



Ministério da Educação
Universidade Federal do Paraná
Setor de Tecnologia
Departamento de Construção Civil

Materiais de Construção II

(TC-031)

ADITIVOS E ADIÇÕES MINERAIS PARA CONCRETO

Professores

José Marques Filho - jmarques@ufpr.br

José de Almendra Freitas Jr. - freitasjose@terra.com.br

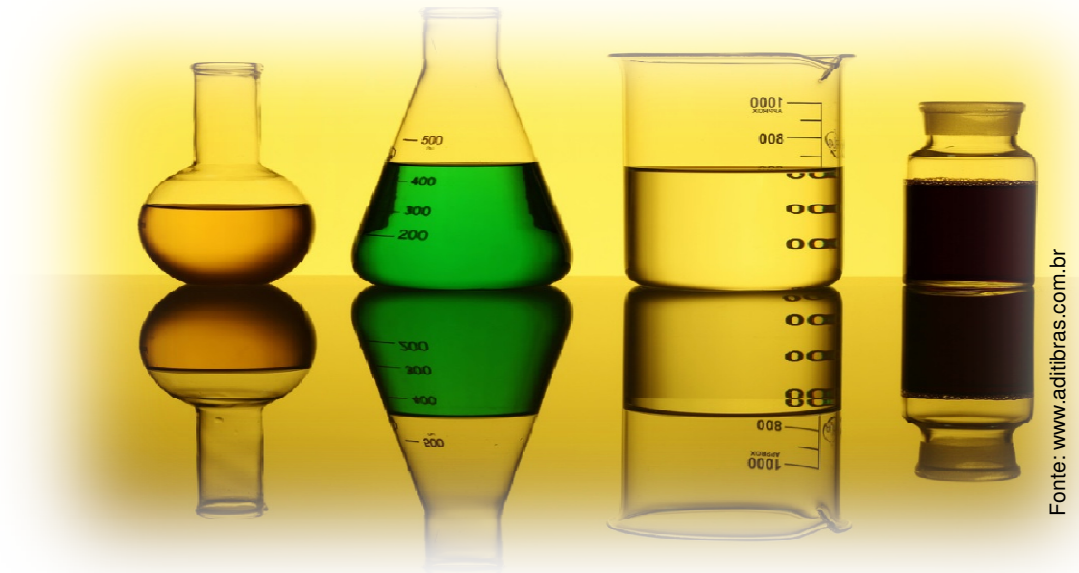
Marienne do Rocio Maron da Costa - mariennemaron@gmail.com

Laila Valduga Artigas - artigas@ufpr.br

Versão 2020

1. ADITIVOS PARA CONCRETO

Segundo a NBR 11768:2011:



Fonte: www.aditbras.com.br

“são produtos adicionados durante o processo de preparação do concreto, em quantidade não maior que 5% da massa de material cimentício contida no concreto, com o objetivo de modificar propriedades do concreto no estado fresco e\ou no estado endurecido, exceto pigmentos inorgânicos para o preparo do concreto colorido.”

ADITIVOS PARA CONCRETO

**“Aditivo” – 4º componente do concreto,
(cimento / agregados / água / aditivos)**

Todo concreto minimamente estudado usa aditivos. No 1º mundo 70% a 80% dos concretos usam algum tipo de aditivo.



ADITIVOS PARA CONCRETO

Finalidades:

- Aumentar a trabalhabilidade ou plasticidade do concreto;
- Reduzir o consumo de cimento (custo);
- Alterar acelerando ou retardando o tempo de pega;
- Reduzir a retração;
- Aumentar a durabilidade:
 - Inibindo a corrosão das armaduras;
 - Neutralizando as reações álcali-agregado;
 - Reduzindo o efeito do ataque por sulfatos;
 - Diminuir a permeabilidade.

ADITIVOS PARA CONCRETO

NBR 11768:2011 classifica alguns dos tipos de aditivos:

TIPO Finalidade

PN plastificante ou redutor de água (mínimo **5%** de redução)

PR plastificante e retardador do tempo de pega

PA plastificante e acelerador do tempo de pega

SP- I N superplastificante **tipo I** (mínimo **12%** de redução de água)

SP- I R superplastificante **I** e retardador do tempo de pega

SP- I A superplastificante **I** e acelerador do tempo de pega

SP- II N superplastificante **tipo II** (mínimo **20%** de redução de água)

SP- II R superplastificante **II** e retardador do tempo de pega

SP- II A superplastificante **II** e acelerador do tempo de pega

ADITIVOS PARA CONCRETO

TIPO	Finalidade
AP	Acelerador do tempo de pega;
RP	Retardador do tempo de pega;
IAR	Incorporador de ar;
AR	Acelerador de resistência.

Outros aditivos:

- Modificadores de viscosidade;
- Controladores de hidratação.

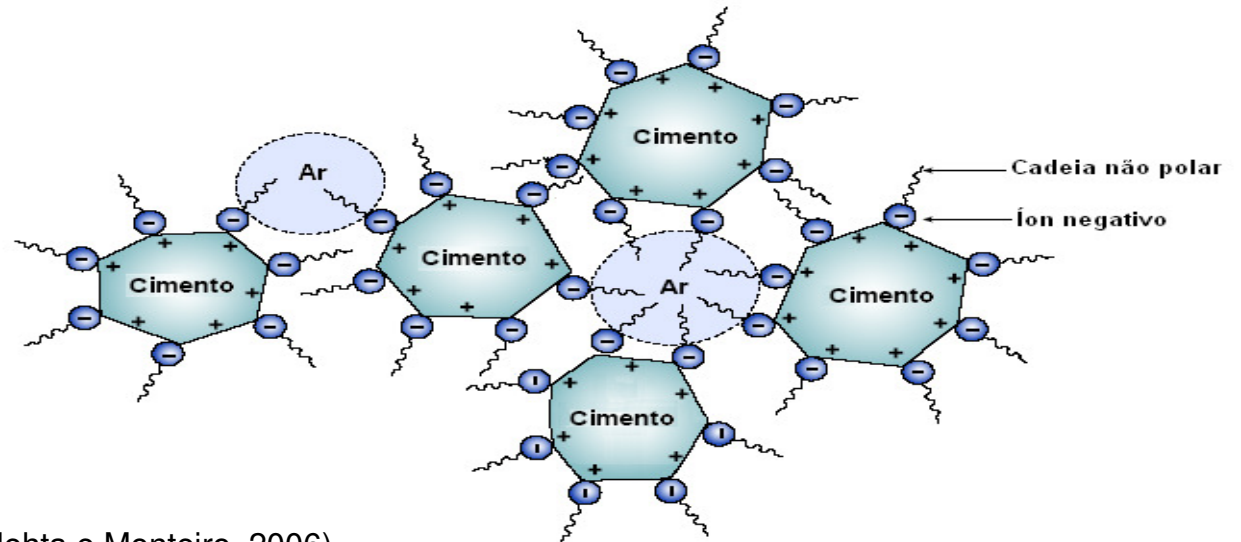
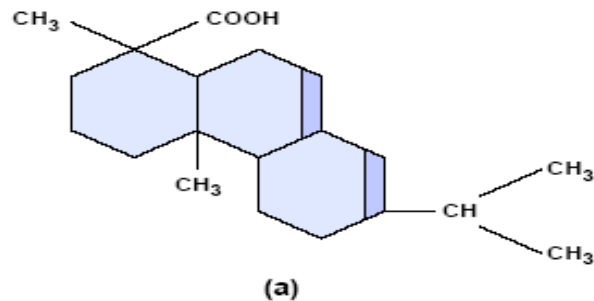
ADITIVOS TENSOATIVOS: INCORPORADORES DE AR - IAR

Reduzem a tensão superficial da água e incorporam ou adicionam ar ao concreto, prendendo-o em bolhas de 0,1 a 0,8mm.

Grau eficiência depende da presença de finos, quanto mais finos (também alto consumo de cimento), menos ar é incorporado.

Excesso de ar incorporado diminui a resistência mecânica do concreto.

Ácido Abiético

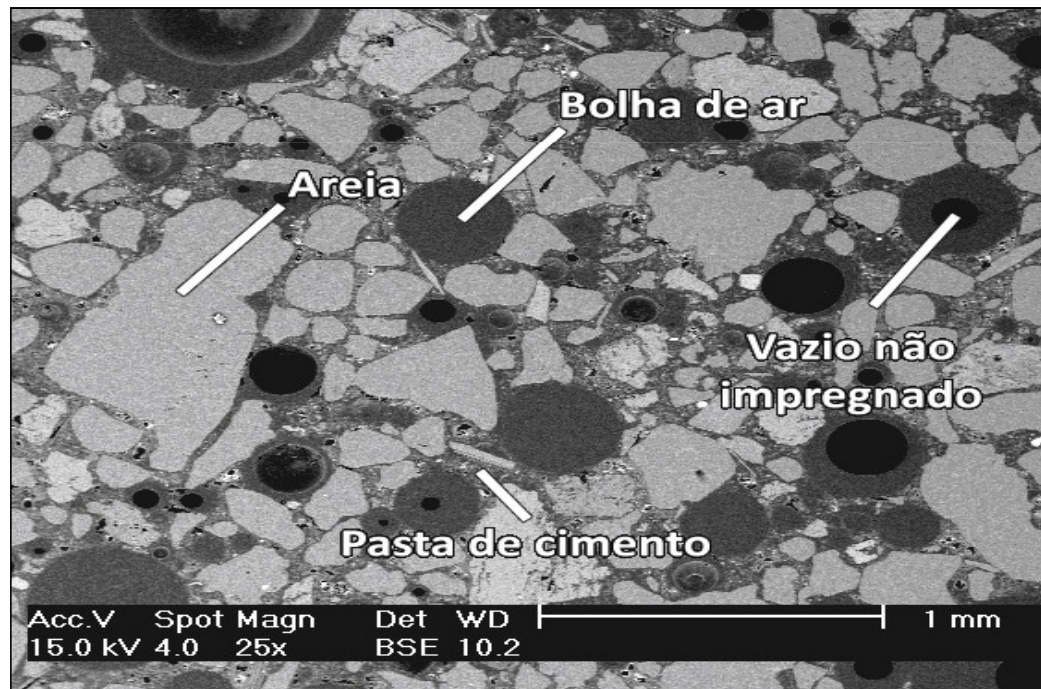


(adaptação de Mehta e Monteiro, 2006)

ADITIVOS TENSOATIVOS: INCORPORADORES DE AR - IAR

A inclusão de ar é preventiva e aumenta a resistência do concreto à deterioração devido aos ciclos de gelo/degelo.

Criam bolhas de ar muito estáveis, fortes, pequenas e próximas umas das outras.



(Narciso Gonçalves da Silva, Giovana Collodetti, Douglas Z. C. M. Pichetti, Philippe Jean Paul Gleize, UTFPR)

ADITIVOS TENSOATIVOS: INCORPORADORES DE AR - IAR

Finalidades:

- Aumentar a plasticidade por diminuir o atrito entre os sólidos.
- Diminuir a permeabilidade e aumentar a durabilidade (menor a/c).
 - Reduzir também a segregação e exsudação.
- Aumentar a resistência do concreto ao fenômeno gelo-degelo. As bolhas deixam espaço para a formação dos cristais de gelo.



ADITIVOS TENSOATIVOS: INCORPORADORES DE AR - IAR

Congelamento da água dentro do concreto – fenômeno gelo/degelo:

Concreto permeável absorve a água no estado líquido

Temperaturas negativas formam gelo nos poros – aumento de volume da água em 9%

Congelamento também gera pressões osmóticas

Tensões internas decompõe o concreto.



(Prof. José Marques Filho)

ADITIVOS TENSOATIVOS: INCORPORADORES DE AR - IAR

Minimização dos efeitos fenômeno gelo/degelo:

Recomendação de Incorporação de Ar - ACI 318

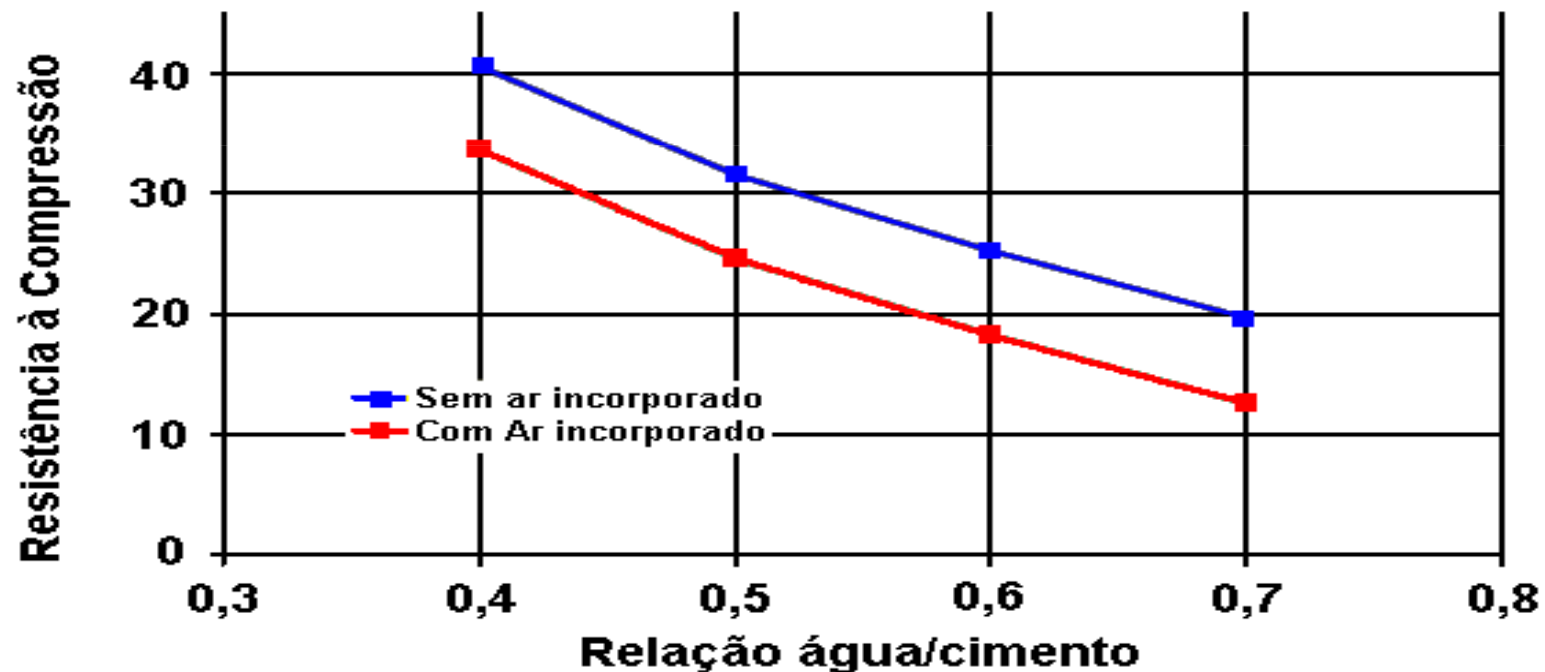
Dimensão máxima nominal do agregado (mm)	Conteúdo de ar (%)	
	Exposição severa	Exposição moderada
9	7,5	6
12,5	7	5,5
19	6	5
25	6	4,5
37,5	5,5	4,5
50	5	4
76	4,5	3,5

ACI Committe 318

ADITIVOS TENSOATIVOS: INCORPORADORES DE AR - IAR

Efeitos da incorporação de ar ao concreto:

Aumenta a % de ar, reduz a resistência à compressão.



ADITIVOS TENSOATIVOS:

PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P, SP I e SP II

Plastificantes - **P** $\geq 5\%$ de redução de água

Superplastificantes tipo I – **SP I** $\geq 12\%$ de redução de água

Superplastificantes tipo II – **SP II** $\geq 20\%$ de redução de água



ADITIVOS TENSOATIVOS: PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P, SP e SP I

Usos mais comuns:

- **Plastificantes e Superplastificantes tipo I :**

Para reduzir o consumo de cimento melhorar o abatimento, em concretos com f_{ck} até 40 MPa e para abatimentos de até 120 mm.
(Antigos aditivos Polifuncionais PF).

- **Superplastificantes tipo II**

Para produzir concretos de alta resistência e concretos auto-adensáveis, utilizando como “fluidificantes”.

ADITIVOS TENSOATIVOS: PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P

Aumentam a trabalhabilidade.

São moléculas com extremidades laterais com cargas negativas.

