



20 a 22 de Junho de 2016 - São Paulo/SP

# As adições como substitutos do clínquer no contexto do Projeto Cement Technology Roadmap 2050

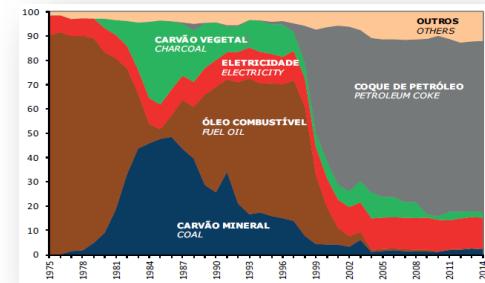
**Arnaldo Battagin/ ABCP**

Realização



## Desafios históricos da indústria do cimento

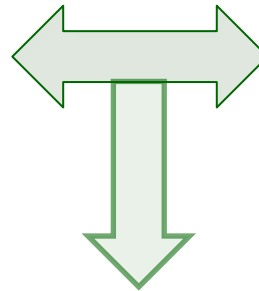
- Suprir as necessidades do País com cimento nacional
- Adaptação às mudanças com combustíveis
  - Óleo
  - Carvão
  - Coque de petróleo
  - Combustíveis alternativos
- Eficiência energética: Substituição de sistemas via úmida por via seca
- Implantação e normalização de métodos analíticos de controle
  - Gravimetria (via úmida)
  - Complexometria
  - Espectrometria de raios X
  - Controles on line
- Qualidade
  - Marca de conformidade ABNT
  - Selo da Qualidade ABCP
  - Índice de conformidade – PSQ do PBQP-H
- Legislação (atividade regulamentada)



## Desafio atuais da indústria do cimento

- ~~Desafio complexo~~
- ~~Infraestrutura e Habitação~~
- Diminuição das emissões dos gases de efeito estufa

**Desafio complexo**



**Mudanças climáticas  
X  
Necessidades de  
infraestrutura e  
habitação**

**A indústria de cimento brasileira vem conduzindo com sucesso**

# Legislação sobre Mudanças Climáticas



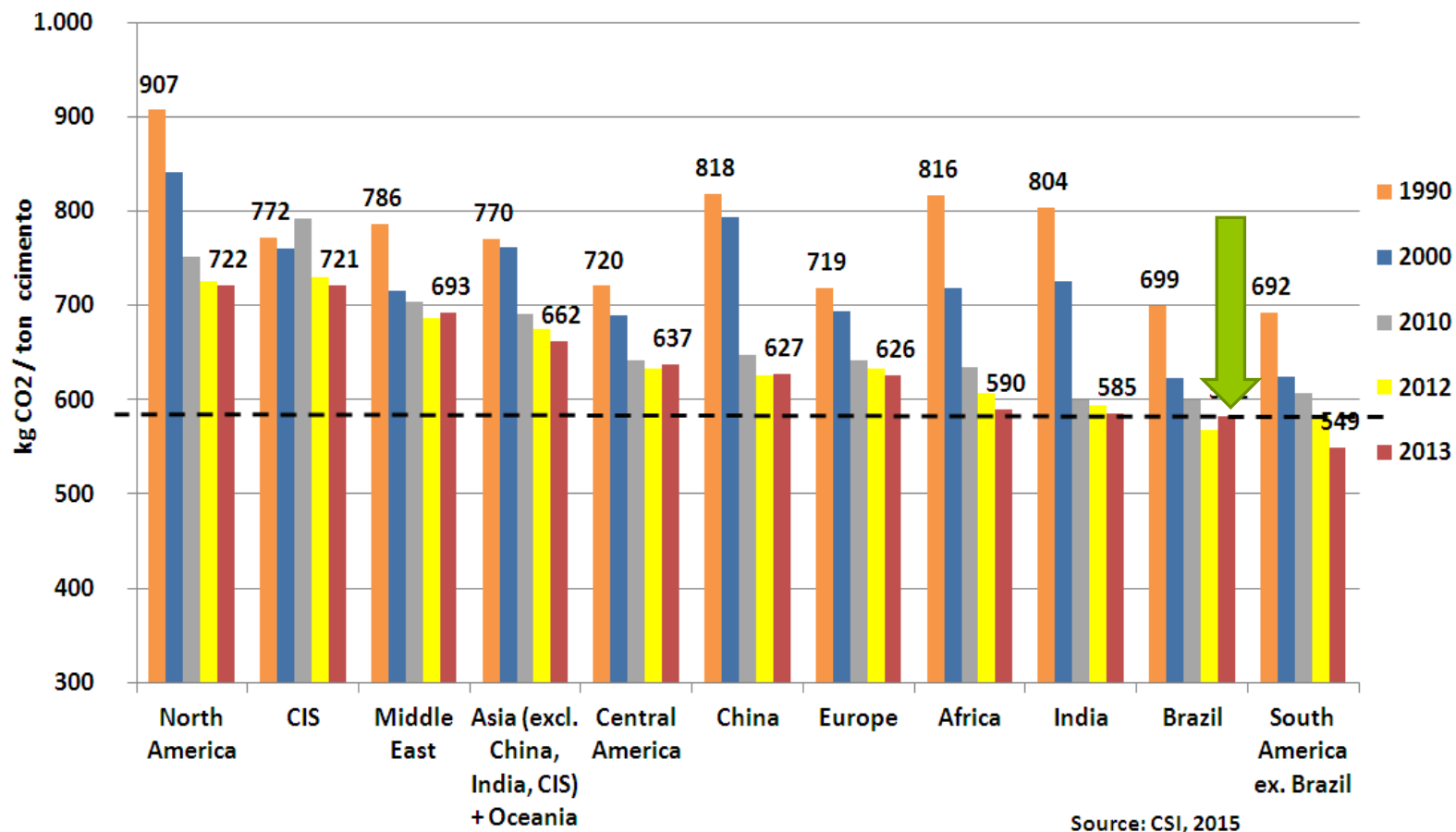
LEGISLAÇÃO NACIONAL

Projetos ou leis estaduais  
19 dos 27 estados

Diferentes estágios : Metas  
definidas e não definidas



## Emissão de CO<sub>2</sub> por tonelada de cimento



**Patamar de excelência alcançado**

## Onde está a emissão de CO<sub>2</sub>



## Sustentabilidade da indústria de cimento no Brasil

O nível de excelência alcançado foi fundamentado em 3 pilares que contribuíram substancialmente para a redução de Gases do Efeito Estufa (GEE)

