

CONCRETE SHOW

A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

14 A 16 | **SÃO PAULO EXPO**
AGOSTO | SÃO PAULO - BRASIL
2019 | concreteshow.com.br

O cimento do futuro

Arnaldo Battagin
Associação Brasileira de Cimento Brasileira



Evolução tecnológica na fabricação do cimento Portland

1824

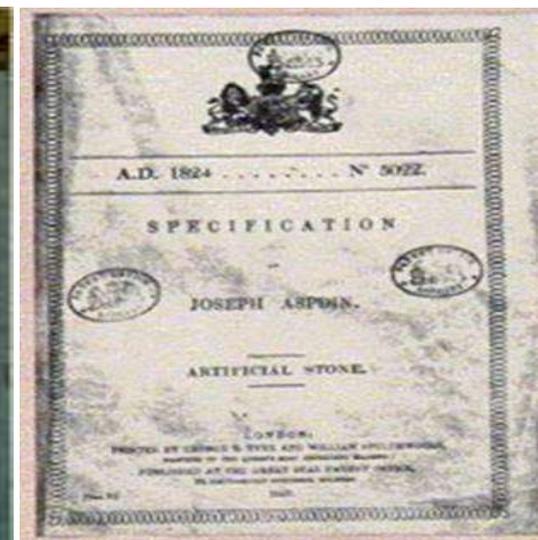
Patente do Cimento Portland



Joseph Aspdin
CALCÁRIO + ARGILA
(Calcinados)



Ilha de Portland,
Sul da Inglaterra



Pedra artificial
Patente

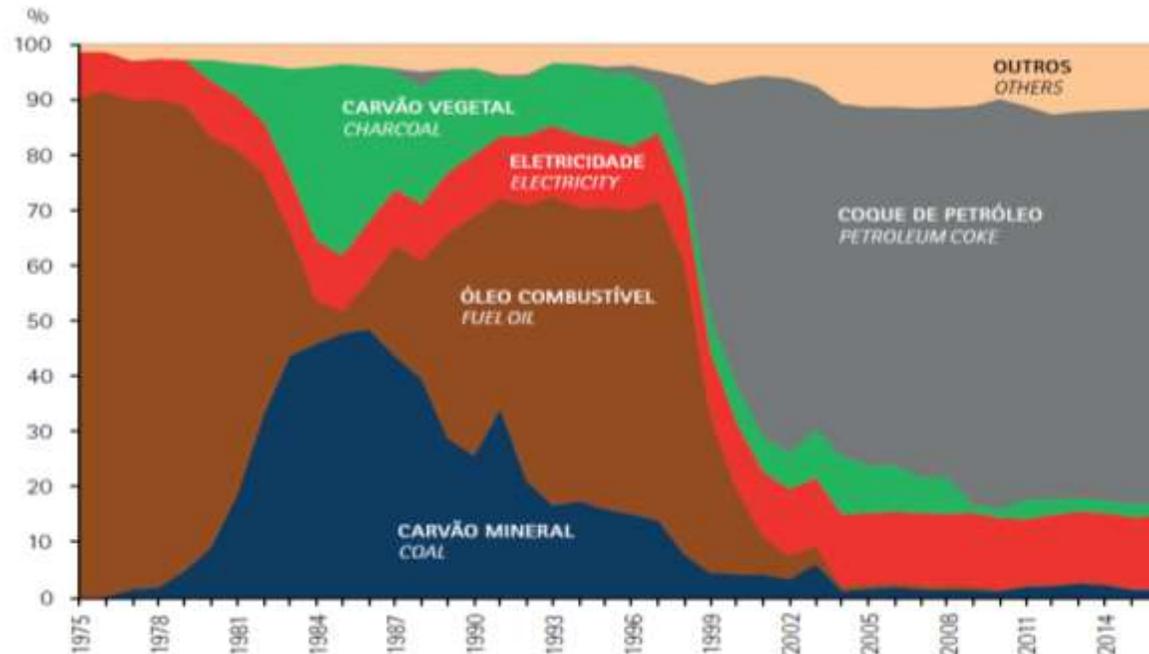
Mesmo princípio básico



evolução tecnológica

Evolução tecnológica na fabricação do cimento no Brasil

- Sistema via úmida para sistema via seca (99%)
- Preaquecedores e Precalcinadores (2730 MJ/t)
- Queimadores especiais para coque e resíduos
- Maçaricos ecológicos
- Moinhos e Separadores de alta eficiência (104 kWh/t)



Fonte: BEN, 2016

Evolução tecnológica na fabricação do cimento no Brasil

- **Resultado: cimentos com excelente desempenho**
- Os cimentos brasileiros ultrapassam expressivamente as exigências mínimas das normas técnicas

Cimento	1 dia		3 dias		7 dias		28 dias	
	Norma	Média	Norma	Média	Norma	Média	Norma	Média
CP II-E-32	-	9,3	10,0	22,0	20,0	29,8	32,0	40,8
CP II-F-32	-	14,3	10,0	24,9	20,0	30,7	32,0	38,5
CP III-32	-	5,2	10,0	15,9	20,0	25,7	32,0	42,7
CP III-40	-	8,5	12,0	22,1	23,0	33,5	40,0	51,4
CP IV-32	-	12,0	10,0	21,2	20,0	27,2	32,0	38,8
CP V-ARI	14,0	25,1	24,0	35,5	34,0	41,8	-	49,8
CP V-ARI-RS	11,0	20,7	24,0	34,2	34,0	41,8	-	49,8

Fonte: Controle do Selo de Qualidade ABCP

Grande desafio da indústria mundial do cimento

- Mitigação das emissões dos gases de efeito estufa
- A indústria somente terá um futuro sustentável se a taxa de inovações tornar-se maior que a taxa de restrições.

Na Europa o número de regulamentos ambientais cresceu de 19 em 1990 para 635 em 2010



Fonte: Chandelle, 2011

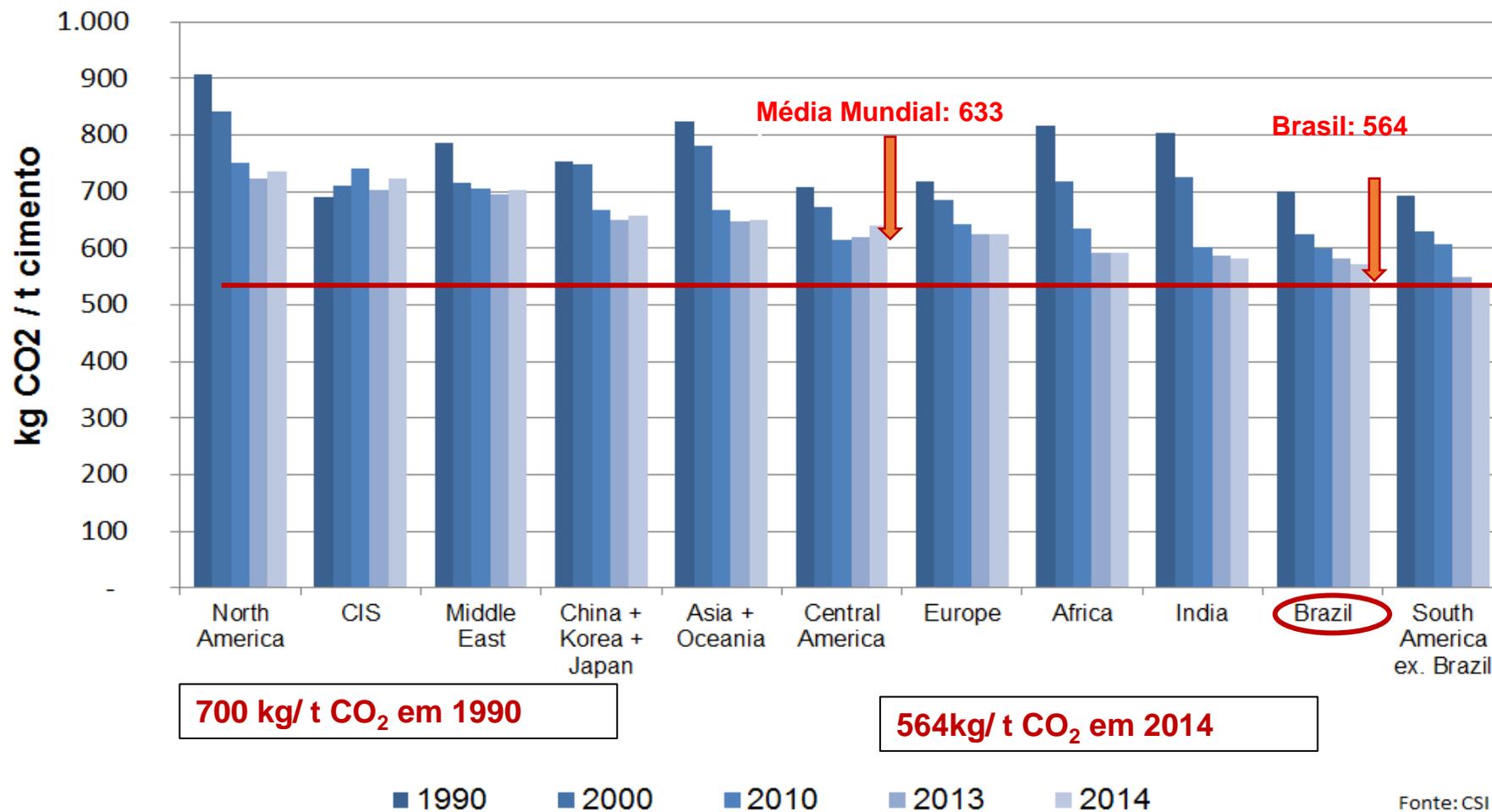
Os quatro vetores mundiais para mitigação das emissões

- Eficiência energética
- Combustíveis alternativos
- Cimentos com adições
- Captura e armazenamento de carbono

A participação da indústria do cimento mundial é 7% das emissões totais de CO₂.

