

## The Reactivity of Aggregates in Southern Brazil

## A Reatividade dos Agregados do Sul do Brasil

F. TIECHER<sup>a</sup>

francielpf@yahoo.com.br

S. D. VENQUIARUTO<sup>a</sup>

venquiaruto@yahoo.com.br

L. B. SILVA<sup>a</sup>

lucilia@ufrgs.br

D. C. C. DAL MOLIN<sup>a</sup>

dmolin@ufrgs.br

M. B. GOMES<sup>b</sup>

márcia.boscato@ufrgs.br

### Abstract

Some factors such as moisture are required to initiate the alkali-aggregate reaction in concrete structures. That can explain why AAR is very common in concrete dams. However, in recent years, many cases of the alkali-aggregate reaction have been reported in concrete structures of bridges, overpasses, highways and buildings. In contrast with the assessment of the reactive potential of aggregates used in concrete dams, the reactive potential of coarse aggregates used in the latter structures has never been assessed. The present report aims to evaluate the reactive potential of coarse aggregates used in the manufacture of concrete in Southern Brazil. The experimental program was carried out with 39 rock samples (the aggregates). These samples underwent petrographic characterization and a mortar produced with these aggregates and Portland cement Type I (MP), defined by ASTM C595, was tested using ASTM C 1260 accelerated test. The study showed that all 39 aggregates can be considered potentially reactive to alkalis. It was also observed that the type of aggregate has a significant influence on the degree of expansion, with basalt leading to bigger expansions.

**Keywords:** alkali-aggregate reaction, reactive aggregates.

### Resumo

São necessários alguns fatores para que a reação álcali-agregado se manifeste nas estruturas, entre eles está a presença de umidade. Por esse motivo, esta reação é bastante comum em barragens de concreto. Contudo, nos últimos anos, muitos casos de reação álcali-agregado têm sido constatados em pontes, viadutos, rodovias e edifícios. Porém, para esse tipo de obra, nunca foi avaliada a potencialidade reativa dos agregados, atitude que é comum com os agregados utilizados em barragens. Em função disso, este estudo buscou avaliar a potencialidade reativa dos agregados mais utilizados para a confecção do concreto no sul do Brasil. Para tanto, realizou-se a análise petrográfica de 39 amostras de agregados e o ensaio acelerado da ASTM C 1260 com esses agregados e com o cimento composto do tipo CP II-Z 32, que é o cimento mais consumido na região. Ao final dos ensaios verificou-se que todos os agregados são potencialmente reativos do ponto de vista da reação álcali-agregado. Além disso, concluiu-se que o tipo de agregado utilizado exerce influência significativa na intensidade da expansão, sendo que os basaltos são os agregados que resultaram em maiores expansões.

**Palavras-chave:** reação álcali-agregado, agregados reativos.

<sup>a</sup> NORIE, Núcleo Orientado para Inovação da Edificação - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, francielipf@yahoo.com.br, venquiaruto@yahoo.com.br, lucilia@ufrgs.br, dmolin@ufrgs.br. Av. Osvaldo Aranha 99 - Prédio do Castelinho s/n, Porto Alegre, Brasil.

<sup>b</sup> Departamento de Petrologia e Mineralogia, Instituto de Geociências, márcia.boscato@ufrgs.br. Av. Bento Gonçalves 9500 - Bloco I, Prédio 43113, Porto Alegre, Brasil.

## 1 Introdução

A reação álcali-agregado (RAA) é uma das muitas patologias a que o concreto está sujeito. Trata-se da reação química que ocorre entre os álcalis, que normalmente são provenientes do cimento, e alguns tipos de minerais presentes nos agregados. O produto dessa reação é um gel que aumenta de volume quando em contato com a água. Esse aumento causa tensões internas de tração no concreto, que levam a fissuração generalizada do mesmo.

Até pouco tempo atrás não havia preocupação em obras civis com relação a essa reação deletéria, pois a RAA é bastante comum em grandes maciços de concreto sujeitos a intensa umidade, tais como as barragens. Porém, nos últimos anos, tem crescido o número de relatos do surgimento da RAA em pontes, viadutos, rodovias e edifícios.

No Brasil, desde as constatações, em 2004 e 2005, da presença de reação álcali-agregado em diversas fundações de edifícios em Pernambuco, muita inquietação tem surgido com relação a esse fenômeno patológico, principalmente porque nunca se avaliaram os agregados a serem utilizados em estruturas de concreto de porte menor. Sendo assim, pouco se sabe sobre a potencialidade reativa dos agregados brasileiros.

O trabalho efetuado por Valduga [1] foi o único que buscou mapear agregados reativos do Brasil. Entretanto, foi realizado somente com os agregados do Estado de São Paulo. Contudo, os resultados obtidos chamam atenção para a necessidade de avaliação dos agregados do restante do país, pois, 60% das amostras coletadas foram consideradas reativas. Essas evidências, somadas ao fato de que uma vez desencadeada a reação não é possível detê-la, pois as medidas são paliativas e ainda não estão consolidadas, motivaram a realização desse estudo, que buscou avaliar a reatividade dos minerais presentes em diferentes tipos de agregados da região sul do Brasil (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul).