**Eficiência Energética**

**Combustíveis Alternativos**

**Adições ao Cimento**

## PROJETO CEMENT TECHNOLOGY ROAD MAP relatórios temáticos de estado da arte

**Combustíveis  
Alternativos**

**Substitutos do  
clínquer**

**Maristela Gomes  
(UFES)  
Maria Alba Cincotto  
(USP)**

**Escória**

**Pozolanas**

**Filer**

**Novos Cimentos**

**Captura  
armazenamento  
e uso de carbono**

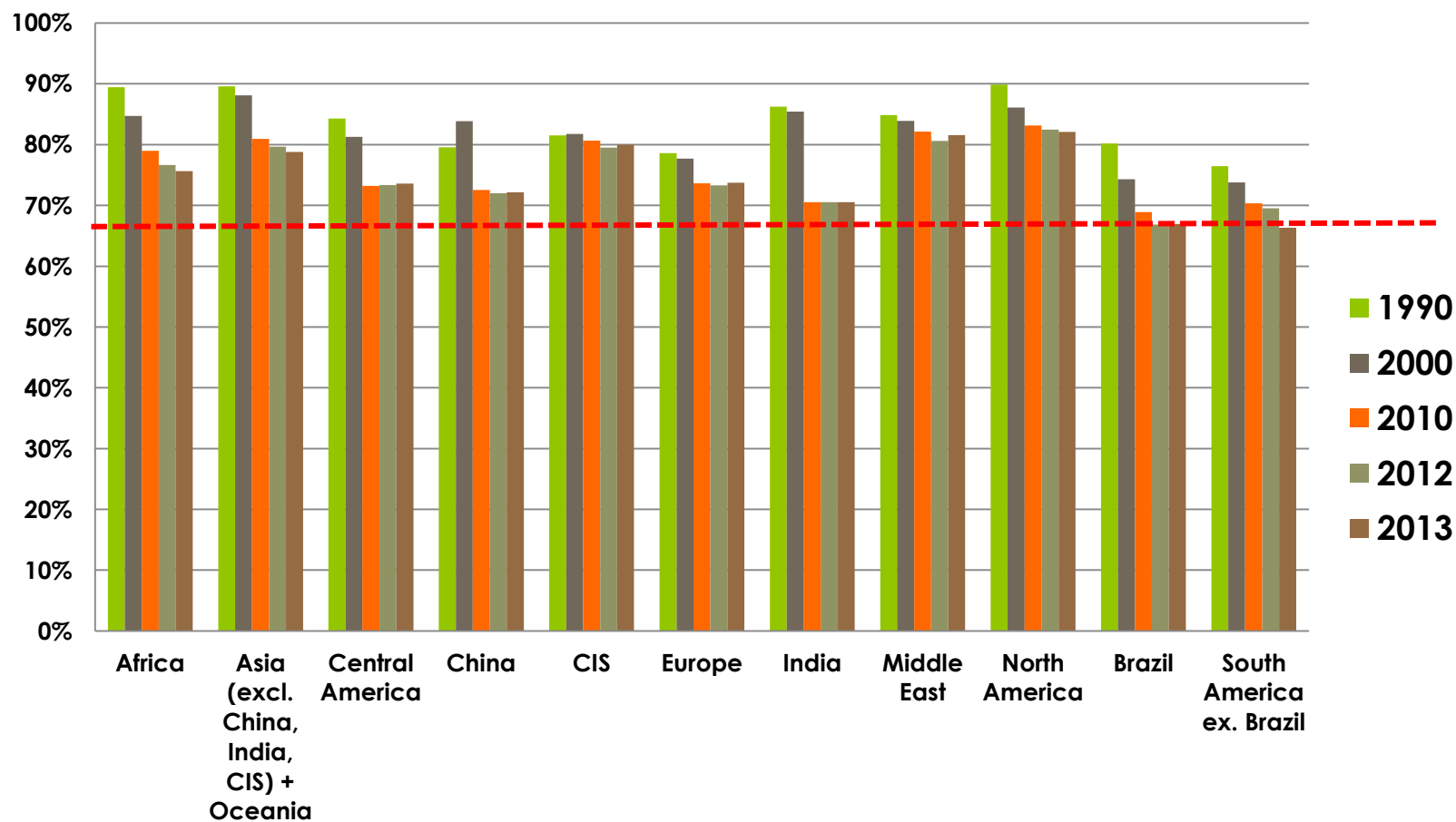
**Construção  
Sustentável**

**Diferenças  
Regionais**



