

**SIMPÓSIO SOBRE
REATIVIDADE
ÁLCALI-AGREGADO
EM ESTRUTURAS
DE CONCRETO**

Goiânia, novembro de 1997

ANAIS

**USO DE FINOS DE BRITAGEM COMO REDUTORES DA
EXPANSÃO DEVIDA À REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO**

REALIZAÇÃO:



**Comitê Brasileiro de
Grandes Barragens**

FURNAS  **CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

Apoio:



IBRACON

USO DE FINOS DE BRITAGEM COMO REDUTORES DA EXPANSÃO DEVIDA À REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Flávio Moreira Salles

Paulo José Ribeiro de Oliveira

CESP - Companhia Energética de São Paulo

Francisco Rodrigues Andriolo

Engenheiro Consultor - Andriolo Ito Engenharia S/C Ltda - São Paulo

RESUMO

As areias artificiais provenientes da britagem de rocha são não contêm fração argilosa, não apresentando portanto, características coesivas. Todavia, sistematicamente, as especificações técnicas têm requerido a lavagem dos agregados, para eliminação dos finos de britagem; muito embora, algumas experiências têm mostrado aspectos positivos para o emprego deste material em concreto.

Com isso, o Laboratório Central de Engenharia Civil da CESP, em Ilha Solteira, desenvolveu um programa de estudos com o objetivo de explorar e avaliar a pozolanidade destes finos, verificada através de ensaios específicos - fixação da cal, atividades pozolânicas e reatividade potencial com os álcalis do cimento.

Este trabalho apresenta os resultados obtidos nos ensaios, utilizando os finos de britagem como material pozolânico, e compara-os com os verificados para misturas com fly ash, usado como referência por suas propriedades pozolânicas.

1- INTRODUÇÃO

O assunto se mostra bastante oportuno, quer pela preocupação e perdas crescentes, devidas aos efeitos danosos da reação álcali-agregado (RAA), quer pela alternativa do emprego dos finos de britagem em concretos, por razões técnicas e/ou econômicas.

Para o controle e a inibição da reação tem-se estudado os efeitos do uso de aditivos químicos e adições minerais nas misturas.

É de domínio técnico, a ação inibidora resultante do emprego de alguns materiais finamente divididos, como microssílica, escória de alto forno, fly ash e pozolana, em porcentagens determinadas e adicionadas à massa de concreto.

A partir dos conceitos e mecanismos da RAA, e diante da alternativa do uso dos finos de britagem como agregado miúdo em concretos, o Laboratório de Engenharia Civil da CESP, em Ilha Solteira, desenvolveu estudos com estes materiais passantes na peneira nº 200, com o intuito de definir e avaliar a sua pozolanidade, comparando sua performance com o fly ash. Os resultados obtidos são apresentados neste texto.

2- PRESENÇA DOS FINOS:

As areias artificiais, oriundas da britagem de rocha, podem ser obtidas em britadores tipo "Impactor", que resultam em grãos arredondados e teor de finos da ordem de 12 a 16 %, ou em rebitadores tipos "Hydrofine" ou "Very Fine Crusher", que produzem areias com finos de 8 a 14 %. Esse material, se proveniente de rocha sã, não contém fração argilosa, e portanto não apresenta características coesivas.

O conceito para o emprego do pó de agregado reativo como inibidor da RAA é o de se dispor de um aditivo contendo sílica reativa com alto grau de acidez, compatível com o agregado e disponível para uma reação inócua nos poros capilares, ao invés de reagir na interface da pasta de cimento e o agregado [2].

3. ESTUDOS REALIZADOS:

3.1. MATERIAIS:

3.1.1. Agregados:

Agregados miúdos produzidos a partir da britagem de basalto, classificados em faixas granulométricas determinadas pela metodologia dos ensaios programados. Os finos, materiais < 0,075 mm, foram obtidos por rebitagem em laboratório.

3.1.2. Aglomerantes:

Cimento Portland Composto CP II-F

Cimento Portland Comum CP I-S

Fly Ash - cinza volante procedente de Tubarão - SC.