Mas há diferenças expressivas entre diferentes países ou regiões

Emissão Específica (kg CO₂/t cimento)



Fonte: CSI

Os quatro vetores mundiais para mitigação das emissões

- Eficiência energética
- Combustíveis alternativos
- Cimentos com adições
- Captura e armazenamento e uso de carbono

 **limitações**



A captura e armazenamento de carbono constitui atualmente tecnologia cara e tecnicamente impraticável, mas é a solução do futuro para a indústria em termos de minimização das emissões.

Ambiente favorável para novos ligantes

~~Desempenho~~

Diminuição das emissões dos gases de efeito

Novos ligantes



Apelo ecológico

Novos ligantes

- Novacem
- Ceramicrete
- Cimentos com nanotubos de carbono
- Cimento TX active
- Energy modified cement (EMC)
- Calera
- Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)

Novos ligantes

➤ **Novacem**

- Ceramicrete
- Cimentos com nanotubos de carbono
- Cimento TX active
- Energy modified cement (EMC)
- Calera
- Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)



Novacem

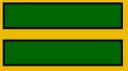
- Ligante desenvolvido no Imperial College Inglaterra, a partir de silicato de magnésio em 2005

Cimento Portland  Cimento Novacem

Cimento Portland

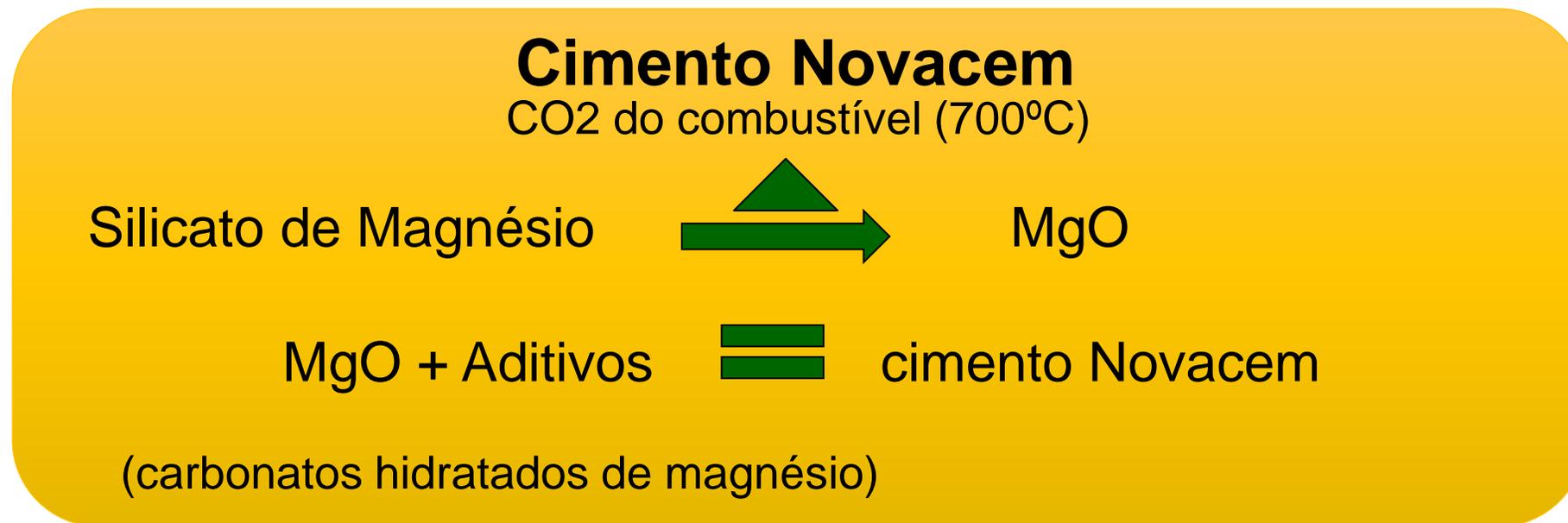
CO₂ do combustível(1450°C)

• Calcário + Argila  CO₂ + Clínquer 

• Clínquer + Adições  cimento Portland

Novacem

- Princípio básico de fabricação do cimento Novacem



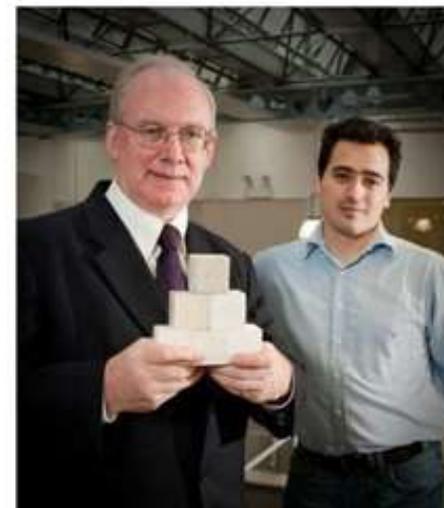
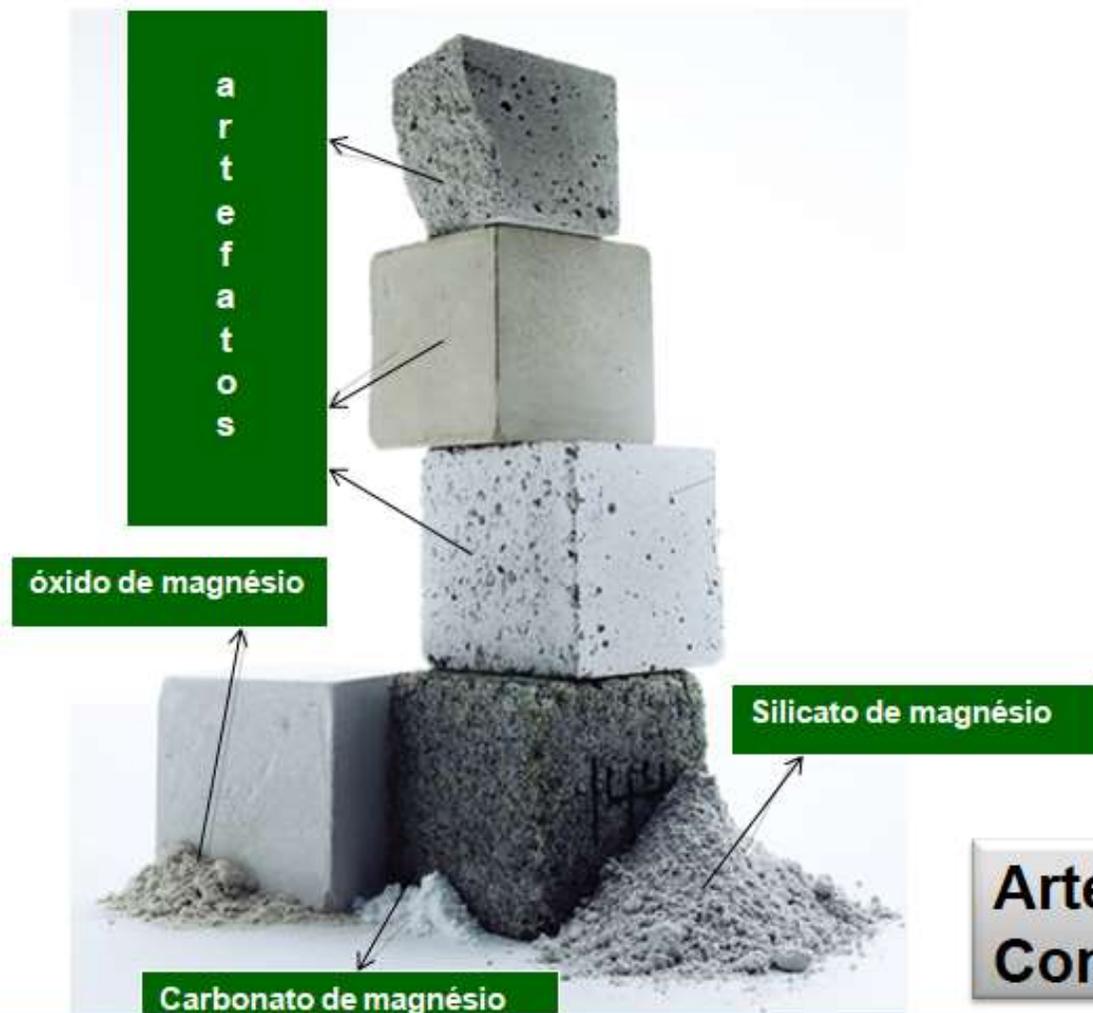
Novacem