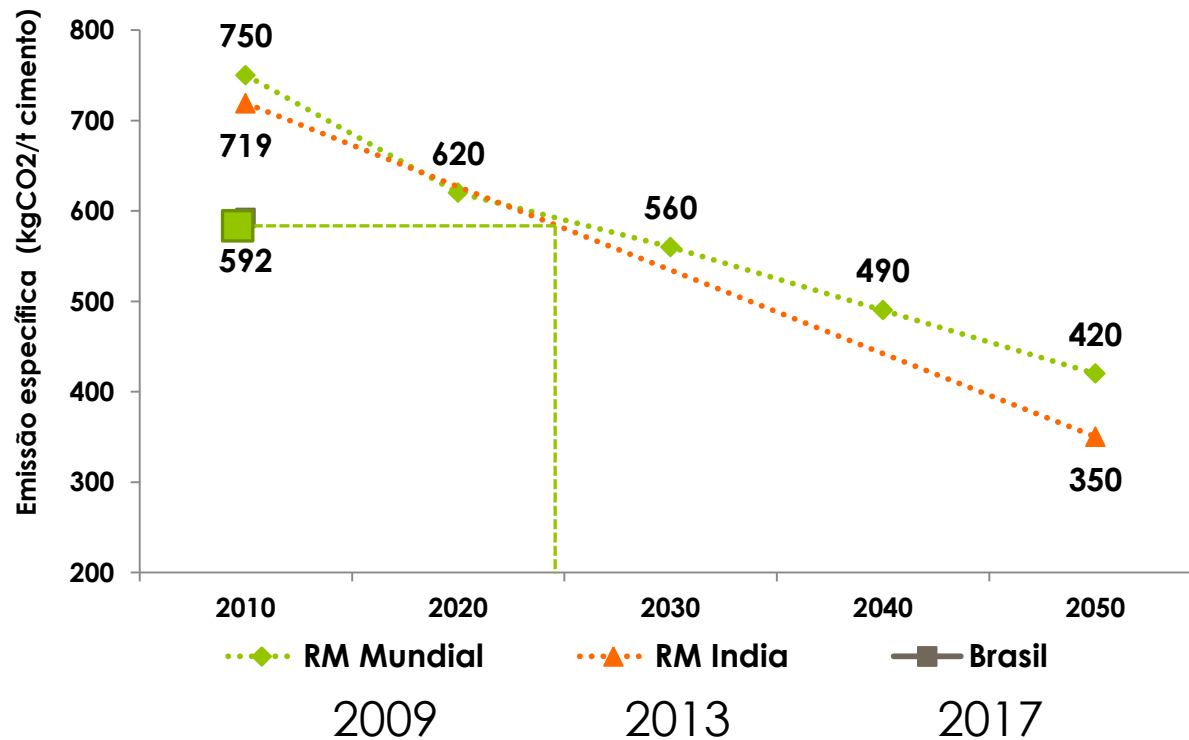
## Projeto Roadmap- Adições

### Evolução do fator clínquer / cimento

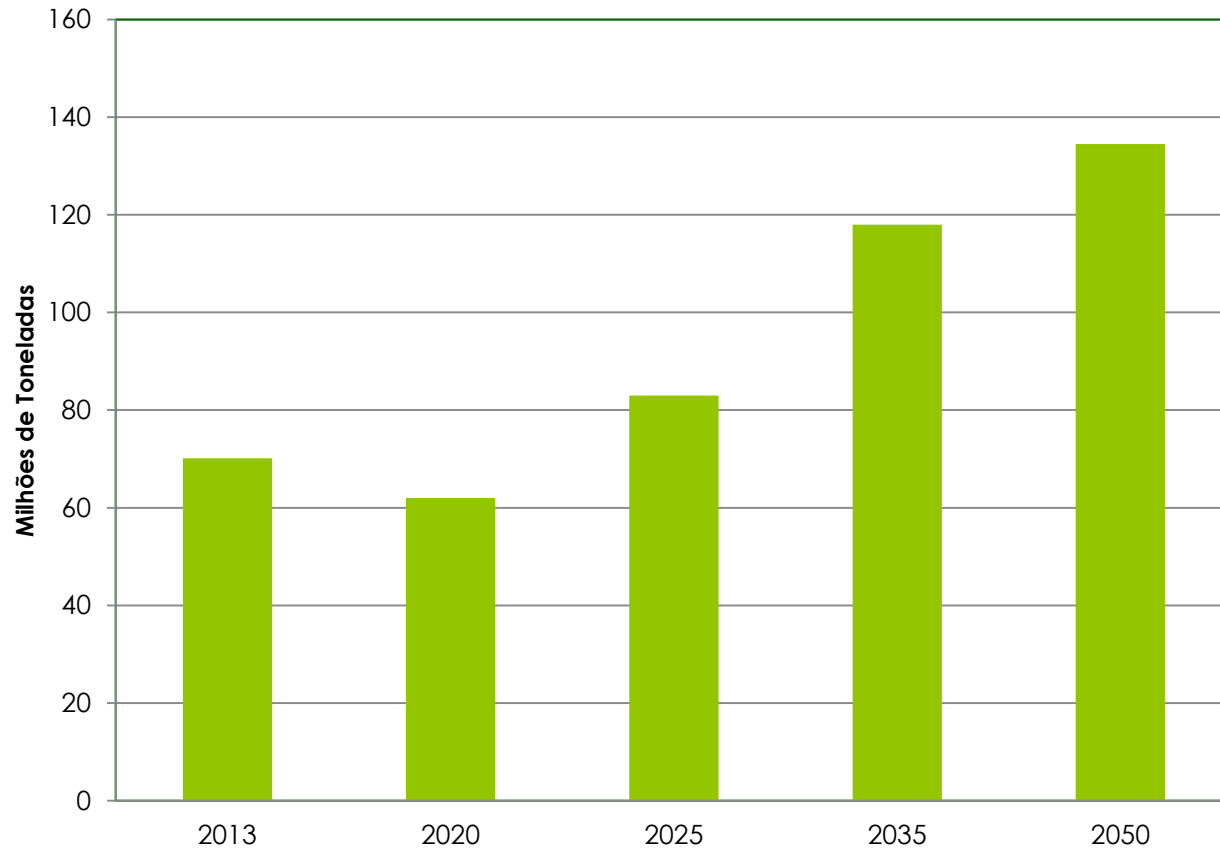


## Projeto Roadmap- Adições

Qual a contribuição das adições ?  
Onde se quer ou pode se chegar?



## Previsão de crescimento da produção de cimento no Brasil



Fonte: SNIC, 2016

# As adições

## Convencionais

- Escória granulada de alto-forno
- Materiais pozolânicos
  - Cinzas volantes
  - Argilas calcinadas
- Fíler calcário

