

**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO DE AGREGADOS DO SUL DO BRASIL
QUANDO SE ALTERA O CIMENTO UTILIZADO**

Francieli Tiecher

Porto Alegre
fevereiro 2006

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

FRANCIELI TIECHER

**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO DE AGREGADOS DO SUL DO BRASIL
QUANDO SE ALTERA O CIMENTO UTILIZADO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do Sul,
como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em
Engenharia na modalidade Acadêmico

Porto Alegre
fevereiro 2006

T429r Tiecher, Francieli

Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado / Francieli Tiecher. – 2006.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Escola de Engenharia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Porto Alegre, RS-BR, 2006.

Orientação da Prof.a Dra. Denise Carpena Coitinho Dal Molin.

1. Concreto – Ensaios. 2. Materiais de construção – Agregados. 3. Construção civil. I Dal Molin, Denise Carpena Coitinho, orient. II. Título.

CDU–691.32(043)

FRANCIELI TIECHER

**REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO: AVALIAÇÃO DO
COMPORTAMENTO DE ROCHAS DO SUL DO BRASIL
QUANDO SE ALTERA O CIMENTO UTILIZADO**

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada adequada para a obtenção do título de MESTRE
EM ENGENHARIA e aprovada em sua forma final pelo professor orientador e pelo
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Rio Grande do
Sul.

Porto Alegre, 20 de fevereiro de 2006

Prof.a. Denise Carpena Coitinho Dal Molin
Dra. pela Universidade de São Paulo
Orientadora

Prof. Dr. Fernando Schnaid
Coordenador do PPGEC/UFRGS

BANCA EXAMINADORA

Nicole Pagan Hasparyk (FURNAS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.a Angela Borges Masuero (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Prof.a Márcia Boscatto Gomes (UFRGS)
Dra. pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Dedico este trabalho ao meu pai, José Valdemar, aos meus irmãos, Liege, Andréia e Gustavo, e ao meu noivo, Vinícius. Dedico também à minha mãe, Inês, que do plano espiritual acompanhou e guiou meus passos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar quero agradecer a Deus pela minha vida e pela oportunidade que me foi dada de evoluir e me aperfeiçoar neste plano terreno.

Agradeço ao meu pai, José Valdemar, por ter estado sempre presente em todos os momentos, mesmo quando estivemos distantes fisicamente. Por ter apoiado as minhas escolhas e ajudado para que conseguisse realizá-las, abrindo mão das suas prioridades em favor das minhas. Pai: MUITO OBRIGADA, te amo muito!

À Liege e à Andréia, minhas irmãs queridas, que além de irmãs foram um pouco mães. Agradeço por terem me aconselhado nos momentos certos, terem ouvido minhas confissões, minhas angústias, meus desabafos e terem enxugado minhas lágrimas. Eu amo muito vocês.

Ao meu tão amado irmão Gustavo, que com seu jeito fechado esteve sempre me ajudando a suportar as derrotas e vibrando comigo nas minhas conquistas. Meu melhor amigo, meu confidente, tão inteligente e querido. Gustavo, eu te amo muito.

Agradeço ao Vini, o grande amor da minha vida, por ter estado ao meu lado, pelo carinho recebido, por ter acreditado em mim e ter colocado sonhos nos meus pensamentos, por ser sempre tão otimista e compreensivo...por ter me encontrado. Amo você.

Quero fazer um agradecimento especial à minha orientadora, professora Denise Dal Molin, que tem a capacidade de solucionar problemas que parecem insolúveis. Pela sua calma, pela paz que transmite, mesmo tendo um milhão de coisas pra fazer. Eu costumo dizer “se você está angustiado, achando que não vai conseguir, fale com a Denise”, pois ela é uma pessoa que transmite uma energia muito positiva. Muito obrigada Denise!

Agradeço à professora Márcia pela imprescindível ajuda nas análises petrográficas, além da amizade e carinho. E aos professores do NORIE, Ângela, Bonin, Carin, Formoso e Sattler.

À Lucília e à Simone, minhas amigonas, que trabalharam comigo, que me ajudaram a entender tantas coisas, não somente sobre a pesquisa, mas também sobre a vida. Ao Cristiano pela ajuda que foi fundamental para realização dos ensaios, como também ao Felipe e a Marina. Obrigada a todos, vocês moram no meu coração.

Agradeço a Luciana, minha orientadora na graduação, que sempre me incentivou a continuar pesquisando, que se tornou minha amiga, que está sempre se preocupando comigo, que tanto me ajudou e ajuda em tantas coisas.

À Adriana, por ter inspirado o tema da dissertação, por ser tão solícita e amiga, pelas milhares de dúvidas que solucionou.

Aos colegas da minha turma por todas as risadas, companheirismo e amizade: Alana, Bortolazza, Carol Mendes, Carol Faccioli, Cristiano, Eugênia, Diego, Ismael, Marcus, Nauíra, e em especial à Sheila, ao Paulo e ao Rodrigo.

