reciclagem



**É POSSIVEL MELHORARA
EFICIÊNCIA DO USO DE LIGANTES?**



Cement & Concrete Composites 32 (2010) 555–562



ELSEVIER

Contents lists available at ScienceDirect

Cement & Concrete Composites

journal homepage: www.elsevier.com/locate/cemconcomp



Measuring the eco-efficiency of cement use

Bruno L. Damineli, Fernanda M. Kemeid, Patricia S. Aguiar, Vanderley M. John *

Department of Construction Engineering, Escola Politécnica, University of São Paulo, 05508-900 São Paulo, SP, Brazil

Benchmark de literatura

- 156 papers
 - 59 artigos do Brasil (Ibracon)
 - 97 artigos de **28 países**



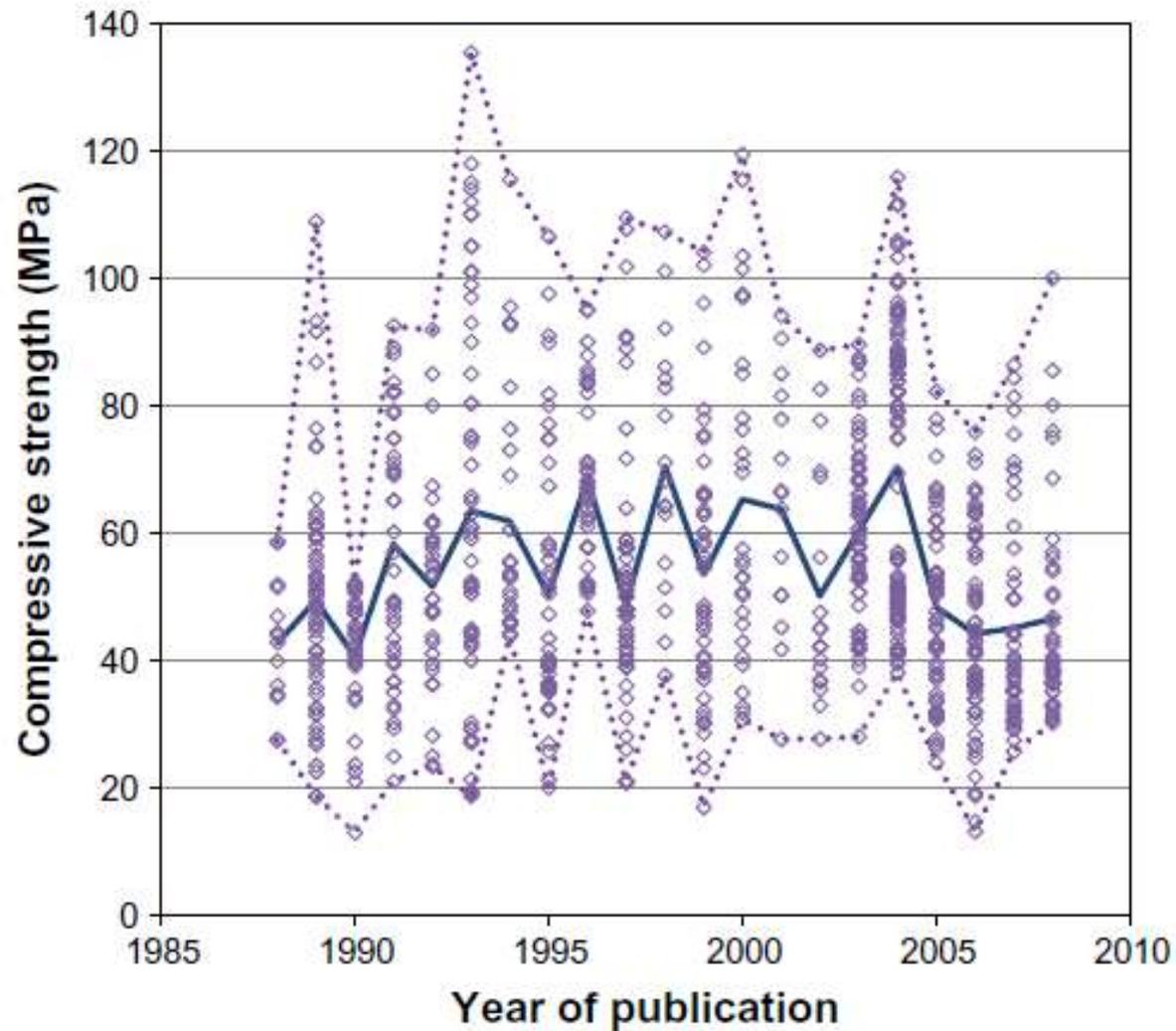
Ligante

- Clinquer
- Adições

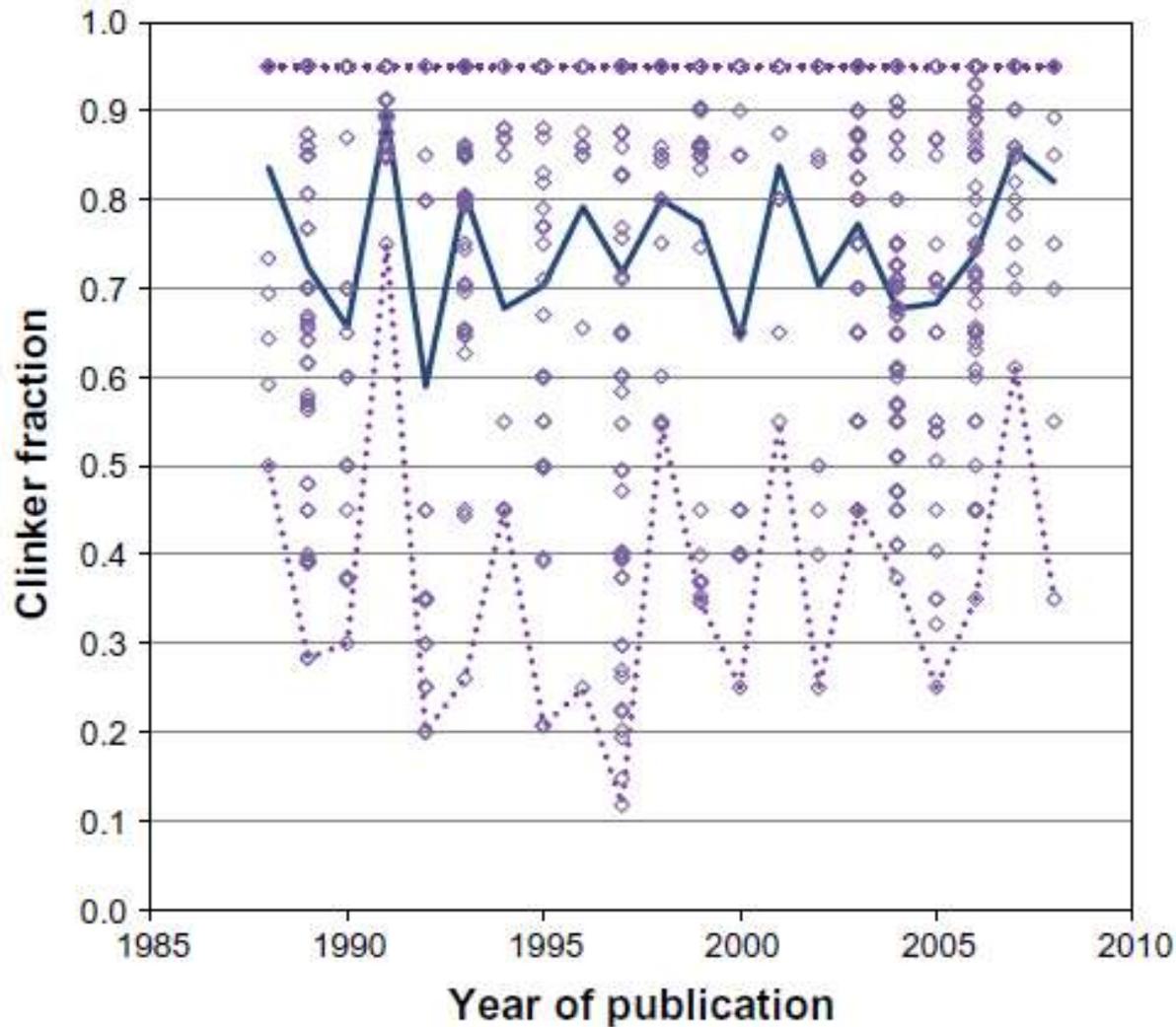
- Exclui o filler