**Tabela 1 – Características químicas e físicas do cimento utilizado**

Químicas			
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	6,42	Na <sub>2</sub> O (%)	0,93
SiO <sub>2</sub> (%)	20,31	K <sub>2</sub> O (%)	0,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	3,12	Perda ao fogo (%)	5,63
CaO (%)	53,01	CaO livre (%)	1,35
MgO (%)	5,06	Resíduo insolúvel (%)	10,40
SO <sub>3</sub> (%)	3,00	Equivalente alcalino (%)	0,99
Físicas			
Massa específica (g/cm <sup>3</sup> )	2,87		
Expansão autoclave (%)	0,20		
Expansão à quente (mm)	0,00		
Tempo de pega	Início	3:05	
(h:min)	Fim	3:45	
Consistência normal (%)	26,8		
Finura Blaine (cm <sup>2</sup> /g)	3.530		
Resíduo peneira #200 (%)	1,50		
Resíduo peneira #325 (%)	8,80		

## 2 Materiais

Neste estudo primou-se pela utilização dos materiais mais consumidos para confecção do concreto no sul do Brasil. Dessa forma, optou-se pelo emprego do cimento Portland composto com adição de material pozzolânico, cuja norma brasileira regulamentadora é a NBR 11578 [2] (CP II-Z 32), o cimento Tipo I(MP), de acordo com a ASTM C 595 [3]. As características do cimento utilizado estão descritas na Tabela 1.

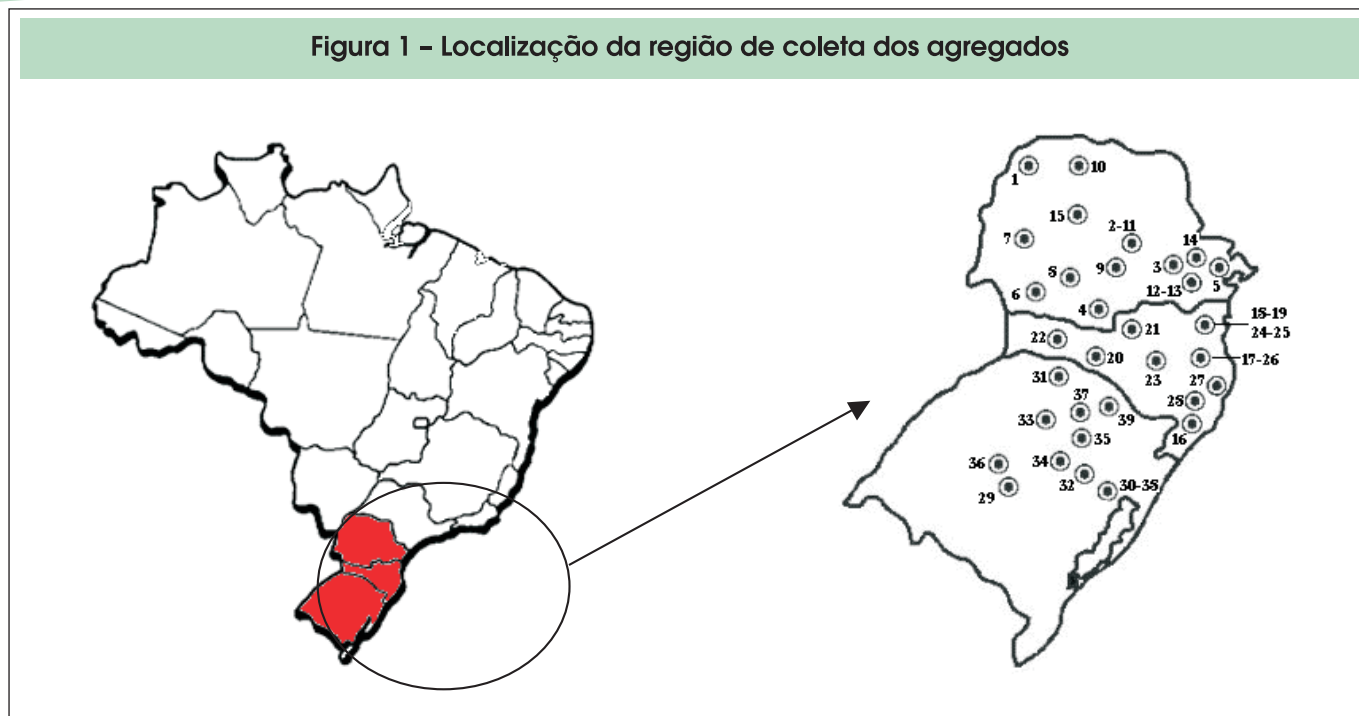
Para realização da análise da reatividade dos agregados do sul do Brasil, foram coletados 39 tipos de agregados,

**Tabela 2 – Origem dos agregados utilizados**

Nº	Origem petrográfica/Estado	Nº	Origem petrográfica/Estado	Nº	Origem petrográfica/Estado	Nº	Origem petrográfica/Estado
01	Areia/PR	11	Basalto/PR	21	Basalto/SC	31	Basalto/RS
02	Areia/PR	12	Riolito/PR	22	Basalto/SC	32	Basalto/RS
03	Areia/PR	13	Gnaiss/PR	23	Basalto/SC	33	Riolito/RS
04	Areia/PR	14	Granito/PR	24	Granito/SC	34	Riolito/RS
05	Areia/PR	15	Riolito/PR	25	Riolito/SC	35	Basalto/RS
06	Basalto/PR	16	Areia/PR	26	Granito/SC	36	Riolito/RS
07	Basalto/PR	17	Granito/SC	27	Granito/SC	37	Riolito/RS
08	Basalto/PR	18	Areia/SC	28	Granito/SC	38	Granito/RS
09	Basalto/PR	19	Areia/SC	29	Areia/RS	39	Basalto/RS
10	Basalto/PR	20	Basalto/SC	30	Areia/RS		

PR: estado do Paraná; SC: estado de Santa Catarina; RS: estado do Rio Grande do Sul

Figura 1 – Localização da região de coleta dos agregados



escolhidos de acordo com seu potencial de utilização no concreto nos respectivos estados.