Aos demais amigos do NORIE: Adriana, Aguida, Alexandre, Ana Paula, Airton, Bernardo, Biloca, Cris Pauletti, Cris Moura, Daniel, Dóris, Ederson, Edna, Elaine, Fabrício, Fernanda baiana, Fernanda red, Fábio, Geilma, Helenize, Luiz Carlos, Márcia, Marcos, Maria Tereza, Marlova, Maurício, Natália, Patrícia, Sandra, Simone (secretária) e Valcir. Agradeço também o apoio das parceiras no tema RAA, Aline e Laila.

Agradeço ao pessoal da UPF, professores Mário, Pandolfo e Thomé, aos funcionários e amigos Leunir e Jussara, aos colegas, Aline, Chico, Denis, Juliana, Simone e Taís.

Aos meus cunhados, os quais considero irmãos, Édio e Ernesto, pelo apoio, carinho e amizade. Ao meu amorzinho, Bruno, meu sobrinho e afilhado, tão querido, que foi capaz de alegrar muitos momentos de angústia.

Ao Ricardo e à Zuza pela confiança, apoio e incentivo. Muito obrigada!

À Lenise, minha melhor amiga, tão querida...nossa amizade ultrapassa as distâncias e o tempo. Pessoa com quem dividi uma fase muito importante da minha vida, e que esteve sempre torcendo por mim. Te amo, Lê.

Agradeço à CAPES, pelo auxílio financeiro que possibilitou a minha total dedicação aos estudos, e à Cia. de Cimento Itambé, pelo fornecimento de todos os materiais utilizados nessa pesquisa.

Enfim, agradeço a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma para que eu chegasse até aqui. Valeu!!!

Os ignorantes que acham que sabem tudo, privam-se de
um dos maiores prazeres da vida: aprender.
Gustavo de Assis

RESUMO

TIECHER, F. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

A reação química que ocorre entre os hidróxidos alcalinos presentes nos poros do concreto e alguns minerais constituintes dos agregados tem causado sérios danos às estruturas. Até o presente momento a prevenção é a melhor forma de evitar que a reação se desencadeie, uma vez que as soluções remediativas ainda necessitam de estudos mais aprofundados para serem implementadas. Neste sentido, a utilização de adições pozolânicas no concreto tem se mostrado uma alternativa eficaz, sendo que a forma mais fácil de empregá-las é através do uso de cimentos compostos com adições. Porém, são poucos os estudos encontrados avaliando a capacidade desses cimentos na prevenção da reação. No Brasil, além dessa lacuna de conhecimento, faltam informações sobre a reatividade dos agregados utilizados no concreto. Então, o presente estudo avaliou a reatividade dos agregados mais utilizados para confecção de concreto nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul frente à utilização de quatro tipos de cimento: CP V-ARI, CP V-ARI RS, CP IV e CP II-Z. Os métodos utilizados para essa avaliação foram a análise petrográfica, o ensaio acelerado das barras de argamassa, a microscopia eletrônica de varredura e a espectrometria por dispersão de energia. Os resultados da análise petrográfica mostraram que todos os 40 agregados coletados possuem minerais reativos. As expansões medidas no ensaio acelerado acabaram por confirmar a potencialidade reativa desses minerais, pois todas as amostras moldadas com o CP V-ARI, o CP V-ARI RS e o CP II-Z foram classificadas como reativas ou potencialmente reativas, isto é, somente o CP IV foi eficaz para inibir as expansões deletérias. Por outro lado, as análises microscópicas mostraram que mesmo nos prismas menos expansivos houve a formação do gel sílico-alcalino, porém este ficou incluso nos poros da argamassa. Outra conclusão percebida foi a de que as maiores expansões ocorreram com os agregados de origem ígnea vulcânica, principalmente com os basaltos, que além de serem constituídos por minerais muito finos, apresentam em sua matriz mesóstases silicosas amorfas, também conhecidas como vidro vulcânico.

Palavras-chave: reação álcali-agregado; tipo de cimento; reatividade dos agregados.

ABSTRACT

TIECHER, F. **Reação álcali-agregado: avaliação do comportamento de agregados do sul do Brasil quando se altera o cimento utilizado.** 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2006.