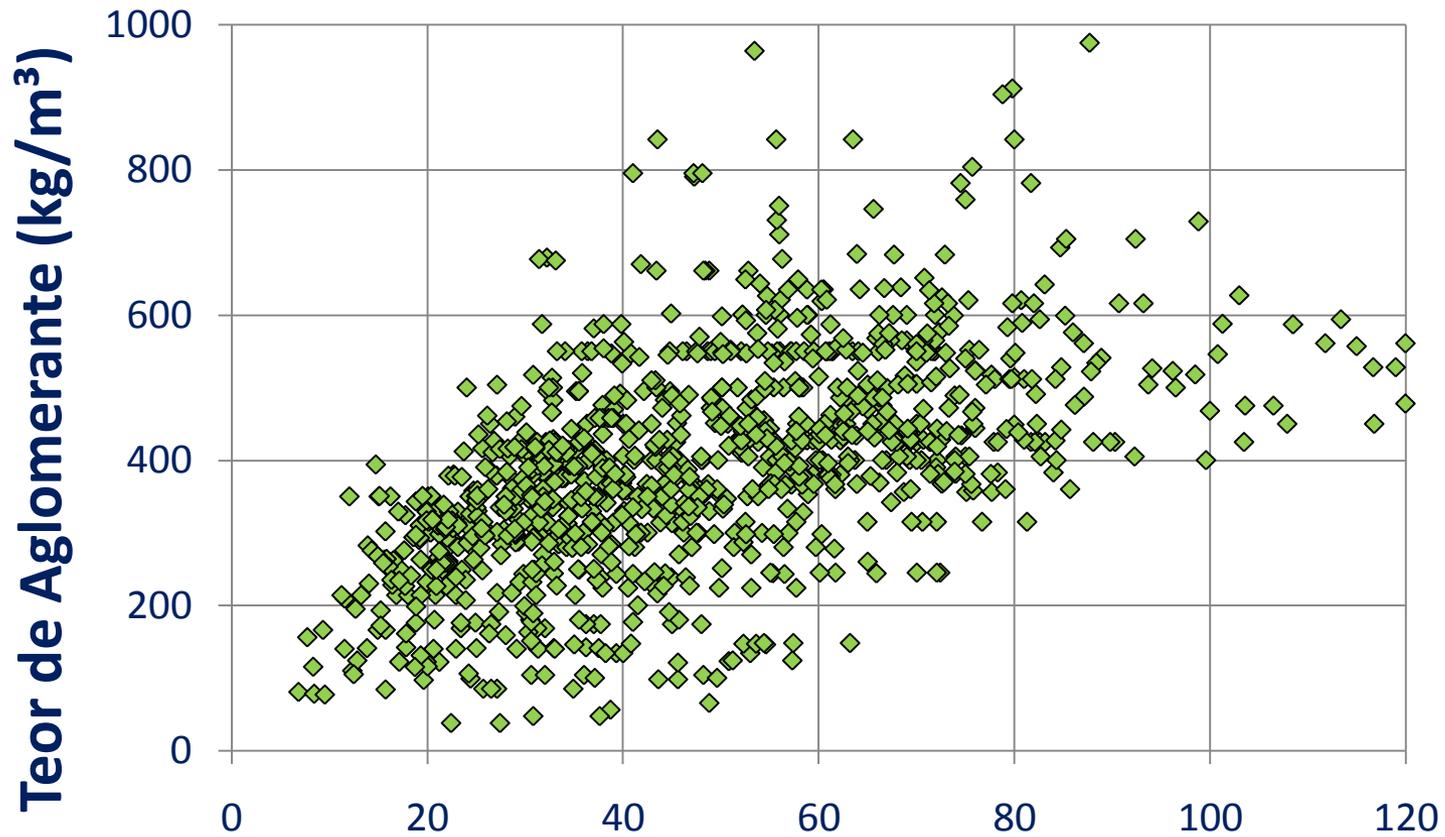
Amostra estudada



Amostra estudada



Dados do Ibracon

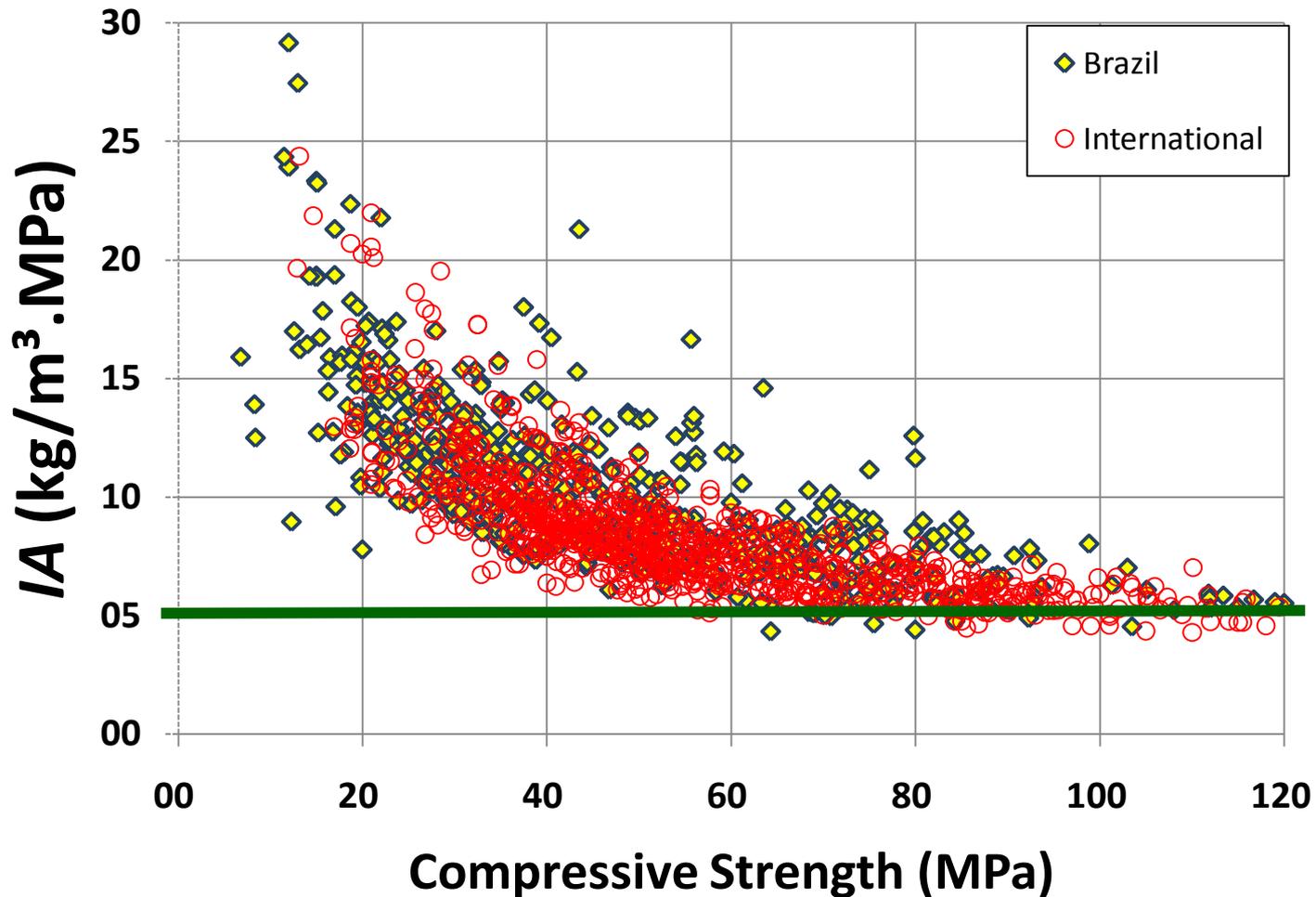


Resistencia a compressão (MPa, 28 dias)

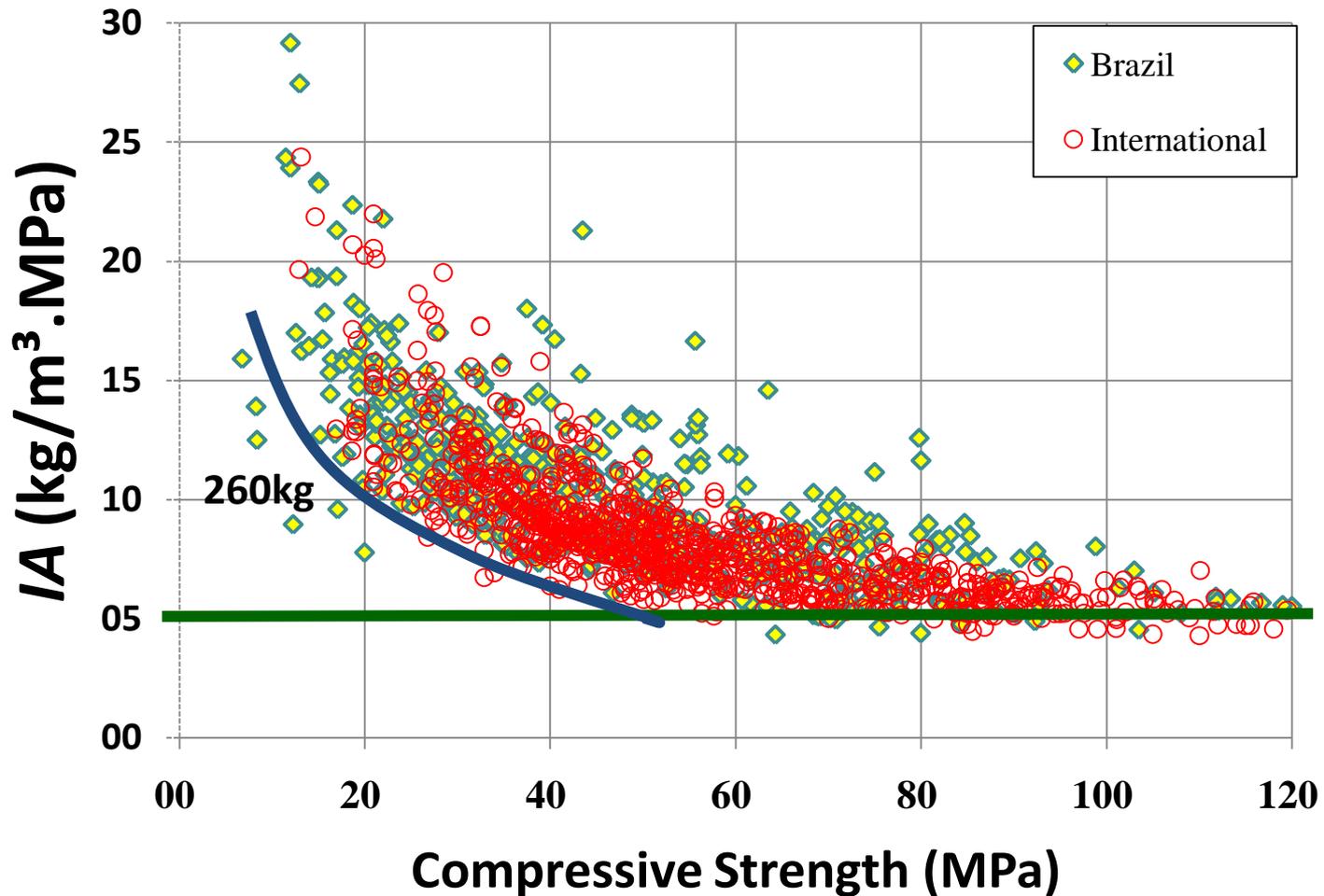
Damineli, Kemeid, Aguiar; John [Measuring the eco-efficiency of cement use](#).
Cement & Concrete Composites, p. 555-562, 2010



Ibracon + Internacional

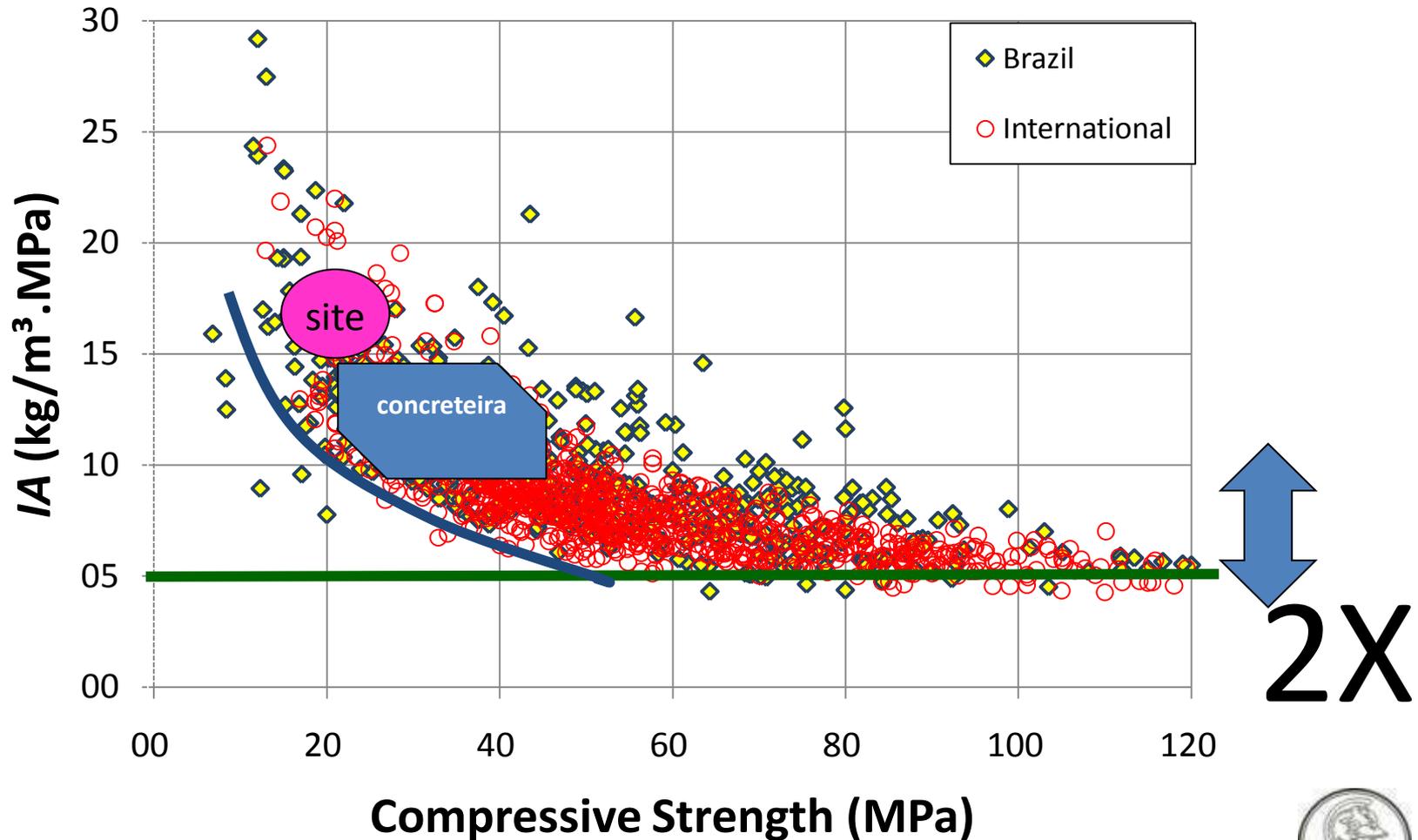


Ibracon + Internacional



Ibracon + Internacional

literature + preliminary market data (Brazil) + BAT



Concreto dosado em Central

- **Muito mais ecoeficiente que o misturado em obra.**
 - Brasil: <20% do cimento
 - Países desenvolvidos: > 80%
- Sustentabilidade exige a substituição do concreto misturado sem controle.