3.2. ENSAIOS:

3.2.1. Caracterização dos Materiais:

- Classificação granulométrica dos agregados, conforme especificação dos ensaios programados;
- Análises físico-químicas dos aglomerantes, mostradas na figura 1.
- Ensaios com os finos de britagem, como material pozzolânico, com as seguintes adaptações aos métodos padronizados:
 - Reatividade com os álcalis (ASTM-C-441): feitos no teor especificado (25 % em volume) e nos teores de 37,5 e 50 % de finos em reposição ao cimento;
 - Atividade pozzolânica (ASTM-C-305 e ASTM-C-311): no teor especificado (35 % em volume) e mais os teores de 30 e 40 % de finos em reposição ao cimento;
 - Atividade com cal (ASTM-C-311): sem alteração.

Os valores obtidos nestes ensaios são apresentados na figura 2. Observa-se que o fino de britagem do basalto tinha uma finura - Superfície Específica Blaine de 1700 a 2000 cm²/g.

3.2.2. Fixação da Cal:

A fixação da cal (hidróxido de cálcio - Ca(OH)_2) é uma forma de se avaliar a pozolanicidade de um material. Admite-se que 100 g de areia sejam capazes de absorver, em sua superfície, cerca de 30 mg de Ca(OH)_2 em uma solução 1 N, após 28 dias em suspensão.

O ensaio para verificação da fixação da cal foi feito colocando-se a amostra estudo - agregado miúdo ou fly ash - em contato com uma solução saturada de Ca(OH)_2 (10 g/l), e depois, nas idades de 7, 14, 21, 60 e 90 dias, foram determinados os teores de hidróxido de cálcio fixados em uma alíquota da solução sobrenadante. Foi usada uma alíquota “branca” (padrão) como referência.

Os resultados obtidos são apresentados na figura 3.

3.2.3. Reatividade Potencial - Método Acelerado das Barras:

As barras de argamassa foram preparadas em duas séries, com amostras de basalto e de vidro pirex, em misturas com cimento, contendo 0,52 % de álcalis solúveis.

As misturas foram feitas com 100 % de Cimento Portland e composições com a substituição do cimento por 10, 20 e 30 % de finos de britagem, e comparados seus resultados, com os mesmos teores de substituição por fly ash.

Os resultados são mostrados na figura 4.

4- COMENTÁRIOS

A cal fixada pelos finos de britagem do basalto atingiu índices superiores ao do material pozolânico, no caso o fly ash, o que denota a pozolanicidade do material.

Os valores obtidos nos ensaios de atividade pozolânica mostram a potencialidade do material, atingindo os níveis observados para o fly ash, embora para teores diferentes. Para a atividade com a cal não apresentou o mesmo desempenho, ficando bem abaixo do obtido para o fly ash.

A presença dos finos de britagem causou efeito positivo na redução da expansão provocada pela RAA.

5- CONCLUSÕES

O maior mérito desta pesquisa, com relação à RAA, se deve à constatação da ação benéfica provocada pelos finos de britagem do basalto, em misturas com cimentos, resultando na inibição do processo expansivo da reação.

Em [2] os autores apontam algumas conclusões, a partir de experimentos, quanto aos efeitos do emprego do pó de agregado reativo sobre a expansão provocada pela RAA, que transcrevemos a seguir, como contribuição ao meio técnico da potencialidade deste material e como enriquecimento de informação sobre o assunto.

a) A incorporação do pó de agregado reativo pode, aparentemente, ser capaz de prevenir argamassas, feitas com a mesma areia reativa, contra uma severa

expansão, implicando em um material promissor para a supressão da reação álcali-silica.

b) Comparando com as alternativas existentes, tais como a incorporação de aditivos químicos e adições minerais - microssilica, escória de alto forno e fly ash pulverizado, a aplicação de pós de agregados reativos locais tem-se mostrado mais econômica e efetiva, se utilizada com o objetivo de suprimir a reação álcali-silica.

c) A quantidade de pó utilizada como reposição de parte do cimento depende, principalmente, dos teores de álcalis presentes na argamassa e igualmente da reatividade e da acidez do pó. Quanto maior for o nível de álcalis, maior será a quantidade necessária de finos, e um maior efeito pode ser observado.

d) A razão para a inibição da reação álcali-silica, por meio do pó de agregado, pode ser explicada da seguinte maneira:

Os álcalis são retidos pelo agregado e reagem com as partículas destes (em espaços não confinados) causando a redução na concentração de álcalis, próximo à superfície do agregado. Neste meio tempo, o pó junto com os produtos gerados preenchem os poros, resultando em uma densificação da matriz, o que dificulta a migração das espécies de álcalis.

e) A finura do pó de britagem é determinante para a eficiência na prevenção da reação álcali-silica.