Alkali-aggregate reaction: evaluation on the behavior of the aggregates from southern region of Brazil when different types of Portland cements are applied

The chemical reaction that occurs between alkali hydroxides contained in concrete pores and some minerals contained in aggregates has been causing serious hazards to concrete structures. So far, prevention is the best way to avoid the occurrence of this reaction, once the solutions to repair the damage still need deeper researches to be implemented. Therefore, the use of Portland cements containing pozzolanic admixtures to produce has been an effective alternative. But there are few researches on the capability of those prevent reaction to occur. In Brazil, besides the lack of knowledge, there is little information about the reactivity of the aggregates applied in concrete production. So this research aimed to evaluate the reactivity of the most used aggregate to produce concrete in the states of Parana, Santa Catarina, and Rio Grande do Sul by testing four different types of cements as described: CP V-ARI, CP V-ARI RS, CP IV and CP II-Z. The methods applied to carry out this evaluation were the petrography analysis, the accelerated mortar bar test, scanning electron microscopy, and the dispersive energy spectrometry. The results obtained showed that all the forty aggregate samples collected have reactive minerals in their composition. The measured expansions during the accelerated test confirmed the reactive potentiality of these minerals, because all samples obtained from the CP V-ARI, CP V-ARI RS, and CP IV were classified as being reactive or potentially reactive, which means that CP IV was the only one capable of inhibit the hazardous expansion. On the other hand, the microscopic analyses showed, even in the less expansive prisms, that the formation of silica-alkaline gel has occurred, but this gel has remained in the pores of the mortar. Another conclusion of this research was that larger expansions occurred with the aggregates from volcanic igneous origin, especially basalts that, besides contained very fine minerals, presented in its matrix amorphous silica, also known as volcanic glass.

Key-words: alkali-aggregate reaction, type of cement, reactivity of aggregates.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	12
LISTA DE TABELAS	15
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	17
1 INTRODUÇÃO	20
1.1 CONTEXTO DA PESQUISA	22
1.2 JUSTIFICATIVA	24
1.3 OBJETIVOS	26
1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	27
2 REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	28
2.1 MECANISMOS DE EXPANSÃO	19
2.2 TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	33
2.2.1 Reação álcali-sílica	34
2.2.2 Reação álcali-silicato	35
2.2.3 Reação álcali-carbonato	37
2.3 O PAPEL DOS ENSAIOS NA AVALIAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	40
3 PRINCIPAIS FATORES INTERVENIENTES NA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO	44
3.1 ALCALINIDADE DO CONCRETO	44
3.2 AGREGADOS	48
3.2.1 Minerais constituintes	48
3.2.2 Características dos agregados	52
3.3 ADIÇÕES E ADITIVOS	56
3.3.1 Adições minerais	56
3.3.2 Aditivos químicos	61
3.4 UMIDADE E TEMPERATURA AMBIENTE	63
3.5 OUTROS FATORES INTERVENIENTES	65
4 PROGRAMA EXPERIMENTAL	69
4.1 MATERIAIS	71
4.1.1 Cimento	71
4.1.2 Agregados	74
4.1.3 Água	78
4.2 MÉTODOS	78
4.2.1 Análise petrográfica	78
4.2.2 Método acelerado das barras de argamassa	79
4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de energia dispersiva de raios-x (EDS)	83
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	86
5.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA	86
5.1.1 Rochas ígneas	87

5.1.1.1	Rochas ígneas plutônicas	87
5.1.1.2	Rochas ígneas vulcânicas	92
5.1.2	Rochas sedimentares e sedimentos não consolidados	100
5.1.3	Rochas metamórficas	104
5.2	ENSAIO ACELERADO EM BARRAS DE ARGAMASSA	106
5.2.1	Comparação entre os diferentes tipos de cimentos avaliados no ensaio acelerado	115
5.2.1.1	Avaliação do efeito das adições pozolânicas dos cimentos nas expansões	122
5.2.1.2	Avaliação do efeito do teor de álcalis dos cimentos nas expansões	124
5.2.1.3	Avaliação do efeito da porosidade dos corpos-de-prova nas expansões	127
5.3	MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) COM MICROANÁLISE DE ESPECTOMETRIA POR DISPERSÃO EM ENERGIA (EDS)	129
5.4	COMPARAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS REALIZADOS	138
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	143
6.1	CONCLUSÕES	143
6.1.1	Agregados	143
6.1.2	Cimentos	144
6.1.3	Morfologia e composição química dos produtos oriundos da reação álcali-agregado	145
6.1.4	Correlações entre a petrografia dos agregados, as expansões do ensaio acelerado e os produtos da reação	146
6.1.5	As técnicas de análise	147
6.1.6	Conclusões gerais	147
6.2	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	148
	REFERÊNCIAS	149
	APÊNDICE A – Imagens obtidas com a análise petrográfica dos agregados em microscópio óptico	156
	APÊNDICE B – Composição química dos minerais observados na análise petrográfica dos agregados estudados	161
	APÊNDICE C – Resultados das leituras das expansões dos prismas moldados para o ensaio acelerado da ASTM C 1260/01 com todas as amostras de agregados e todos os cimentos	163
	APÊNDICE D – Composições químicas obtidas através de análise por EDS dos produtos da reação álcali-agregado	177