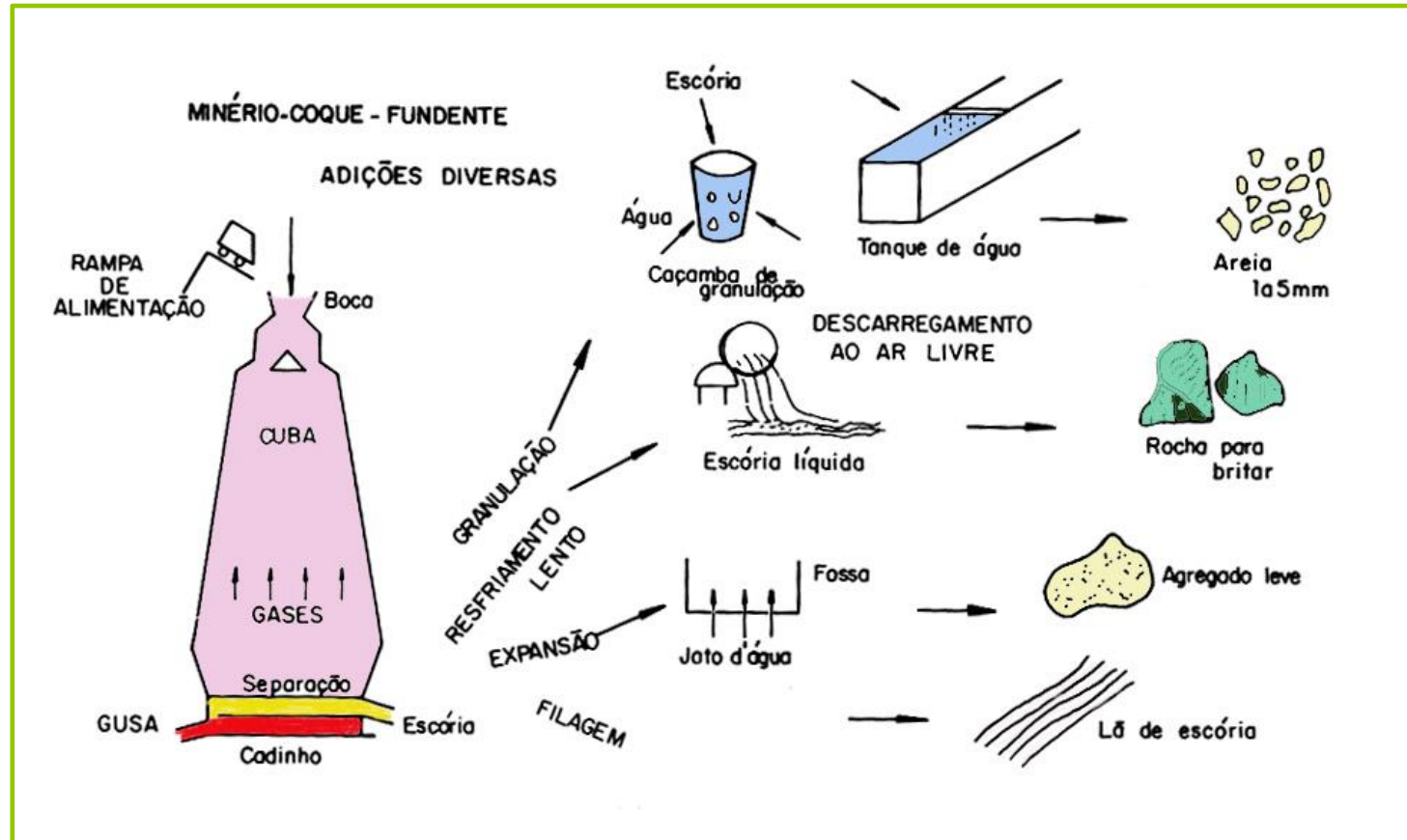
## Outras adições

- Escórias não tradicionais
- Escória de aciaria
- Escórias ácidas
- Outras

# Classificação geral das escórias



# Escória granulada de alto-forno



**Diagrama de fabricação do gusa e geração da escória de alto forno**

## ***Benefícios da escória de alto-forno ao cimento***

### ■ **Técnicos**

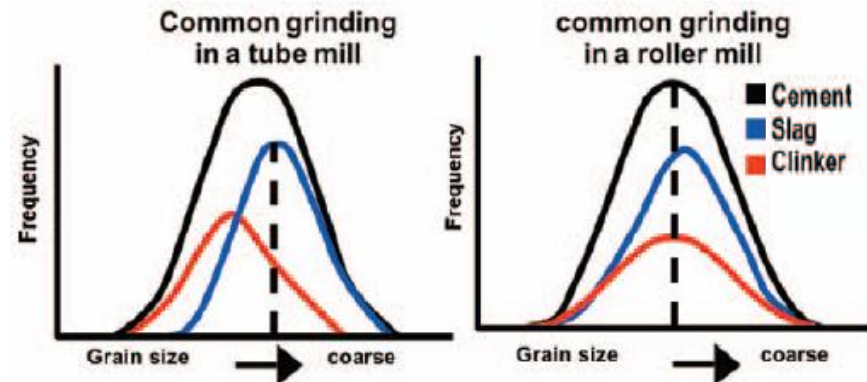
- **Melhoria da durabilidade do concreto (aumento do ciclo de vida)**
- **Melhoria da trabalhabilidade**

### ■ **Econômico-ecológicos**

- **Aproveitamento de resíduo industrial**
- **Redução da emissão de gases do efeito estufa**
- **Redução do consumo de combustíveis não renováveis na fabricação do cimento**
- **Preservação de jazidas**

## Fabricação do CPlII

- Moagem conjunta . Roller mill & Tube mill
- Moagem separada
- Moabilidade das escórias : até 2 vezes a do clínquer
- Umidade e abrasividade (difícil de moer)
- Work index (BOND) :
  - Escória - 32 a 44 KWh/t
  - Clínquer- 15 a 24 KWh/t





## Produção de gusa

ANO	SIDERURGIA A COQUE	SIDERURGIA A CARVÃO VEGETAL			TOTAL
		USINAS INTEGRADAS	PRODUTORES INDEPENDENTES	TOTAL CARVÃO VEGETAL	
2003	22.564.026	1.346.753	8.103.864	9.450.617	<b>32.014.643</b>
2004	23.225.888	1.449.705	9.759.911	11.209.616	<b>34.435.504</b>
2005	22.460.688	1.649.889	9.693.678	11.343.678	<b>33.804.255</b>
2006	21.275.851	1.709.072	9.586.266	11.295.538	<b>32.571.189</b>
2007	23.962.642	1.980.150	9.628.058	11.608.208	<b>35.570.850</b>
2008	24.380.975	2.148.466	8.552.385	10.700.851	<b>35.081.826</b>
2009	18.995.360	1.867.000	4.689.000	6.556.000	<b>25.551.360</b>
2010	23.702.000	2.135.360	5.027.387	7.162.747	<b>30.864.747</b>
2011	25.334.200	2.256.500	5.824.004	8.080.504	<b>33.414.704</b>
2012	24.580.910	2.318.790	5.598.006	7.916.796	<b>32.497.706</b>
2013	23.916.956	2.283.244	5.352.074	7.635.318	<b>31.552.274</b>
2014	24.599.200	2.313.692	5.035.952	7.349.644	<b>31.948.844</b>

Fontes: SINDIFER / IABr

**São gerados 300kg de escória básica por tonelada de gusa**

## Geração de escória básica de alto-forno

<b>Ano</b>	<b>Geração estimada de escória de alto-forno a coque (milhões de toneladas)</b>
<b>2003</b>	<b>6,77</b>
<b>2004</b>	<b>6,97</b>
<b>2005</b>	<b>6,74</b>
<b>2006</b>	<b>6,38</b>
<b>2007</b>	<b>7,19</b>
<b>2008</b>	<b>7,31</b>
<b>2009</b>	<b>5,70</b>
<b>2010</b>	<b>7,11</b>
<b>2011</b>	<b>7,60</b>
<b>2012</b>	<b>7,37</b>
<b>2013</b>	<b>7,18</b>
<b>2014</b>	<b>7,38</b>

Brazil Cement Technology Roadmap 2050, 2016

## Consumo de escória de alto-forno em cimento

Ano	Escória granulada de alto-forno (toneladas)	Produção de cimento (toneladas)	Substituição de escória (%)
1990	1.254.960	32.000.000	3,92
2000	1.500.000	32.000.000	4,69
2005	1.700.000	32.000.000	5,31
2007	2.000.000	32.000.000	6,25
2008	2.200.000	32.000.000	6,88
2009	2.500.000	32.000.000	7,81
2010	2.700.000	32.000.000	8,44
2011	2.751.600	32.000.000	8,60
2012	7.536.282	52.000.000	14,49
2013	7.101.039	54.329.000	13,07

**6,2 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> evitadas em 2013**

Somente participantes do GNR, 2015

## E o futuro?

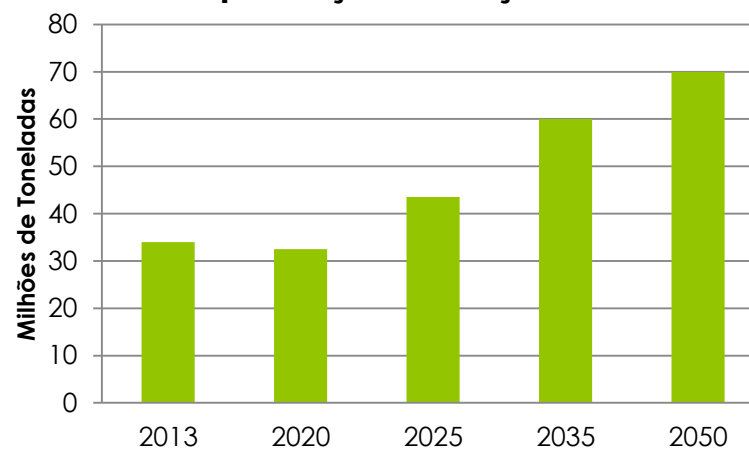
O uso de escória de alto-forno como adição ao cimento no Brasil é praticado há quase 70 anos

Eventuais barreiras técnicas foram bem estudadas e contornadas pela indústria e pela academia

As reais barreiras técnicas são a oferta insuficiente e disponibilidade regional

Estima-se crescimento vegetativo na oferta de escória de alto-forno até 2050, com taxa de substituição de 11% no cimento, e, portanto abaixo do valor de 13,1% ocorrido em 2013.