➤ Comparação da emissão de CO₂ (kg de CO₂ por tonelada de cimento)

Ligante	Fabricação	uso	saldo
Cimento Portland	800 kg	- 400 kg	400kg
Novacem	300kg	- 900 kg	- 600 kg

Fonte: Fabricante

Aplicações do Novacem



Artefatos de concreto
Concreto estrutural

Cronologia do cimento Novacem

Pesquisa no Imperial College	2005
Inovações na formulação	2007
Empresa incubadora (Novacem)	outubro 2008
Processo em escala de laboratório	outubro 2009
Premio MIT - Top 10 Emerging Technology	abril 2010
Parceria Lafarge – 1 bilhão de libras	julho 2010
Ensaio de validação do produto	agosto de 2011
Fabricação em escala comercial	2014
Insolvência e vendida a Calix (stand by)	2015
Atividades paralisadas	2019



Percepção

- Nicho de mercado
- Matéria prima : reservas mundiais 10 trilhões de toneladas
- Custo
- Apelo ecológico
- Citado no relatório WBCSD/IEA - redução de emissão de CO₂



Novos ligantes

- Novacem
- **Ceramicrete**
- Cimentos com nanotubos de carbono
- Cimento TX active
- Energy modified cement (EMC)
- Calera
- Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)

Ceramicrete

- Ligante desenvolvido por um indiano e patenteado nos Estados Unidos - 1996
- ✓ Comportamento intermediário entre a cerâmica e o cimento



Dr Arun Wagh




Energy Systems

CERAMICRETE PROVIDES CONCRETE EVIDENCE OF SUPERIOR PERFORMANCE

1996 R&D 100 Award Winner
2000 Federal Laboratory Consortium Award

BENEFITS

- ✓ Specialty applications are favored to take advantage of excellent physical properties, including porosity, nonflammability, and strength.
- ✓ Process uses conventional concrete mixing and handling equipment.
- ✓ Use of common waste materials extends value (e.g., sh, styrofoam, sawdust).
- ✓ No formation energy is required, in contrast to fired Ceramics or vitrification.

Links to Online Information:

Further details about Ceramicrete:
http://www.ani.gov/techtransfer/Available_Technologies/Material_Science/Ceramicrete/index.html

Ceramicrete properties (Table 2):
http://www.ani.gov/techtransfer/Available_Technologies/Material_Science/Ceramicrete/properties-table2.pdf

Patents issued and licensee:
http://www.ani.gov/techtransfer/Available_Technologies/Material_Science/Ceramicrete/Ceramicrete_Patents.html

How Ceramicrete Works
 CBPCs are formed by acid-base reactions between an acid phosphate (e.g., potassium, ammonium, or aluminum) and a metal oxide (e.g., magnesium, calcium, or zinc). A powder blend of the two is mixed with water to make a slurry. The slurry sets at room temperature within minutes or hours, depending on the additives. It forms a dense ceramic that can be tailored to possess desirable properties. For example, adding fly ash enhances this mixture's strength to between two and three times that of conventional cement.

Building, Construction, and Architectural Products
 Ceramicrete can recycle high-volume wastes such as fly ash, mineral waste, and natural fibers by binding them into value-added products. Combined with natural fibers, Ceramicrete forms a compound that could replace particle board for home construction. Fireproof insulation, bricks, and tiles can all be made from Ceramicrete. It also offers an alternative material for decorative terra cotta. In developing countries in Central and South America and the Caribbean, houses that use Ceramicrete have the potential to be cost-competitive with cement structures. Ceramicrete holds promise for homes located in cold climates as well. Because it sets hard even in freezing temperatures, it is an ideal cement for frigid regions.

Oil and Gas Well Cement and Sealant
 Unlike conventional drilling cement, Ceramicrete bonds tightly to earth materials and casings in the presence of drilling fluids or hydrocarbons. It slightly expands during setting and is drillable and machinable. The hardened Ceramicrete is not affected by severe downhole conditions and is stable in a wide range of chemical environments. It is especially useful as a drilling cement in permafrost regions because it has low thermal conductivity and can be pumped at very low viscosity. Moreover, it is an excellent insulating cement that protects permafrost surroundings.

Photo courtesy of OTI and the OTI Calcestra™ Test Facility.

Ceramicrete

➤ Princípio básico de fabricação

MgO obtido a partir da calcinação de carbonatos ou silicatos de magnésio



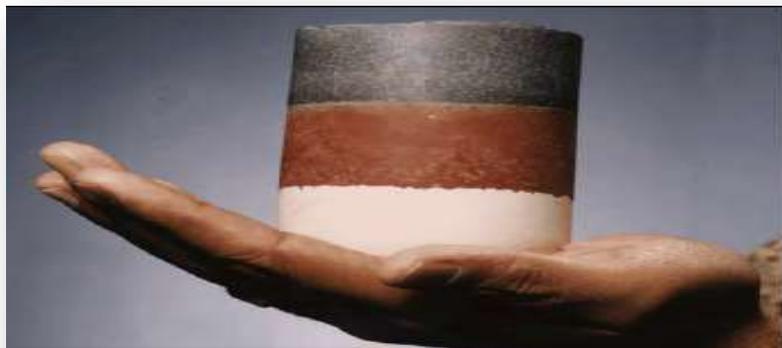
MKP + Cinzas volantes

CERAMICRETE-BASED PERMAFROST CEMENT COMPOSITION Table 1

Components	Individual components	
	wt %	
Binder components		39.75
MgO	9.93	
KH ₂ PO ₄	29.8	
Ash mixture		39.75
Class C	19.87	
Class F	19.87	
Boric acid	0.5	0.5
Water	20	20

Propriedades do Ceramicrete

- Pasta com tempo de pega controlado
- Resistência : 3 x Cimento Portland



Auto aderência



Pega submersa



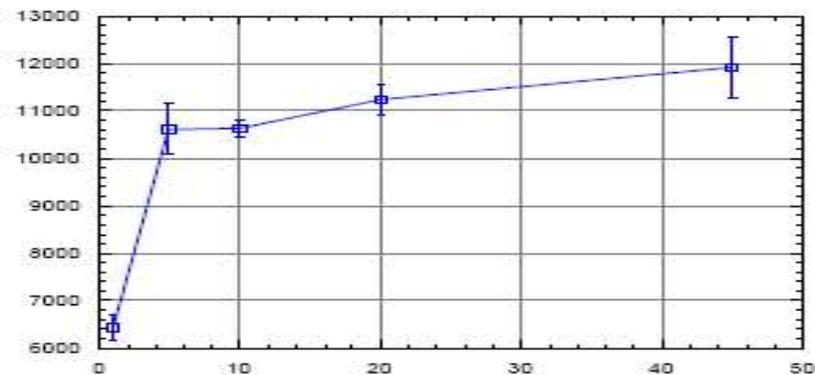
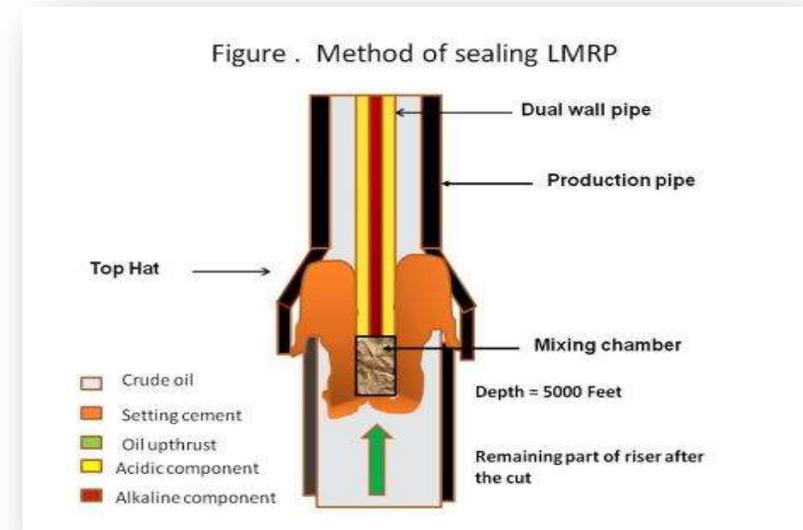
Perfurável



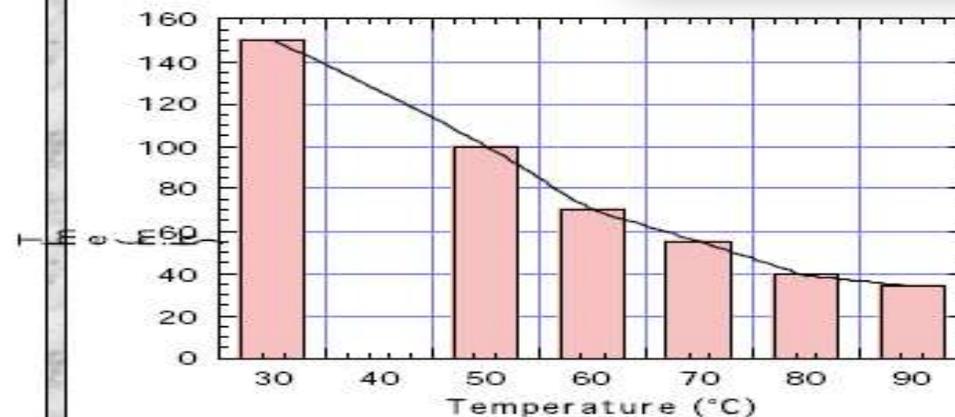
Aderência a rochas

Aplicações do Ceramicrete

- **Estabilização de resíduos radioativos**
 - ✓ Aplicação original
- **Construção civil**
 - ✓ Grautes e selantes de poços petrolíferos
- **Cimentos odontológicos**
 - ✓ Ainda em testes iniciais



Strength gain at room temperature



Setting time at subsurface temperatures

Percepção

- Não tem potencial de substituir o cimento Portland
- Aplicações especiais para reparos e selantes de poços petrolíferos
- Alto custo
- Não se encontrou na literatura técnica internacional uso em concreto.