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1:	manifestações patológicas resultantes da reação álcali-agregado no concreto	21
Figura 2.1:	ataque das hidroxilas à sílica	29
Figura 2.2:	distribuição de íons conforme o modelo da dupla camada difusa	32
Figura 2.3:	diagramas esquemáticos das etapas da reação álcali-sílica	35
Figura 2.4:	esquema mostrando as etapas da reação álcali-carbonato	39
Figura 2.5:	imagens dos produtos oriundos da reação álcali-carbonato, obtidas através de microscopia eletrônica de varredura por elétrons retroespalhados - início da redução do volume sólido	40
Figura 3.1:	relação entre o consumo de cimento no concreto e o equivalente alcalino do cimento	46
Figura 3.2:	concentração alcalina na solução dos poros do concreto em função do tempo	47
Figura 3.3:	influência do tamanho do agregado na expansão do concreto	53
Figura 3.4:	influência da forma dos grãos nas expansões do ensaio acelerado	54
Figura 3.5:	expansão conforme a incorporação de sílica ativa	57
Figura 3.6:	diagrama esquemático da diferença da área de contato entre as partículas de sílica ativa	58
Figura 3.7:	relação entre porcentagem de metacaulim e a concentração de hidróxidos alcalinos no tempo	60
Figura 3.8:	imagem da morfologia do gel álcali-silicático na presença de cloreto de cálcio, cloreto de lítio e acetona, obtida em microscopia de transmissão de raios-x moles	62
Figura 3.9:	relação entre a expansão decorrente da RAA e o ganho de massa no concreto	64
Figura 3.10:	gel incluso no poro da matriz cimentícia	67
Figura 3.11:	influência do teor de ar incorporado nas expansões do concreto confeccionado com agregado reativo	67
Figura 4.1:	primeira parte do programa experimental	70
Figura 4.2:	segunda parte do programa experimental	71
Figura 4.3:	locais de coleta dos agregados na Região Sul do Brasil	74
Figura 4.4:	identificação dos pontos de coleta no Paraná	75
Figura 4.5:	identificação dos pontos de coleta em Santa Catarina	76
Figura 4.6:	identificação dos pontos de coleta no Rio Grande do Sul	77
Figura 4.7:	seqüência do ensaio acelerado	82
Figura 5.1:	localização das rochas ígneas plutônicas avaliadas	88
Figura 5.2:	Amostra 25 - aspecto microscópico de um granito constituído por quartzo (Q), plagioclásio (Fp) e feldspato alcalino (Fal). Ampliação 5x – polarizador cruzado	88
Figura 5.3:	rochas graníticas apresentando grãos de quartzo bastante deformados	89

Figura 5.4:	feldspatos presentes nas rochas graníticas	90
Figura 5.5:	localização das rochas ígneas vulcânicas avaliadas	92
Figura 5.6:	Amostra 35 - aspecto microscópico de um riolito constituído por quartzo (Q), plagioclásio (Fp), feldspato alcalino (Fal), piroxênio (P), minerais opacos (O) e mesóstase (M). Ampliação 20x – polarizador cruzado	93
Figura 5.7:	características de amostras riolíticas	94
Figura 5.8:	presença de piroxênios em amostras riolíticas	95
Figura 5.9:	Amostra 32 - aspecto microscópico de um basalto constituído por plagioclásio (Fp), piroxênio (P), minerais opacos (O) e mesóstase (M). Ampliação 5x – luz natural	97
Figura 5.10:	características de amostras basálticas	97
Figura 5.11:	Amostra 22 - aspecto microscópico da argila verde (AV), e da argila marrom (AM). Ampliação 20x – luz natural	98
Figura 5.12:	localização das rochas sedimentares e das areias de rio	101
Figura 5.13:	Amostra 15 – matriz carbonática com veios de carbonatos. Ampliação 5x – luz polarizada	102
Figura 5.14:	características das areias de rio	103
Figura 5.15:	localização da rocha metamórfica	105
Figura 5.16:	Amostra 13 – aspecto microscópico – presença de quartzo (Q), plagioclásio (Fp), clorita (Cl) e veios de carbonatos (C). Ampliação 5x – polarizador cruzado	105
Figura 5.17:	aspecto dos prismas moldados com o CP V-ARI após o ensaio acelerado ...	108
Figura 5.18:	aspecto dos prismas moldados com o CP V-ARI RS após o ensaio acelerado	110
Figura 5.19:	aspecto dos prismas moldados com o CP IV após o ensaio acelerado	112
Figura 5.20:	aspecto dos prismas moldados com o CP II-Z após o ensaio acelerado	114
Figura 5.21:	expansão das Amostras 01 e 02 no ensaio acelerado	116
Figura 5.22:	expansão das Amostras 03 e 04 no ensaio acelerado	116
Figura 5.23:	expansão das Amostras 05 e 06 no ensaio acelerado	116
Figura 5.24:	expansão das Amostras 07 e 08 no ensaio acelerado	117
Figura 5.25:	expansão das Amostras 09 e 10 no ensaio acelerado	117
Figura 5.26:	expansão das Amostras 11 e 12 no ensaio acelerado	117
Figura 5.27:	expansão das Amostras 13 e 14 no ensaio acelerado	118
Figura 5.28:	expansão das Amostras 16 e 17 no ensaio acelerado	118
Figura 5.29:	expansão das Amostras 18 e 19 no ensaio acelerado	118
Figura 5.30:	expansão das Amostras 20 e 21 no ensaio acelerado	119
Figura 5.31:	expansão das Amostras 22 e 23 no ensaio acelerado	119
Figura 5.32:	expansão das Amostras 24 e 25 no ensaio acelerado	119
Figura 5.33:	expansão das Amostras 26 e 27 no ensaio acelerado	120
Figura 5.34:	expansão das Amostras 28 e 29 no ensaio acelerado	120
Figura 5.35:	expansão das Amostras 30 e 31 no ensaio acelerado	120
Figura 5.36:	expansão das Amostras 32 e 33 no ensaio acelerado	121
Figura 5.37:	expansão das Amostras 34 e 35 no ensaio acelerado	121