Um dos lados adere aos grãos de cimento (superfície positiva), e outro lado com carga negativa fica exposto.

A repulsão eletrostática entre as cargas negativas afasta os grãos de cimento cobertos pelo aditivo facilitando a trabalhabilidade.



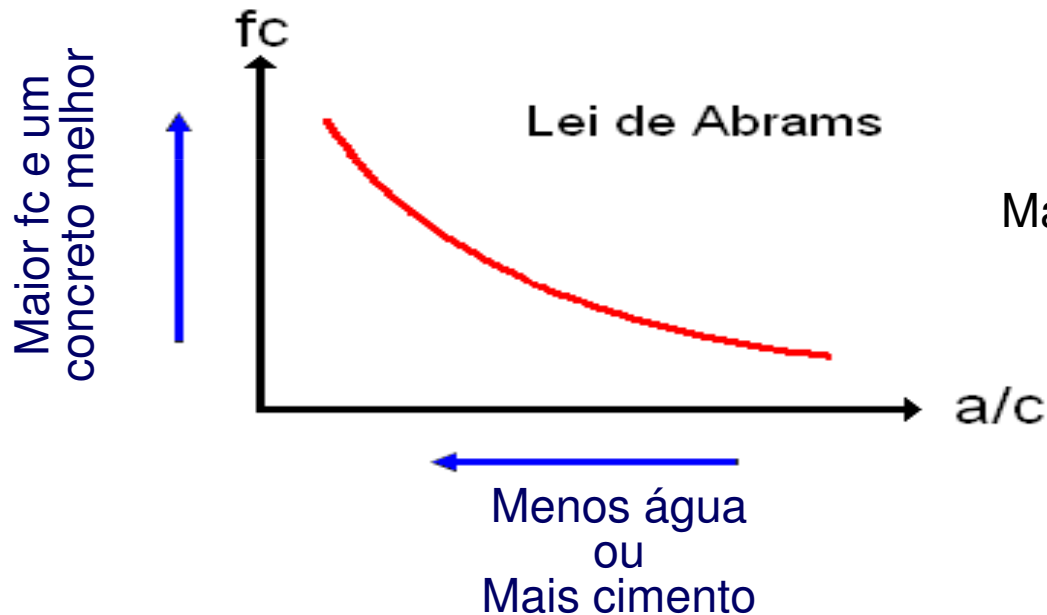
Sem Aditivo



Com Aditivo SP

ADITIVOS TENSOATIVOS: PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P, SP I e II

Diminuir a/c para obter um f_c maior e um concreto melhor:



Menos água = perda de trabalhabilidade

Mais cimento =

{ Maior custo,
Mais retração,
Mais calor, ...

Aditivos P, SP I e II possibilitam:

Menos água sem perda de trabalhabilidade,

ou

maior trabalhabilidade sem acréscimo de água

ADITIVOS TENSOATIVOS: PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P e SP I

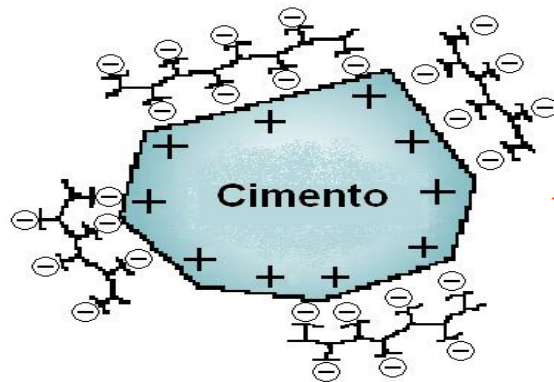
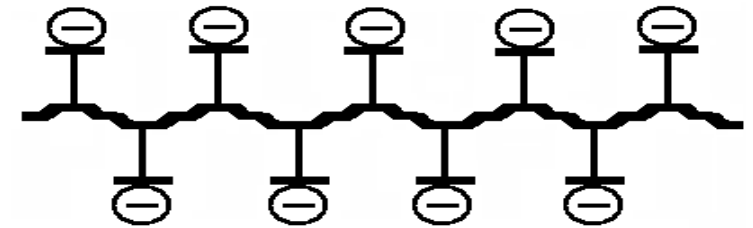
Finalidades principais:

NBR 11768

- a) **Reduzir o consumo de cimento** (custo) assim como o consumo de água mantendo o a/c e a resistência.
- b) **Aumentar o abatimento (trabalhabilidade)** mantendo o a/c e a resistência mecânica.
- c) **Aumentar a resistência** diminuindo o a/c, mantendo a trabalhabilidade.

ADITIVOS TENSOATIVOS: PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P, SP I e II

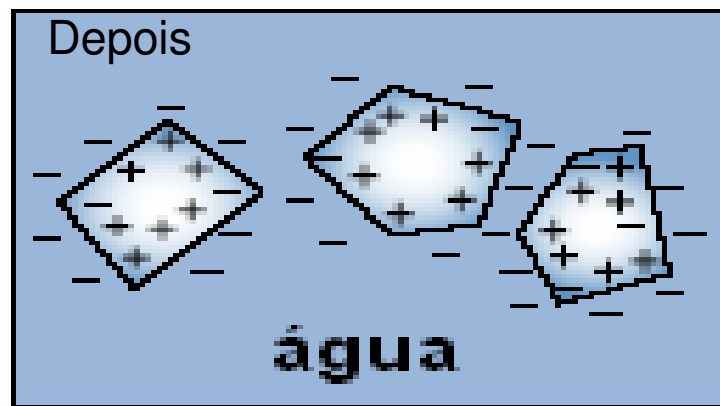
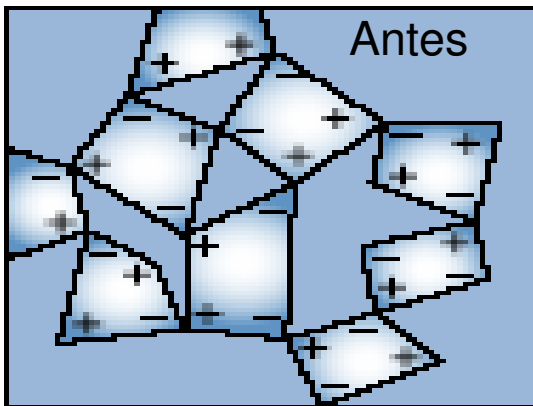
Molécula com grupo polar aniônico na cadeia de hidrocarbonetos.



Grão de cimento envolvido pelo aditivo



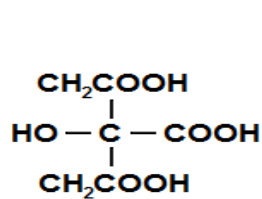
(Mehta e Monteiro, 2006)



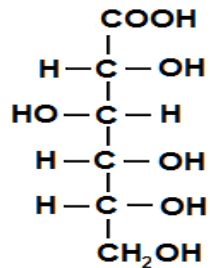
Concreto Auto-adensável

ADITIVOS TENSOATIVOS: PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P, SP I eII

NBR 11768

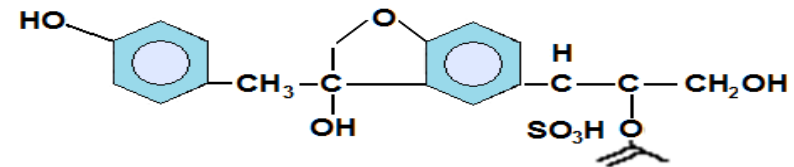


Ácido cítrico

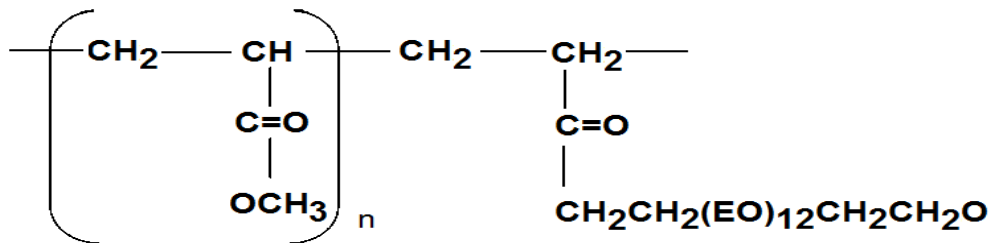


Ácido Glucônico

(Mehta e Monteiro, 2006)

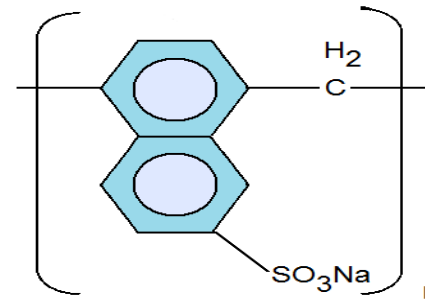


Monômero de Lignosulfato

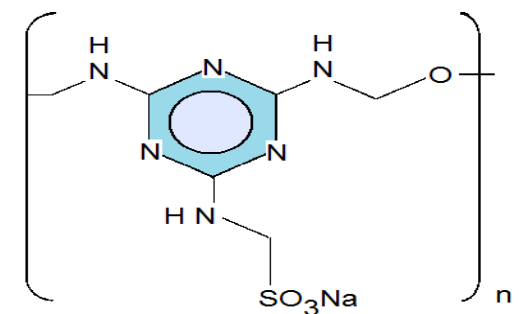


Monômero de um policarboxilato

(Ramachandran, 1998)



Monômero de Poli-naftaleno sulfonado de sódio linear



Monômero de Poli-melanina sulfonado de sódio

(Ramachandran;Malhotra, 1998)

ADITIVOS TENSOATIVOS:

PLASTIFICANTES OU REDUTORES DE ÁGUA- P, SP I e II

Período de eficiência dos aditivos plastificantes depende de:

- Quantidade aplicada (0,2 a 0,6 % do peso de cimento);
- Temperatura ambiente (maior temperatura diminui o tempo);
- Finura do cimento (mais fino, menor período);
- Normalmente aditivos do tipo P - 2 a 4 horas. SP menos.

Exemplos dos usos de aditivos plastificantes P,
para as diferentes finalidades.

Custos	Ref. 04/2011
Cimento	R\$ 0,40/kg
Areia	R\$ 45,00/m ³
Brita	R\$ 40,00/m ³
Plastificante	R\$ 3,50/kg

EXEMPLOS DE USOS DE PLASTIFICANTES - P

CONCRETO DE REFERÊNCIA		R\$
Ruptura média à compressão (28 dias)	24 MPa	
Relação a/c	0,59	
Consumo de cimento	292 kg	R\$ 116,80
Água	172 litros	----
Areia	0,322 m ³	R\$ 14,49
Brita	0,551 m ³	R\$ 22,04
Aditivo plastificante	----	
Abatimento	60 mm	
	Total	R\$ 153,33
a) Uso de aditivo P para redução do cimento e custo		R\$
Ruptura média à compressão (28 dias)	24 MPa	
Relação a/c	0,59	
Consumo de cimento	263 kg ↓	R\$ 105,20
Água	155 litros	----
Areia	0,337 m ³	R\$ 14,72
Brita	0,575 m ³	R\$ 23,00
Aditivo plastificante (0,44%)	+ 1,16 kg	R\$ 4,06
Abatimento	60 mm	
	Total	R\$ 146,98 ↓

EXEMPLOS DE USOS DE PLASTIFICANTES - P

CONCRETO DE REFERÊNCIA		R\$
Ruptura média à compressão (28 dias)	24 MPa	
Relação a/c	0,59	
Consumo de cimento	292 kg	R\$ 116,80
Água	172 litros	----
Areia	0,322 m ³	R\$ 14,49
Brita	0,551 m ³	R\$ 22,04
Aditivo plastificante	----	
Abatimento	60 mm	
	Total	R\$ 153,33
b) Uso de aditivo P para aumentar o abatimento		R\$
Ruptura média à compressão (28 dias)	24 MPa	
Relação a/c	0,59	
Consumo de cimento	292 kg	R\$ 116,80
Água	172 litros	----
Areia	0,322 m ³	R\$ 14,49
Brita	0,551 m ³	R\$ 22,04
Aditivo plastificante (0,44%)	+ 1,28 kg	R\$ 4,48
Abatimento	90 mm ↑	
	Total	R\$ 157,81 ↑

EXEMPLOS DE USOS DE PLASTIFICANTES - P

CONCRETO DE REFERÊNCIA		R\$
Ruptura média à compressão (28 dias)	24 MPa	
Relação a/c	0,59	
Consumo de cimento	292 kg	R\$ 116,80
Água	172 litros	----
Areia	0,322 m ³	R\$ 14,49
Brita	0,551 m ³	R\$ 22,04
Aditivo plastificante	----	
Abatimento	60 mm	
	Total	R\$ 153,33
c) Uso de aditivo P para aumento da resistência		R\$
Ruptura média à compressão (28 dias)	31 MPa ↑	
Relação a/c	0,53 ↓	
Consumo de cimento	292 kg	R\$ 116,8
Água	154 litros ↓	----
Areia	0,328 m ³	R\$ 14,76
Brita	0,560 m ³	R\$ 22,4
Aditivo plastificante (0,5%)	+ 1,46 kg	R\$ 5,11
Abatimento	60 mm	
	Total	R\$ 159,07 ↑

ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES tipo I – SP I

(“POLIFUNCIONAIS”)

Características:

Intermediários entre os plastificantes comuns e os superplastificantes.

Reduções de água de 12% a 20%.

Capacidade plastificante varia em função da dose.



Atuam como plastificante ou redutor de água. Reduções de água próximas aos aditivos SP, mas com elevado período de eficiência.

ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES tipo I – SP I

(“POLIFUNCIONAIS”)

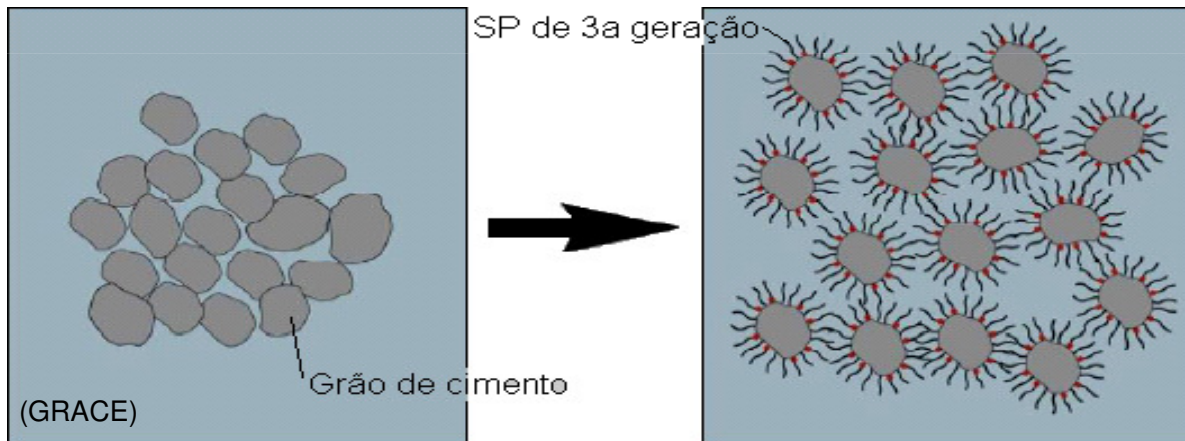
Custos menores que os dos
superplastificantes.

Muito usado em centrais de concreto
para aumentar o abatimento e
possibilitar reduções no consumo de
cimento e no custo.



ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES tipo II – SP II

Adicionados ao concreto em 1 a 3% do peso de cimento sem segregar.
Período de eficiência SP das 1^{as} gerações – 45 minutos, obrigava a
adição no local da obra e não na usina.



Ação de um SP sobre os grãos de cimento
repulsão eletrostática e estérica.