Em razão das considerações feitas a partir dos dados obtidos nesta pesquisa desenvolvida na CESP, e dos comentários transcritos de [2], pode-se afirmar que o emprêgo dos finos de britagem de basalto reativo com os álcalis do cimento traz benefícios quanto à RAA.

Sugere-se rever o que recomendam as especificações técnicas, no sentido de utilizar este material, desde que não apresente características coesivas. Com isso, dispensando-se a lavagem dos agregados na central de britagem, acarretará em vantagens técnicas e econômicas.

6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] LABORATÓRIO CENTRAL DE ENGENHARIA CIVIL - CESP - Relatório LEC-E-12/94 - **“Efeito dos finos do pó de pedra em concretos”** Ilha Solteira, outubro de 1994.
- [2] QINGHAN, B.; XUEQUAN, W. ; MINGSHU, T. (Nanjiing University of Chemical Technology); NISHIBAYASHI, S. ; KURODA, T. ; TIECHENG, W. (Department of Civil Engineering, Tottori University) - **“Effects of Reactive Aggregate Powder on Suppressing Expansion Due to Alkali-Silica Reaction”**- 10^o International Conference on AAR - Australia 1996.

MATERIAL		CP-II-F	CP-I-S	FLY ASH
Identificação		21.210	21.055	5.260
% retida na peneira 200		3,3	2,4	
% retida na peneira 325		19,3	16,1	55,1
Superf. espec. Blaine (cm ² /g)		3.325	3.496	2.511
Diâmetro médio dos grãos (micras)				11,4
Massa específica aparente (g/cm ³)		1,06	1,11	0,69
Massa específica absoluta (g/cm ³)		3,06	3,15	2,09
Reatividade com álcalis	Redução da expansão (%)			78,6
	Expansão da argamassa (%)			0,22
Índices de atividade pozolânica	Água requerida (%)			118,9
	com cimento (%)			52,7
	com cal - MPa			3,9
Água de consistência (g)		125	130	
Flow (%)		25,0	26,0	
Retração por secagem (%)				-0,003
Tempo de pega h:mm		2:16	2:48	
Resistência à compressão cilindros 50 x 100 mm	3 dias Mpa	24,6	24,9	
	7 dias Mpa	29,1	27,5	
	28 dias Mpa	39,4	32,1	
	90 dias Mpa	41,6	33,8	
Calor de Hidratação cal/g	7 dias		80	
	28 dias		87	
Umidade da amostra (%)				0,4
Análise Química (%)	Perda ao fogo	5,64	2,6	5,33
	Resíduo insolúvel	1,64	0,55	
	SiO ₂	18,24	18,23	53,8
	Fe ₂ O ₃	2,63	3,55	7,43
	Al ₂ O ₃	6,05	4,71	28,03
	CaO	61,97	61,6	
	MgO	1,11	4,56	0,12
	SO ₃	2,4	2,95	0,26
	Na ₂ O	0,23	0,15	
	K ₂ O	0,43	0,67	
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃			35,46
	Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ + SiO ₂			86,26
	Equiv. Alcalino	0,51	0,59	
	Cal livre como CaO	1,07	1,47	
	C ₃ S		61,11	
	C ₂ S		6,19	
C ₃ A		6,47		
C ₄ AF		10,8		

Figura 1 - Análise Físico - Química dos Aglomerantes

parâmetros	teor de material	valores obtidos	
		finos de britagem	fly ash
expansão da argamassa - %	25	0,004	0,002
	37,5	0,002	
	50	0,005	
redução da expansão - %	25	68,3	78,6
	37,5	75,2	
	50	97,9	
água requerida - %	30	104	118
	35	104,8	
	40	108	
índice de atividade com cimento - %	30	55,5	52,7
	35	48,7	
	40	42,5	
ind. de ativ. com cal - Mpa		0,4	3,9

Figura 2 - Ensaio de Atividades dos Materiais.