Figura 5.38:	expansão das Amostras 36 e 37 no ensaio acelerado	121
Figura 5.39:	expansão das Amostras 38 e 39 no ensaio acelerado	122
Figura 5.40:	expansão da Amostra 40 no ensaio acelerado	122
Figura 5.41:	influência isolada do tipo de cimento nas expansões	124
Figura 5.42:	relação entre o tipo de cimento e o equivalente alcalino das pastas de cimento e as expansões médias dos prismas	127
Figura 5.43:	prisma moldado com amostra de grãos ásperos e angulosos	128
Figura 5.44:	imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 27 e os 04 tipos de cimentos	130
Figura 5.45:	imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 38 e os 04 tipos de cimentos	132
Figura 5.46:	imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 11 e os 04 tipos de cimentos	134
Figura 5.47:	imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 30 e os 04 tipos de cimentos	136
Figura 5.48:	imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 13 e os 04 tipos de cimentos	137
Figura 5.49:	efeito da interação entre o tipo de cimento e o tipo de agregado nas expansões do ensaio acelerado	141

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1:	ocorrência de casos de reação álcali-agregado	23
Tabela 3.1:	índice de reatividade potencial (IRP)	55
Tabela 4.1:	composição dos cimentos mais utilizados no Brasil	72
Tabela 4.2:	características químicas dos cimentos utilizados	73
Tabela 4.3:	características físicas dos cimentos utilizados	73
Tabela 4.4:	características mecânicas dos cimentos utilizados	73
Tabela 4.5:	amostras de agregados do Paraná	75
Tabela 4.6:	amostras de agregados de Santa Catarina	76
Tabela 4.7:	amostras de agregados do Rio Grande do Sul	77
Tabela 4.8:	frações granulométricas dos agregados para o ensaio da ASTM C 1260/01	80
Tabela 5.1:	resumo das principais características dos granitos avaliados	91
Tabela 5.2:	resumo das principais características dos riolitos avaliados	95
Tabela 5.3:	resumo das principais características dos basaltos avaliados	99
Tabela 5.4:	resumo das principais características das areias de rio avaliadas	103
Tabela 5.5:	expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP V-ARI	107
Tabela 5.6:	expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP V-ARI RS	109
Tabela 5.7:	expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP IV	111
Tabela 5.8:	expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP II-Z	113
Tabela 5.9:	análise da variância da influência do tipo de cimento nas expansões do ensaio acelerado	123
Tabela 5.10:	composição química das pastas de cimento e equivalentes alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) dos cimentos	126
Tabela 5.11:	composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 27 e os 04 cimentos	131
Tabela 5.12:	composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 38 e os 04 cimentos	133
Tabela 5.13:	composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 11 e os 04 cimentos	135
Tabela 5.14:	composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 30 e os 04 cimentos	137

Tabela 5.15: composição química média do gel sílico-alcálico encontrado nos prismas moldados com a Amostra 13 e os 04 cimentos	138
Tabela 5.16: comparativo entre a fase mineralógica reativa e as expansões do ensaio acelerado dos agregados estudados	139
Tabela 5.17: análise da variância da influência dos resultados de expansão	141

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

$(O_4)^{3-}$: fosfatos

μm : micro metro (10^6 metros)