Previsão de crescimento da produção de aço bruto



## Materiais pozolânicos

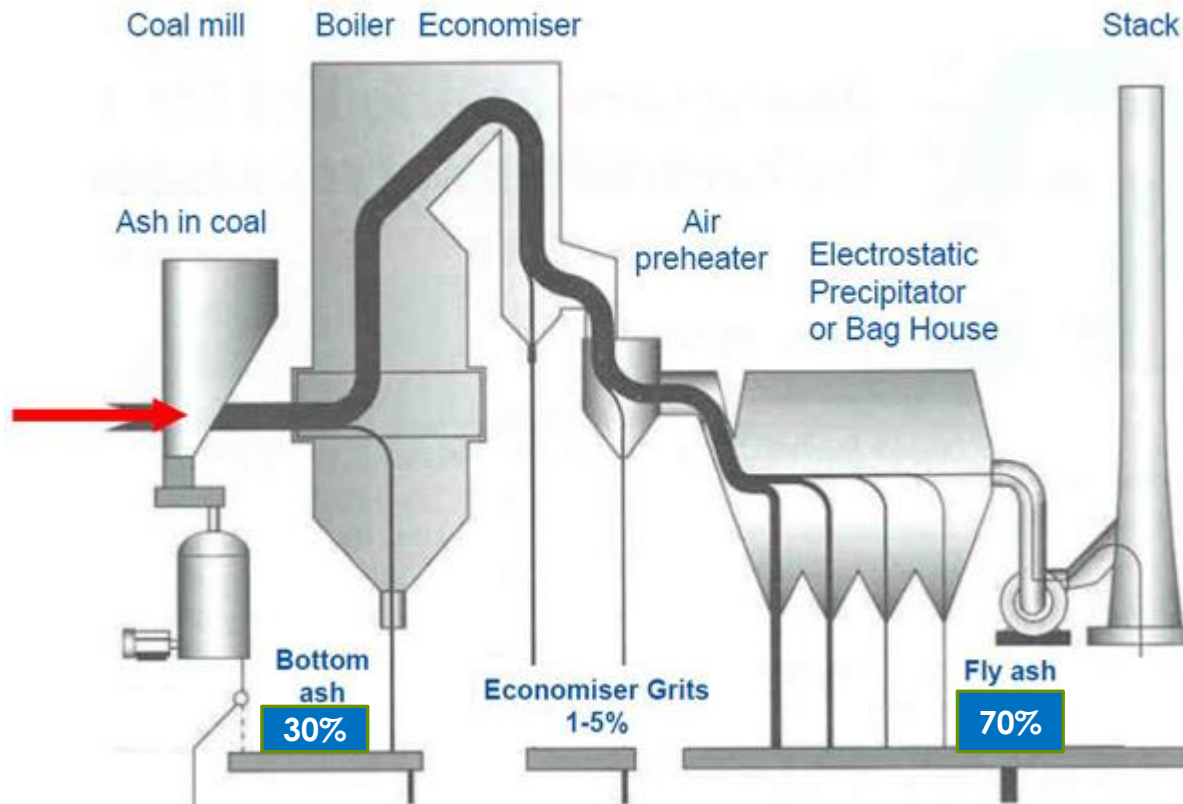
Materiais que por si sós não possuem atividade hidráulica, mas que finamente divididos e, em presença de água, reagem com  $\text{Ca(OH)}_2$  originando C-S-H



- Cinzas volantes
- Argilas calcinadas
- Diatomitos
- Rochas vulcânicas
- Sílica ativa
- Metacaulim

# Materiais pozzolânicos- cinzas volantes

## Coal Fired Power Station

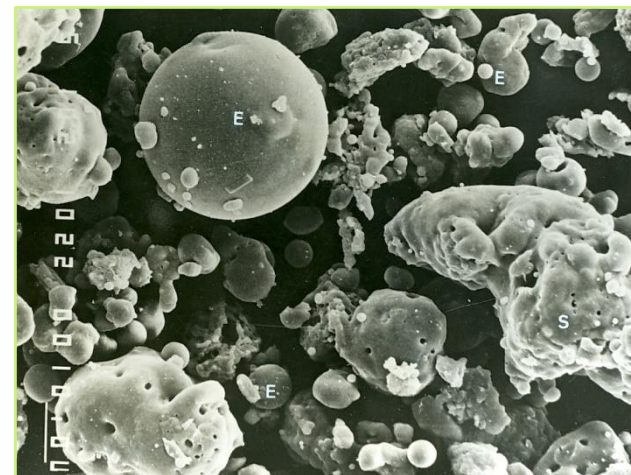


## Principais termelétricas brasileiras a carvão mineral

Usina	Data Operação	Potência (KW)	Proprietário	Município
Charqueadas	1/1/1962	72.000	Tractebel Energia S/A	Charqueadas - RS
Figueira	1/1/1963	20.000	Copel Geração e Transmissão S.A.	Figueira - PR
Jorge Lacerda I e II	1/3/1965	232.000	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo - SC
Presidente Médici A, B	1/1/1974	446.000	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	Candiota - RS
São Jerônimo	-	20.000	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	São Jerônimo - RS
Jorge Lacerda III	1/2/1979	262.000	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo - SC
Jorge Lacerda IV	1/2/1997	363.000	Tractebel Energia S/A	Capivari de Baixo - SC
Alunorte	26/9/2007	103.854	Alumina do Norte do Brasil S/A	Barcarena - PA
Alumar	20/10/2009	75.200	Consórcio de Alumínio do Maranhão Consórcio Alumar	São Luís - MA
Porto do Itaqui (Antiga Termomaranhão)	5/2/2013	360.137	Itaqui Geração de Energia S.A.	São Luís - MA
Porto do Pecém I (Antiga MPX)	1/12/2012	720.274	Porto do Pecém Geração de Energia S.A.	São Gonçalo do Amarante - CE
Candiota III	1/1/2011	350.000	Companhia de Geração Térmica de Energia Elétrica	Candiota - RS
Porto do Pecém II	18/10/2013	365.000	Pecém II Geração de Energia S.A.	São Gonçalo do Amarante - CE