Minimizando o Consumo de ligante

Teor de ligante não influencia a durabilidade

- Wassermann, Katz and Bentur, **Minimum cement content requirements: a must or a myth?**, *Mater Struct* 42 (7) (2009), pp. 973–982
- Dhir, McCarthy, Zhou and Tittle, **Role of cement content in specifications for concrete durability: cement type influences**, *Proc ICE – Struct Build* 157 (2) (2004), pp. 113–127.



Minimizando o Consumo de Ligante

Mínimo possível atual: $\sim 5\text{kg} / \text{m}^{-3} \cdot \text{MPa}^{-1}$

- f_{ck} : 50MPa \rightarrow já é possível e praticado
- $f_{cj} < 50\text{MPa} \rightarrow$
 - Não é atingido na pratica
 - Existe necessidade de finos



Concretos < 50MPa

- **Novos Cimentos**
 - **Maior teor de filler f(aplicação e f_{cj})**
 - Garantia da hidratação dos ligantes
- **Produtos pré-misturados**
 - Argamassas industrializadas
 - Substituição do concreto dosado em obra
- Dispersantes de alta eficiência
- Novos paradigmas de dosagem
- Empacotamento de agregados
- **Redução da variabilidade (água/cimento)**



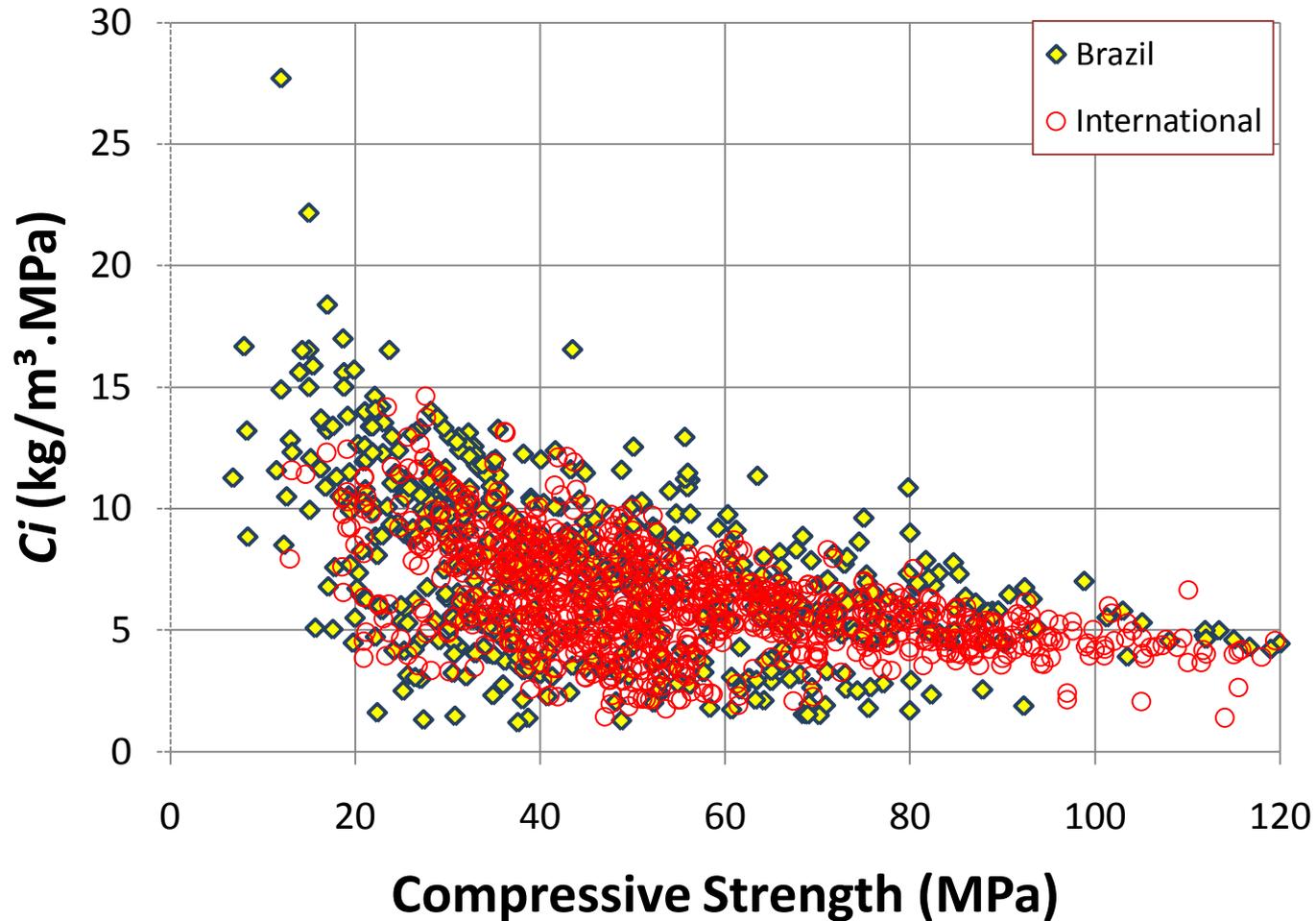
Minimizando o Consumo de Ligante

- Mínimo futuro : $<5\text{kg /m}^{-3}.\text{MPa}^{-1}$
 - **Controle granulométrico:**
 - Garantir reação completa dos aglomerantes
 - Minimizar a água para trabalhabilidade
 - Empacotamento
 - Dispersantes adicionados no cimento
 - **Novos aglomerantes c/ maior água combinada**
 - Melhoria de processamento

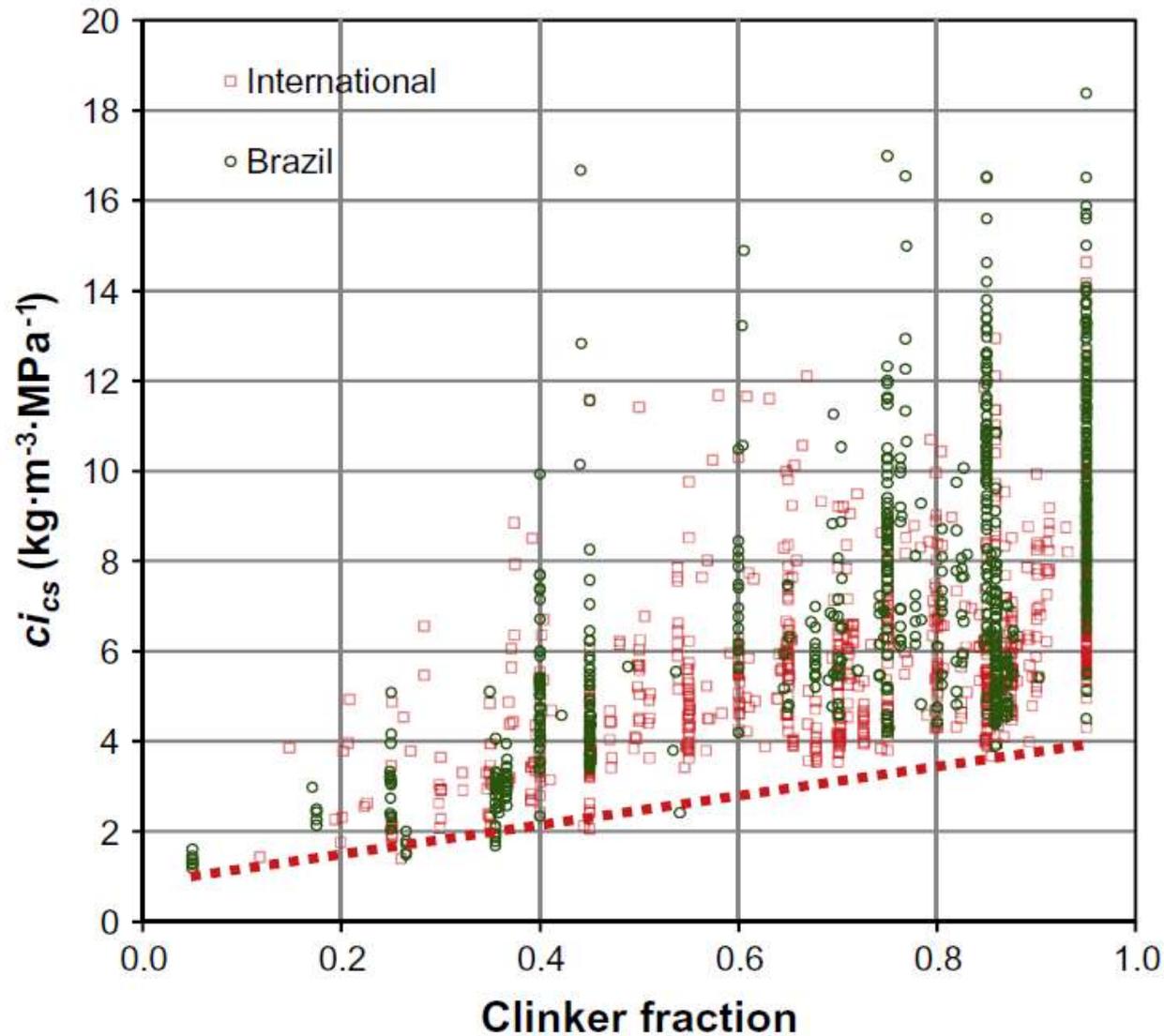


Intensidade de CO₂ Ci

literature data (estimative)



Efeito do clínquer no C_i



Redução do consumo de ligante

Algumas estratégias

- Tecnologia de produção de cimentos
 - menos ligantes
 - 100% hidratáveis
- Reologia & aditivos
- Processamento de concreto
- Durabilidade