1M: um molar

Al_2O_3 : óxido de alumínio

AlCl_3 : cloreto de alumínio

ANOVA: Análise de Variância

A-S-H: silicato aluminoso hidratado

ASTM: American Society for Testing and Materials

Ba^{+2} : cátion bário

C_3A : aluminato tricálcico

$\text{Ca}(\text{OH})_2$: hidróxido de cálcio

Ca/Si: relação cálcio sílica

Ca^{2+} : cátion cálcio

CaCl_2 : cloreto de cálcio

CaCO_3 : carbonato de cálcio

$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$: calcário dolomítico

CaO: óxido de cálcio

CH_3COCH_3 : acetona

CO_3^{-2} : carbonato

CP II-E: cimento Portland composto com adição escória

CP II-F: cimento Portland composto com adição de fíler

CP III: cimento Portland de alto-forno

CP II-Z: cimento Portland composto com adição pozolânica

CP IV: cimento Portland pozolânico

CP V-ARI: cimento Portland de alta resistência inicial

CP V-ARI RS: cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos

CSA: Canadian Standards Association

C-S-H: silicato de cálcio hidratado

EDS: energy dispersive x- ray detector

Fe₂O₃ óxido de ferro

K⁺: cátion potássio

K₂O: óxido de potássio

KCl: cloreto de sódio

K-feldspato: feldspato alcalino

kg: kilograma

KOH: hidróxido de potássio

Li⁺: cátion lítio

LiCl: cloreto de lítio

LiNO₃: nitrato de lítio

LiOH: hidróxido de lítio

m³: metro cúbico

MEV: microscopia eletrônica de varredura

Mg(OH)₂: brucita

Mg⁺²: cátion magnésio

MgCl₂: cloreto de magnésio

MgO: óxido de magnésio

MPa: mega Pascal

N: Newton

Na⁺: cátion sódio

Na₂O: óxido de sódio

Na₂O_{eq}= equivalente alcalino

NaCl: cloreto de sódio

NaCO₃: carbonato de sódio

NaOH: hidróxido de sódio

NBR: Norma Brasileira Regulamentada

NBRI: National Building Reaserch Institute

NO₃: nitrato

NORIE: Núcleo Orientado para Inovação das Edificações

OH⁻: ânion hidróxido

pH: potencial de hidrogênio

PR: Paraná

Quant.: quantidade

RAA: reação álcali-agregado

RILEM: Reunion Internationale de Laboratoires D'essais et Materiaux

RS: Rio Grande do Sul

SC: Santa Catarina

SiO₂: sílica

SiOH: hidróxido de silício

Si-O-Si: ligações do grupo siloxano

SO₃: óxido de enxofre

SO₄: sulfatos

Tam.: tamanho

UFRGS: Universidade Federal do Rio Grande do Sul

WO₄: wolfratos

1 INTRODUÇÃO

Por ser um material de construção largamente utilizado em todo o mundo, o concreto está sujeito a situações distintas, de acordo com o ambiente em que está inserido e com seus materiais constituintes. Essas interações do concreto com o meio podem resultar no aparecimento de manifestações patológicas, as quais interferem na durabilidade das estruturas e, conseqüentemente, na sua vida útil.

Nos últimos anos a deterioração das estruturas de concreto tem se agravado, evidenciando a importância do conhecimento, principalmente por parte do meio técnico, dos efeitos que levam a sua deterioração. De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 121), existem efeitos físicos e químicos que influenciam para a redução da durabilidade das estruturas de concreto. Segundo os autores, as causas físicas e químicas estão intimamente relacionadas e reforçam-se mutuamente, fazendo com que freqüentemente seja impossível separar a causa e o efeito da manifestação patológica.

Um dos fenômenos físico-químicos que resulta no comprometimento da durabilidade do concreto é a reação álcali-agregado. Trata-se de uma reação lenta que ocorre entre íons alcalinos, normalmente provenientes do cimento, e alguns minerais reativos, presentes nos agregados. O produto dessa reação é um gel expansivo em contato com a água. Tal expansão pode gerar tensões internas de tração no concreto, que normalmente resultam na fissuração das estruturas.

De acordo com Paulon (1981, p. 64-68), a reação álcali-agregado evidencia-se a partir do aparecimento de fissuras “em mapa” nas superfícies expostas do concreto, descoloração do concreto adjacente à fissura, bem como o fechamento de juntas de dilatação, deslocamento de elementos estruturais e, em alguns casos, exudação de gel sílico-alcalino de cor esbranquiçada na superfície do concreto.

Grande parte das evidências da reação álcali-agregado relatadas envolvem obras hidráulicas, principalmente barragens, já que para que a reação ocorra é necessário que a solução alcalina nos poros do concreto consiga fazer a dissolução de alguns minerais presentes nos agregados.

Logo, qualquer estrutura de concreto que contenha agregado reativo e que esteja exposta à umidade pode sofrer essa reação e manifestar os problemas dela decorrentes.

A Figura 1.1 mostra alguns exemplos das manifestações patológicas decorrentes da reação álcali-agregado em estruturas de concreto.



fonte: ACRES (2005)

a) Fissuração mapeada e exudação de gel em barragem nos Estados Unidos



fonte: ACRES (2005)

b) Fissuração e exudação de gel em barragem nos Estados Unidos



fonte: PERSONAL (2005)

c) Fissuração mapeada da estrutura de uma ponte na Austrália



fonte: MSLEXPERS (2005)

d) Fissuração em pé de pilar da estrutura de um viaduto na China

Figura 1.1: manifestações patológicas resultantes da reação álcali-agregado no concreto

Os danos causados pela reação álcali-agregado são irreversíveis, ou seja, uma vez que a reação seja iniciada não há como contê-la. Por isso, de acordo com Ventura (2004), em entrevista para ABEAS, no meio técnico essa reação é conhecida como “Aids do concreto”. Sabe-se que os tratamentos com aditivos químicos à base de lítio trazem um efeito benéfico às estruturas afetadas. Contudo, o mecanismo de atuação desses aditivos não está claro, fazendo com que haja receio no meio técnico quanto a sua utilização nas estruturas afetadas.