Dentre essas amostras estão rochas, que comumente são utilizadas como agregado graúdo no concreto, e areias, utilizadas como agregado miúdo.

A Tabela 2 apresenta a origem petrográfica dos agregados e os respectivos estados de procedência. Em alguns locais foram colhidas mais de uma amostra. Isso ocorreu nos lugares onde havia a utilização de diferentes tipos de rochas, bem como, algumas vezes, foram coletados agregados miúdos e graúdos. Salienta-se, ainda, que não foram coletadas amostras de origem calcária, presentes na região.

Os pontos de coleta das amostras pode ser visualizados no mapa apresentado na Figura 1.

### 3 Métodos

Para avaliação da potencialidade reativa das amostras de agregados foram utilizados o método acelerado, prescrito pela ASTM C 1260 [4], e a análise petrográfica, preconizada pela ASTM C 295 [5].

#### 3.1 Análise mineralógica e petrográfica

Análises foram realizadas através da avaliação de lâminas delgadas (30 $\mu$ m) das amostras coletadas, em microscópio óptico.

Efetou-se a identificação dos minerais presentes nas mesmas, seu grau de deformação e alteração, bem como sua forma e tamanho. De posse desses dados, buscou-se a compreensão dos motivos que levam os mesmos a reagirem com os álcalis.

Contudo, cabe salientar que, os agregados foram previamente divididos de acordo com sua origem petrográfica. Essa decisão foi tomada para agrupar as amostras com características semelhantes e, dessa forma, facilitar a comparação entre as mesmas.

Então, as amostras foram distribuídas em 5 grupos: granitos, riolitos, basaltos, areias e gnaisse.

#### 3.2 Ensaio acelerado

Para realização do ensaio acelerado foram moldados três barras de argamassa para cada tipo de agregado, cujo traço foi de 1:1,25 (cimento:agregado, em massa) e relação água/cimento de 0,47. Além disso, os agregados foram preparados para ficarem nas frações granulométricas indicadas pela norma.

Após a moldagem, os corpos-de-prova foram mantidos em sala climatizada (temperatura= 20  $\pm$  1°C; umidade relativa= 90%) durante 24h. Em seguida efetuou-se a sua desmoldagem e realizou-se uma cura acelerada. Essa cura foi executada submergindo as barras em água a 80°C durante 24h. Tal temperatura foi atingida pelo aquecimento gradual da água durante 24h, evitando, assim, fissurações dos prismas devido ao choque térmico.

Após esse período efetuou-se a medição do comprimento das barras, que em seguida foram submersos em uma solução de 1N de hidróxido de sódio (NaOH) previamente aquecida a 80°C.

A ASTM C 1260 [4] classifica os agregados como deletérios quando, aos 16 dias de idade, as expansões médias dos prismas forem superiores a 0,20%. Se, aos 16 dias as expansões médias forem inferiores a 0,10%, conside-

ra-se que os agregados são inócuos. Contudo, quando as expansões estiverem entre 0,10% e 0,20%, aos 16 dias, os agregados poderão ou não reagir. Nesse caso, a norma recomenda que o ensaio estenda-se até as barras completarem 30 dias.

No entanto, no presente estudo, baseando-se em diversos trabalhos que constataram que alguns agregados podem ter um desencadeamento mais lento da reação, tais como Berubé et. al. [6], Wigun e French [7], Hasparyk [8], Shon et. al [9] e Andrade et. al [10], optou-se por manter na solução alcalina até completarem 30 dias todas as barras que tiveram expansões inferiores a 0,20% aos 16 dias, mesmo que nesse período os agregados pudessem ser classificados como inócuos.

## 4 Resultados e discussões

### 4.1 Análise mineralógica e petrográfica

Como mencionado anteriormente, para realização das descrições mineralógicas das amostras, as mesmas foram divididas em 5 grupos. De acordo com sua origem petrográfica, as amostras ficaram assim dispostas:

- Granitos: 14, 17, 24, 26, 27, 28 e 38;
- Riolitos: 12, 15, 25, 33, 34, 36 e 37;
- Basaltos: 06, 07, 08, 09, 10, 11, 20, 21, 22, 23, 31, 32, 35 e 39;

- Areias: 01, 02, 03, 04, 05, 16, 18, 19, 29 e 30;
- Gnaisse: 13.

#### Granitos

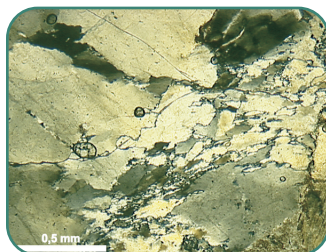
As amostras graníticas, de natureza ígnea, são constituídas basicamente por quartzo, K-feldspato e plagioclásio. Como são formadas pelo resfriamento lento do magma, essas rochas normalmente possuem minerais grandes e bem cristalizados. Tais características fazem com que concretos executados com rochas graníticas reativas demorem mais para desencadear a reação.

Por ser composto unicamente de silicatos, o principal agente desencadeador da RAA nos granitos é o mineral quartzo. Contudo, esse mineral somente será reativo se apresentar deformação do seu retículo cristalino, que pode ser avaliada através da sua extinção ondulante, ou se apresentar dimensão microcristalina.