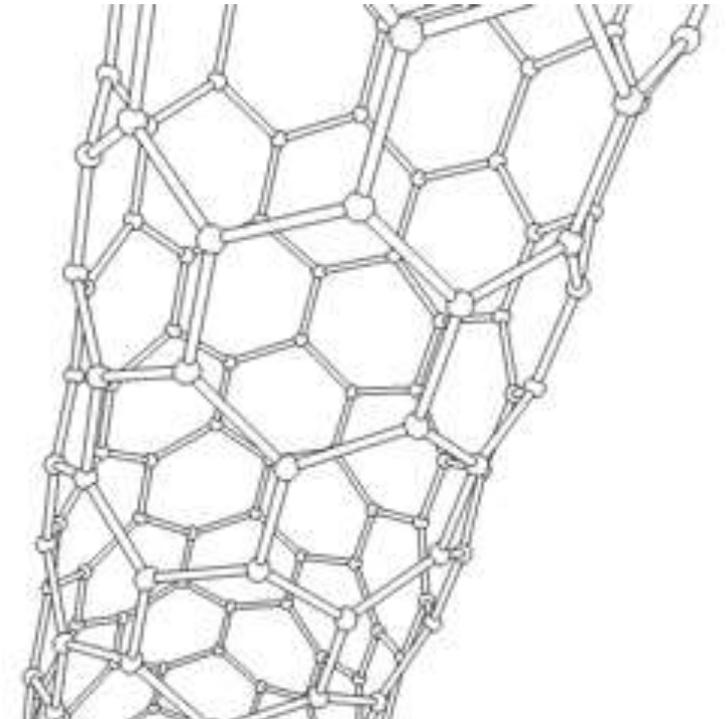
Aspecto da pasta



Reparo de pavimento

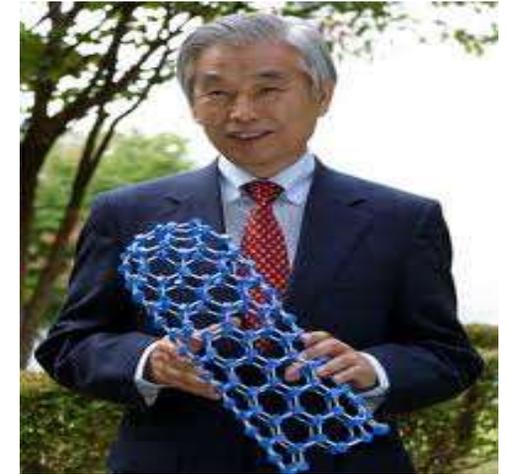
Novos ligantes

- Novacem
- Ceramicrete
- **Cimentos com nanotubos de carbono**
- Cimento TX active
- Energy modified cement (EMC)
- Calera
- Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)

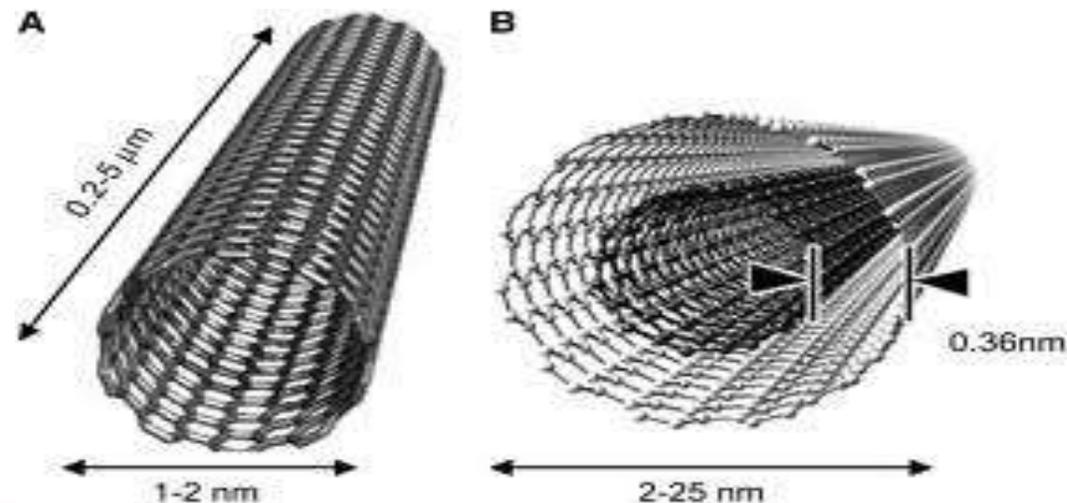


Cimento com nanotubos de carbono

- Nanotubos descobertos em 1991 no Japão
- Dimensões 10^{-9} m
- 50 x mais resistentes que o aço
- Alto condutor elétrico e térmico
- Interesse acadêmico - 5000 trabalhos desde 2006
- Aplicações plástico, tecidos, tintas etc
- Alto custo US\$500/g



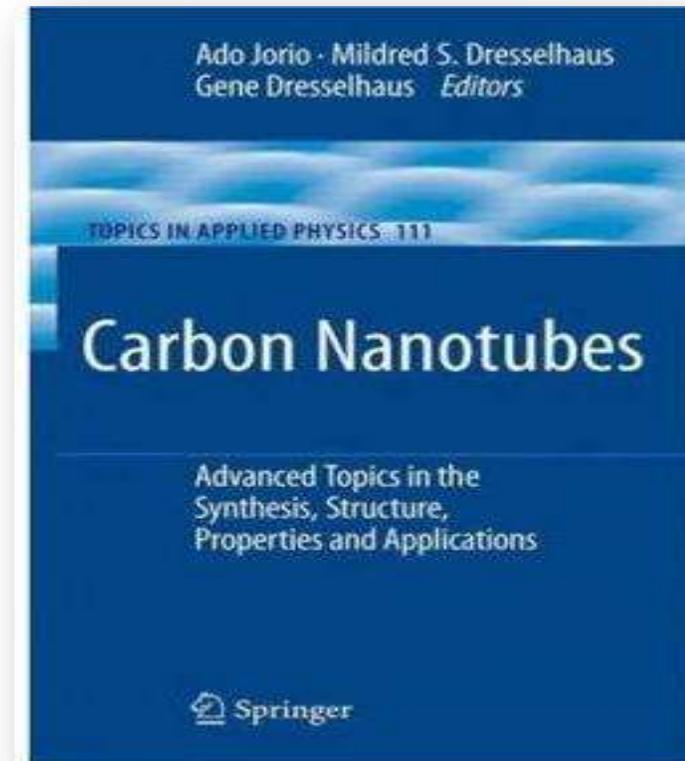
Inventor: Dr Sumio Iijima



Aplicações nanotubos de carbono

- Vidros autolimpantes
- Óleos ultralubrificantes
- Tintas anti-risco
- Embalagem de alimentos (vida longa)
- Materiais mais leves e resistentes que o aço
- Resistentes a alta temperatura

Material	Young's modulus (GPa)	Tensile Strength (GPa)	Density (g/cm ³)
Single wall nanotube	1054	150	1.4
Multi wall nanotube	1200	150	2.6
Diamond	600	130	3.5
Kevlar	186	3.6	7.8
Steel	208	1.0	7.8
Wood	16	0.008	0.6



Propriedades dos cimentos com nanotubos de carbono

- Adição de nanotubos de carbono (0,3%)
- Aumento da resistência à tração (25%)
- Aumento da resistência à compressão (80%)
- Aumento da durabilidade
- Custo de saco de 50kg US \$ 1.500,00

NANOCEM- European Research Network

- 120 pesquisadores
- 60 teses em nanotecnologia
- 37 entidades acadêmicas e indústrias de cimentos



Cimentos com nanotubos de carbono

➤ A experiência brasileira



PROCESSO DE PRODUÇÃO CONTÍNUA E EM LARGA ESCALA DE NANOTUBOS DE CARBONO NO CIMENTO PORTLAND

ICEEx - Departamento de Física - Laboratório de Nanomateriais
Prof. Luiz Orlando Ladeira

transferencia@ctit.ufmg.br

www.ufmg.br/ctit

Obtido do processo de síntese de nanotubos de carbono sobre o
clínquer de cimento diretamente e simultâneo à produção do
cimento.