2^a geração - adição na obra

ADITIVOS TENSOATIVOS: **SUPERPLASTIFICANTES tipo II – SP II**

1ª geração - Lignosulfonados, Melanina-formaldeído

2ª geração – Naftalênicos, eficiência por 30 min

3ª geração – Policarboxilatos, eficiência por 1:30h

custo alto - R\$ 14,00/kg (04/2006) ADVA e GLENIUM

Hiperplastificantes



2ª geração
Naftalênico - Cor escura



3ª geração +
Policarboxilatos - Cor clara

ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES tipo II – SP II

Características:

- Custo muito elevado, 5 a 6 X superiores aos tipo P.
- Campo de aplicações é limitado:
 - Concretos de alta resistência ($f_{ck} > 40 \text{ MPa}$) – CAD/CAR
 - Concretos com altíssima fluidez CAA – abatimentos de 250 mm
- Ainda não é viável seu uso para a redução de custo

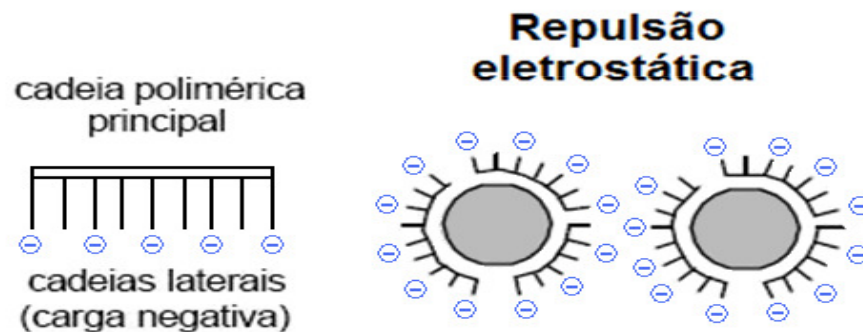
ADVA 170
GRACE



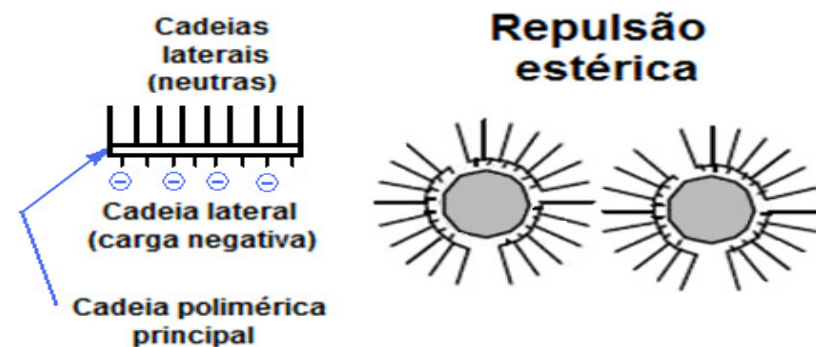
ADITIVOS TENSOATIVOS: SUPERPLASTIFICANTES tipo II – SP II

“HIPERPLASTIFICANTES” – (SP II de 3ª geração +)

Aditivos SP com base de policarboxilatos além de agirem por repulsão eletrostática apresentam outro mecanismo de ação: a repulsão estérica.

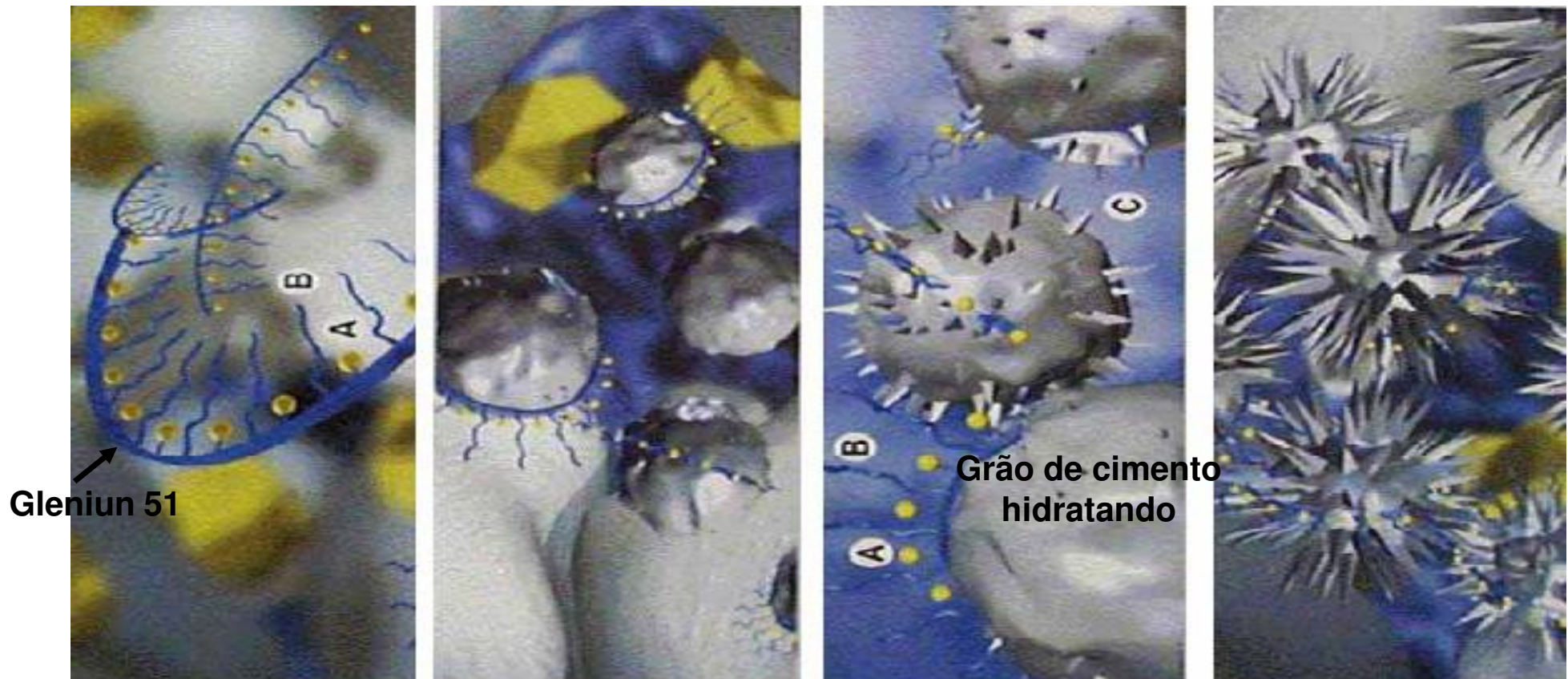


Repulsão eletrostática para a cadeia de naftaleno e melanina.



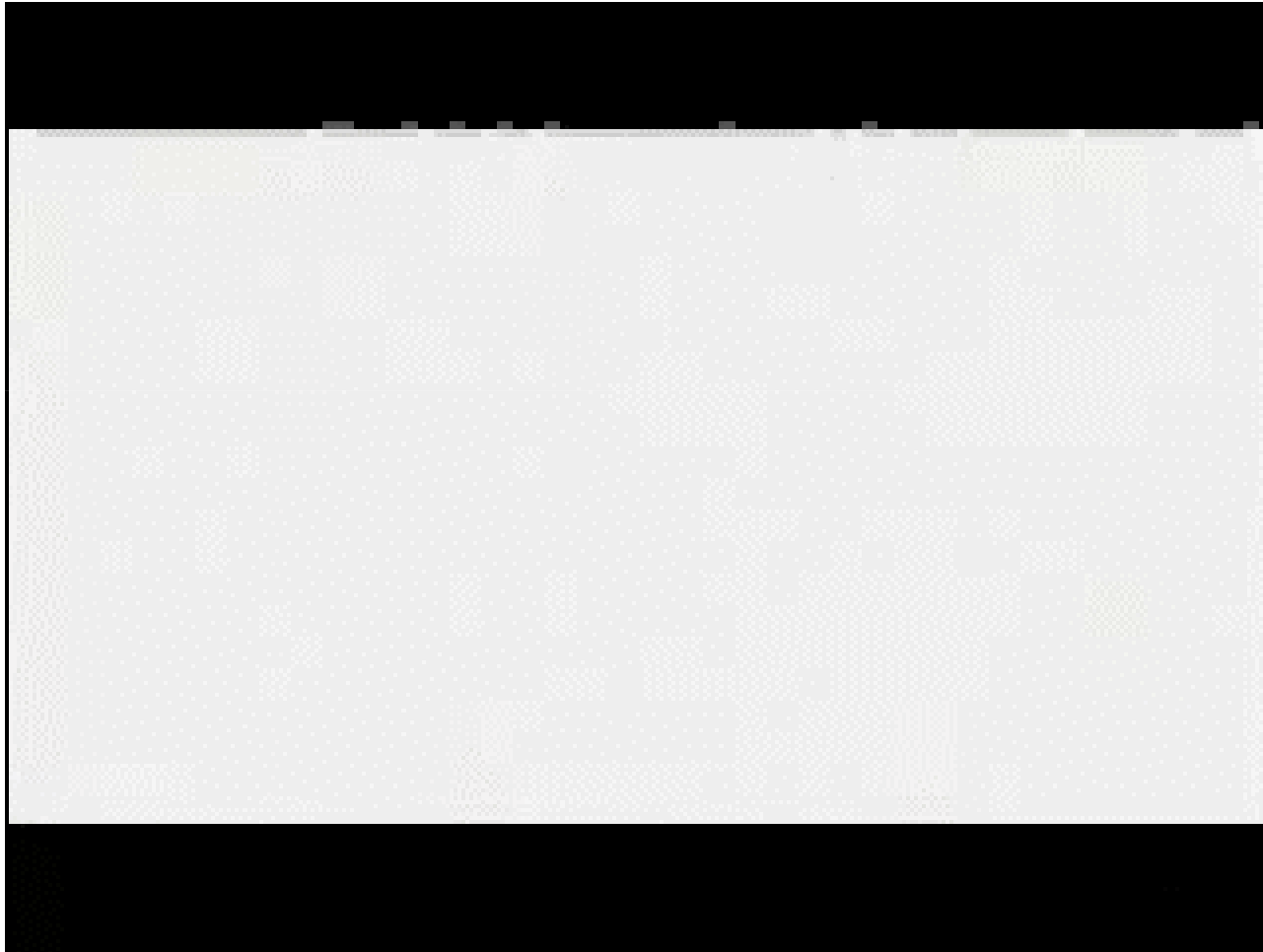
Repulsão estérica de um policarboxilato. Longas cadeias laterais ligadas na cadeia central do polímero cria uma capa de adsorção de grande volume que impede a aproximação das partículas de cimento.

ADITIVOS TENSOATIVOS: “HIPERPLASTIFICANTES” – (SP II de 3ª geração +)



Ação superplastificante – Glenium 51 – MBT/BASF

SUPERPLASTIFICANTES – SP - molécula



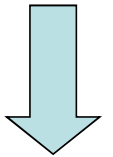
SUPERPLASTIFICANTES – SP



ADITIVOS TENSOATIVOS: **SUPERPLASTIFICANTES – SP**

Concreto com SP

100 g de SP ou 1% do peso do cimento



Concreto sem SP

Arquivo: Filmes concreto / Slump tes aditivo e sem / Slump Test - Sem aditivo



Arquivo: Filmes concreto / Slump tes aditivo e sem / Slump Test - Aditivo Plastificante

ADITIVOS TENSOATIVOS: “HIPERPLASTIFICANTES” – (SP II de 3ª geração +)

Características:

Redução de até 25% na a/c.

Base de éter policarboxilato.

Concretos auto adensáveis e concretos de alta resistência.

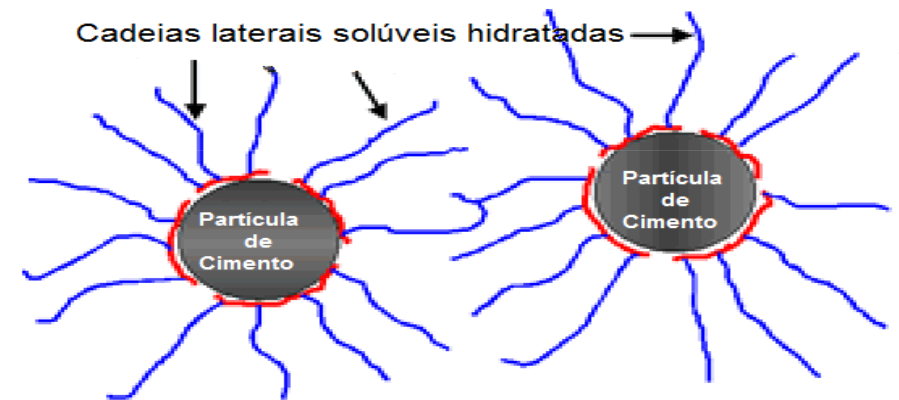
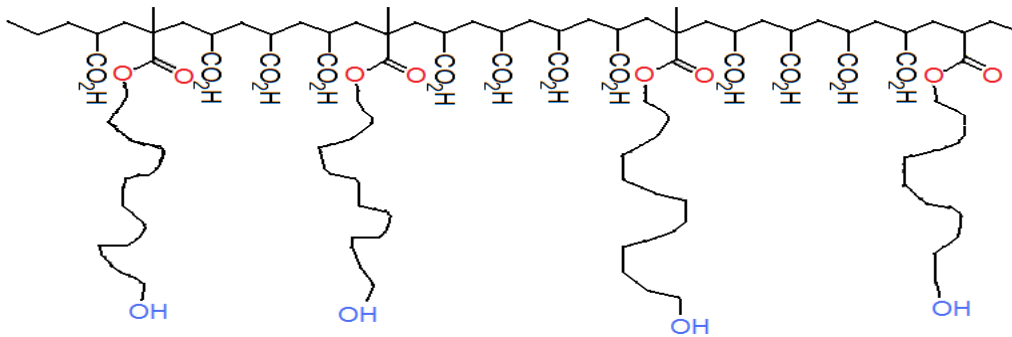
Facilitam o preenchimento de formas com alta concentração de armadura, melhoram o acabamento em concreto aparente.

Concretos com baixo consumo de cimento sem segregação, preservando as características durante o processo de bombeamento.



ADITIVOS TENSOATIVOS: “HIPERPLASTIFICANTES” – (SP II de 3ª geração +)

Policarboxilatos, são polímeros tipo “pente” no qual em uma cadeia principal de polimetilmetacrilato são enxertados lateralmente grupos etoxilados e/ou propoxilados.



Apresentam um mecanismo duplo de ação dispersante. Repulsão eletrostática (cargas negativas existentes nos grupos carboxilatos ao longo da cadeia de polimetilmetacrilato) e estabilização estérica (grupos hidrofílicos laterais). Combinação resulta em elevadíssimo poder dispersante das partículas de cimento.

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

- Afetam ao tempo de pega e desenvolvimento do endurecimento.
 - **Aceleradores (AP)** facilitam a dissolução da cal e da sílica, (silicatos), e da alumina, (aluminatos). Aceleram fortemente as reações iniciais de hidratação e endurecimento, especialmente do C_3S .
 - Composição química e finura do cimento afetam a velocidade de aceleração.
 - **Retardadores (RP)** retardam a osmose da água nos grãos de cimento, agindo por defloculação e adsorção.

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Aplicações e efeitos:

Retardadores - RP

Trazem flexibilidade no tempo de pega do concreto, aumentando o tempo de trabalhabilidade e acabamento do concreto, sendo adequados para aplicações mais complexas em condições de climas quentes.

- Concretagens longas.
- Melhor distribuição do calor de hidratação.
- Menos retração.

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Aplicações e efeitos:

Retardadores - RP

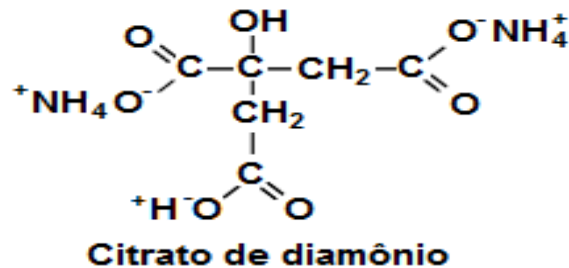
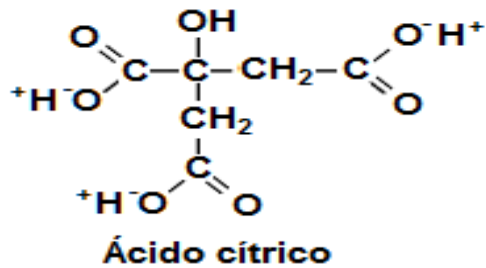
- Dosagem máxima (+- 0,5% do peso do cimento);
- Acima do limite o comportamento fica instável no início de pega;
 - Retardamento entre 6 e 8 horas;
- Afetam as resistências iniciais (primeiras horas e dias);
 - Não prejudicam a resistência final.

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Aplicações:

Retardadores - RP

Em concretagens de grandes volumes os retardadores minimizam as juntas frias.