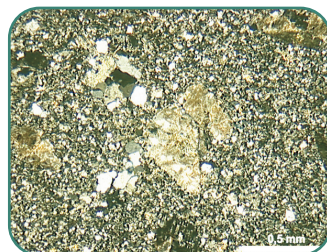
Com exceção da amostra 14, todas as amostras graníticas apresentaram quartzo bastante deformado. No entanto, foram observadas maiores quantidades desse mineral nas amostras 18, 26, 27 e 38. Dentre essas se destaca a amostra 38, em que a alteração do quartzo foi tão intensa que o mesmo chegou a apresentar dobramentos, conforme pode ser observado na Figura 2 (a).

Além da quantidade de quartzo presente, outro fator importante a ser considerado é o tamanho dos grãos. Entretanto, as amostras avaliadas apresentaram grãos com dimensões

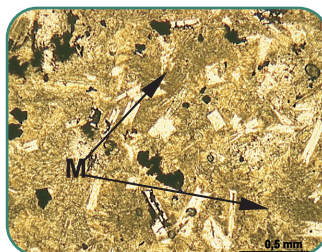
Figura 2 - Aspecto microscópico de algumas amostras de agregados avaliadas



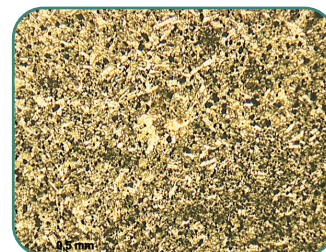
(a) Amostra 38: granito – quartzo com dobramentos. Aumento 5x, polarizador cruzado



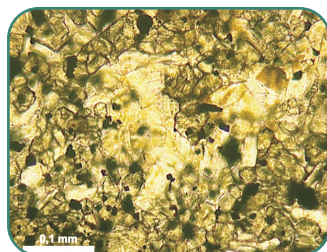
(b) Amostra 12: riolito – minerais muito finos. Aumento 5x, polarizador cruzado



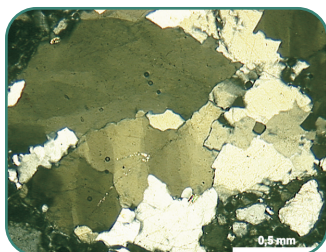
(c) Amostra 37: riolito – material silicoso amorfo disseminado entre os cristais (M). Aumento 5x, luz natural



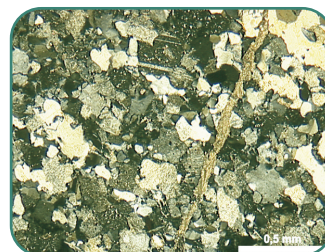
(d) Amostra 20: basalto – minerais muito finos. Aumento 5x, luz natural



(e) Amostra 20: basalto – mesóstase silicosa amorfa disseminada entre os grãos. Aumento 20x, luz polarizada



(f) Amostra 29: areia – grão de quartzo com intensa extinção ondulante, com a formação de sub-grãos. Ampliação 5x, luz polarizada



(g) Amostra 13: gnaisse – presença de quartzo em grande quantidade e veios de carbonatos. Ampliação 5x, luz polarizada

variadas, mas muito semelhantes. Dessa forma constatou-se que nenhum granito poderá ser considerado mais ou menos reativo em função do tamanho dos seus grãos.

Tem sido relatado na literatura que a presença de K-feldspatos pode contribuir para a elevação da alcalinidade dos poros do concreto e, assim, potencializar o desencadeamento da RAA, dentre esses estudos pode-se citar o trabalho de Van Aardt e Visser [11] e Constantiner e Diamond [12]. Contudo, dentre os granitos avaliados a incidência desses minerais foi praticamente idêntica em todas as amostras.

**Riolitos**

Os riolitos são rochas ígneas que se formam pelo resfriamento brusco do magma, mas possuem, basicamente, os mesmos minerais dos granitos (quartzo, K-feldspatos e plagioclásios). Porém, esses minerais são muito finos e há, ainda, a presença de mesóstase silicosa amorfa disseminada em sua matriz, a qual é altamente reativa do ponto de vista da reação álcali-sílica.

Também conhecida como vidro vulcânico, essa mesóstase foi observada em abundância, em quase todas as amostras riolíticas. As maiores quantidades foram notadas nas amostras 15, 33 e 37. Somente nas amostras 12 e 36 as mesóstases não foram observadas, porém, na amostra 12 o quartzo ocupa aproximadamente 60% da rocha.

Através da Figura 2 (b) pode-se observar o aspecto dos minerais da amostra 12, os quais são muito finos, e da Figura 2 (c), a mesóstase silicosa disseminada entre os demais cristais na amostra 37.

**Basaltos**

Assim como os riolitos, os basaltos também são rochas ígneas oriundas do resfriamento brusco do magma terrestre. Logo, possuem mesóstases amorfas distribuídas em sua matriz (vidro vulcânico).

Além das mesóstases, os basaltos avaliados também são constituídos por plagioclásios, piroxênios, argilominerais e minerais opacos.

No presente estudo, praticamente todas as amostras apresentam grande quantidade de material amorfo, entre 30 e 50%. No entanto, as maiores proporções foram observadas

nas amostras 06, 11, 20, 21 e 31. Dentre essas amostras destaca-se, ainda, a presença de micro-grãos de quartzo nas amostras 11 e 31.