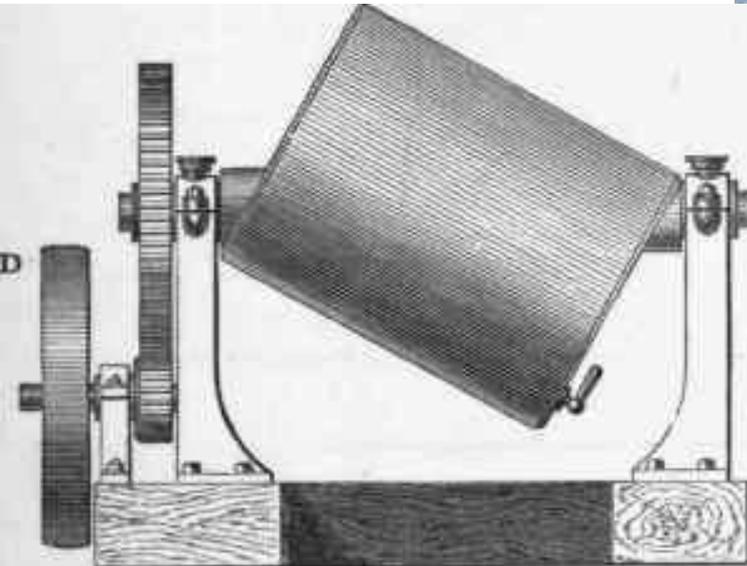
- **Novos ligantes e adições**



PROCESSAMENTO



Betoneiras: uma idéia de 120 anos



Tendências em Processamento

Mistura em dois estágios

- Dispersão da pasta, com alta energia
- Homogeneização com os agregados, em betoneira convencional

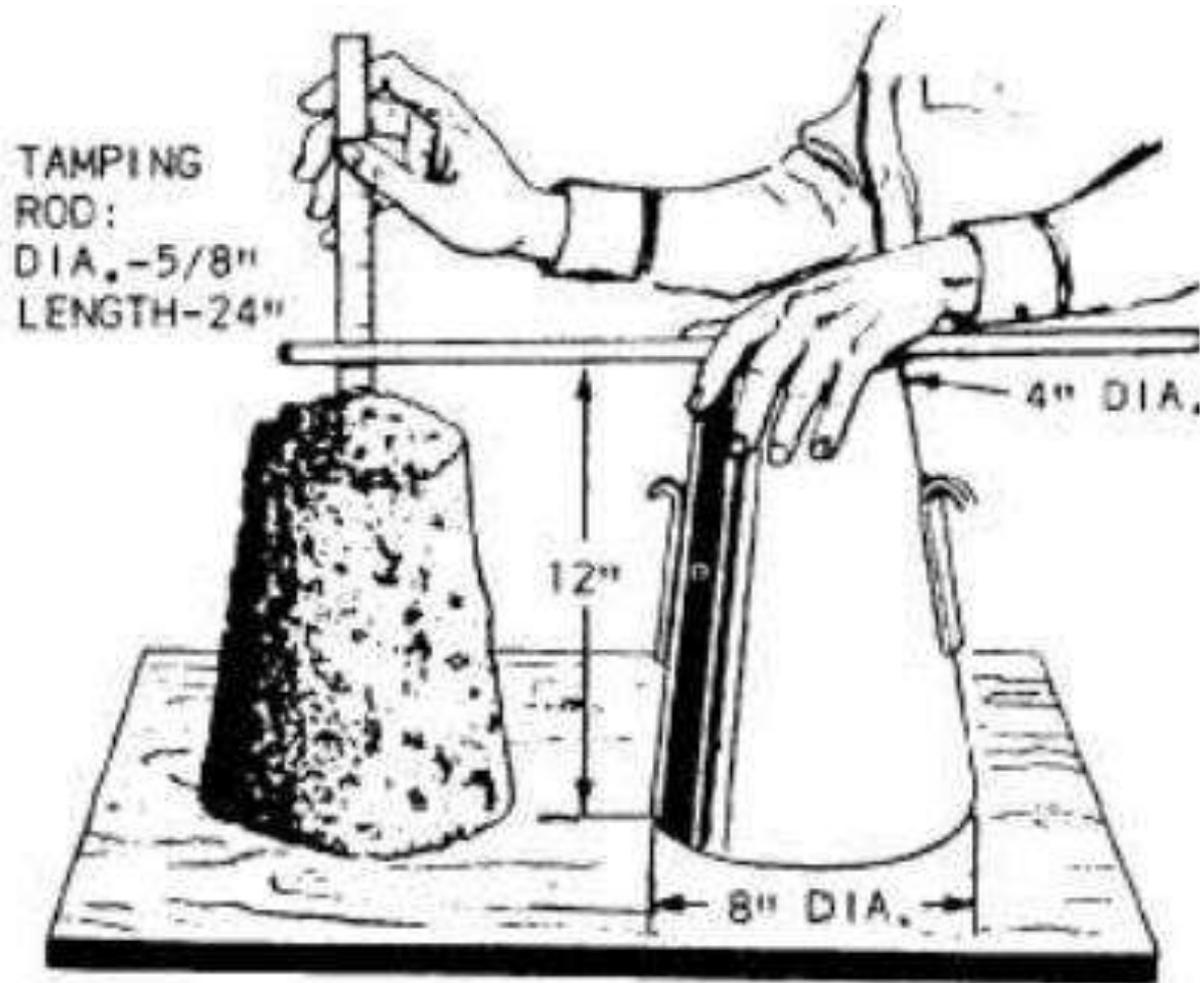
Ganho: 10 -15% na resistência



Dispensor de Pasta



Projeto da Trabalhabilidade



Projeto da Reologia



The Exploratory Advanced Research Program Fact Sheet



Crack-Resistant Concrete

Maximizing the Service Life of Transportation Infrastructure

Exploratory Advanced Research . . . Next Generation Transportation Solutions

Crack-free concrete? Although much progress has been made in reducing concrete's propensity to crack, the goal remains elusive. A novel approach to this problem is the focus of "High-Perfor-

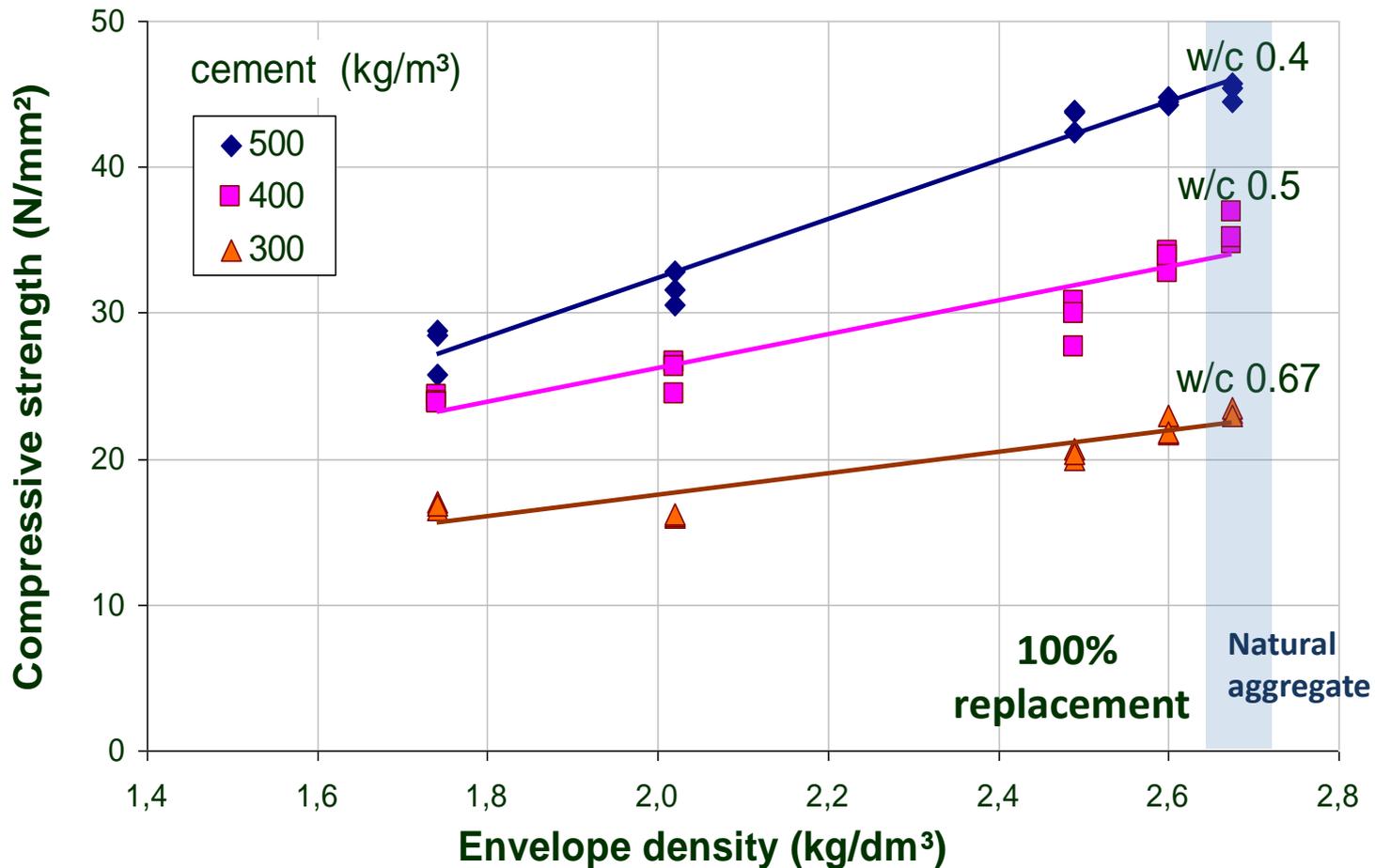
age and have included reducing the water-to-cementitious-materials ratio, using mineral admixtures, and adding shrinkage-reducing admixtures. The SRCC approach in this project, however, will address not only cracks caused by shrinkage but also those related to thermal changes, expansive corrosion reactions, ASR expansions, and other causes.