Neste sentido, Paulon (1981, p. 104) afirma que quando se deseja utilizar um agregado é imprescindível a identificação da sua potencialidade reativa num curto espaço de tempo, para que possam ser tomadas as medidas preventivas necessárias.

O modo mais fácil de se evitar a reação álcali-agregado seria a escolha de um agregado não reativo. Porém essa alternativa nem sempre é possível, em função dos custos envolvidos com o transporte, principalmente em obras de grande porte. Então, a adoção de adições pozolânicas (que reagem com os hidróxidos solúveis das reações de hidratação do cimento), de cimentos com baixos teores de álcalis ou mesmo cimentos pozolânicos, são soluções viáveis para minimizar a reação expansiva.

Com o intuito de estudar tanto os agregados como os cimentos utilizados no concreto sujeito à reação álcali-agregado, o presente trabalho tem o objetivo de investigar a potencialidade reativa de agregados do sul do Brasil e avaliar seu comportamento frente à utilização de quatro tipos de cimento com diferentes teores de adições.

1.1 CONTEXTO DA PESQUISA

A reação álcali-agregado passou a ser estudada em 1930, quando inexplicáveis fissurações, expansões e eflorescências começaram a aparecer em estruturas de concreto na Califórnia. Um engenheiro civil americano chamado Stanton observou que corpos-de-prova de argamassa, moldados com a mesma areia e cimento das estruturas afetadas, apresentavam sintomas semelhantes. Baseado em análises de laboratório, o pesquisador (em 1940) constatou que esse fenômeno era resultante de reações químicas entre os álcalis presentes no cimento e a sílica proveniente da areia que era utilizada no concreto. Através de seus ensaios, Stanton verificou que ao limitar o equivalente alcalino do cimento em 0,60% a reação não ocorria. Então, em 1941, a US Bureau of Reclamation limitou em 0,60%, em massa, o teor de álcalis do cimento, a fim de minimizar o risco de fissurações (HOBBS, 1988, p. 2-3).

Com o passar do tempo inúmeros outros casos de reação álcali-agregado foram sendo observados em todo o mundo, principalmente em estruturas localizadas em ambientes úmidos, sendo comum em barragens, pontes, estacas e estruturas marinhas.

A Tabela 1.1 apresenta os casos registrados no mundo da reação álcali-agregado em estruturas hidráulicas construídas até 1998. Nota-se que dos 142 casos registrados, 20 são do Brasil.

Tabela 1.1: ocorrência de casos de reação álcali-agregado

País	Nº de Casos	País	Nº de Casos	País	Nº de Casos
África do Sul	10	Estados Unidos	29	País de Gales	05
Argentina	01	França	05	Paquistão	02
Austrália	02	Ghana	01	Portugal	04
Áustria	01	Índia	02	Quênia	01
Brasil	20	Inglaterra	01	Romênia	01
Canadá	41	Moçambique	01	Suíça	01
Costa do Marfim	01	Nigéria	01	Uganda	01
Espanha	03	Noruega	07	Zâmbia	01

(Fonte: KIHARA et al., 1998)

Até pouco tempo atrás a preocupação do meio técnico com a reação álcali-agregado se dava somente em estruturas de barragens, isso porque essas estruturas constituíam quase que a totalidade de evidências da reação. Contudo, muitos outros problemas têm surgido, em pontes e viadutos, rodovias e, o mais preocupante atualmente, em edifícios.

A constatação mais recente no Brasil de reação álcali-agregado em estruturas de edifícios ocorreu em 2004, em Pernambuco, no edifício Areia Branca. Além desse prédio, outros dois também comprovadamente apresentam o problema, sendo que há a suspeita, sem comprovação, em diversos (VILLAÇA, 2005). De acordo com Villaça (2005), em função da reação sempre ter sido detectada em grandes barragens, pensava-se que ela acometia somente grandes maciços de concreto, então, nunca se avaliaram os agregados a serem utilizados em blocos menores, como nas fundações de edifícios - caso ocorrido no edifício Areia Branca.

Essa constatação é alarmante, já que os agregados e o cimento utilizados nas edificações que apresentam a reação em Pernambuco é o mesmo de muitas outras. Isso significa que problemas sem precedentes podem começar a surgir num futuro muito próximo, não só em Pernambuco como também em outras regiões do Brasil.