A amostra 20 também chamou atenção, pois foi o agregado que apresentou os minerais mais finos (Figura 2 (d)), da ordem de 0,03mm. Essa característica faz com que a presença de mesóstase seja maior, já que a disseminação da mesma se torna mais intensa (Figura 2 (e)).

**Areias**

As areias são agregados largamente utilizados no concreto, sendo constituídas por minerais não consolidados, principalmente de quartzo. No entanto, além do quartzo, nas amostras analisadas verificou-se a presença de alguns raros grãos de feldspatos alcalinos e plagioclásicos.

O quartzo observado em todas as amostras de areias mostrou-se bastante deformado. Porém, nos agregados 18, 19 e 29 a deformação mostrou-se mais intensa. Além disso, na amostra 18 constatou-se a presença de quartzo microcristalino (30%). A Figura 2 (f) mostra um grão de quartzo da amostra 29 com intensa extinção ondulante, chegando a formar sub-grãos.

**Gnaisse**

Dentre as amostras coletadas para o estudo, uma tem origem metamórfica. Trata-se da amostra 13, um gnaisse.

Sua petrografia indicou que a rocha possui uma matriz muito fina, em que 50% dos minerais presentes são grãos de quartzo. A rocha apresenta ainda veios de carbonatos, o que poderia desencadear a reação álcali-carbonato.

Além de quartzo e carbonatos, a amostra é constituída por K-feldspatos, plagioclásios, cloritas e alguns raros grãos de granada. A Figura 2 (g) mostra o aspecto geral da amostra 13.

**4.2 Ensaio acelerado**

Após a realização do ensaio acelerado verificou-se que, de acordo com os critérios da ASTM C 1260 [4], nenhum dos agregados classifica-se como inócuo quando se utiliza o cimento CP II-Z 32.

Porém, observou-se que houve diferenças nas expansões

**Tabela 3 – Expansões médias dos granitos**

Número da amostra	Expansão (%)		Classificação
	16 dias	30 dias	
14	0,18	0,21	R
17	0,25	-	R
24	0,06	0,11	PR
26	0,14	0,19	PR
27	0,12	0,16	PR
28	0,12	0,15	PR
38	0,09	0,19	PR

R= reativa; PR= potencialmente reativa

**Tabela 4 – Expansões médias dos riolitos**

Número da amostra	Expansão (%)		Classificação
	16 dias	30 dias	
12	0,28	-	R
15	0,34	-	R
25	0,09	0,14	PR
33	0,17	0,36	R
34	0,10	0,22	R
36	0,13	0,21	R
37	0,31	-	R

R= reativa; PR= potencialmente reativa

**Tabela 5 – Expansões médias dos basaltos**

Número da amostra	Expansão (%)		Classificação
	16 dias	30 dias	
06	0,26	-	R
07	0,25	-	R
08	0,15	0,17	PR
09	0,33	-	R
10	0,28	-	R
11	0,69	-	R
20	0,57	-	R
21	0,18	0,25	R
22	0,33	-	R
23	0,12	0,19	PR
31	0,47	-	R
32	0,20	0,35	R
35	0,15	0,26	R
39	0,23	-	R

R= reativa; PR= potencialmente reativa

**Tabela 6 – Expansões médias das areias naturais**

Número da amostra	Expansão (%)		Classificação
	16 dias	30 dias	
01	0,10	0,17	PR
02	0,11	0,18	PR
03	0,16	0,29	R
04	0,17	0,18	PR
05	0,11	0,12	PR
16	0,21	-	R
18	0,20	0,20	R
19	0,24	-	R
29	0,20	0,24	R
30	0,19	0,27	R

R= reativa; PR= potencialmente reativa

**Tabela 7 – Expansão média do gnaisse**

Tipo de rocha	Número da amostra	Expansão (%)		Classificação
		16 dias	28 dias	
Gnaisse	13	0,18	0,20	R

R= reativa

de acordo com o tipo de agregado avaliado, ou seja, dependendo da origem petrográfica dos agregados estes poderão causar maiores, ou menores, expansões.

Observando-se as Tabelas 3, 4, 5, 6 e 7 verifica-se as ex-

pansões obtidas para cada tipo de rocha e sua respectiva classificação quanto a reatividade.

Analisando-se as expansões aos 30 dias, a partir da Tabela 3, nota-se que a maioria dos granitos (aproximadamente 70%) apresentaram-se na faixa intermediária da norma, classificando-os como potencialmente reativos.

Os riolitos, por sua vez, denotaram em expansões bem superiores aos granitos. Observando-se a Tabela 4 percebe-se que aproximadamente 86% das amostras riolíticas apresentaram expansões superiores a 0,20%, ou seja, foram classificadas como reativas aos 16 ou 30 dias.

Na Tabela 5 verifica-se que os basaltos, que são as rochas mais comumente empregadas como agregado graúdo no sul do Brasil, apresentaram as maiores expansões se comparados com os demais grupos de agregados avaliados. Assim como os riolitos, 86% dos basaltos foram classificados como reativos através de uma análise global.

Com relação às expansões das barras moldadas com as areias, observa-se, através da Tabela 6, que acabaram por classificar 60% das amostras como reativas.

O gnaisse avaliado também foi classificado como reativo aos álcalis, o que pode ser observado na Tabela 7.

A evolução das expansões de cada amostra pode ser observada através da Figura 03.