Retardadores



ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Aplicações e efeitos:

Aceleradores - AP

- Redução do tempo de aplicação de procedimentos de cura;
- Aumenta a resistência inicial, acelerando a desforma;
- Reduz a exsudação;
- Aceleram o início de serviços acabamento (ex.: piso zero);
- Concentração calor de hidratação;
- Possibilita lançar o concreto em temperaturas de até -7°C sem o congelamento da água
- Mais retração.

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Aplicações: **Aceleradores - AP**

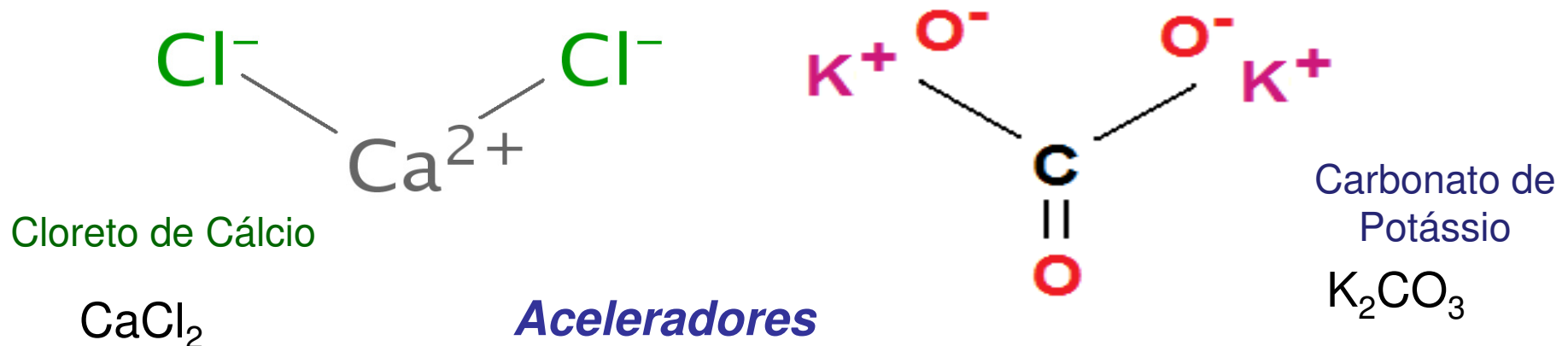
Provocam uma pega mais rápida e desenvolvimento mais rápido de resistência. Permitem a moldagem do concreto em temperaturas mais baixas, reduzindo tempo de acabamento dos projetos.

Possibilitam a liberação de pavimentos mais cedo para o tráfego
tecnologia *fast track*



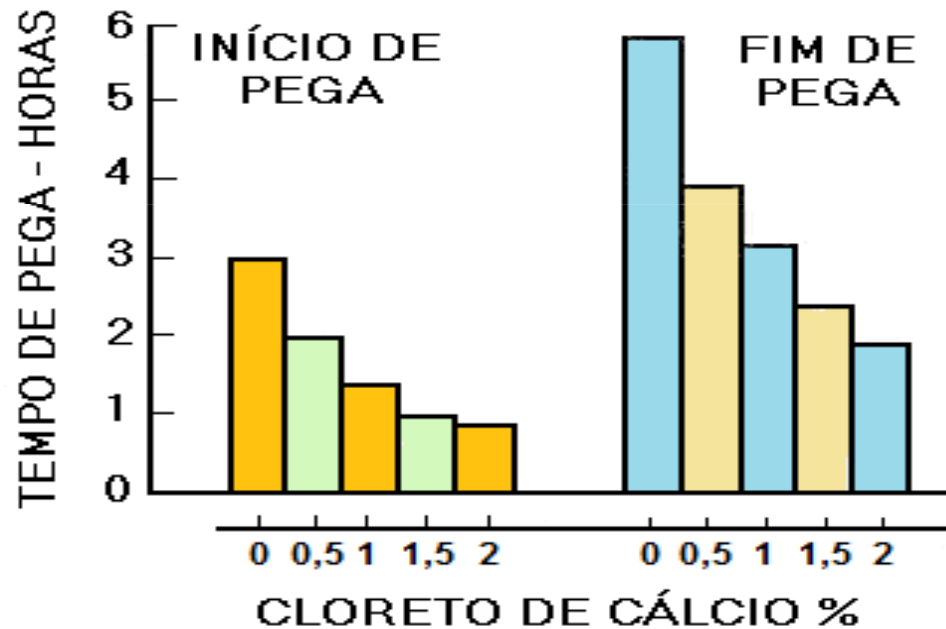
ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Aditivos aceleradores com cloretos, como o cloreto de cálcio, CaCl_2 , são os mais eficientes, mas são nocivos às armaduras de aço pela ação potencializadora de corrosão do cloro.

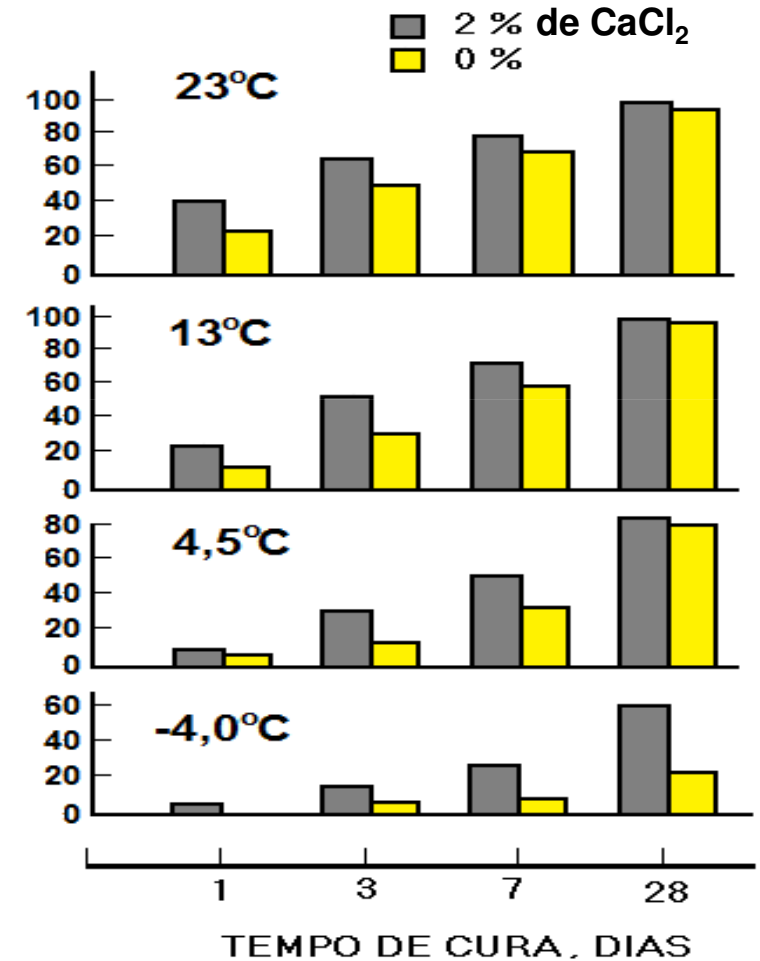


ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

Efeitos do Cloreto de Cálcio CaCl_2 no concreto



(Mehta e Monteiro, 1994)



ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

PRÉ-MOLDADOS

Cimento ARI, aditivos aceleradores (AP) e cura térmica à vapor.

Anéis pré-moldados para túneis



Necessidade de desforma rápida para maior produtividade do equipamento.

Aditivo acelerador



Arquivo: Filmes concreto / Aditivos / X SEED accelerator BASF_

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

INIBIDORES DE HIDRATAÇÃO (Estabilizadores)

Segundo a NBR 11768:2011: “controladores de hidratação”
Interrompem processo de hidratação do cimento.

Retardadores:

- Ação limitada pela dosagem máxima ($\pm 0,5\%$ do peso do cimento);
- Ultrapassando limite, comportamento muito instável no início de pega;
 - Retardamento entre seis e oito horas;
- Afetam as resistências iniciais (primeiras horas e dias);
 - Não prejudicam a resistência final.

Inibidores ou estabilizadores:

- Retardamento de até 40 horas,
- Pouco afeta as resistências iniciais.
- Dosagem de 0,2 a 2,5% do peso do cimento.

ADITIVOS MODIFICADORES DO TEMPO DE PEGA

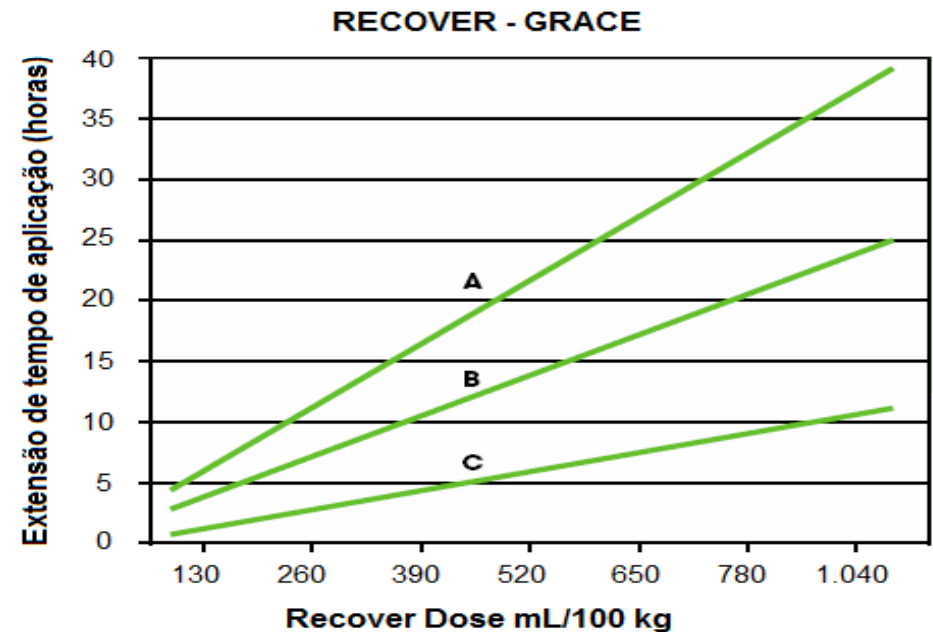
INIBIDORES DE HIDRATAÇÃO (“Estabilizadores”)

Param a hidratação do cimento.

Podem manter o concreto fresco dentro dos caminhões por horas ou inclusive dias. Também são utilizados para assegurar a qualidade do concreto que deve ser entregue em longas distâncias.



RECOVER - Grace



ADIÇÕES MINERAIS

NBR 12653:2014

“Materiais Pozolânicos – Requisitos”

Materiais Pozolânicos: “São materiais silicosos ou silicoaluminosos que, sozinhos, possuem pouca ou nenhuma propriedade ligante, mas que, quando finamente divididos e em presença de água, reagem com o hidróxido de cálcio à temperatura ambiente, formando compostos com propriedades ligantes.”

ADIÇÕES MINERAIS

Classificação:

Pozolânicos - reagem fixando o hidróxido de cálcio, formando estruturas tipo C-S-H. Ex. cinzas volantes com baixo teor de cálcio.

Cimentantes - reagem hidratando com a água. Ex. escória granulada de alto-forno.

Alguns aditivos tem reações tanto pozolânicas como cimentantes, como as cinzas volantes (*fly ash*) com elevado teor de cálcio.

ADIÇÕES MINERAIS

Reação pozolânica:

Reação sílica SiO_2 com hidróxido de cálcio Ca(OH)_2 , forma estruturas tipo C-S-H.

Fixa a cal livre Ca(OH)_2 no concreto.

Estruturas C-S-H são muito menos solúveis que o hidróxido de cálcio.

Minimiza a permeabilidade e melhora a durabilidade.

Cristais de Ca(OH)_2 tem baixa resistência mecânica, são muito solúveis e lixiviáveis.

Reação cimentante:

Hidratação de silicatos.

Podem ser os silicatos do clínquer ou outros semelhantes.

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

NBR 12.653:2014 - Pozolanas:

a) Naturais

Materiais de origem vulcânica;

b) Artificiais

Materiais provenientes de tratamento térmico ou subprodutos industriais com atividade pozolânica.

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Geram principalmente reações pozolânicas.

Tipos:

Pozolanas comuns:

Pozolanas naturais e cinzas volantes.

Pozolanas altamente reativas:

Sílica ativa e cinza de casca de arroz.

Pozolanas pouco reativas:

Escórias de alto forno esfriadas lentamente.

ADIÇÕES MINERAIS
ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Pozolanas:

NBR 12653	Materiais que obedecem os requisitos:
Classe N	Pozolanas naturais , materiais vulcânicos, terras diatomáceas, argilas calcinadas .
Classe C	Cinza volante proveniente da queima de carvão betuminoso.
Classe E	Os materiais que diferem das classes anteriores e a cinza volante proveniente da queima de carvão sub-betuminoso.

ADIÇÕES MINERAIS
ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:
Pozolanas - Cinzas volantes = Classe C

Pó proveniente de fornos que queimam carvão mineral (termoelétricas)

AÇÃO POZOLÂNICA – $\text{SiO}_2 + \text{Ca(OH)}_2 + \text{H}_2\text{O} \longrightarrow$ Estruturas C-S-H

Propriedade	NBR 12653		
CLASSE	N	C	E
$\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ (% mínimo)	70,0	70,0	50,0
SO_3 (% máximo)	4,0	5,0	5,0
Teor de umidade (% máximo)	3,0	3,0	3,0
Perda ao fogo (% máximo)	10,0	6,0	6,0
Álcalis disponível em Na_2O (% máximo)	1,5	1,5	1,5

Tamanho dos grãos e SE semelhante as do cimento Portland

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Pó proveniente de fornos que queimam carvão mineral moído como combustível, (Ex. termoelétricas a carvão).

Constituídas por vidro de silicato contendo alumínio, ferro e álcalis.

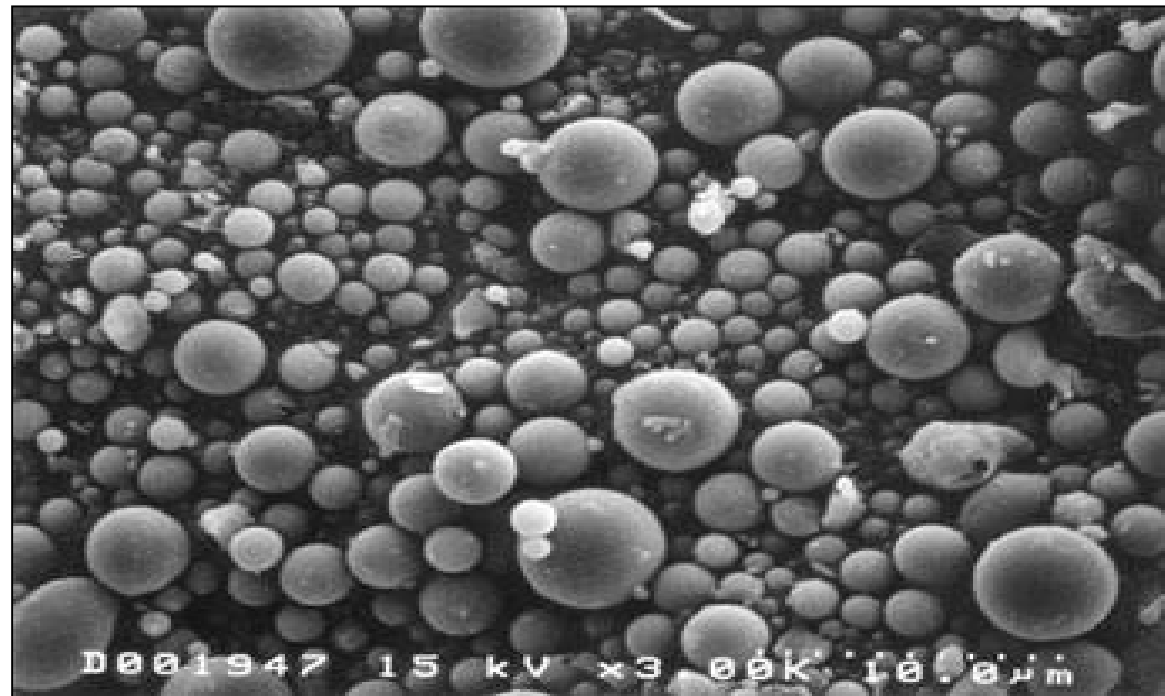
A pequena quantidade de matéria cristalina presente consiste geralmente de quartzo, mulita, silimanita, hematita e magnetita.

Pós com 15-30% de partículas maiores do que $45\ \mu\text{m}$ (200 a 300 m^2/kg de finura Blaine).