UFMG



Cimentos com nanotubos de carbono

➤ A experiência brasileira

FOLHA DE SÃO PAULO
SABÃO COPIAR, 10 DE JULHO DE 2014 - C6

Folha de São Paulo 14.7.2014

ciência+saúde

Brasil terá primeiro centro de tecnologia em nanotubos

Parceria de R\$ 36,2 milhões envolve UFMG, Petrobras e BNDES para produzir o material em escala industrial

Nanotubo de carbono é formado por estruturas com a espessura de um átomo e pode ser muito mais forte que o aço

OS NOVOS PRIMOS DO DIAMANTE
Nanotubo, fulereno e grafeno fortalecerão a família de materiais de carbono

ESTRUTURA DO CARBONO
As ligações químicas entre os átomos de carbono criam as moléculas de carbono, que são a base para a maioria dos materiais. Mas a estrutura dos nanotubos, que são feitos de átomos de carbono, é diferente da dos outros materiais de carbono.

QUE É GRAFENO
É formado por uma única camada de átomos de carbono em uma rede hexagonal plana.

FULERENO
É formado por uma rede de átomos de carbono em uma estrutura esférica.

NANOTUBO
É formado por uma rede de átomos de carbono em uma estrutura cilíndrica.

PRODUTO É USADO PARA INJEÇÃO DE MATERIAL GENÉTICO

IMPORTÂNCIA DO NANOTUBO

O grafeno e seus desafios

Mackenzie traz cientista brasileiro radicado no exterior e investe na formação de novo centro de pesquisa



As pesquisas devem migrar para outras áreas do concreto

Cimentos com nanotubos de carbono

Devido aos altos custos pesquisas na Espanha e Japão direcionaram para outras propriedades do concreto que não resistência, tais como as características de isolantes térmicos e acústicos e armazenador de calor.

A adição dos nanotubos transforma o concreto com baixa condutibilidade elétrica para excelente condutor e ao aplicar uma corrente contínua o concreto se aquece e retém calor, aquecendo as paredes e pisos, trazendo conforto aos usuários desses ambientes



Bloco de concreto com grafeno nos EUA: mais leve, resistente e alto desempenho termoacústico



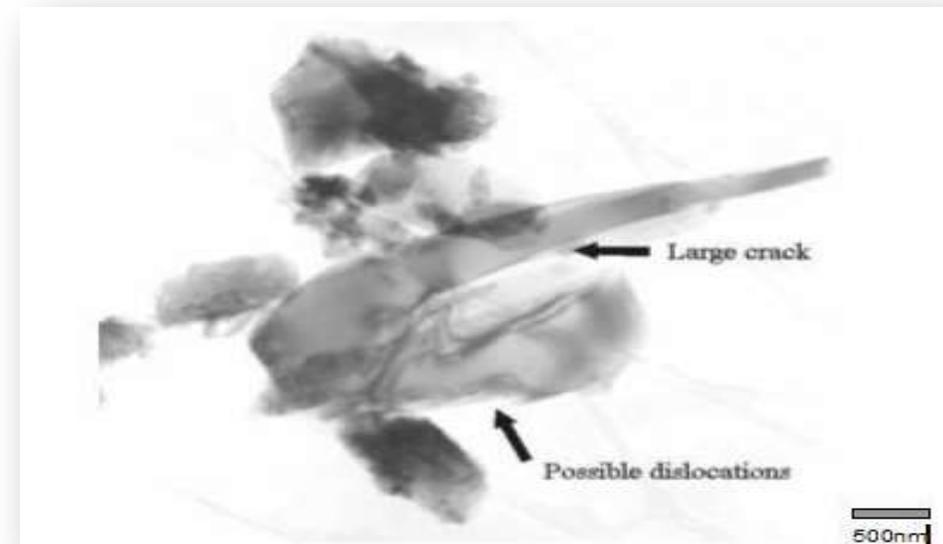
Aerogel de grafeno para corrigir imperfeições termoacústicas de paredes

Percepção

- Não tem potencial de substituir o cimento Portland convencional
- Alto custo
- Pesquisa incipiente em cimento
- Não é citado no relatório WBCSD/IEA - redução de emissão de CO₂ até 2050 – Cement Technology Roadmap, 2009
- Nicho de mercado
- **Utilização em painéis, paredes e pisos para aquecimento de instalações de edifícios**

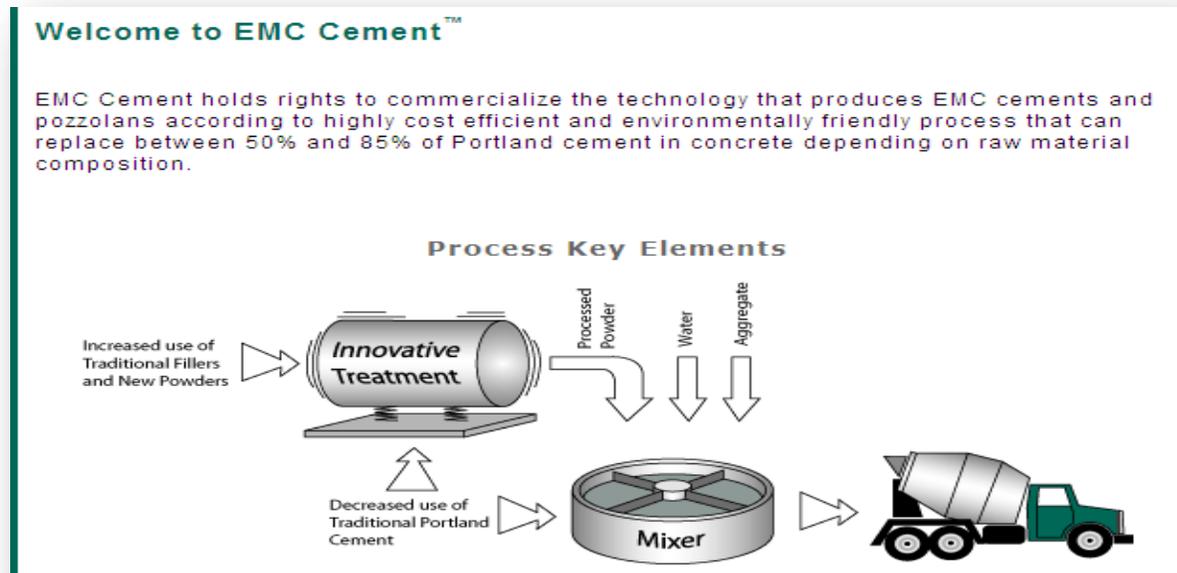
Novos ligantes

- Novacem
- Ceramicrete
- Cimentos com nanotubos de carbono
- Cimento TX active
- **Energy modified cement (EMC)**
- Calera
- Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)



Cimento modificado energeticamente (EMC)

- Cimento Portland similar ao tradicional cujo clínquer apresenta alta reatividade obtida por procedimentos diferenciados da moagem.
- Desenvolvido nos anos 90 na Suécia. **EMC Cement tem patente**
- Variante do processo aplicado em cinzas volantes nos Estados Unidos CEM POZ (Texas Industry)



Texas EMC Products, Ltd.
Cem-Pozz NG

Home | About Us | Product Info | Contact Us

The **Texas EMC Products** plant location is in Jewett, Texas with corporate offices in The Woodlands, Texas.

We use a patented process to prepare pozzolans for use as supplementary cementitious materials (SCM) that replace Portland cement at 50 to 60% or higher replacement rate. We also make a "green" Type 1 GU cement.

Our products qualify for high LEED points and CO2 credits.