Comparando-se os gráficos expostos na Figura 3, nota-se que as curvas dos granitos (Figura 3 (a)) e das areias (Figura 3 (d)) denotaram em comportamentos semelhantes. O mesmo ocorreu entre os riolitos (Figura 3 (b)) e os basaltos (Figura 3 (c)).

Os comportamentos semelhantes entre granitos e areias, riolitos e basaltos, foram atribuídos aos agentes desencadeadores da reação desses agregados. Tanto nos granitos como nas areias a principal fonte de sílica reativa é o quartzo deformado. Já nos riolitos e nos basaltos a sílica presente está sob a forma de mesóstases amorfas, além disso, nos riolitos também há grãos bem cristalizados de quartzo que fazem parte de sua constituição, como também K-feldspatos.

De modo geral, notou-se que tanto as amostras moldadas com os granitos quanto as moldadas com as areias tiveram expansões mais lentas que os basaltos e os riolitos, ou seja, a maioria das amostras de granitos e de areias permaneceram na solução alcalina até completarem 30 dias. Isso evidencia que a presença das mesóstases silicosas amorfas nos basaltos e riolitos aumenta o potencial reativo dos agregados.

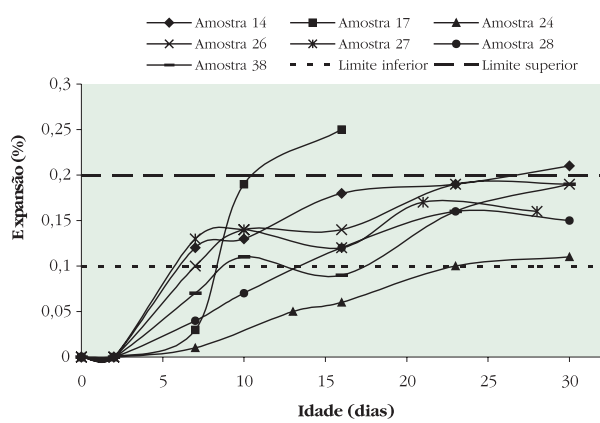
Para verificar se realmente há influência do tipo de agregado no desencadeamento da RAA, realizou-se a análise da variância (ANOVA) do tipo de agregado com relação às expansões obtidas.

Essa análise foi efetuada utilizando-se os agregados que apresentaram as maiores expansões de acordo com cada grupo, excluindo-se a amostra de gnaisse, já que somente um exemplar foi coletado.

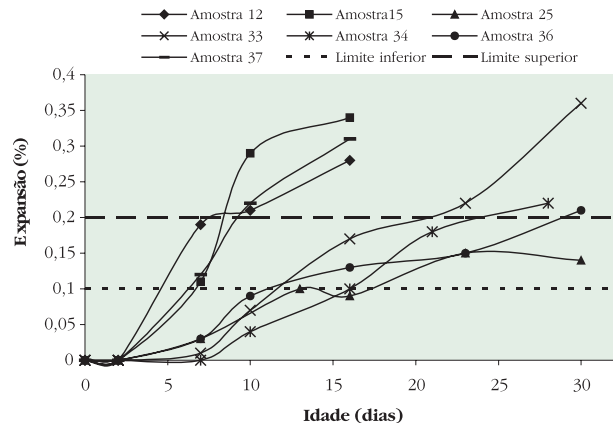
Dessa forma, os agregados selecionados para avaliação foram as seguintes:

- Granito: 17;
- Riolito: 33;
- Basalto: 11;
- Areia: 03.

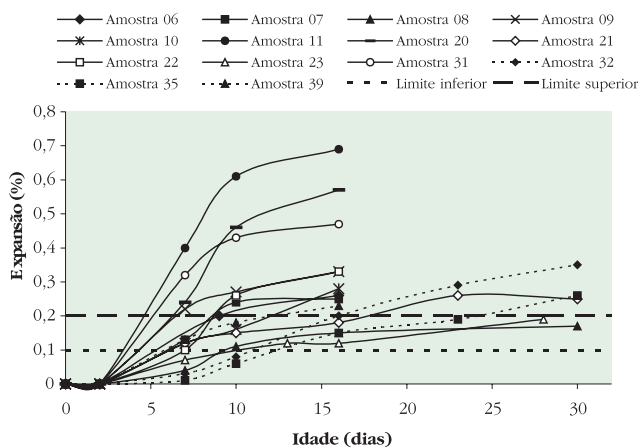
Figura 3 - Expansões dos agregados avaliados de acordo com sua origem petrográfica