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”



www.flyashdirect.com/ash_industry.asp

As normas brasileiras não permitem a adição de cinzas volantes diretamente ao concreto, somente através das cimenteiras, como adição ao cimento.

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Quanto a % de **CaO**:

- 1ª - menos de 10% de CaO
- 2ª - entre 10% a 30 % de CaO.

SiO₂ - 60 a 85% sílica-vidro e
10 a 30% em compostos cristalinos.

Grau de reatividade, (velocidade de ganho da resistência mecânica), varia com:

- Granulometria
- Características da superfície e
- Morfologia dos grãos.

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Efeitos sobre o concreto:

- **Retardam o ganho de resistência mecânica.**

Nas primeiras idades a resistência fica prejudicada devido a baixa velocidade das reações pozolânicas.

Aos ± 60 dias a resistência se iguala a do clínquer hidratado.

- **Calor de hidratação fica menor e melhor distribuído** ao longo do tempo.

- **Melhoram a trabalhabilidade do concreto fresco.**

Forma estruturas sólidas mais tarde que o clínquer.

O formato dos grãos favorece a trabalhabilidade.

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Efeitos sobre o concreto:

- **Minimiza a permeabilidade do concreto.**

Reação pozolânica fixa o hidróxido de cálcio minimiza sua solubilidade.

- **Minimiza a retração**, por refinar os poros.
- **Minimiza as fissuras por contração térmica.**

Menor calor de hidratação.

- **Diminuem a possibilidade da ocorrência das reações álcali-agregado.**

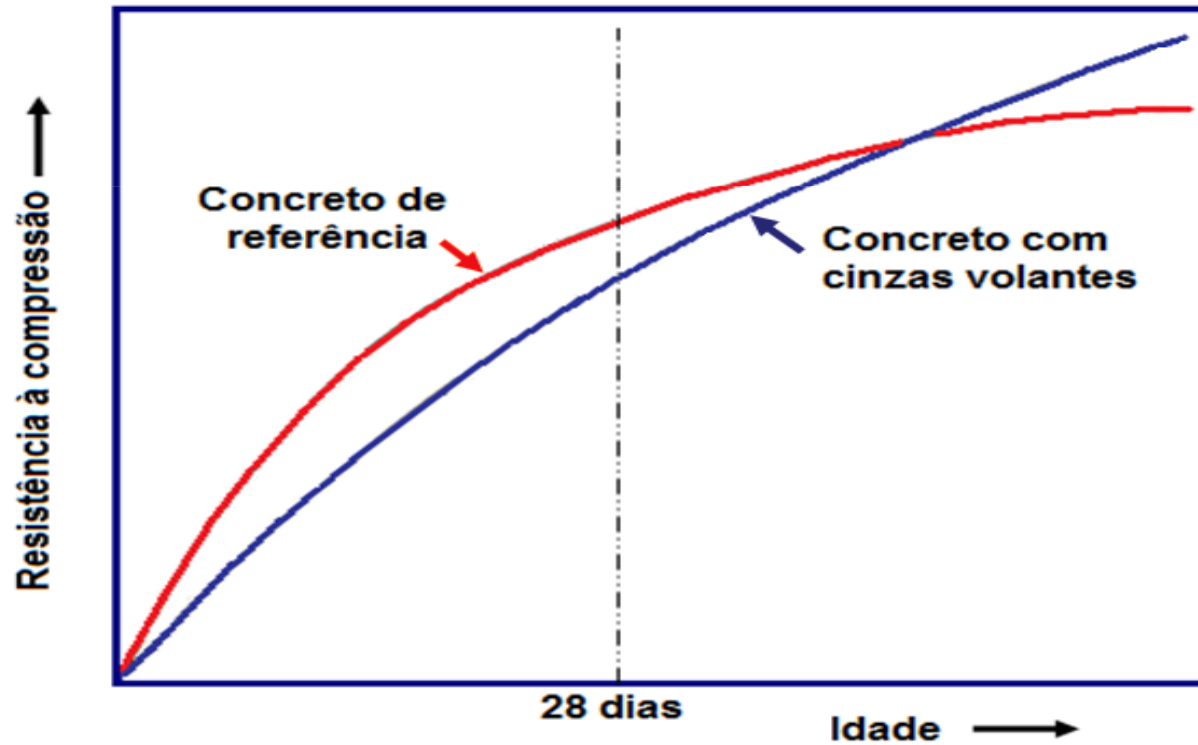
Sílica das cinzas volantes “fixa” os álcalis nos primeiros dias.

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Resistência à compressão e as cinzas volantes



ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Barragens: grandes massas de concreto

CP IV – 45% de cinzas volantes

Menor calor de hidratação

Minimiza reações álcali-sílica



Salto Caxias - Copel



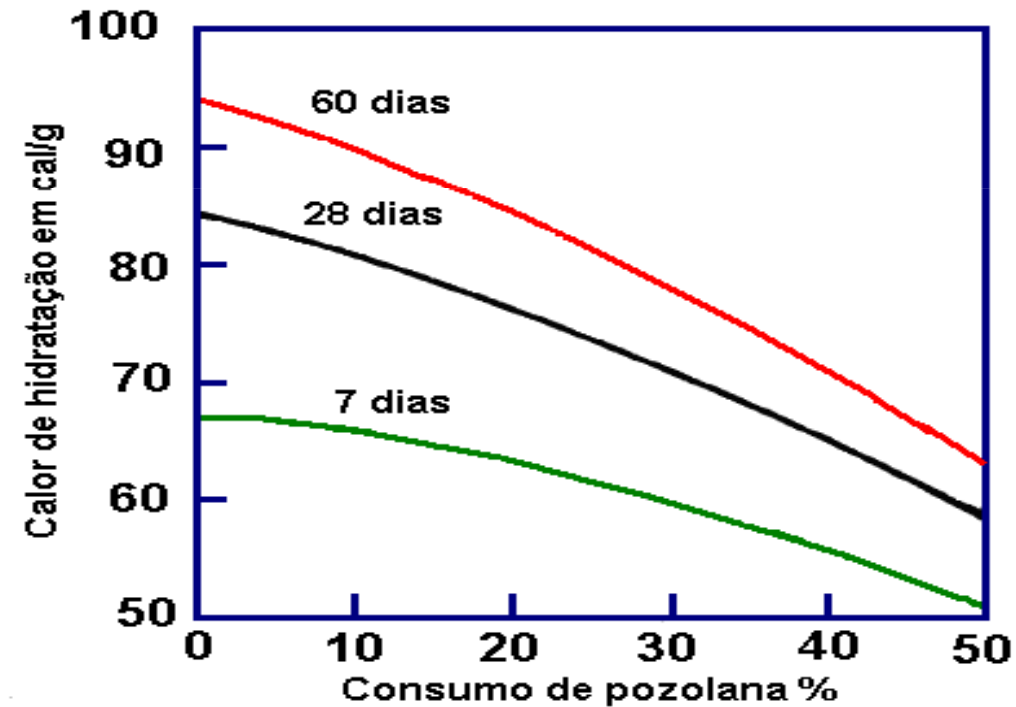
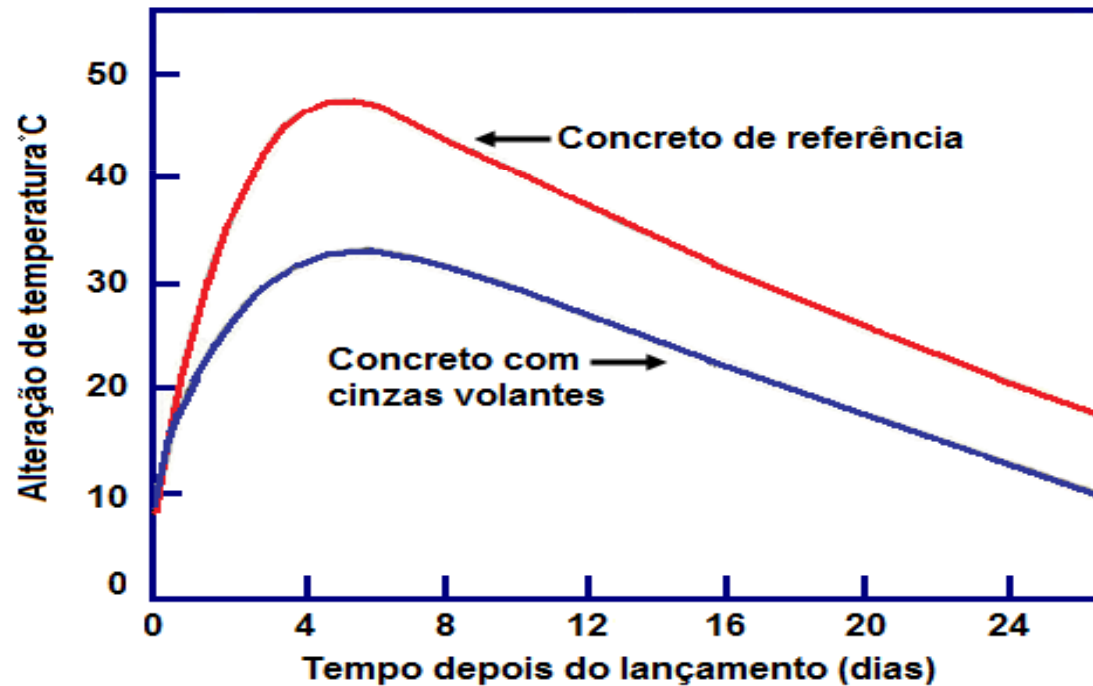
Itaipú

ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Calor de hidratação e as cinzas volantes

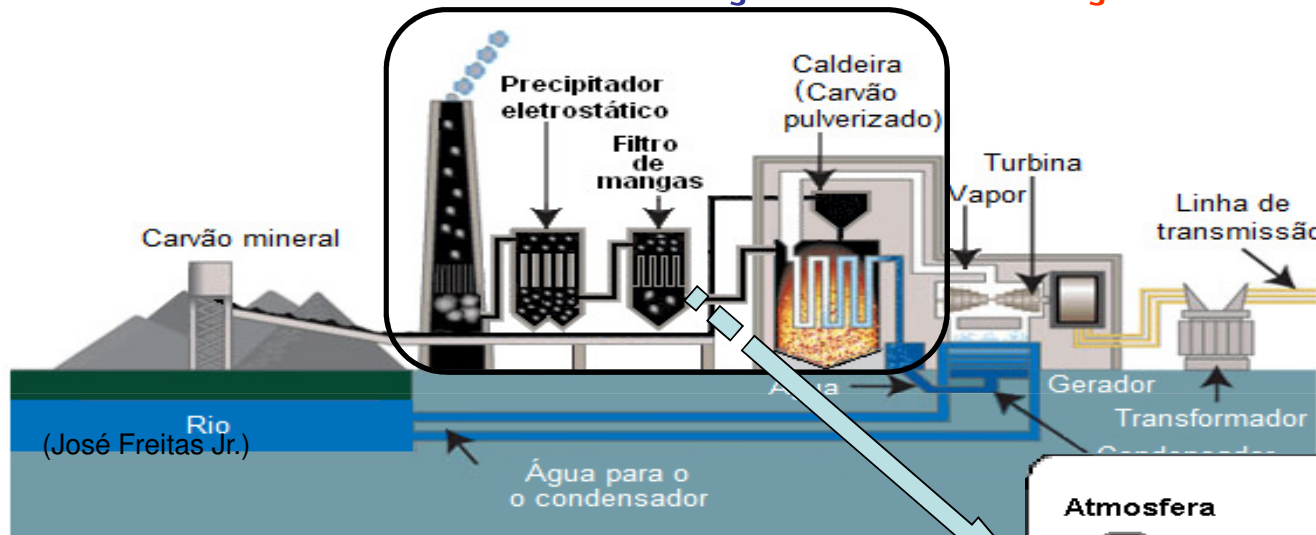


ABCP

ADIÇÕES MINERAIS

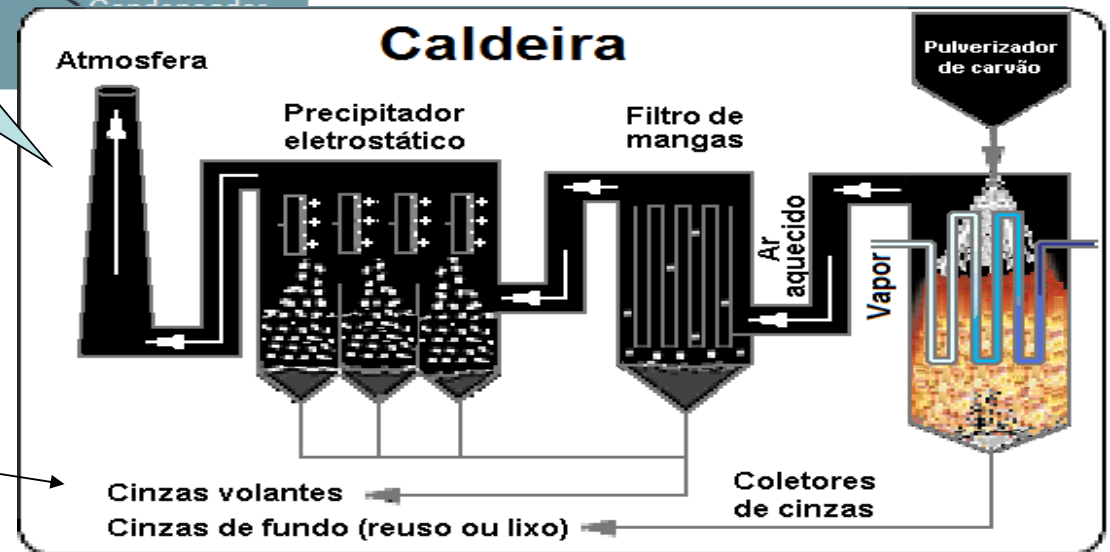
ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Cinzas volantes: “FLY ASH”



*Usina
termo-elétrica
a carvão mineral*

Coleta das cinzas volantes



ADITIVOS MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Cinzas volantes: “FLY ASH”

Melhoram a trabalhabilidade do concreto fresco.

- Forma estruturas sólidas mais tarde que o clínquer;
- O formato dos grãos favorece a trabalhabilidade;
- Facilita o bombeamento, adensamento nas formas e acabamento.



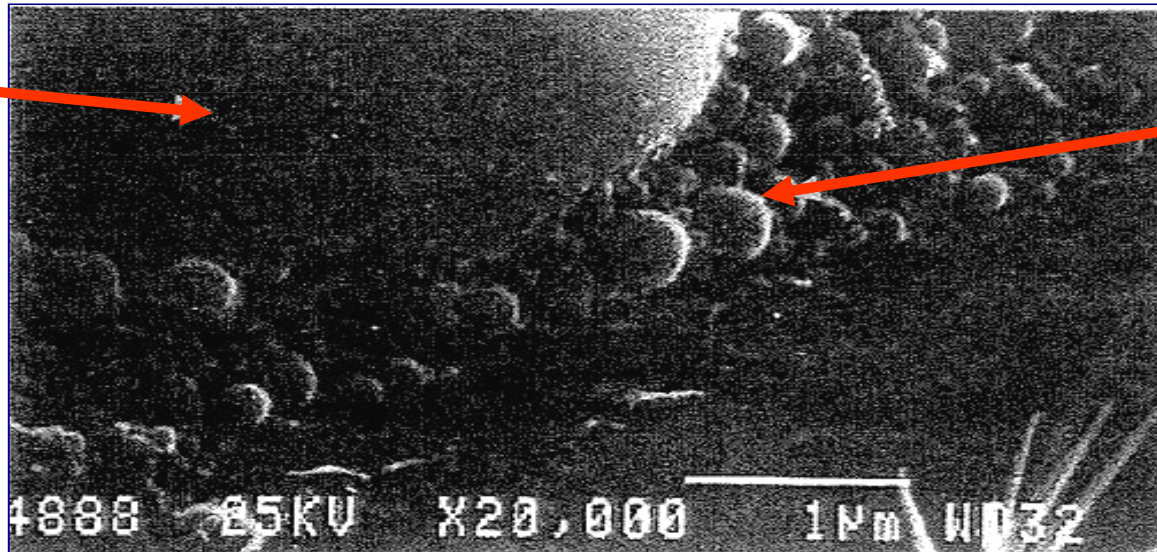
ADIÇÕES MINERAIS

ADIÇÕES COM **AÇÃO POZOLÂNICA:**

Sílica ativa:

Partículas muito pequenas de sílica (SiO_2), com $0,1 \mu\text{m}$ de diâmetro médio, solidificadas no estado amorfo (não cristalino), portanto extremamente reativas.