## Geração de cinzas volantes

**70% cinzas leves**  
**30 % cinzas pesadas**



**Disponibilidade atual de 2 Mt de  
cinzas volantes por ano**

**A maior parte disponível na Região Sul**



## Consumo de cinzas volantes em cimento

Ano	Consumo de cinzas (toneladas)	Produção de cimento (toneladas)	Substituição de cinza volante (%)
1999	505.914	18.100.000	2,79%
2000			
2001			
2002			
2003			
2004			
2005			
2006			
2007			
2008			
2009			
2010	1.034.000	45.000.000	2,30%
2011	1.233.648	49.072.000	2,51%
2012	1.415.162	52.621.466	2,69%
2013	1.436.249	54.329.309	2,64%

**1,25 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> evitadas em 2013**

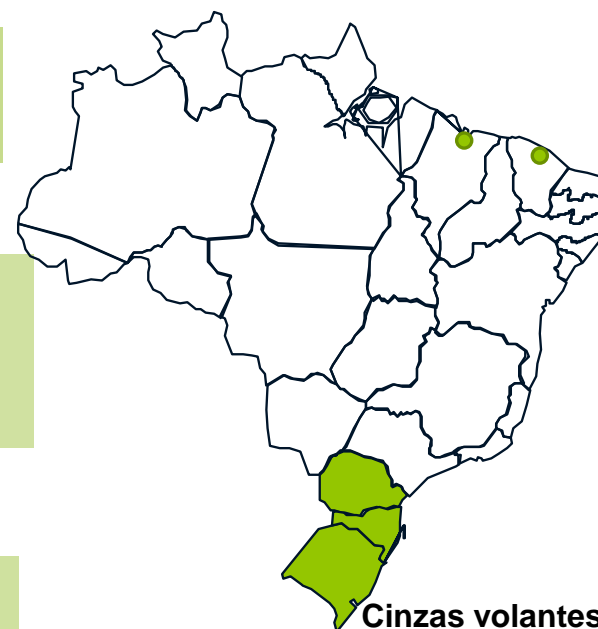
Somente participantes do GNR, 2015

## E o futuro?

O uso de cinzas volantes como adição ao cimento Portland é tradicional - 1969

A normalização permite até 50%, mas na prática esse valor fica limitado a 35% em média sobre a massa do cimento

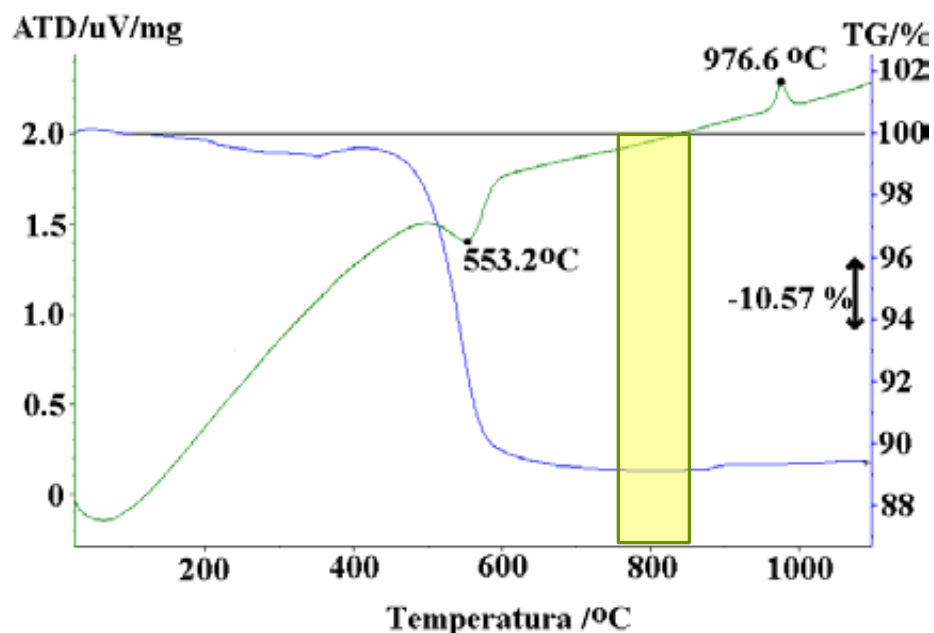
A real barreira é a oferta regional e fluxos na geração



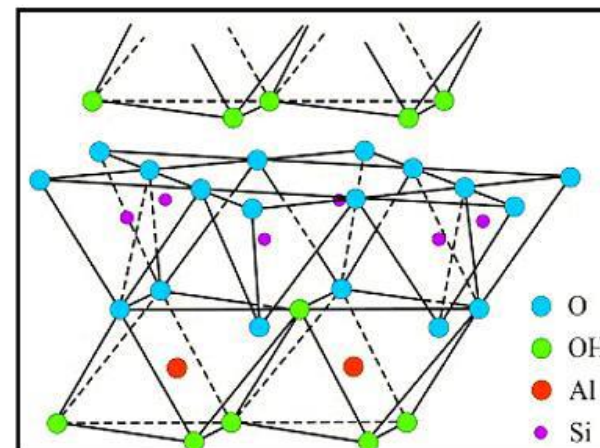
Considerando que até 2050 não haja investimentos expressivos em novas termelétricas a carvão, a taxa de substituição de 2,5% no cimento, continuará a mesma em 2050 e, portanto o uso de cinzas volantes não deverá contribuir para incrementar a mitigação de CO<sub>2</sub>

## Materiais pozolânicos- argilas calcinadas

As argilas desenvolvem atividade pozolânica quando calcinadas em condições controladas. As argilas caulínicas são mais adequadas à fabricação de pozolanas, quando com teor acima de 50% após tratamento térmico entre 750°C e 850°C.