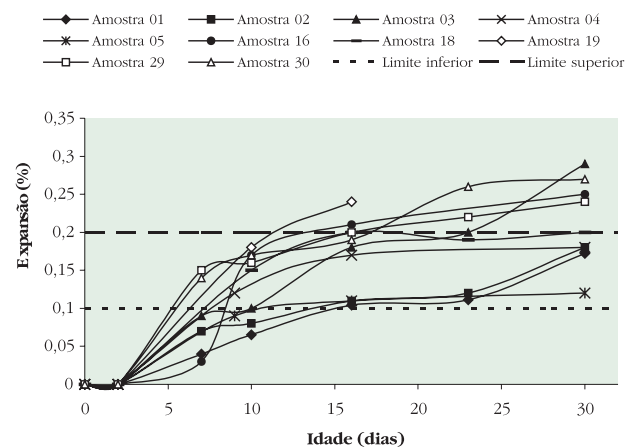
(a) Granitos



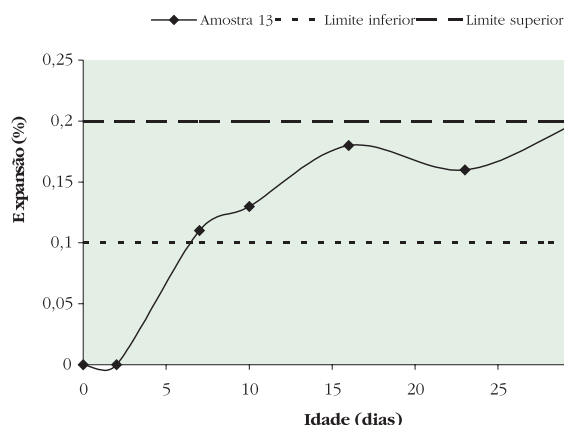
(b) Riolitos



(c) Basaltos



(d) Areias



(e) Gnaisse

Através da Tabela 8, que mostra os dados obtidos da análise da variância, verificam-se quais foram os efeitos que realmente influenciaram nas expansões. Salienta-se que

o efeito é considerado significativo quando o valor-p for menor que 0,05.

Analisando-se os resultados obtidos com a ANOVA nota-se

**Tabela 8 – Análise da variância das expansões de acordo com o tipo de agregado**

Fator	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Média quadrada	Teste F	Valor-p	Significância
1	0,250117	3	0,83372	481,7829	0,000014	significativo
Erro 1	0,000692	4	0,000173			
2	0,001208	1	0,001208	4,631942	0,164279	não-significativo
Erro 2	0,000522	2	0,000261			
3	0,053343	1	0,053343	625,7127	0,001594	significativo
Erro 3	0,000171	2	0,000085			

1= relação entre granito, riolito, basalto e areia; 2= relação entre granito e areia; 3= relação entre riolito e basalto.

Teste F= média quadrada do grupo/média quadrada do erro; Valor p= probabilidade de distribuição t de Student.

que o tipo de agregado exerce uma influência significativa para maior ou menor expansão.

Entretanto, como já se esperava, entre os granitos e as areias essa influência não é determinante, ou seja, as expansões entre esses agregados foram semelhantes. Assim, fica evidente que o quartzo deformado, presente nos granitos e nas areias resulta em expansões da mesma ordem, não importando qual desses agregados for utilizado.

Em contrapartida, quando se comparam as expansões dos riolitos e dos basaltos verifica-se que o efeito do agregado utilizado é significativo. Isso indica que mesmo que nos dois tipos de agregados haja a presença de mesóstases silicosas amorfas, os efeitos dessa constituição álcali-reativa não foram idênticos em ambos os tipos de rochas.

Esse comportamento pode ser justificado em função da presença de quartzo nos riolitos, pois com relação às proporções de mesóstases dos dois tipos de rochas, não foram observadas diferenças.

Outra possibilidade que poderia ser levantada refere-se às proporções de K-feldspatos presentes nos riolitos e nos basaltos, já que alguns autores têm avaliado a possibilidade de liberação de álcalis dos K-feldspatos na solução do

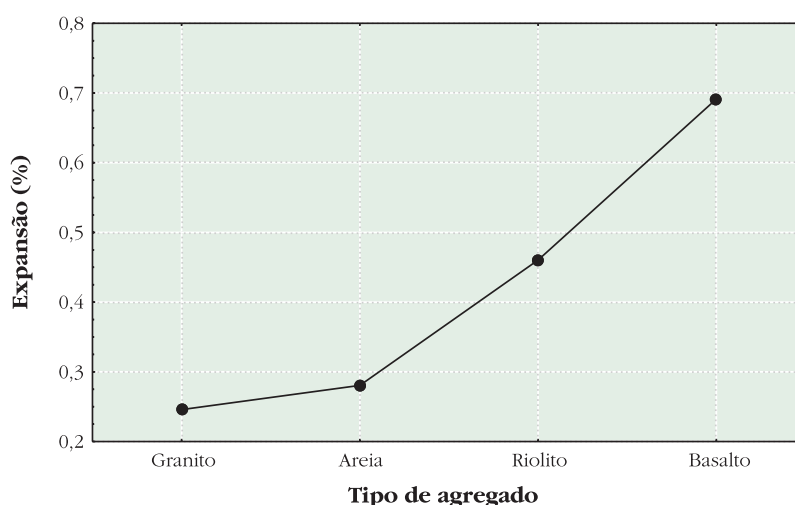
concreto, o que acabaria por aumentar a potencialidade de desencadeamento de RAA [11, 12]. Porém, como se trata de um ensaio acelerado, em que altas proporções de álcalis são adicionadas à solução em que as barras são imersas, pensa-se que esse efeito não tenha influenciado mais na expansão de um ou outro tipo de agregado.

Plotando-se o gráfico da Figura 4, com as expansões médias dos agregados aos 16 dias, pode-se avaliar a influência do tipo de agregado nas expansões.

Avaliando-se o gráfico da Figura 4, observa-se que enquanto as expansões dos granitos e das areias foram da ordem de 0,25 a 0,27%, para o riolito foi de 0,47% e para o basalto de 0,69%.

Um fator bastante importante que também deve ser considerado é a granulação muito fina dos riolitos e dos basaltos se comparados com os granitos e as areias (Figura 2). Decorrente do seu processo de formação, a finura dos minerais aumenta a quantidade de sílica existente, o que, por sua vez, aumenta a potencialidade reativa do agregado.