EXEMPLOS DE PRODUTOS INOVADORES



Processamento e Agregados Reciclados



Agregados Reciclados: aplicação potencial

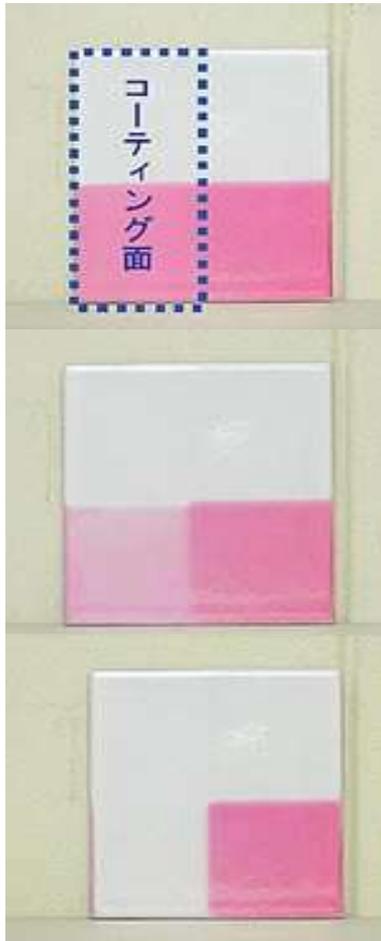


Reciclagem do concreto

- Liberação da pasta
 - tratamento térmico
 - descarga elétrica
 - Tratamento superficial de agregados
- Reciclagem dos finos como **aglomerante**



Concreto fotocatalítico autolimpante



Dives in Misericordia



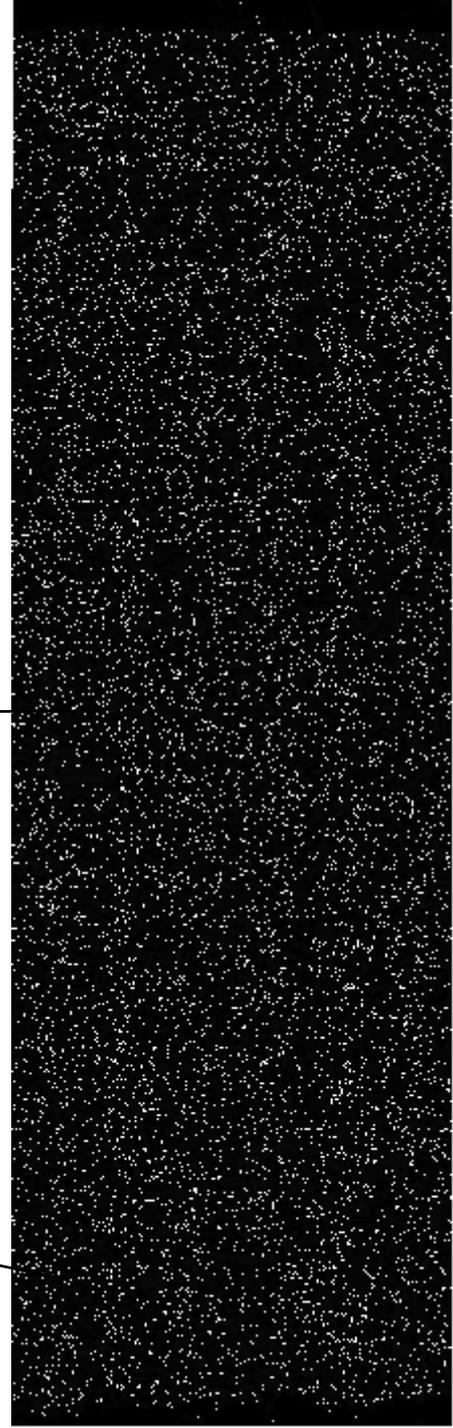
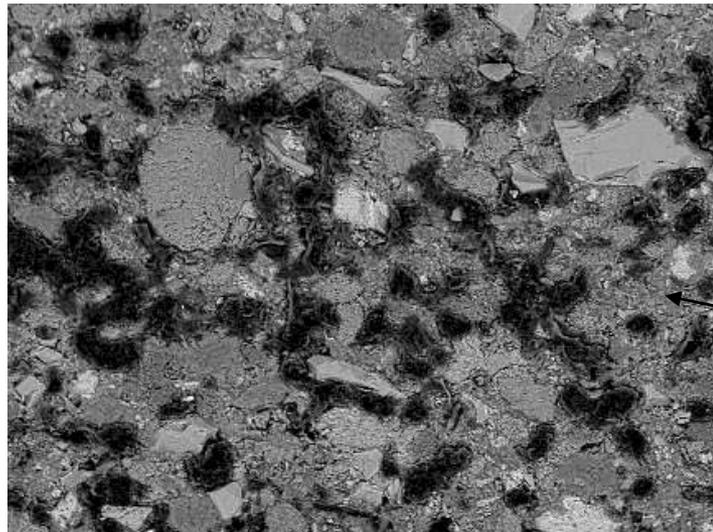
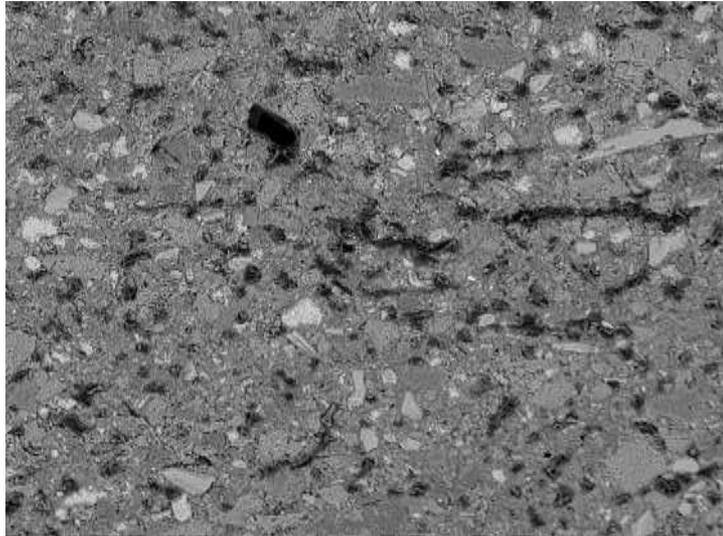
Natureza: Componentes com Propriedades Variáveis



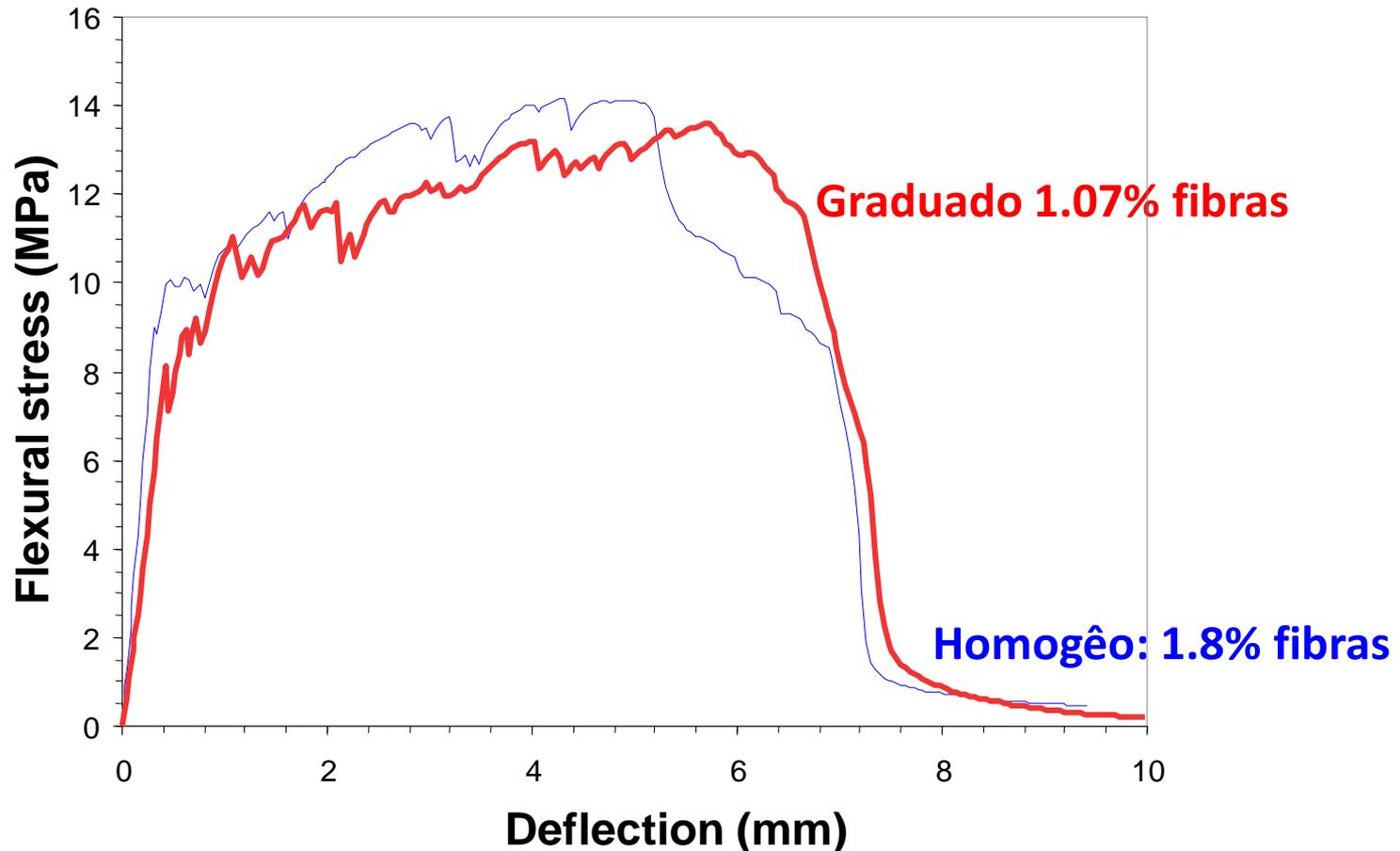
1 mm



Materiais cimentícios com propriedades graduadas



Materiais cimentícios com propriedades graduadas



Componentes extrudados



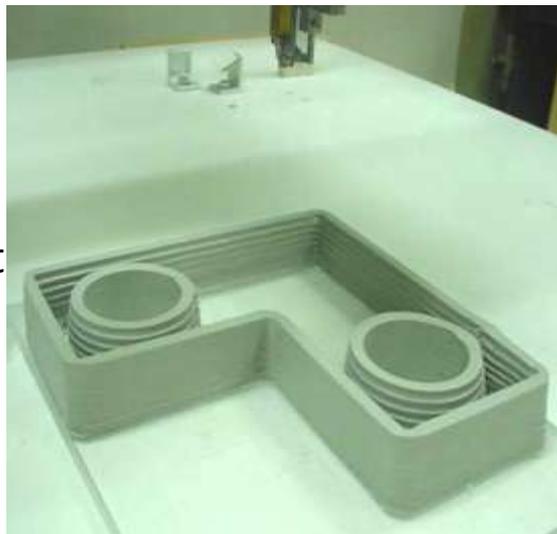
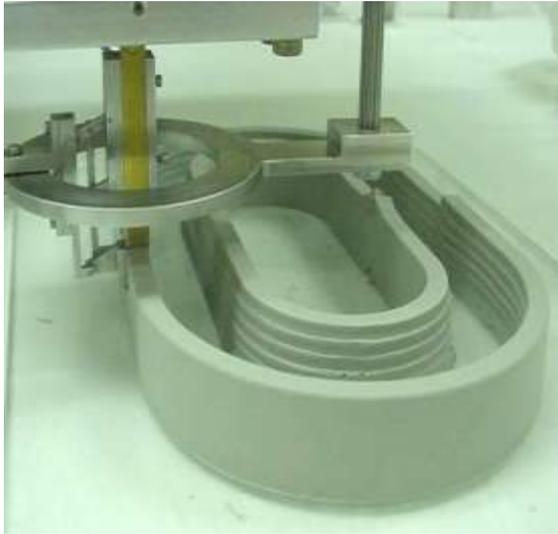