Cimento
anidro



(Cheyrezy et al., 1995)

Sílica ativa

**Tamanho do grão de
sílica ativa é de 1/100 do
tamanho dos grãos do
cimento**

Imagem MEV

Grãos de sílica ativa ao redor de um grão de cimento não hidratado.

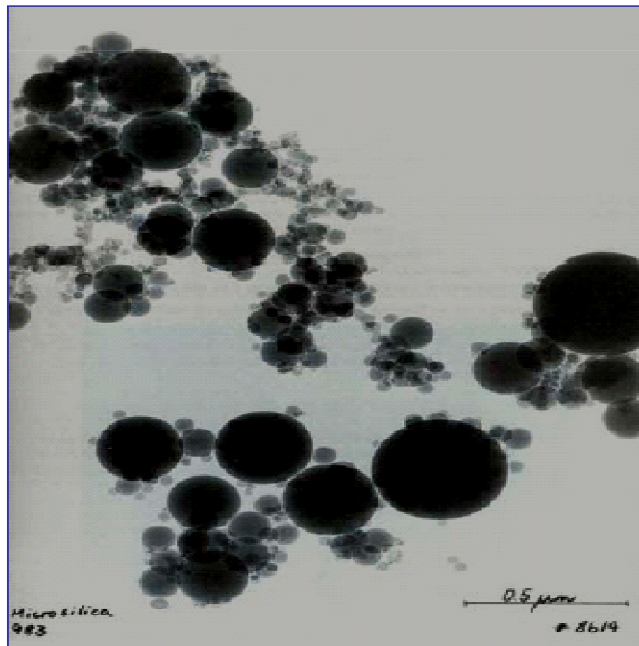
ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microssílica):

Gera reações altamente pozolânicas, fixando a cal livre, selando muitos dos pequenos vazios internos do concreto, diminuindo a permeabilidade e aumentando muito a resistência mecânica do concreto.

**Imagem por Microscopia
Eletrônica de Transmissão
mostrando partículas de sílica
ativa.**

(Fidjestöl e Lewis, 1999)



**Grão de sílica ativa tem
tamanho semelhante aos
das partículas sólidas da
fumaça de cigarro**

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microssílica):

Também ajuda ao concreto combinando-se com os álcalis presentes no cimento, evitando as reações expansivas destes com a sílica existente nos agregados.

Adição da sílica ativa aos materiais na esteira que alimenta o caminhão betoneira



(Concrebras)

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microsílica):

Pó muito fino que tem superfície específica enorme;

Prejudica enormemente a trabalhabilidade;

Só é possível utilização com aditivos superplastificantes;

Em concretos - 5 a 10 % do peso de cimento.

Concreto projetado com SA
sofre menor perda por
reflexão devido ao aumento
de coesão.



ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microssílica):

Características Físicas (Valores aproximados)	
Massa unitária	
Densificado (D)	550 kg/m ³
Não densificado (ND)	360 kg/m ³
Massa Específica	2.220 kg/m ³
Superfície Específica	20.000 m ² /kg
Formato da partícula	Esférico
Diâmetro médio da partícula	0,2 µm

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa:

Características (Valores aproximados)	
Sílica ativa % Sílica SiO ₂ 95/90 (média/mínimo)	
Material	Superfície Específica (m ² /kg)
Sílica Ativa	20.000
Fumaça de cigarro	10.000
<i>Fly Ash</i> (cinzas volantes)	400 a 700
Cimento Portland	300 a 500

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microssílica):

Efeitos principais da sílica ativa:

- Aumenta resistência mecânica;
- Reduz porosidade e permeabilidade;
- Aumenta durabilidade;
- Reduz trabalhabilidade;
- Melhora aderência;
- Reduz reflexão em concreto projetado;
- Reduz penetração de cloretos.

ADITIVOS MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microssílica):

Efeitos principais

Concreto sem Sílica Ativa



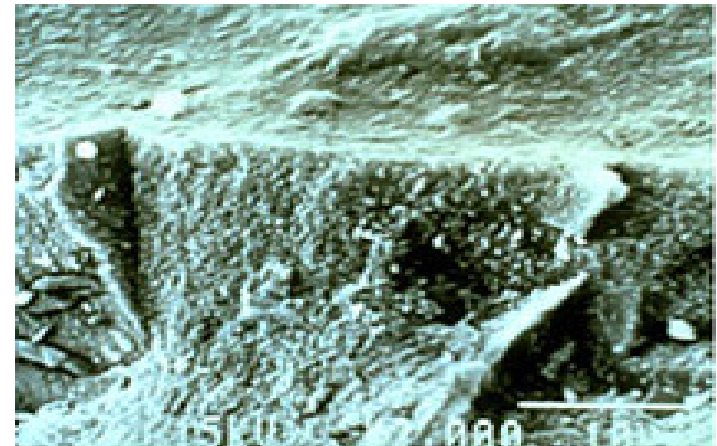
C - S - H

Ca(OH)₂

Vázios

(a) Zona de transição pasta/agregado de um concreto convencional típico.

Concreto com Sílica Ativa



(Dalmolin, D.; 1995)

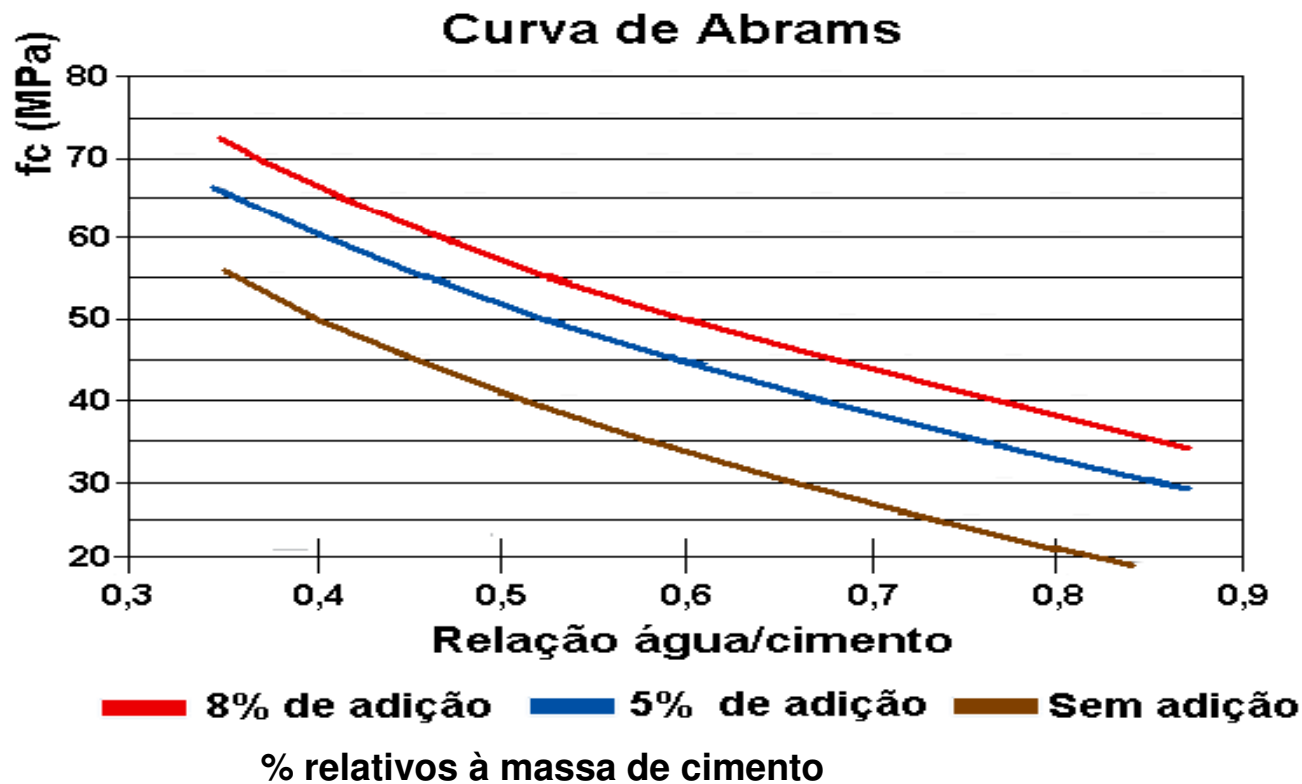
(b) Zona de Transição pasta/agregado de um concreto de alta resistência, obtidas por microscopia eletrônica.



ADITIVOS MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microsílica): Efeitos principais

Aumenta resistência à compressão



ADITIVOS MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microsílica): Efeitos principais

Prejudica a trabalhabilidade

Aumenta a coesão;

**Exige o uso de aditivos
superplastificantes.**

**“Efeito chiclete”
Aumento de coesão devido
à sílica ativa**



COESÃO CAUSADA PELA SÍLICA ATIVA



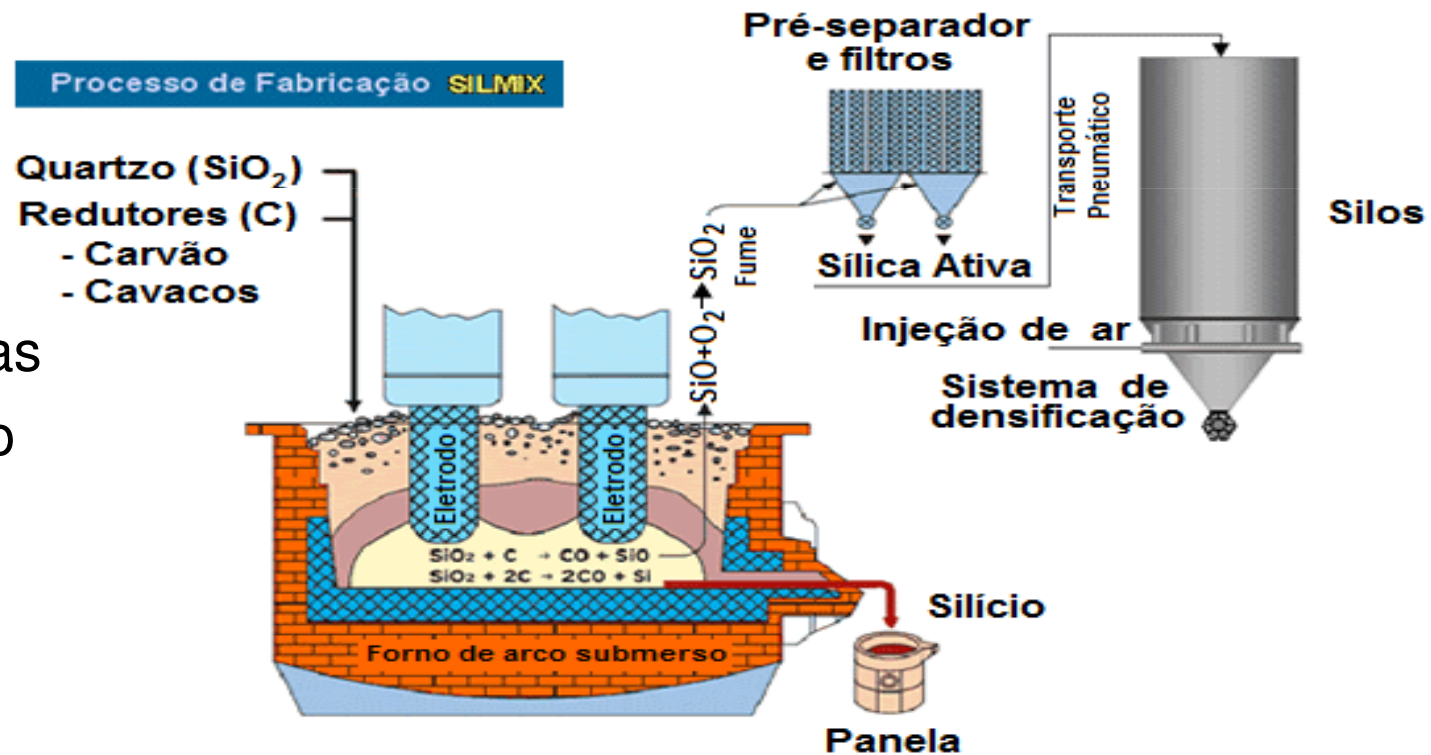
Arquivo: Filmes concreto / CENT EMP ANTÁRTICA - C 90 / Moldagem CPs - C 90

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microsílica): Produção

Feita através da redução de quartzo a silício a 2.000 °C, que é vaporizado, condensando em esferas minúsculas.

Depois de solidificadas, as pequenas partículas são coletadas em filtros eletrostáticos.



ADITIVOS MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Sílica ativa (microssílica):

Burj Dubai
Emirados Árabes Unidos -2008

Estrutura em Concreto Armado - **CAD**

Altura: + de 705 m
154 a 189 pavimentos
Pronto: 2009

Concretos utilizados nos pilares:

Base: C80A (DMC 20mm)

0- 95 m - **C80A** (DMC 20mm)

95-452 m –**C80** (DMC 14mm)

452-570 m –**C60**

Lajes e demais pilares - **C50**



ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Cinza de casca de arroz:

Casca de arroz - capa lenhosa do grão, dura, com alto teor de sílica (MEHTA, 1992), 50% celulose, 30% lignina e 20% sílica de base anidra. Com a queima, a lignina e celulose removidas, resulta estrutura celular e porosa.

Queimada parcialmente - cinza com certo teor de carbono de cor preta.

Inteiramente queimada - cinza de cor acinzentada.

Mesmo sem controle rigoroso da queima apresenta propriedades pozolânicas.

Finura, densidade e forma da partícula influenciam propriedades pozolânicas e a retenção de água pelo concreto.

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

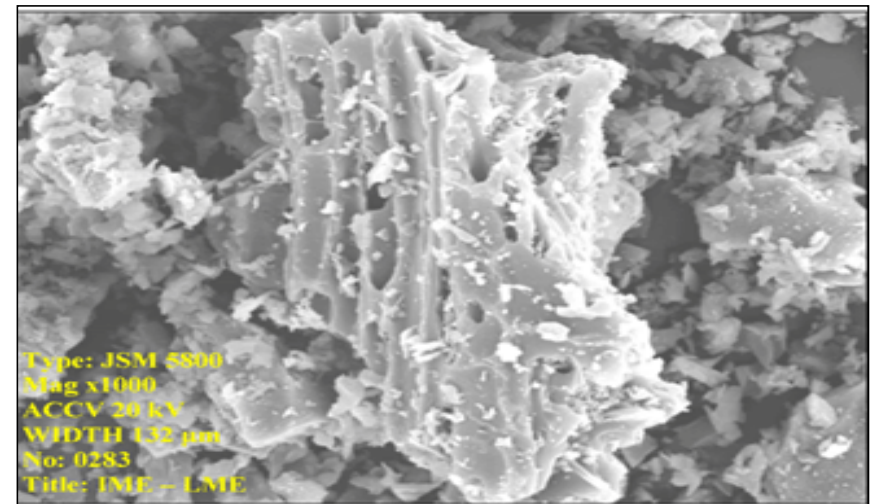
Cinza de casca de arroz:

Efeitos similares a sílica ativa mas em menor intensidade, sobre a resistência mecânica, permeabilidade e a trabalhabilidade.

CINCOTTO *et al.* (1990) obtiveram bons resultados nas propriedades mecânicas de argamassas substituindo até 50% de cimento Portland por cinza de casca de arroz.