Limestone Plant:	Corporate Office:
157 LCR 999 Jewett, TX 75946 903-625-4111 Ph 903-625-4150 Fax	2204 Timberloch Place, Suite 248 The Woodlands, TX 77380 281-419-2422 Ph 281-419-2445 Fax



Cimento modificado energeticamente (EMC)

➤ **Princípio básico da Fabricação**

Clínquer portland

Clínquer ativado

Moinho de bolas

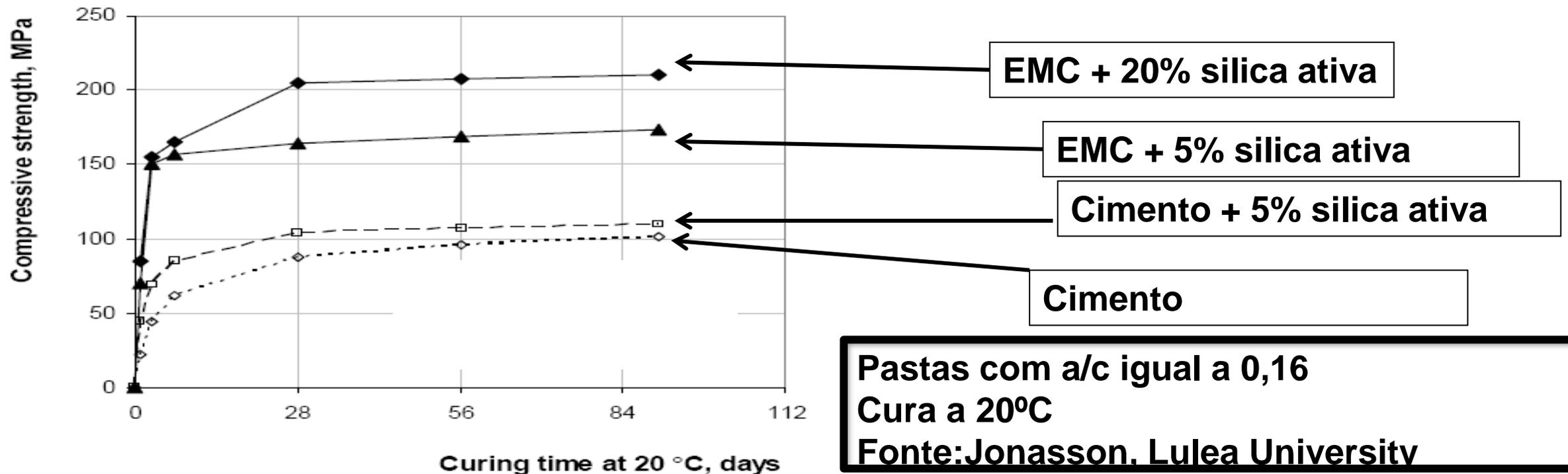
**Moinho de alta vibração e impacto das partículas
(vibrating mill)**

Reatividade: aumento da finura

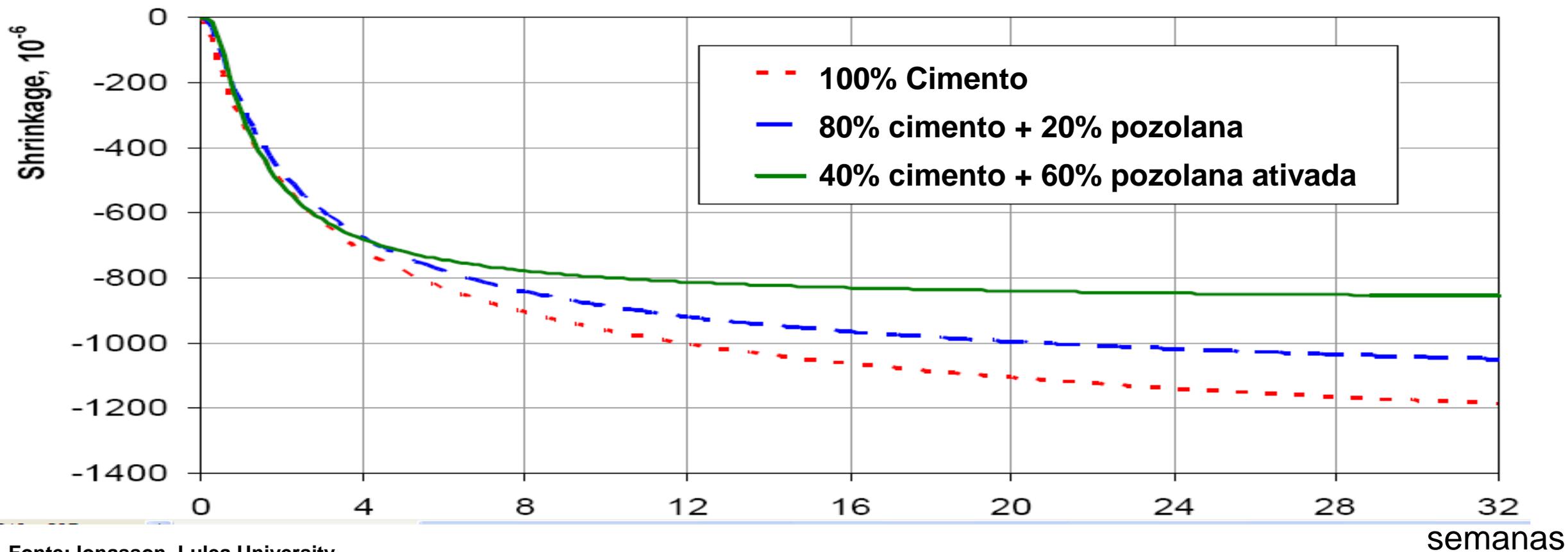
**Reatividade: microfissuração e deformação
(finura)**

Propriedades do EMC- hidratação e resistência mecânica

- Formação precoce de portlandita
- Maior formação de C-S-H
- Maior resistência inicial
- Menor teor de clínquer no concreto: menor emissão



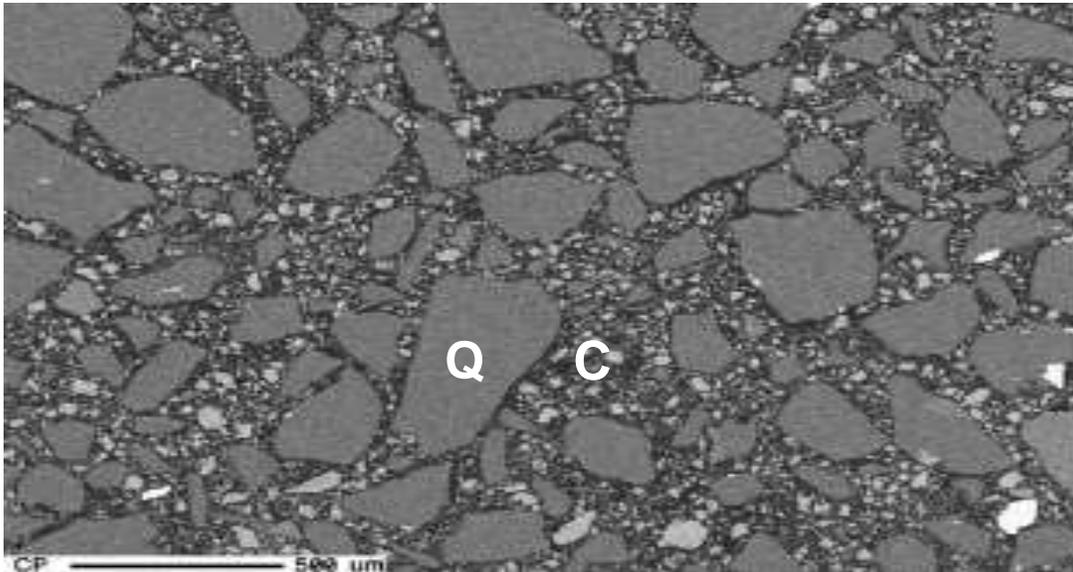
Propriedades do EMC- retração



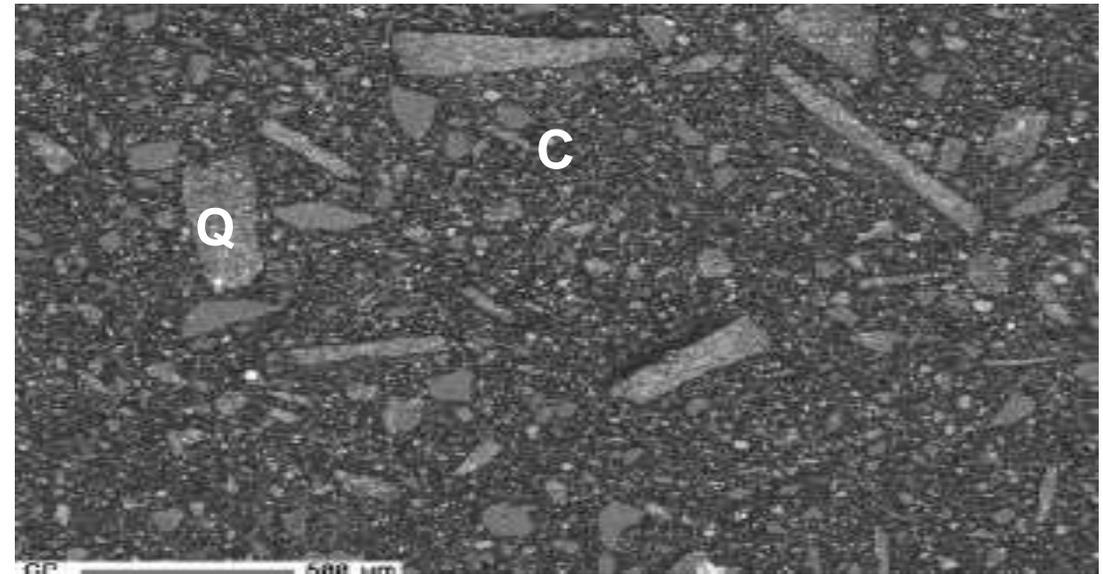
Fonte: Jonasson, Lulea University

Aplicações do cimento modificado energeticamente

- Em todos os campos da tecnologia do concreto
- Clínquer ativado energeticamente
- Adições ativas ou inertes modificadas energeticamente



Moagem normal



Moagem EMC

Percepção

- Pressão ambiental estimula o uso de menor clínquer no concreto
- Cimenteira americana (Texas Industry) já fabrica o Cem Pozz
- Trabalhos experimentais são numerosos e mostram viabilidade técnica
- Falta convencimento da indústria de cimento para fazer os investimentos

Novos ligantes

- Novacem
- Ceramicrete
- Cimentos com nanotubos de carbono
- Cimento TX active
- Energy modified cement
- Calera
- Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)





CALERA
GREEN CEMENT FOR A BLUE PLANET



Calera Media Contact
Nikolai Powe
Corporate Communications
Calera Corporation
(405) 340-4674
npowe@calera.com

Bechtel Media Contact
Francis M. Canavan
Manager, Media and Public
Affairs
Bechtel Corporation
(301) 228-8950
fcanavan@bechtel.com

CALERA CORPORATION AND BECHTEL POWER CORPORATION ANNOUNCE STRATEGIC ALLIANCE

Los Gatos, CA, December 10, 2009 – Calera Corporation and Bechtel Power Corporation today announced a strategic alliance to develop and construct facilities using carbon capture technology to reduce emissions and fight global warming.