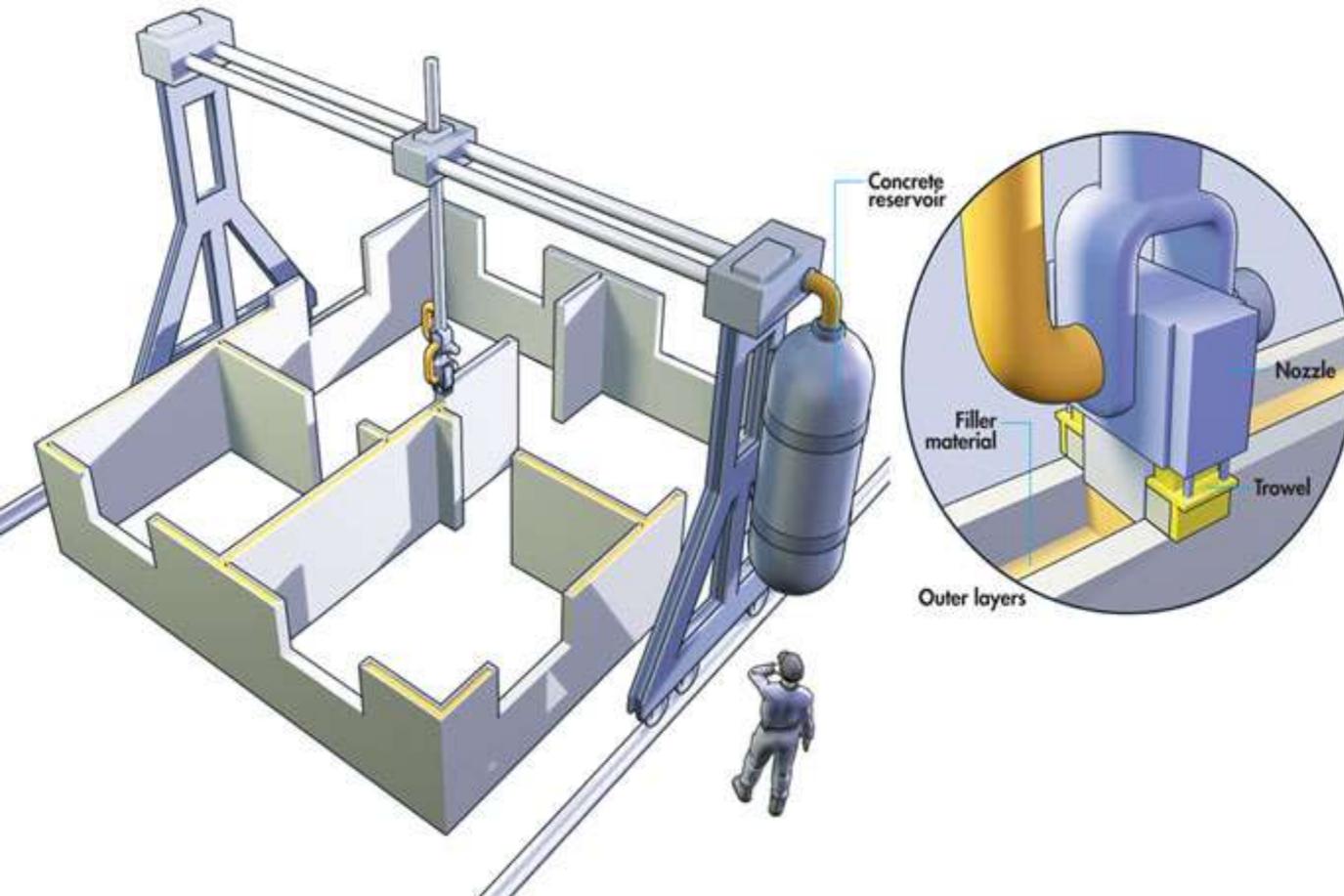


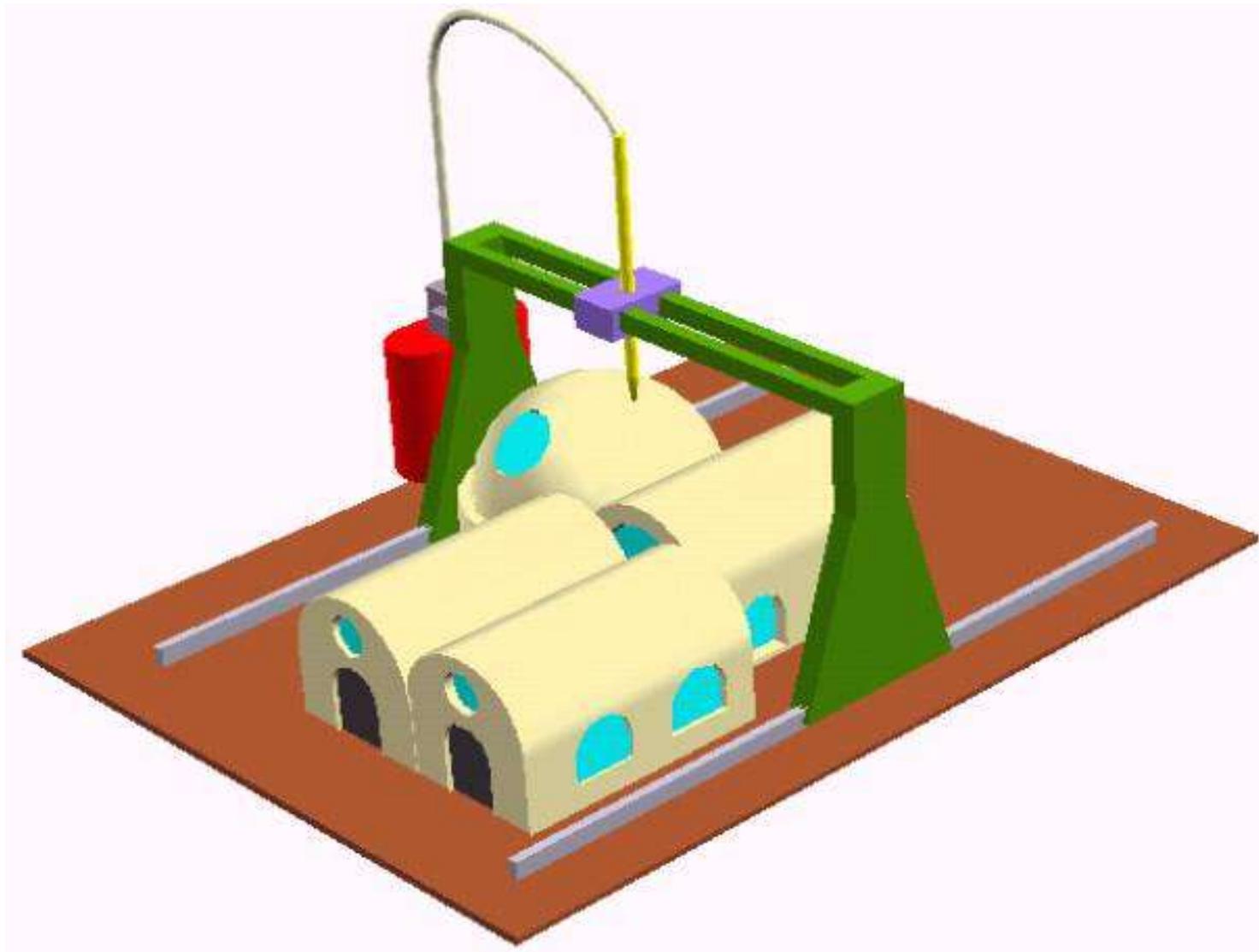
Concreto sem formas



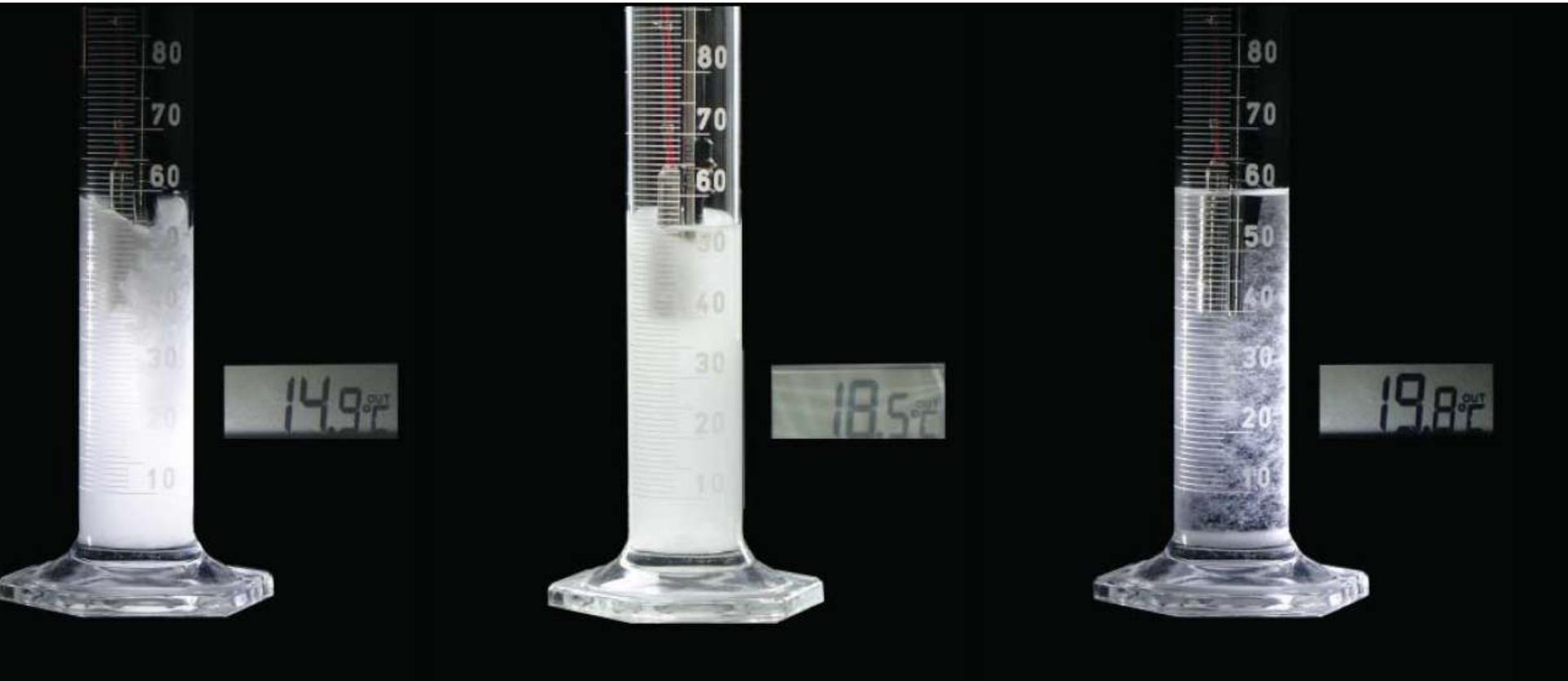








Materiais de Mudança de Fase



MMF encapsulados



- Controle do calor de hidratação
- Controle da inércia térmica



Bullet proof vests made from cement

Bharat | Jun 30 2009

Share  0  tweet

[Sponsored Links](#)



No matter how tough technology has made us going into warzones, we still are very vulnerable to bullets. Yes, we have jackets and combat body armors to keep the shots off but there is still scope for something more concise and economically cautious. Thus, this new type of body armor which engineers from [University of Leeds](#) have in the pipeline seems a worthy slot filler. Combining super strong cement with recycled carbon fiber, the engineers have mustered a vest strong enough to withstand just about any type of a bullet shots. Using cement instead of

Follow us



Instablog



**Emmanuelle Cl
sexy for Entou
promo**

(Celeb Guru)