Cinza de Casca de Arroz (produzida em leito fluidifizado)	
Na ₂ O	0,61%
MgO	1,85%
Al ₂ O ₃	1,00%
SiO₂	92,85%
SO ₃	0,09%
KI ₂ O	3,40%
CaO	0,59%
Fe ₂ O ₃	0,05%

(Cincotto,1990)



(Bigno, Isabella – IME-RJ)

Cinza da casca de arroz (x 1.000)

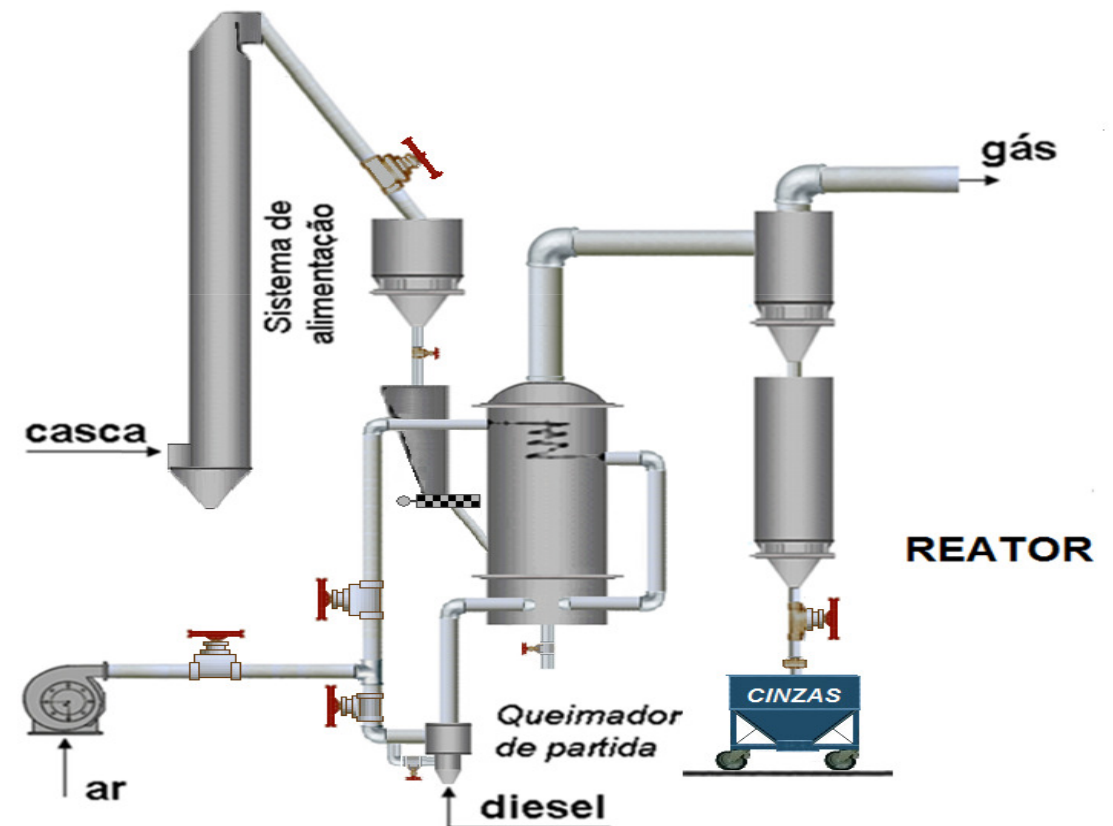
ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Cinza de casca de arroz:

Fluxograma simplificado da geração de cinza a partir da queima da casca de arroz em leito fluidizado



(J. Sampaio, J. S. Coutinho, M. N. Sampaio)



(CIENTEC, 1986)

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Cinza de casca de arroz:



(Sílvia Santos)

Aspecto do concreto com cinza de casca de arroz durante ensaio de abatimento, *slump test*.

ADIÇÕES MINERAIS
ADIÇÕES COM AÇÃO POZOLÂNICA:

Argilas Calcinadas – Pozolanas classe N

Obtidas a partir da calcinação de argilas cauliníticas à temperaturas de 550 a 850° C, com posterior moagem. Possuem elevada atividade pozolânica e grande potencialidade como adição mineral em misturas com cimento Portland.

Tem como desvantagem, em comparação com as cinzas volantes, o custo necessário à sua ativação térmica.

Devido à concentração geográfica das usinas termoeletricas à carvão no sul do Brasil, as argilas calcinadas tem grande potencial, pela sua ampla distribuição pelo território nacional.

A calcinação e moagem de caulinita pura dá origem a um material chamado metacaulinita de alta reatividade (MCAR).

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

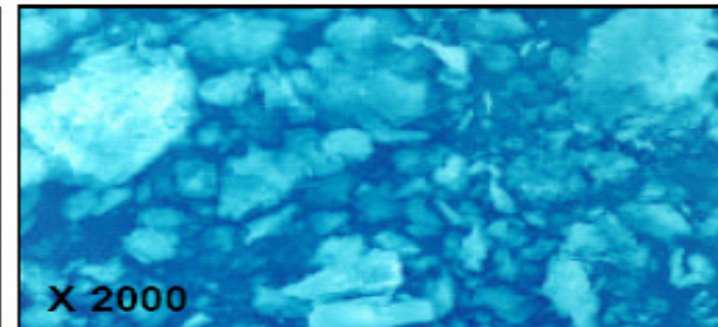
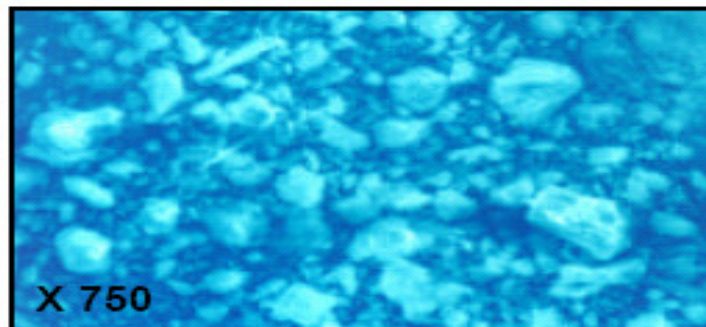
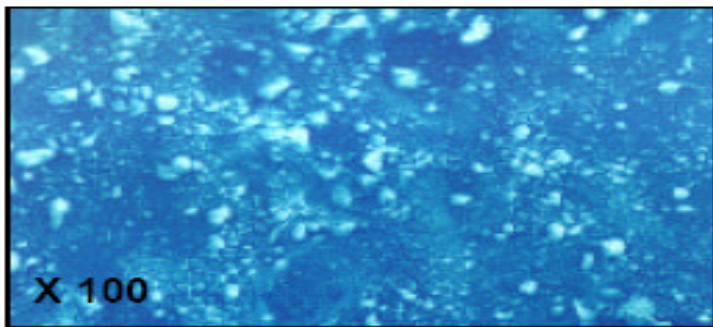
Metacaulim (metacaulinita de alta reatividade MCAR):

Argila caolinítica beneficiada por secagem, moagem e calcinação (750 a 1000°C).



Pozolana de alta reatividade, em fase amorfa (vítrea).

Sofre reação pozolânica com hidróxidos das pastas de cimento Portland, formando estruturas C-S-H.



Metacaulim

(J. Sampaio, J. S. Coutinho, M. N. Sampaio)

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Metacaulim (metacaulinita de alta reatividade MCAR):

Efeitos sobre o concreto fresco:

- Diminuição na segregação e exsudação
- Concreto com aparência “argamassada”
- Melhora a trabalhabilidade e aumenta coesão
- Permitindo um melhor acabamento superficial.

Efeitos sobre o concreto endurecido:

- Aumenta a resistência à compressão
- Aumenta o módulo de elasticidade da pasta matriz
- Reduz a penetração de íons de cloretos e a absorção de água
- Reduz a retração
- Reduz o calor de hidratação
- Reduz a reatividade álcali-agregado

ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Metacaulim (metacaulinita de alta reatividade MCAR):

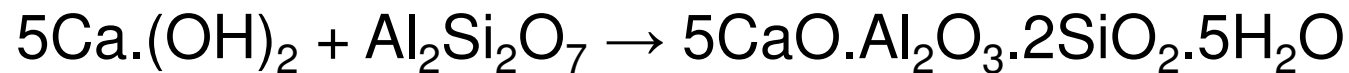
Efeitos sobre concreto projetado:

- Dispensa o uso de aditivo acelerador na maioria dos casos;
- Diminui o tempo de início de pega;
- Acelera o ganho de resistência nas primeiras horas;
- Garante maior aderência ao substrato.



ADIÇÕES MINERAIS COM AÇÃO POZOLÂNICA

Metacaulim (metacaulinita de alta reatividade MCAR):



Hidróxido de
cálcio

Metacaulim

Cristais de Gelenita

Características Físico-Químicas: Produto Metacaulim HP

SiO₂	51%
Al ₂ O ₃	40%
Fe ₂ O ₃	< 3,0%
Superfície Específica:	32.000 m ² /kg
Finura:	< 1,0% retido na # 500
Massa Específica:	2,59 kg/m ³

ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE

Escórias de alto-forno:

Resíduos provenientes do alto-forno siderúrgico, onde argilas calcárias (cástinas) são usadas como fundentes, e corretoras de pH.

No alto-forno misturam-se o minério de ferro, (basicamente Fe_2O_3), o coque de carvão mineral (basicamente carbono), junto com as argilas calcárias.

O resultado da reação é o ferro gusa, onde sobrenadam as escórias a temperaturas superiores a 1100°C .



Itambé

ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE

Escória granulada de alto-forno:

A escória líquida é resfriada bruscamente por meio de jatos de água sob alta pressão nos granuladores.

Não há tempo para formação de cristais, a escória se granula "vitrificando" e recebe o nome de *escória granulada de alto-forno*.

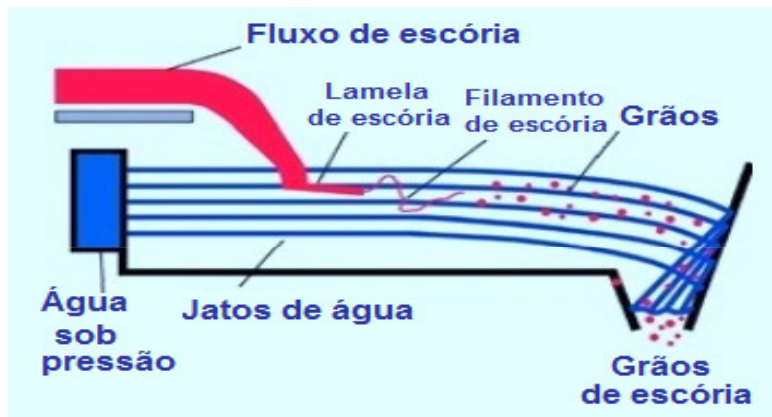
A escória granulada de alto-forno tem propriedades cimentícias, aspecto de uma areia grossa, porosa, tamanho máximo do grão de 5mm, cor branca amarelada e marrom.



ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE

Escória granulada de alto-forno:

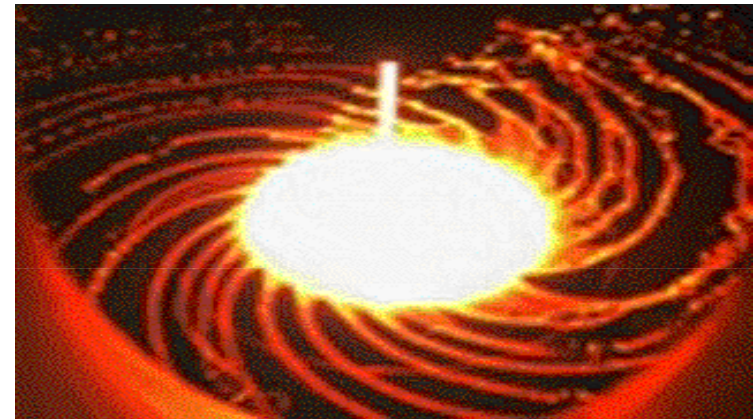
Granulação com água



São gerados 250/350 kg de escória líquida, (a 1400/1550 °C), para 1 t de ferro gusa produzido.

Utiliza 1000/1500 litros de água para granular 1 t de escória.

Granulação a seco



O granulador atomiza a escória líquida para produzir gotas que são resfriadas em ar e solidificam rapidamente. A escória granulada, ainda a 800 °C é transferida para um permutador de calor.

ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE

Agregados de escória de alto-forno:

A escória sai do alto forno na forma de um líquido viscoso entre 1400 e 1550 °C. Se resfriada lentamente, esta energia térmica é perdida, ocorrendo a cristalização.

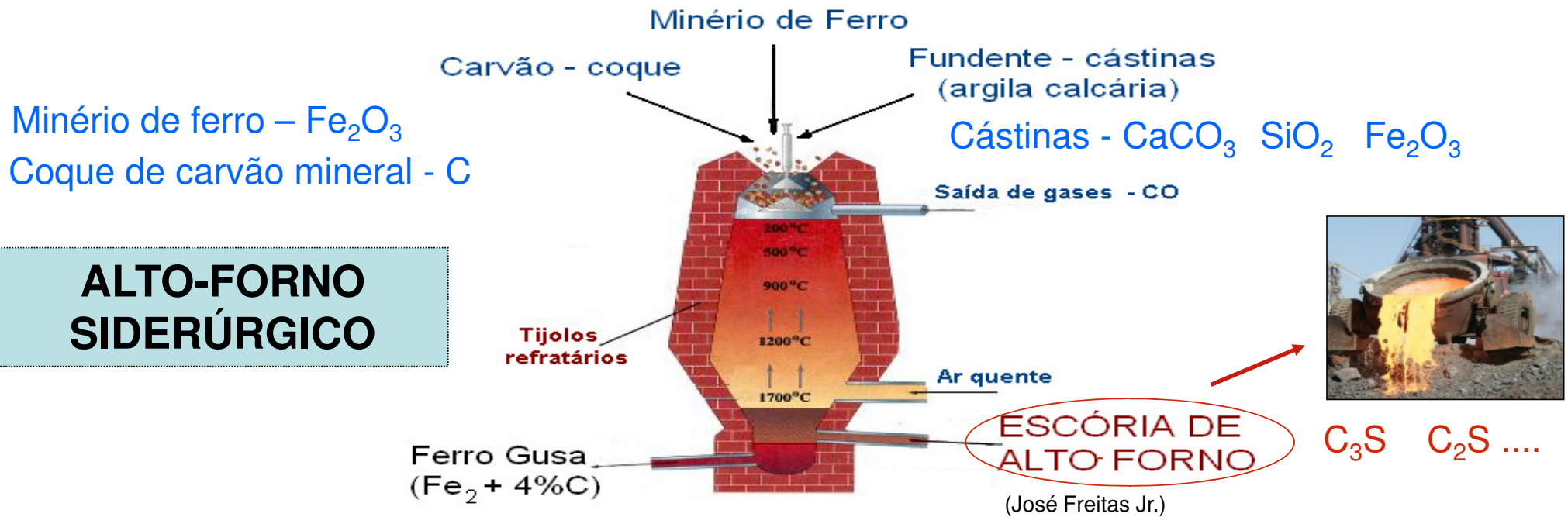
Na condição cristalina a escória não possui capacidade aglomerante, sendo utilizada como agregado para concreto, pavimentação e lastro de vias férreas.



ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE

Escória de alto-forno:

- Resíduo do alto-forno siderúrgico;
- Presença de C_2S e C_3S ;
- Grãos com $\varnothing 45 \mu m$ e $500 m^2/kg$ de finura Blaine;
- Resíduo industrial nocivo ao meio ambiente.



ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE

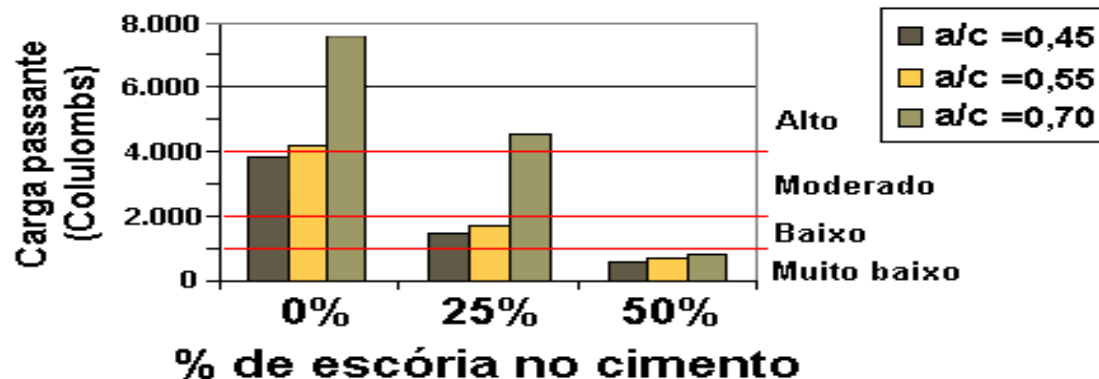
Escória granulada de alto-forno:

Nas escórias granuladas existe um importante percentual de silicato de cálcio. O uso das escórias no concreto é interessante por:

- Reduzir o custo do aglomerante;
- Consumir material danoso ao meio ambiente;
- Tornar a pasta endurecida mais resistente ao ataque por sulfatos;
- Deixar o concreto menos permeável.

Permeabilidade aos íons de cloro

ASTM C1202



As normas brasileiras não permitem a adição de escórias granuladas de alto-forno diretamente ao concreto, somente através das cimenteiras, como adição ao cimento.