Por fim, ao se comparar os resultados obtidos entre a análise petrográfica e o ensaio acelerado, verificou-se que os agregados que denotaram comportamento mais expansi-

**Figura 4 – Influência do tipo de agregado nas expansões**



vo nas barras de argamassa possuíam maiores proporções de sílica deformada (granitos e areias) ou amorfa (riolitos e basaltos), sendo as mesóstases sempre presentes nas condições de maior expansibilidade.

### 5 Conclusões

Ao final desse estudo, baseando-se nos resultados obtidos com as análises realizadas em laboratório, verificou-se que nenhuma amostra de agregado coletada para análise pode ser considerada inócua aos álcalis. Isso significa que os agregados mais utilizados para confecção de concreto na região sul do Brasil podem desencadear a RAA.

Relacionando-se a influência da origem petrográfica dos agregados avaliados com as expansões obtidas no ensaio acelerado concluiu-se que:

- Há influência da mineralogia do agregado para maiores ou menores expansões;
- Os agregados graníticos e as areias possuem como principal mineral potencialmente reativo o quartzo deformado. Por esse motivo as expansões das barras moldadas com esses agregados foram semelhantes no decorrer do tempo, o que significa que entre granitos e areias não é significativa a influência do tipo de agregado utilizado;
- As barras moldadas com riolitos e basaltos, de modo geral, denotaram em expansões maiores que os granitos, areias e gnaiss. Esse comportamento foi atribuído à presença de mesóstases silicosas amorfas nesses agregados, que são oriundas do rápido resfriamento do magma no seu processo de formação. Além disso, a granulação muito fina dos minerais constituintes dos riolitos e dos basaltos aumenta a proporção de constituições potencialmente reativas em sua matriz;
- Os basaltos, que são as rochas mais utilizadas como agregado graúdo no sul do Brasil, foram os que mais expandiram ensaio acelerado;
- Quando identificada a presença de quartzo deformado nos granitos e areias e de mesóstases silicosas amorfas nos riolitos e basaltos tem-se um forte indicativo que esses agregados são potencialmente reativos.

Finalmente, pode-se concluir que as rochas que vêm sendo utilizadas como agregados em concretos no sul do Brasil são potencialmente reativas, mesmo que o cimento utilizado seja o CP II-Z 32, que possui aproximadamente 15% de adições pozolânicas. Como se sabe, as adições pozolânicas são eficazes no combate à RAA, entretanto, o teor utilizado nesse cimento não se mostrou capaz de inibi-la.

Contudo, a definição quanto à reatividade de um agregado não deve ser exclusivamente baseada em ensaios de laboratório, mas também nas condições de uso desses materiais em função do tipo de estrutura em que serão empregados e da sua inserção no ambiente, considerando-se aspectos relacionados com umidade, presença de agentes agressivos, entre outros.

### 6 Agradecimentos

À Companhia de Cimentos Itambé e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo incentivo e apoio a esta pesquisa.

### 7 Referências bibliográficas

- [01] VALDUGA, L. Reação álcali-agregado mapeamento de agregados reativos do Estado de São Paulo. 2002. 213f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- [02] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Cimento Portland Composto. - NBR 11578, Rio de Janeiro, 1991.
- [03] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS- American Society For Testing and Materials. ASTM C-595/06: Standard specification for blended hydraulic cements. Philadelphia, 1998. Section 4 (Construction), v. 14.02 (Cement), p. 6.
- [04] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDAS - American Society For Testing and Materials. ASTM C-1260/01: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method). Philadelphia, 2001. Section 4 (Construction), v.04.02 (Concrete and Aggregates), p. 4.
- [05] ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDAS - American Society For Testing and Materials ASTM C-295/03: Standard for guide of aggregates for concrete. Philadelphia, 1990. Section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and Aggregates), p. 8.
- [06] BERUBÉ, M. A.; DUCHESE, J.; CHOUINARD, D. Why the accelerated mortar bar method ASTM C 1260 is release for evaluating the effectiveness of supplementary cement materials in suppressing expansion due to alkali-silica reaction. Cement, concrete, and aggregates, v. 17, n. 1, p. 26-34, 1995.
- [07] WIGUN, B. J.; FRENCH, W. J. Sequential examination of slowly expanding alkali-reactive aggregates in accelerated mortar bar testing. Magazine of Concrete Research, v. 48, n. 177, p. 281-292, 1996
- [08] HASPARYK, N. P. Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado: efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa. 1999. 257f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiás, Goiânia.
- [09] SHON, C. S.; ZOLLINGER, D. G.; SARKAR, S. L. SHON. Evaluation of modified ASTM C 1260 accelerated mortar bar test for alkali-silica reactivity. Cement and Concrete Research, v. 32, p. 1981-1987, 2002.

- [10] ANDRADE, T.; SILVA, J. J. R.; HASPARYK, N. P.; SILVA, C. M. Investigação do potencial de reatividade para o desenvolvimento de RAA dos agregados miúdos e graúdos comercializados na região metropolitana de Recife. In: II Simpósio sobre reação alkali-agregado em estruturas de concreto, 2006. Rio de Janeiro. *Anais...Rio de Janeiro: IBRACON*, 2006.
- [11] VAN AARDT, J. H. P.; VISSER, S. Calcium hydroxide attack on feldspars and clays: possible relevance to cement-aggregate reactions. *Cement and Concrete Research*, v. 7, n. 6, p. 643-648, 1977.
- [12] CONSTANTINER, D.; DIAMOND, S. Alkali release from feldspars into pore solutions. *Cement and Concrete Research*, v. 33, p. 549-554, 2003.