Calera's innovative process captures carbon dioxide emitted by coal or gas-fired power plants and converts it into calcium and magnesium carbonates for use in manufacturing carbon negative products such as sand, aggregate, supplementary cementitious materials, and cement, as well as fresh water. The company's business plan calls for construction of multiple demonstration plants to validate the commercial viability of its technology.

"Calera is very enthusiastic about its alliance with Bechtel, a world leader in power plant and emissions technologies engineering, procurement and construction," said Brent Constant, CEO of Calera. "Bechtel key personnel have been working closely with Calera in equipment design and optimization, and increasingly large-scale plant deployment engineering and design. We are very confident that our approach is the most technically viable, rapidly deployable, cost-effective and industrially scalable solution for large point-source emitters of CO₂."

Bechtel and Calera have teamed up to deploy Calera's technology worldwide and to establish Calera's distinctive position within the growing carbon capture market. "We look forward to working with Calera to help deploy a technology that is both innovative and important as the world seeks ways to reduce greenhouse emissions," said Ian Copeland, president of Bechtel Renewables and New Technology. "The fundamental chemistry and physics of the Calera process are based on sound scientific principles and its core technology and equipment can be integrated with base power plants very effectively."

Copeland added that Bechtel has designed, built and installed similar technologies extensively. "While there are challenges to bringing the Calera process to commercial scale, they are not as great as those facing other carbon sequestration approaches," he said.

Calera

- Empresa situada em Los Gatos, Califórnia especializada na captura de CO₂.
- Produtos: carbonatos de cálcio ou magnésio
- No geral é tipo novo de cimento no conceito da carbonatação ou matéria prima
- Processo: Carbonate Mineralization by Aqueous Precipitation



Empresa de 9 anos
Reconhecida pelo Departamento Energia EUA
Projeto piloto instalado na Termelétrica de Moss Landing

Calera

- Princípio básico de fabricação
 - ✓ captura de CO_2 através de dutos que levam gases das fontes emissoras num recipiente contendo água do mar ou salobra, com precipitação de carbonatos.



Aplicações do produto da Calera

- Matéria prima para a fabricação de clínquer
- Adição ao cimento como filler (maior potencial)
- Uso como agregados calcários
- Uso como novo cimento (vaterita --- aragonita)

Energy Dept. spends \$106M to put captured CO2 to use

July 22, 2010 | Camille Ricketts

1 Comment

The Energy Department followed up its [pledge today to invest \\$122 million in converting sunlight into fuels](#) with another announcement: [\\$106 million in new stimulus funding for six projects working to convert carbon dioxide emissions into plastics, fuel, cement, fertilizer and other products](#). The idea is not only to eliminate harmful emissions from the atmosphere, but also to put them to good use.

Carbon sequestration is still a huge question mark. While efforts are currently being made to bury emissions from power plants and factories indefinitely, it's a solution that can't work everywhere, and may not last as is. Trapping carbon emissions in the form of usable products may increasingly supplement other carbon capture methods.



Percepção

- Nicho específico de mercado (vaterita)
- Mercado mais amplo se usado como fíler substituindo cimento
- Custo
- Apelo ecológico- sequestro de carbono
- Citado no relatório WBCSD/IEA - redução de emissão de CO₂ até 2050 – Cement Technology Roadmap, 2009
- 2 fábricas-piloto

Novos ligantes

- Novacem
- Ceramicrete
- Cimentos com nanotubos de carbono
- Cimento TX active
- Energy modified cement (EMC)
- Calera
- **Cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)**



Cimento à base de sulfoaluminato de cálcio (CSA)

➤ Princípio básico da Fabricação

Clínquer Portland

Calcário + argila

**Composição: silicatos e aluminatos cálcicos
(C_3S , C_2S , C_3A , C_4AF)**

Temperatura: 1400 °C – 1500 °C

Clínquer sulfoaluminato

Calcário+ bauxita + anidrita

**Composição: C_3A . $CaSO_4$ e C_2S
(yeelimita)**

Temperatura: 1250 °C – 1350 °C

Propriedades do cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)

- Alta resistência inicial
- Maior resistência química
- Maior resistência aos sulfatos
- Maior retração
- Menor emissão de CO₂

Exemplo real de um ensaio

Resistência à compressão (MPa)		Tempos de pega (min.)		finura Blaine (cm ² /g)
3 h	24,8	Início	10	6170
6 h	31,6			
12 h	40,3			
1 dia	44,0	Fim	15	
3 dias	50,7			
7 dias	55,2			
28 dias	60,4			

Aplicações do cimento de sulfoaluminato de cálcio (CSA)

- Em todos os campos da tecnologia do concreto
- Especialmente para reparos para liberação rápida
- Combinação com o cimento Portland
- Cuidados com variação dimensional (expansão e retração)

Buzzi (NEXT)

Heidelberger (BCT)

Italcementi (ALIPRE)

Vicat (ALPENAT)

Lafarge (AETHER)

Percepção

- Pressão ambiental estimula o uso de cimento com baixa emissão de gases de efeito estufa
- No Brasil representante de cimento importado
- Não é totalmente conhecida sua durabilidade a longo prazo
- Em processo de normalização na Europa
- Alto custo
- Nicho de mercado

Conclusão : o cimento do futuro

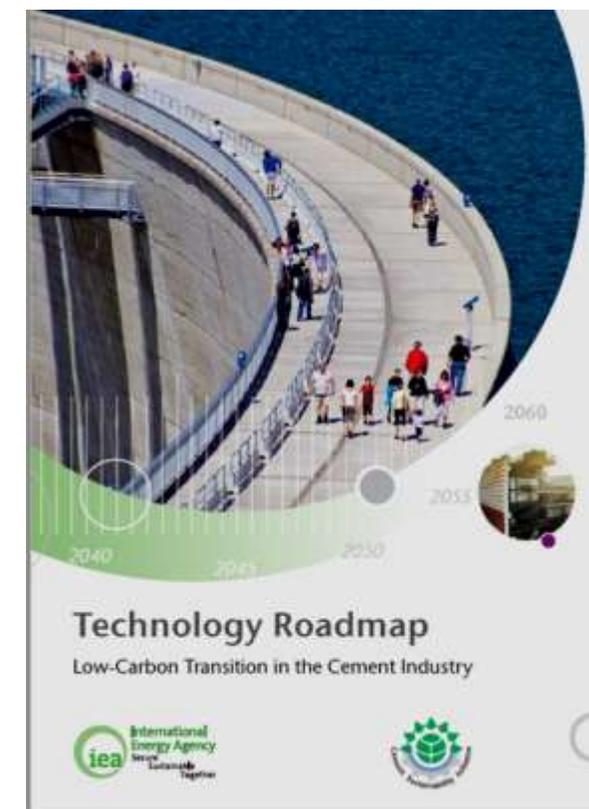
O estágio atual das investigações e iniciativas mostradas permite concluir que embora possam contribuir para aplicações específicas não constituem um substituto do cimento Portland em larga escala.

Processos em estágios distintos de desenvolvimento que precisam provar que:

Economicamente viáveis.

Comportamento de bom desempenho ao longo do tempo.