Termograma



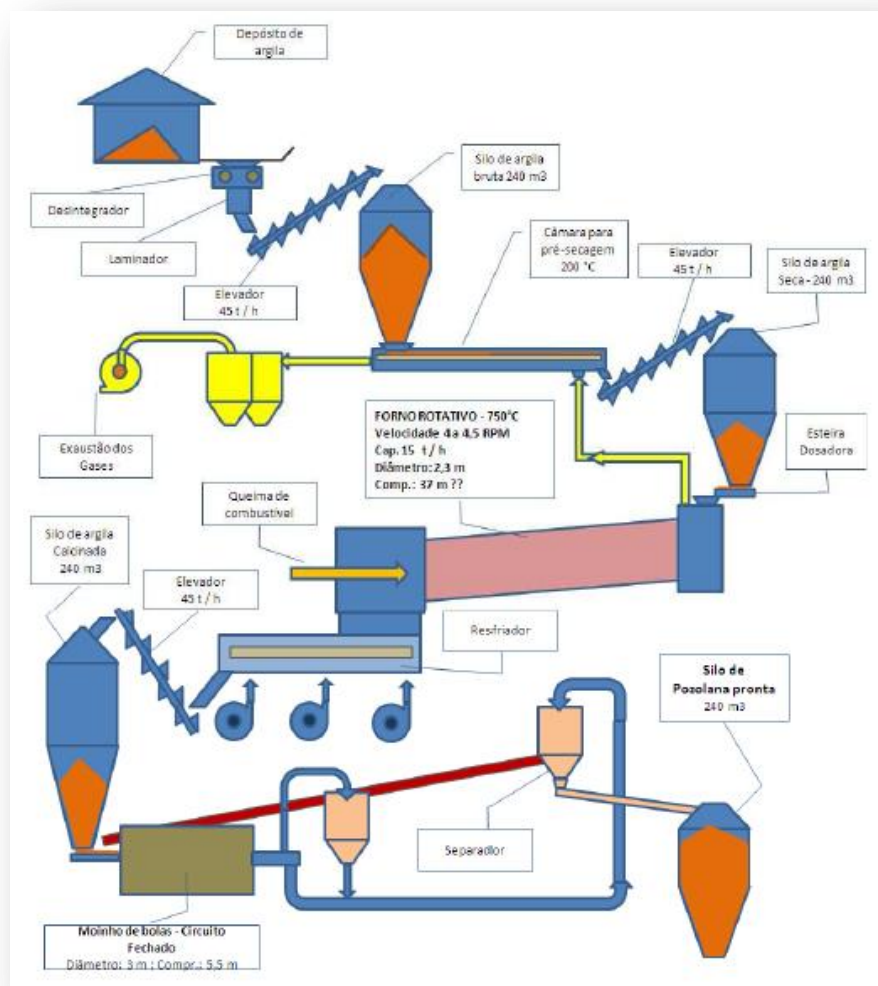
Estrutura cristalina da caulinita

## Esquema fabricação de argila calcinada de Jupuíá

O Brasil já reúne considerável experiência na tecnologia de argilas calcinadas.

Argilas calcinadas chamam a atenção, em virtude de serem disponíveis em todo mundo, ao contrário da cinzas volantes e das escórias de alto-forno, com ofertas regionais.

Consumo térmico = 600-650 kcal/kg  
Emissão = 240kg CO<sub>2</sub> eq/ t de argila



## Consumo de argilas calcinadas em cimento

Ano	Consumo de argila calcinada (milhões de toneladas)	Emissões de CO <sub>2</sub> (milhões de toneladas)	Substituição de argila calcinada (%)
1990			0,50
2000			2,60
2001			2,43
2002			2,60
2003			2,60
2004			2,60
2005			2,60
2006			2,60
2007			2,60
2008			1,89
2009	1.449.701	449.701	1,71
2010	1.271.790	271.790	2,31
2011	1.294.000	294.000	2,92
2012	1.559.040	559.040	3,34
2013	1.538.711	543.293	2,83

**0,82 milhões de toneladas de emissões de CO<sub>2</sub> evitadas em 2013**

Somente participantes do GNR, 2015

## E o futuro?

O fabricação de argilas calcinadas já é tecnologia dominada no Brasil.

A normalização permite até 50%, mas seu uso no concreto pode apresentar problemas de reologia.

A sinergia da argila calcinada e fíler calcário e sua distribuição irrestrita estimulam o aumento de uso ( nova norma europeia)

Uma barreira é a necessidade de investimentos e menor desempenho relativo em termos de mitigação de CO<sub>2</sub>

Considerando que até 2050 não haverá aumento da disponibilidade de cinzas volantes e escória, a argila calcinada surge como opção para incrementar a mitigação de CO<sub>2</sub>, passando de um consumo atual de 1,5Mt para 5,3 Mt em 2050



## Outras adições: escórias de aciaria

A geração atual de escória de aciaria é aproximadamente 3.7 Mt/ ano

Apresenta baixa hidraulicidade e sem utilização no cimento

Ano	Produção de aço (Mt)	Estimativa de geração de escória de aciaria (Mt)
2013(*)	34,2	3,66
2020	32,5	3,47
2025	43,5	4,65
2035	60,0	6,42
2050	70,0	7,49

### Premissas

- Pouca alteração na tecnologia de fabricação do aço.
- Investimentos em granulação e tratamento pirometalúrgico.

cada tonelada de aço gera 107 kg de escória de aciaria, segundo o IABr

## Outras adições: escórias ácidas

**As escórias ácidas das siderúrgicas integradas já são utilizadas na produção de cimento desde que demonstrem hidráulicidade e pozolanicidade.**

**As escórias ácidas das siderúrgicas independentes não são utilizadas na produção de cimento.**

ANO	MINAS GERAIS	%	CARAJÁS (*)	%	ESP. SANTO	%	MATO GR. SUL	%	TOTAL
2003	5.193.060	64,1	2.364.500	29,2	450.304	5,5	96.000	1,2	<b>8.103.864</b>
2004	6.302.964	62,5	3.102.750	30,7	499.358	5,0	180.000	1,8	<b>9.759.911</b>
2005	5.797.999	59,3	3.228.287	33,0	505.795	5,2	241.653	2,5	<b>9.693.678</b>
2006	5.353.664	56,5	3.573.047	36,5	376.755	4,0	282.800	3,0	<b>9.586.266</b>
2007	5.042.637	52,4	3.927.800	40,8	350.521	3,6	307.100	3,2	<b>9.628.058</b>
2008	4.303.302	50,3	3.543.718	41,4	280.865	3,3	424.500	5,0	<b>8.552.385</b>
2009	2.380.600	54,0	1.710.000	38,8	344.900	1,4	253.500	5,8	<b>4.689.000</b>
2010	2.904.187	57,8	1.661.333	33,0	198.700	4,0	263.167	5,2	<b>5.027.387</b>
2011	2.998.000	51,5	2.019.004	34,7	357.000	6,1	450.000	7,7	<b>5.824.004</b>
2012	2.738.437	49,4	2.108.101	37,1	260.227	4,7	491.241	8,8	<b>5.598.006</b>
2013	2.924.957	54,6	1.763.104	33,0	195.988	3,7	468.025	8,7	<b>5.352.074</b>
2014	2.914.132	57,9	1.462.516	29,0	226.304	4,5	433.000	8,6	<b>5.035.952</b>

(\*) Carajás -> Aqui se incluem os estados do Maranhão e do Pará. Fonte: Empresas /SINDIFER



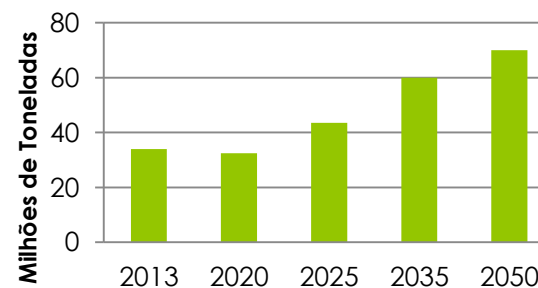
## Outras adições – escórias ácidas

Ano	Produção de aço (Mt)	Produção de gusa a carvão vegetal (Mt)	Estimativa de geração de escória ácida (Mt)
2013	34,2	5,35	0,75
2020	32,5	5,40	0,76
2025	43,5	7,26	1,01
2035	60,0	10,0	1,40
2050	70,0	11,69	1,64