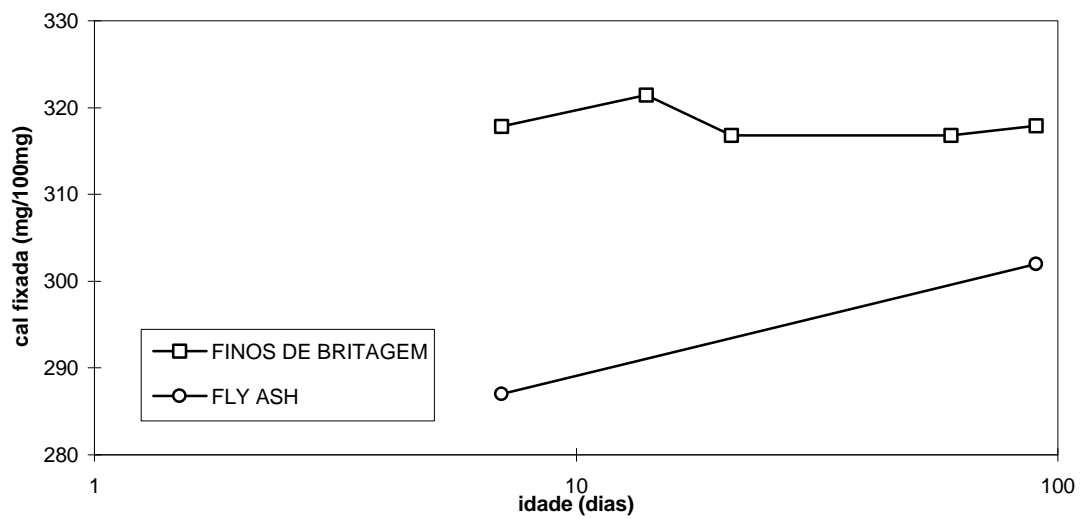


Figura 3 - Fixação da Cal

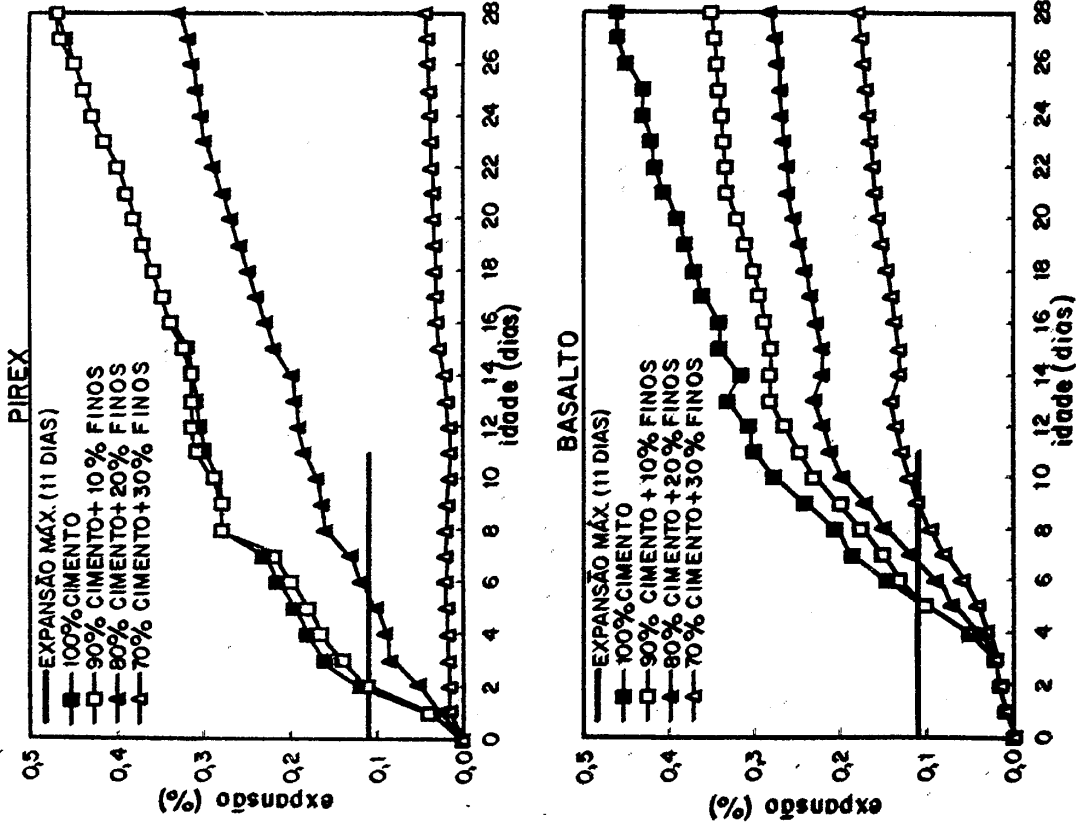