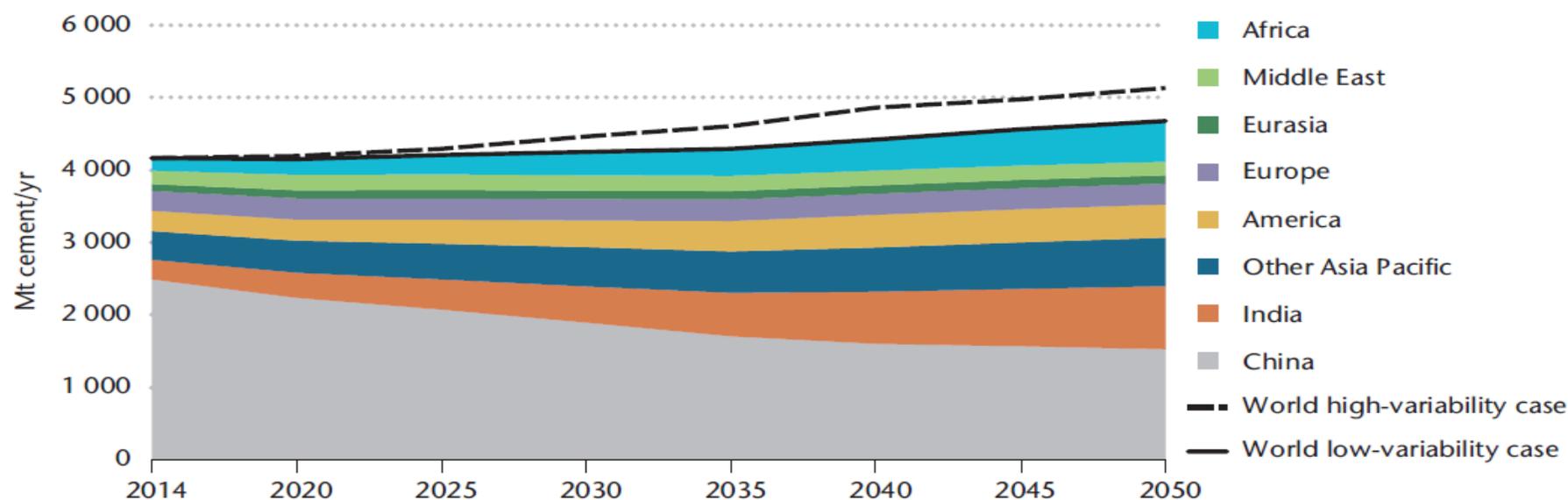
Aceitação na indústria da construção.



Conclusão : o cimento do futuro

O cimento Portland permanecerá por longo tempo como material chave para satisfazer às necessidades globais de infra-estrutura e habitação e, como consequência, a indústria estará enfrentando desafios crescentes

Previsão de consumo de cimento Portland até 2050

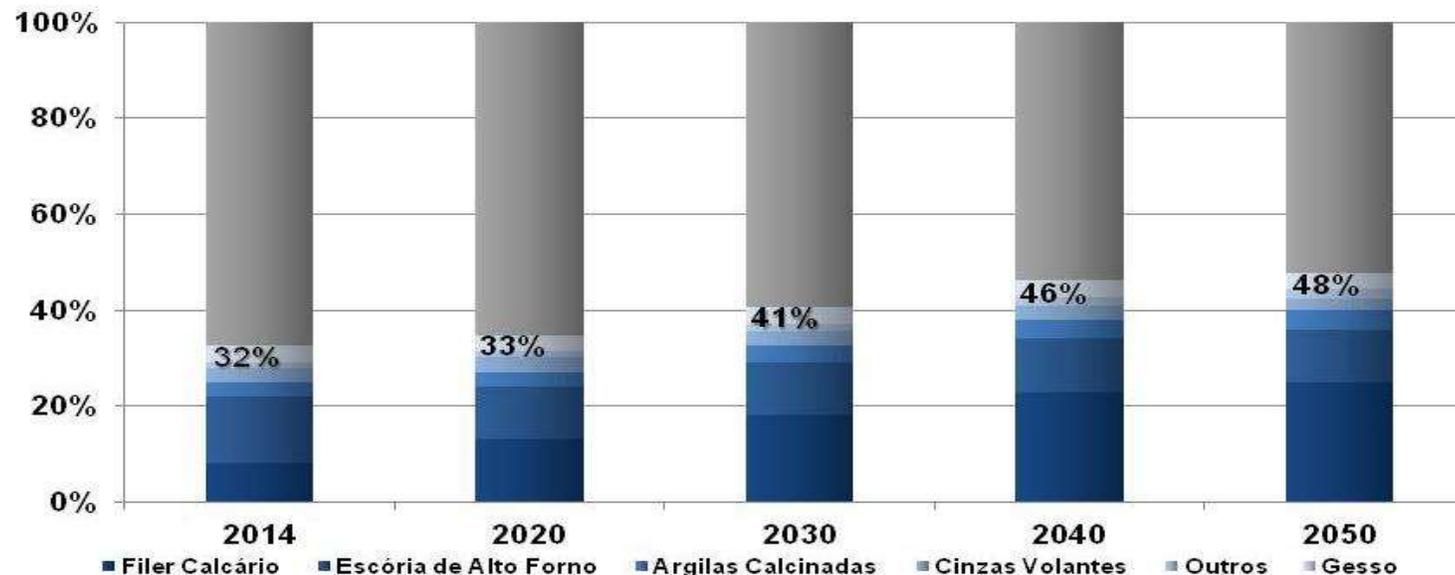


FONTE, WBCSD, 2018

Conclusão : o cimento do futuro no Brasil

Previsão de uso de adições de cimento Portland até 2050 (Cement Technology Roadmap

Adições ao cimento

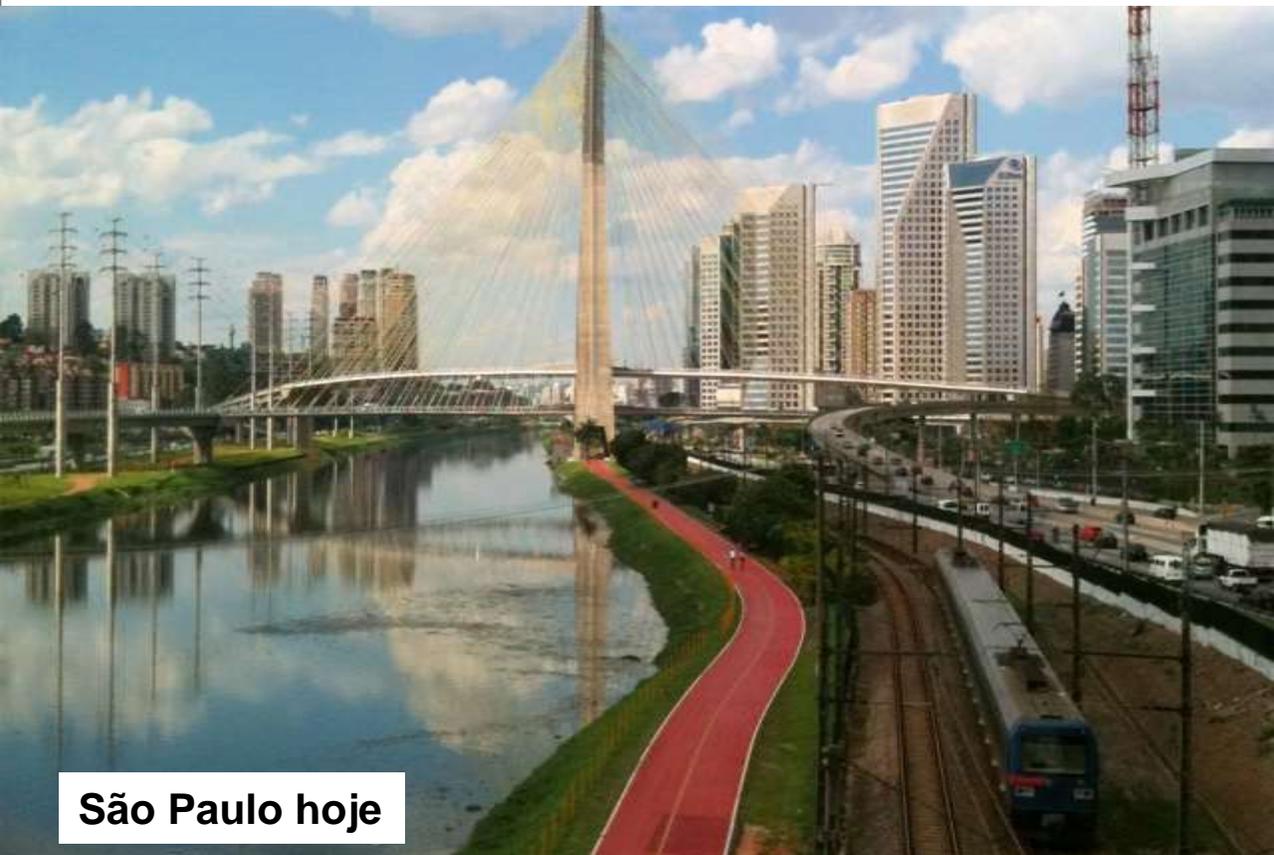


O cimento Portland do futuro no Brasil será um cimento com um teor médio maior de adições e novos tipos terão uma participação pouco expressiva

O cimento do futuro



Arnaldo Forti Battagin
Associação Brasileira
de Cimento Portland

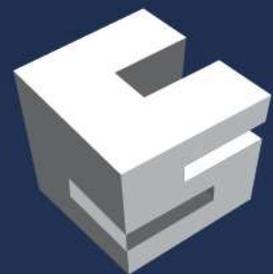


São Paulo hoje



São Paulo do futuro

Fonte: Discovery Channel, 2011



CONCRETE SHOW

A FEIRA DO CIMENTO E CONCRETO PARA A CONSTRUÇÃO

Realização e organização