Conclusões

- Nosso futuro depende da **Inovação**:
 - Ecoeficiência
 - Aplicação da **ciência**
 - Agregação de valor
 - Ganho de competitividade
- Aumento da eficiência do uso do ligante é uma alternativa crítica





USP

ESCOLA POLITÉCNICA DA USP
DEPTO. ENG. CONSTRUÇÃO CIVIL

Grato pela Atenção

john@poli.usp.br



CIÊNCIA PARA A INOVAÇÃO

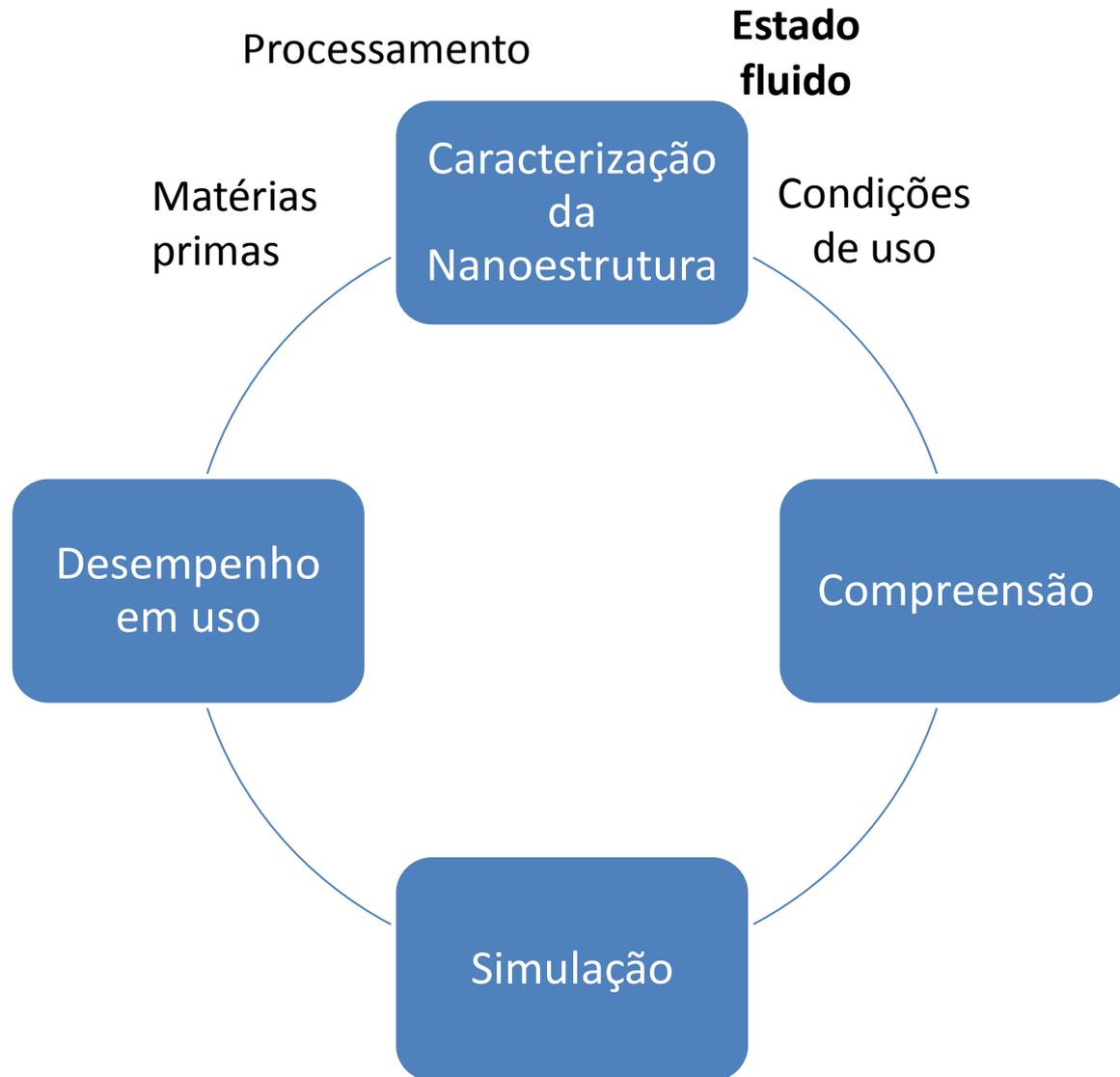


Temas críticos de pesquisa

- Compreensão e otimização do concreto
 - Nanotecnologia
 - Influencia do processamento
- Modelos para **projeto do material**
- **Novas técnicas de processamento**
- Gestão e redução de **impactos ambientais**
- Novos produtos
 - Concreto Multifuncional
 - Auto-reparadores (self-healing)
 - Alta resistência
 -



O novo ciclo da pesquisa



Nanotecnologia & Concreto

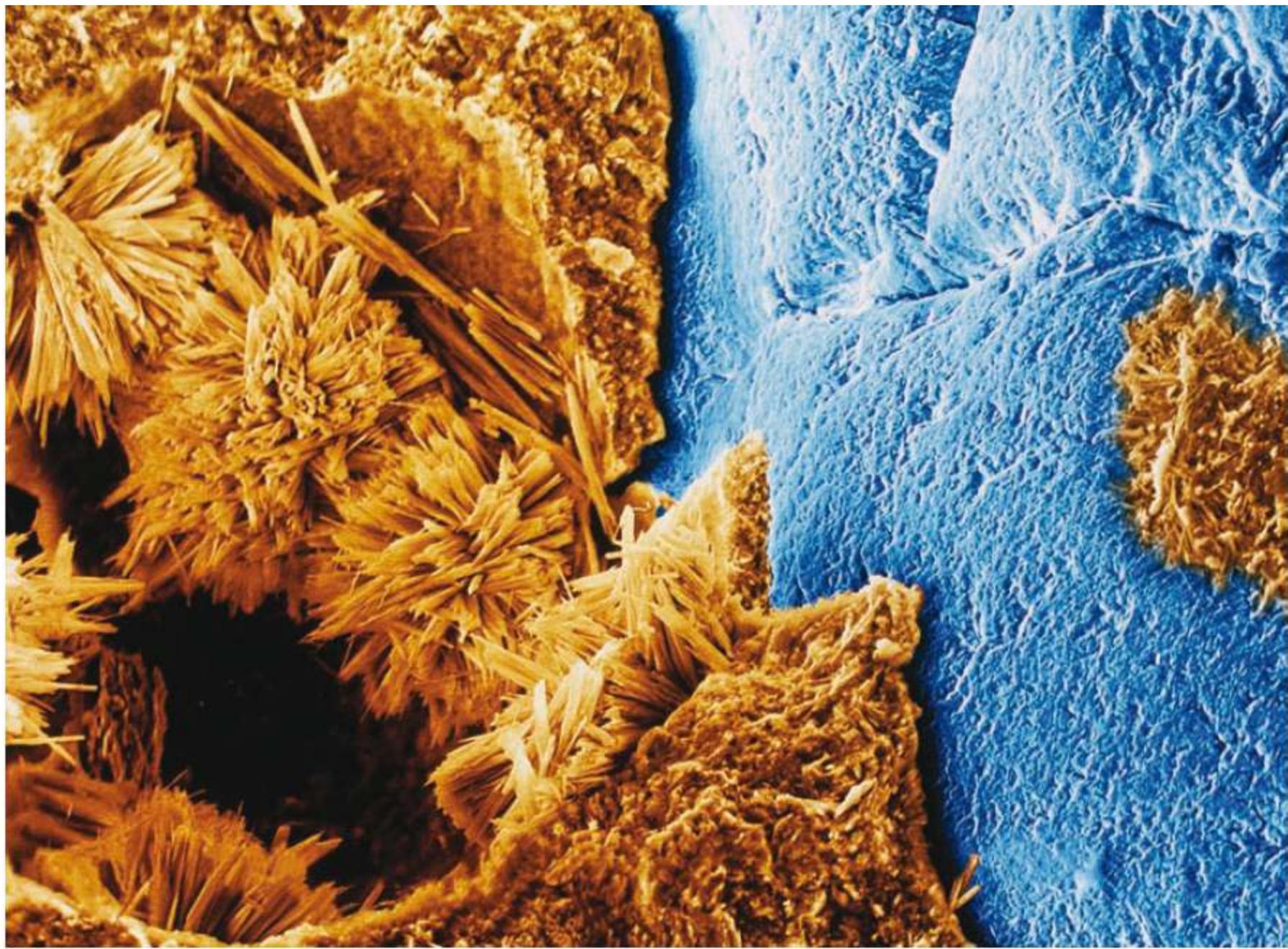
Ferramenta para compreender o concreto

1. Métodos de medida
2. Entendimento dos fenômenos
3. Modelagem
4. Otimização
5. Desenvolvimento de novos produtos

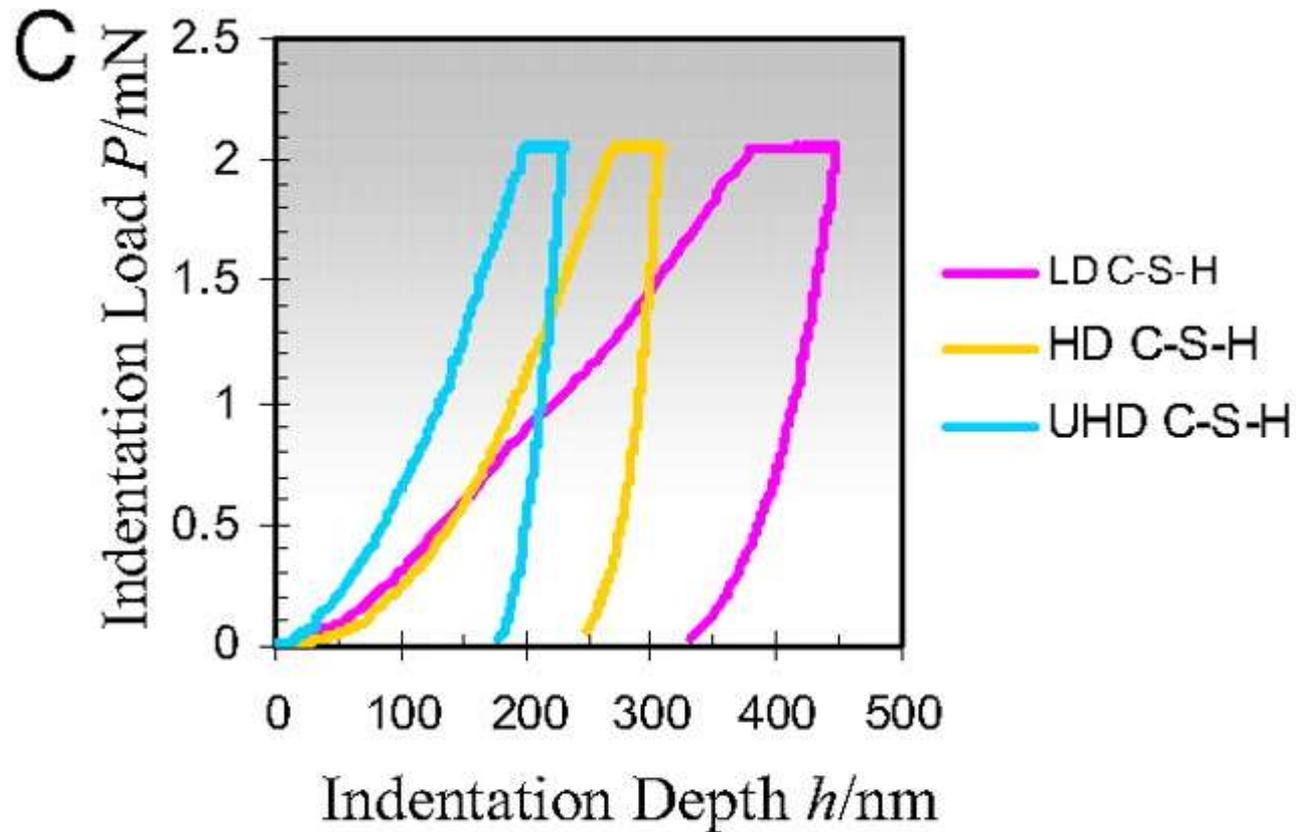
**'In 5–10 years
we might be
able to change
the properties
of concrete on
the nanoscale'**