ADIÇÕES MINERAIS - ADITIVOS COM AÇÃO CIMENTANTE**Escória granulada de alto-forno componentes:**

Composição das escórias de alto-forno no Brasil, comparativamente ao Cimento Portland Comum

	Escória Básica	Escória Ácida	Cimento Portland
CaO	40 – 45	24 - 39	66
SiO ₂	30 – 35	38 – 55	22
Al ₂ O ₃	11 – 18	8 – 19	5
MgO	2,5 – 9	1,5 – 9	-
Fe ₂ O ₃	0 – 2	0,4 – 2,5	3
FeO	0 – 2	0,2 – 1,5	-
S	0,5 – 1,5	0,03 – 0,2	-
CaO/SiO ₂ média	1,31	0,68	3

(JOHN, 1995)

OUTROS ADITIVOS

IMPERMEABILIZANTES e HIDROFUGANTES

Aditivos Impermeabilizantes:

Obturam os poros do concreto reduzindo a penetração de umidade sobre pressão.

Aditivos hidrofugantes:

Repelem eletricamente a água e reduzindo a penetração de umidade.

Ambas as técnicas não funcionam bem com relações a/c ou consumos de cimento muito altos, por ter sua eficiência prejudicada pela fissuração do concreto.

OUTROS ADITIVOS

IMPERMEABILIZANTES e HIDROFUGANTES

Em geral tem o efeito colateral de retardar a pega.

Basicamente existem três tipos que impermeabilizam o concreto:

Hidrofugantes:

- Sais inorgânicos que reagem com a cal livre do cimento formando sais cálcicos insolúveis;
- Materiais hidrófugos que se diferem dos primeiros por não reagirem com os componentes do cimento.

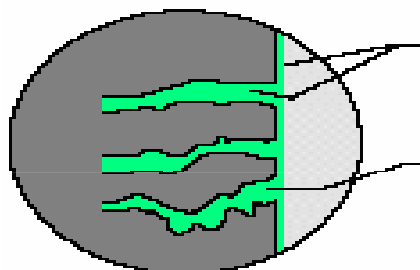
Impermeabilizantes:

- Géis constituídos de partículas globulares que, após a quebra da emulsão no meio alcalino do cimento, aglutinam-se na presença de água, reduzindo a seção dos capilares.

OUTROS ADITIVOS HIDROFUGANTES

TRATAMENTO DOS CAPILARES HIDRÓFUGOS

Sem aditivo
hidrofugante

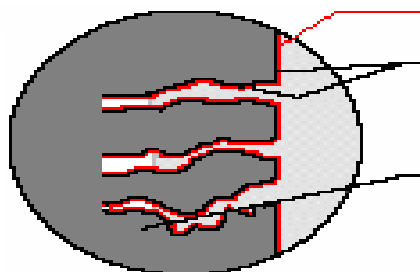


Superfícies e paredes
capilares não tratadas.

A água pode deslocar-se por
capilaridade porque pode
molhar as superfícies.

SEÇÃO DOS CAPILARES

Com aditivo
hidrofugante



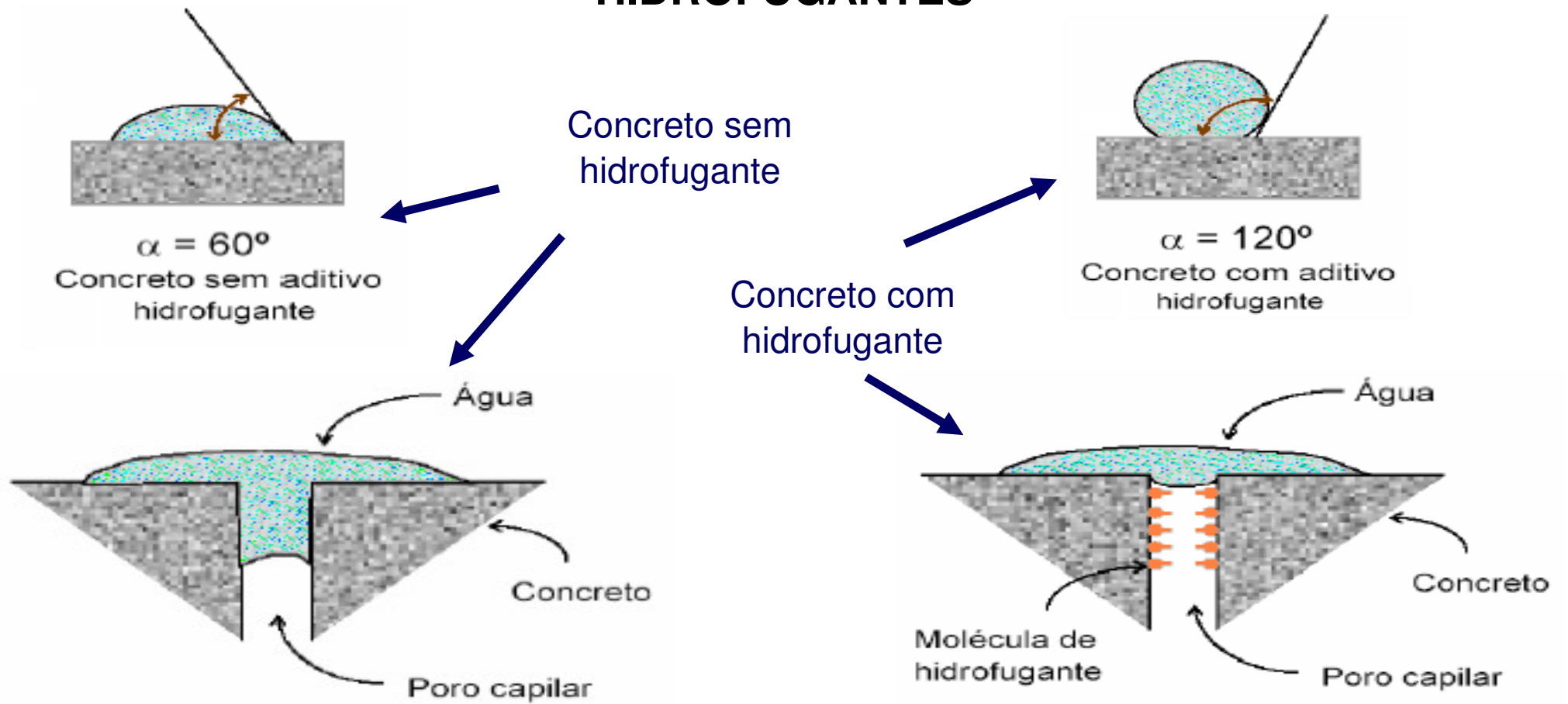
Hidrofugante.

As superfícies tratadas
não se molham.

A água é repelida por
cargas elétricas superficiais.

(Freitas Jr., J.)

OUTROS ADITIVOS HIDROFUGANTES



(Vanderlei, R. D.; UEM, 2008)

OUTROS ADITIVOS

EXPANSORES

Aluminatos ou sulfoaluminatos que reagem com a cal do cimento e a água, desprendendo hidrogênio em bolhas provocando expansões de 3 a 8 % no volume da massa. A porosidade criada prejudica as características mecânicas do concreto.

São usados para compensar os efeitos da retração, caldas para injeção e argamassas com a finalidade de torná-las expansivas.

Uso em “chumbamentos” de peças e “encunhamento” de alvenarias.

Encunhamento de alvenarias usando argamassa com aditivo expensor.

(Freitas Jr., J. A.)



OUTROS ADITIVOS

INIBIDORES DE CORROSÃO

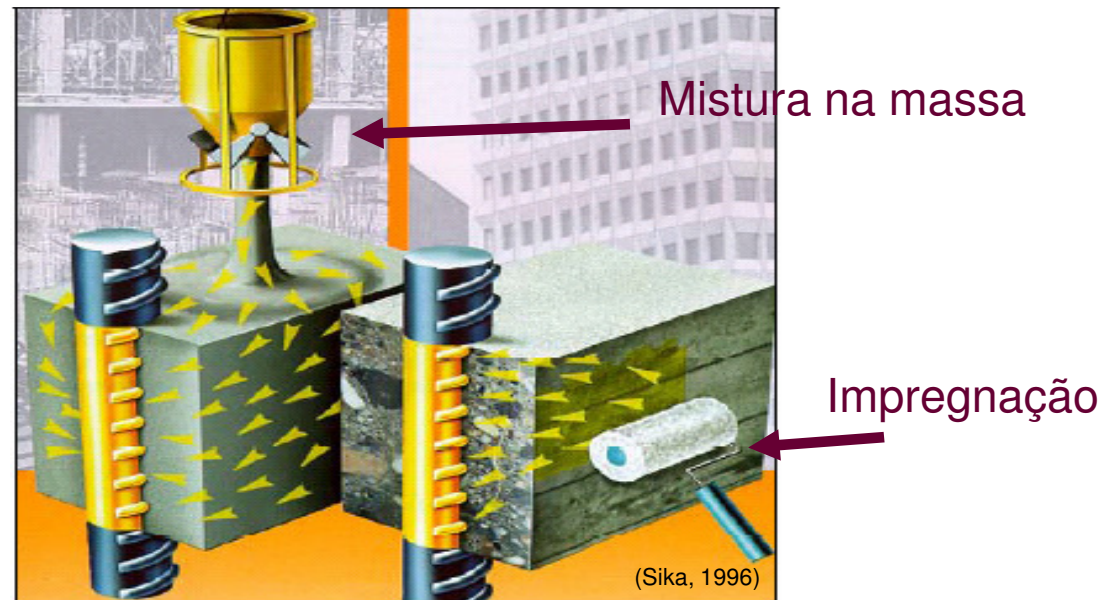
Bloqueiam a formação da micropilha (reação anódica/catódica) por um tempo, retardando o início da corrosão do aço.

Reduzem principalmente os efeitos dos cloretos.

Prejudicam a trabalhabilidade.

Existem também inibidores de corrosão para aplicação superficial no concreto endurecido.

Proteção adicional das armaduras através de inibidores introduzidos no concreto na produção ou por impregnação posterior.



OUTROS ADITIVOS

CONTROLADORES DAS REAÇÕES ÁLCALI-SÍLICA:

A base de lítio

Hidróxido, carbonato ou fluorito de lítio, funcionam reagindo com os álcalis antes da sílica dos agregados. O produto da reação não é expansivo. Inconveniente: é tóxico.



Aplicação de lítio por impregnação em pavimento afetado por RAA.



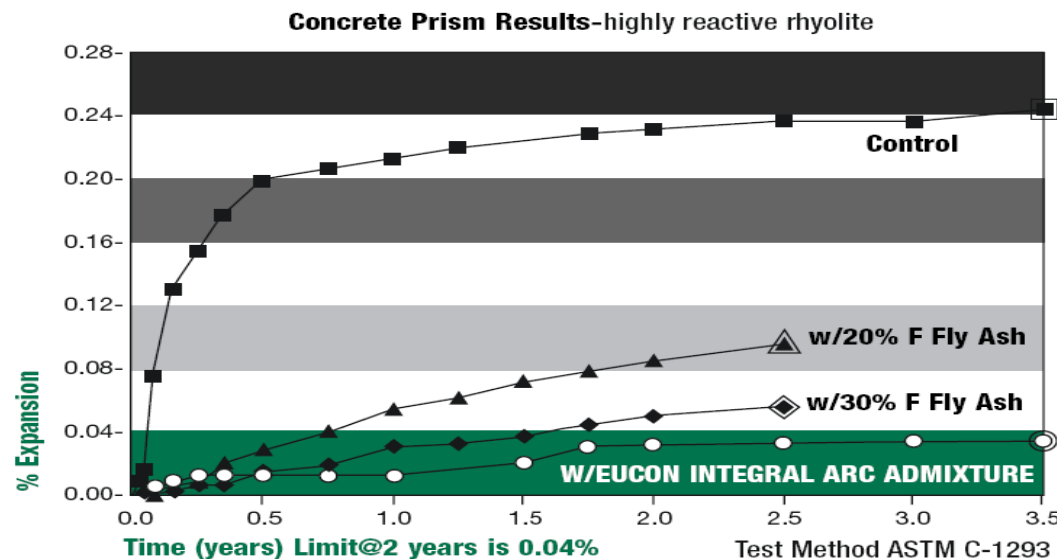
Aditivo a base de lítio misturado na massa de concreto para pavimento.

OUTROS ADITIVOS

CONTROLADORES DAS REAÇÕES ÁLCALI-SÍLICA:

Adições minerais pozolânicas

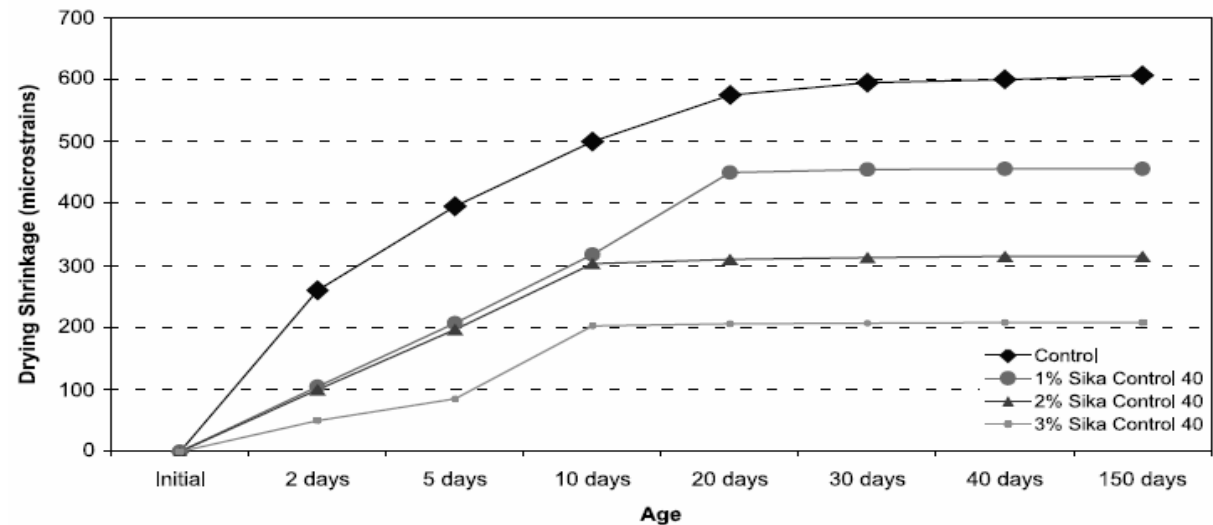
- Pequenas partículas silicosas reagem e “consomem” os álcalis, enquanto a pasta tem muitos vazios;
- Não sobra álcalis para reagir com a sílica dos agregados;
 - Cinzas volantes prejudicam o ganho de resistência;
- A sílica ativa prejudica a trabalhabilidade e tem alto custo.



OUTROS ADITIVOS REDUTORES DE RETRAÇÃO: ARR

Reduzem a tensão superficial da água no interior dos vazios capilares, fenômeno que resulta na minimização das tensões decorrentes da saída da água. A água não forma mísulas que atraem e aproximam as paredes dos poros.

Atualmente aditivos de custo alto, mas tem aplicações interessantes em pisos de concreto, por exemplo, minimizando nestes a necessidade de juntas.



Sika® Control 40
Shrinkage Reducing Admixture

Enquanto isso, na obra, na hora do almoço....



Arquivo: Filmes concreto / Filmes engraçados / Futebol na obra

Materiais de Construção

ADITIVOS E ADIÇÕES PARA CONCRETO

REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- CONCRETO: Estrutura, Propriedades e Materiais, P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro, São Paulo: Pini, 1994.**
- CONCRETE, Microstructure, Properties and Materials, , P. Kumar Mehta e Paulo J. M. Monteiro, McGraw-Hill, 2006**
- MANUAL DO CONCRETO DOSADO EM CENTRAL – ABESC**
- Palestras Eng. José Eduardo Granato - BASF Construction Chemicals Brasil**
- Grace Aditivos**
- ESTUDO DA VIABILIDADE DA UTILIZAÇÃO DE CINZAS DE CASCA DE ARROZ RESIDUAL EM CONCRETOS E ARGAMASSAS, Sílvia Santos, UFSC, 1997.**
- CONTRIBUIÇÃO AO CONHECIMENTO DAS PROPRIEDADES DO CIMENTO PORTLAND DE ALTO FORNO, Arnaldo Battagin e Mauro Esper, ABCP, 1988**