**cada tonelada de gusa a carvão vegetal gera 140 kg de escória de ácida, segundo o IABr**

**O potencial de utilização vai depender de investimentos em beneficiamento e granulação e de estudos que comprovem pozolanicidade**

**Previsão de crescimento da produção de aço bruto**

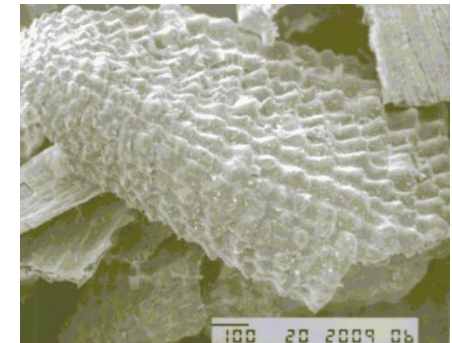
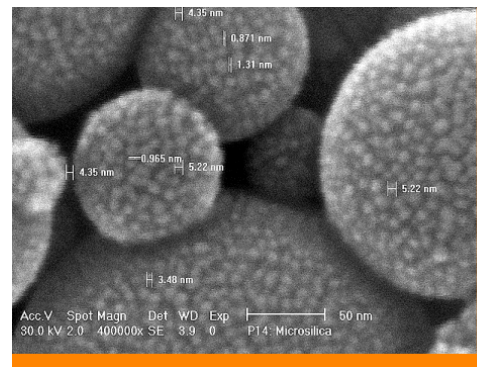


## Outras adições

**Sílica ativa e metacaulim micronizado : adição no concreto**

**Escórias metalúrgicas : cobre, níquel , manganês: cases de sucesso**

**Cinzas de casca de arroz , cinza de bagaço de cana, resíduo de bauxita: diferentes estágios de desenvolvimento, mas sem futuro em termos de aumento mitigação de CO<sub>2</sub>**



## Fíler calcário

**O tema vai ser apresentado pelo prof Dr Vanderley M. John amanhã**

**Palestra : Potencial dos fíleres na mitigação dos gases de efeito estufa  
10:45 – 11:25 h**

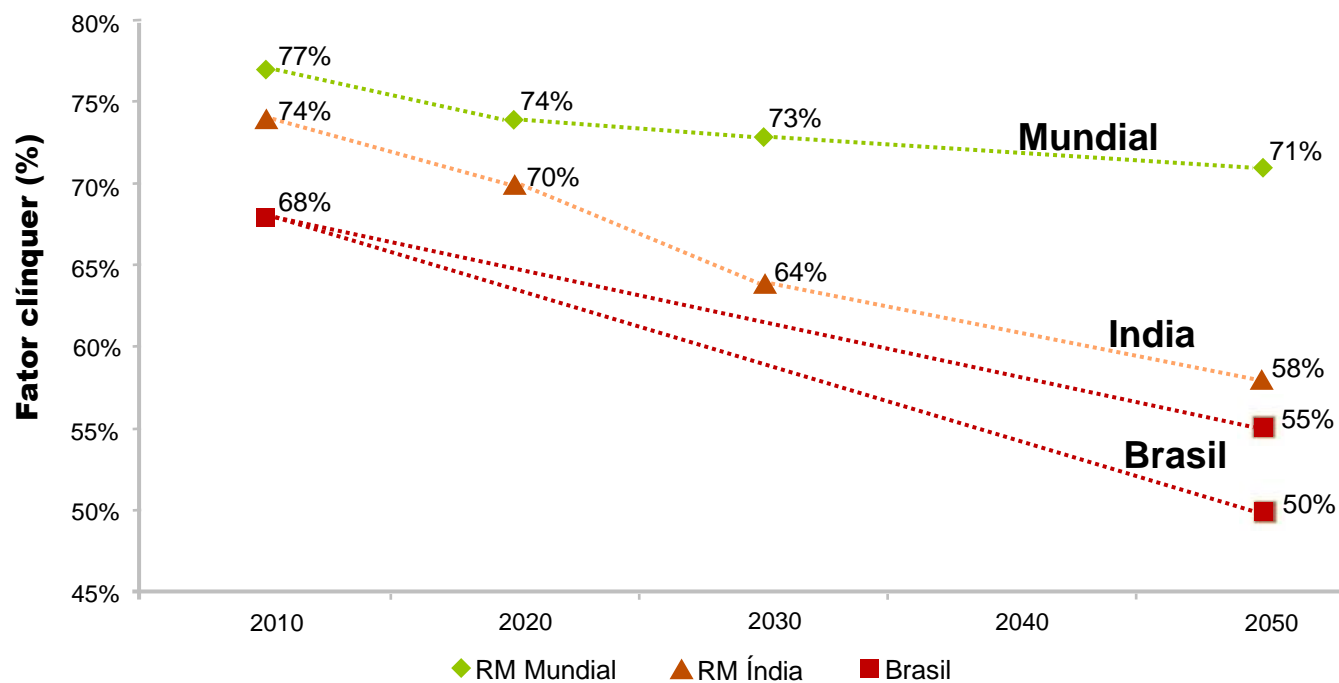
## Conclusões e recomendações

- a principal ação recomendada para ser adotada pela indústria cimenteira, considerando a dependência do aumento de oferta de escória de alto-forno e das cinzas volantes a fatores estruturais e conjunturais, é a imediata prospecção de alternativas para suprir a demanda por substitutos do clínquer Portland.
  
- Dois tipos de adições parecem responder a longo prazo para evolução na diminuição do fator clínquer /cimento e, por consequência, com maior potencial de mitigação de GEE em  $CO_{2eq}$ , quais sejam o fíler calcário e as argilas calcinadas

## Outras adições – escórias de aciaria

- **Experiências regionais, tais como uso de escórias de cobre, níquel, manganês e outros materiais como pozolanas naturais, que comprovem efetivamente pozolanicidade ou hidraulicidade devem ser continuadas, pois, embora não contribuam para mitigação do CO<sub>2</sub> em âmbito setorial, poderão constituir solução específica para determinada planta.**
- **O mesmo deve ocorrer numa escala um pouco maior com escórias ácidas dos chamados *guseiros* e escória de aciaria, mas, nesses casos, o incremento de seu uso em cimento vai depender de ações da indústria siderúrgica e da pressão da legislação ambiental, com investimentos para transformá-los em coprodutos**

## Expectativa do valor do fator clínquer/cimento em 2050



**MUITO OBRIGADO !**