Karen Scrivener (2008)

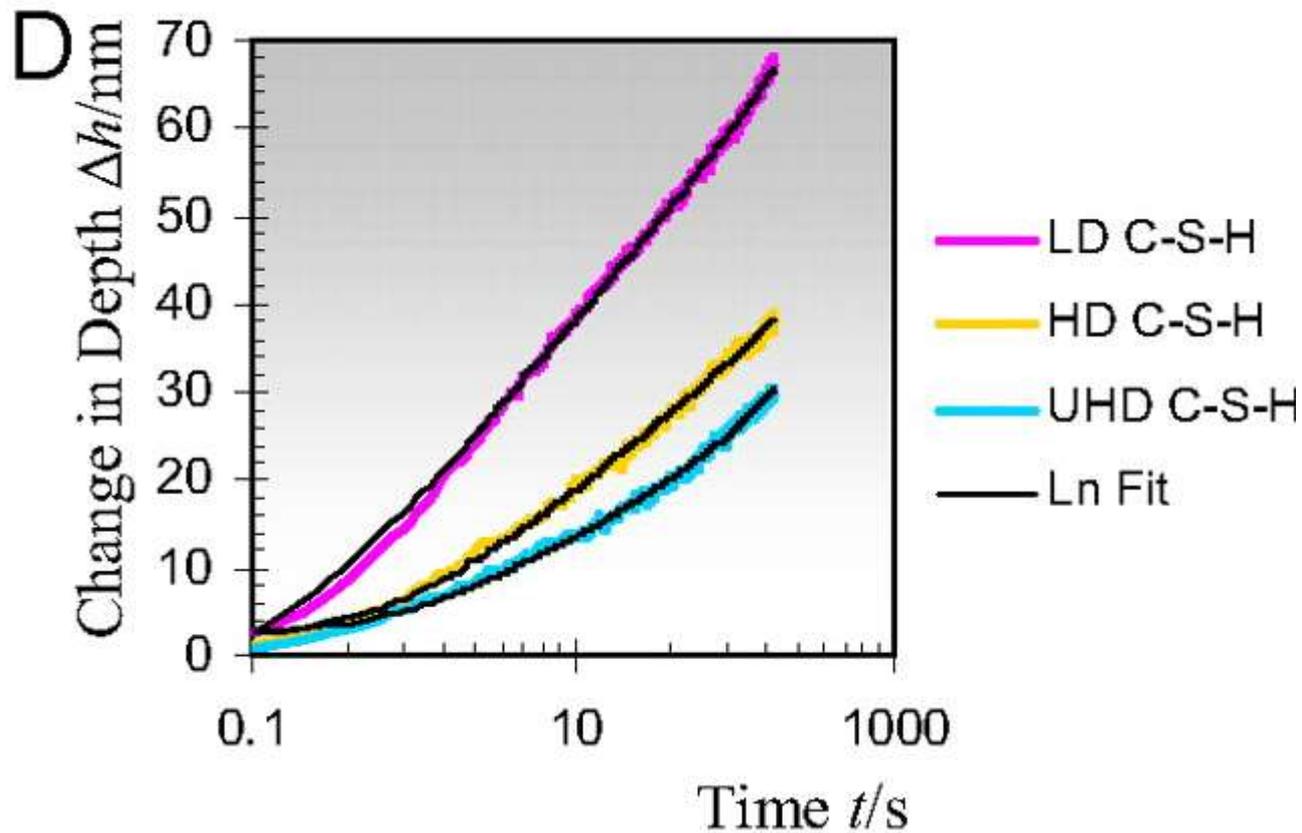




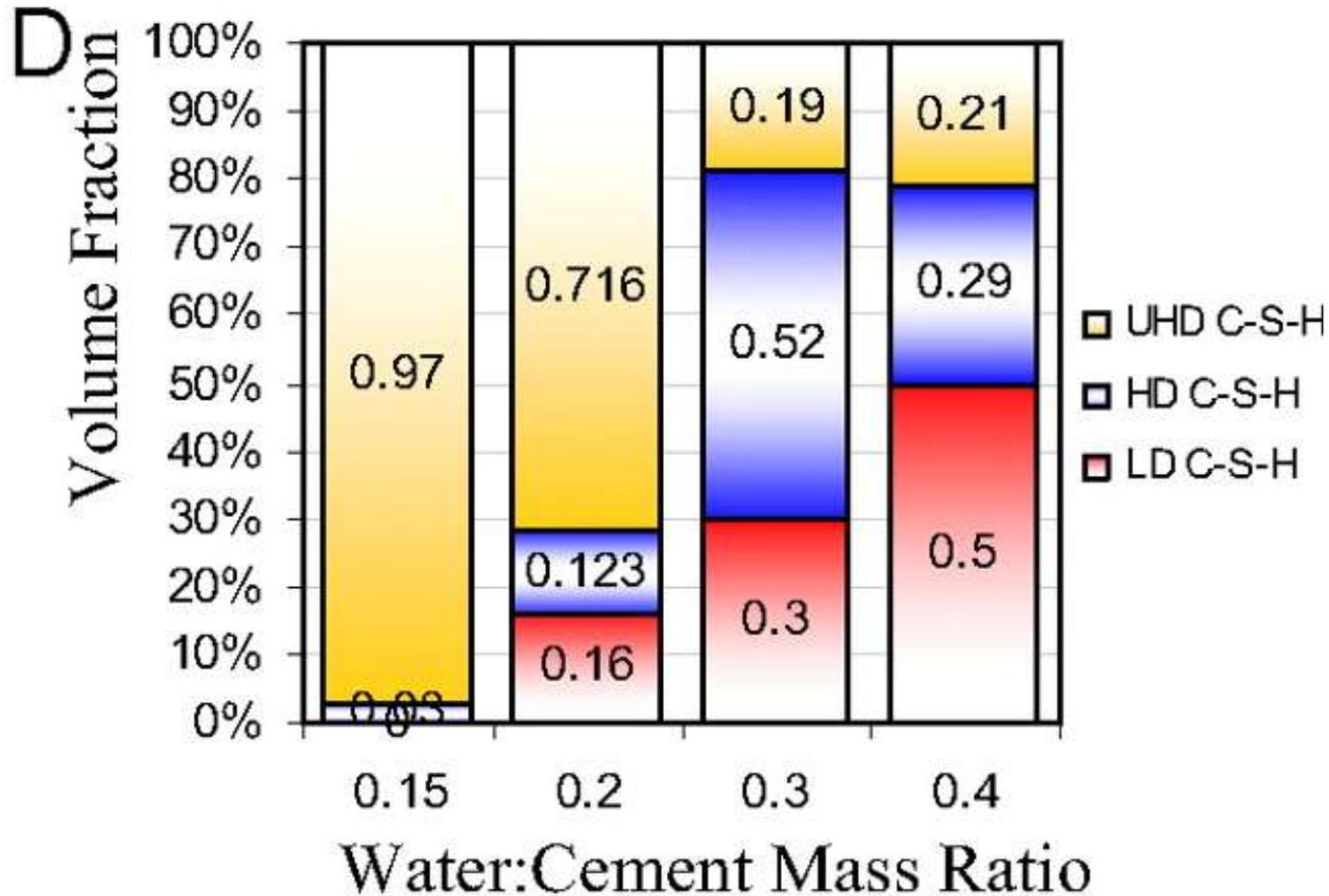
Fluência em escala nano



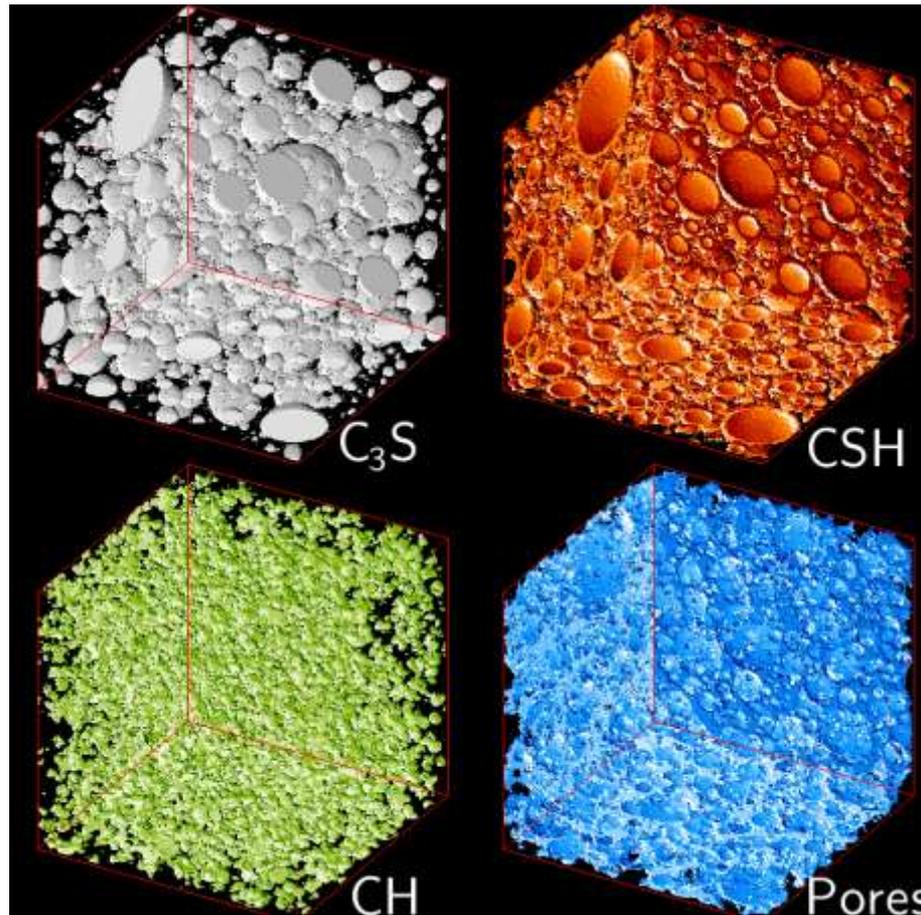
Fluência em escala nano



Controlando a fluência



VECTOR MODELLING OF CEMENT HYDRATION



Virtual Cement and Concrete Testing Lab

- Prediction of Cement Physical Properties by Virtual Testing
- Predict the chloride ion diffusivity of a concrete based on mixture parameters
- Prediction and Optimization of Concrete Performance

Concrete Optimization Software Tool