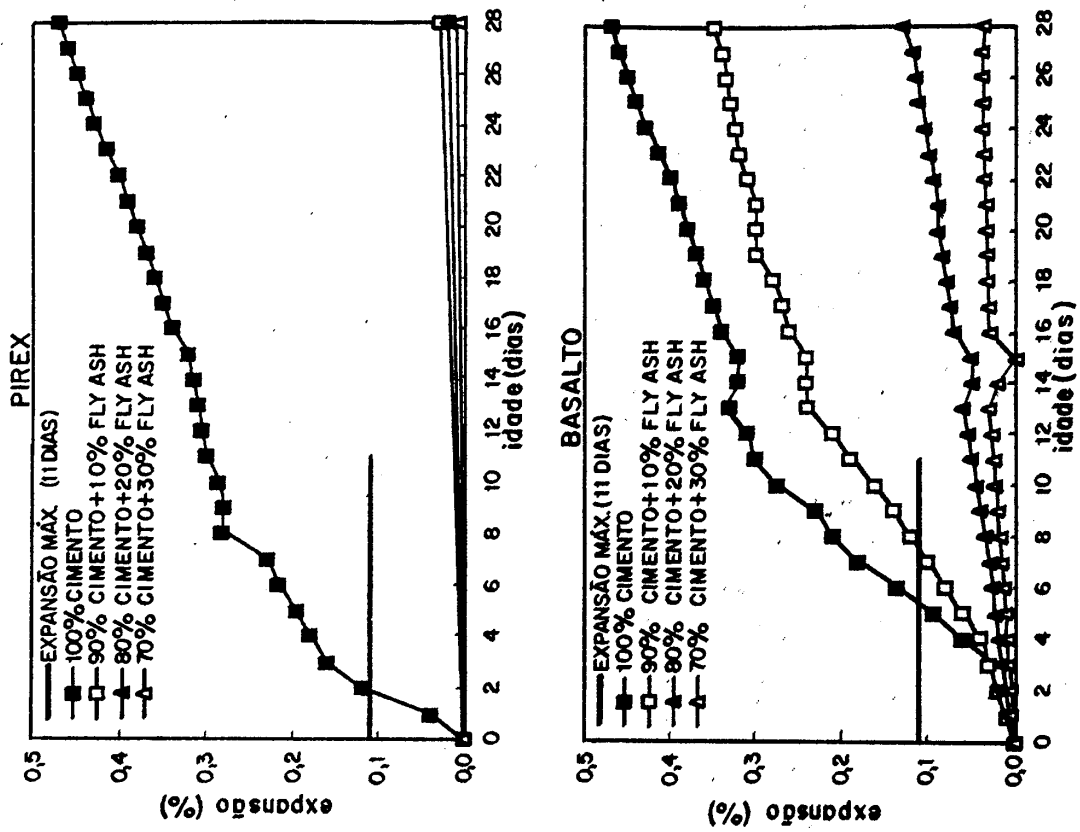


Figura 4 - Reatividade Potencial pelo Método das Barras de Argamassa Acelerado (N.B.R.I.)