Então, por se tratar de um fenômeno em que as soluções paliativas ainda não são bem entendidas para serem adotadas, somente a prevenção pode evitar o surgimento das fissurações. Em consequência disso, muitos trabalhos vêm sendo publicados com o intuito de intervir preventivamente para que o problema não ocorra.

Avaliar a influência do uso de adições pozolânicas para inibir a reação, ou mesmo de aditivos químicos à base de lítio incorporados ao concreto, são os temas mais recorrentes nas publicações encontradas. Para exemplificar, entre inúmeros trabalhos observados, cita-se os trabalhos de Hasparyk, Monteiro e Carasek (2000, p. 486- 492), que verificaram o efeito da sílica ativa e da cinza de casca de arroz na redução dos efeitos deletérios da reação álcali-agregado; Gruber et al. (2001, p. 479-484), que estudaram o uso de metacaulim para a inibição da reação; Ramlochan, Thomas e Gruber (2000, p. 1341-1356) que investigaram aspectos microestruturais da expansão de argamassas quando utilizadas pozolanas e escórias; Juenger e Ostertag (2004, p. 1389-1402), que avaliaram a influência de partículas grandes de sílica ativa no aumento da reação; Collins et al. (2004, p. 1403-1415), que examinaram o efeito dos aditivos químicos à base de lítio; e Hasparyk (2005, p. 126-142) que avaliou a utilização do lítio para prevenção e inibição da reação em concretos já afetados pela reação álcali-agregado.

Além desses estudos, muitos trabalhos de análise dos agregados também são encontrados, dentre eles pode-se mencionar o estudo de Monteiro et al. (2001, p. 179-183), que estudaram o efeito da deformação dos agregados na reação com os álcalis; Valduga (2002, p. 46-158) que avaliou a potencialidade reativa dos agregados do estado de São Paulo; Constantiner e Diamond (2003, p. 549-554), que avaliaram a reação entre os álcalis e os minerais feldspáticos; e Broekmans (2004, p. 129-140), que verificou as propriedades estruturais do quartzo e sua influência na reação.

A motivação desse estudo vem do interesse em verificar a potencialidade reativa de agregados do sul do Brasil, bem como de conhecer o comportamento dos mesmos frente à utilização de diferentes tipos de cimento, em função do teor de álcalis e das adições neles presentes.

1.2 JUSTIFICATIVA

O teor de álcalis do concreto está diretamente relacionado com as adições nele presente, tais como a cinza volante e a escória. Isso ocorre porque essas adições reagem com os produtos solúveis oriundos da hidratação do cimento. No entanto, de acordo com Hobbs (1988, p. 103), o uso de adições pode provocar, ao invés de prevenir, a reação álcali-agregado. Logo, testes com os materiais específicos que serão utilizados no concreto são necessários, para que seja adotada a proporção adequada dessas adições.

A adoção de um cimento mais apropriado poderia evitar o desencadeamento das expansões provenientes da reação álcali-agregado, mesmo porque a adoção de adições pozolânicas diretamente no concreto ainda não é uma prática comum no meio técnico. Salvo em algumas obras especiais (barragens, por exemplo), esses materiais até o presente momento não são utilizados em obras civis.

Por outro lado, há no mercado uma série de cimentos que possuem em sua composição materiais pozolânicos, porém, ainda são necessários estudos mais aprofundados com relação à sua capacidade de evitar o desencadeamento da reação álcali-agregado. Com exceção dos cimentos utilizados em barragens, a maioria das análises relacionadas à reação tem como foco principal a avaliação do teor de álcalis neles contido, e não o teor de adições. Um exemplo que pode ser citado é o trabalho de realizado por Roy et al. (2003, p. 2-10), no qual verificou-se que os cimentos com maior teor de potássio resultam em maiores expansões, embora o sódio também contribua para a formação do gel.

Então, buscando-se avaliar a influência do tipo de cimento na reação álcali-agregado, uma das metas desse trabalho foi verificar a influência de quatro tipos de cimento frente à reação, escolhidos de acordo com os teores de adições presentes (CP V-ARI, CP V-ARI RS, CP IV e CP II-Z).

Desde 1940, quando se iniciaram as pesquisas sobre a reação álcali-agregado, muito tem se estudado com o intuito de controlar as suas manifestações patológicas resultantes. Entretanto, várias soluções para prevenir o problema são questionadas pelo meio técnico. Neste sentido, Diamond (1997, p. 391-400) discute alguns paradoxos a respeito da reação, ou seja, aspectos que não são consenso entre os pesquisadores, dentre eles pode-se citar as controvérsias a respeito das quantidades ótimas de sílica ativa a serem utilizadas, bem como sua granulometria para que não acabem por potencializar a reação e as discussões sobre os tratamentos a base de lítio com o intuito de interromper a reação.

Mesmo com várias contestações por parte do meio técnico com relação à reação álcali-agregado, há acordo entre os estudiosos quanto à necessidade de que a solução alcalina dos poros do concreto consiga fazer a dissolução de alguns minerais presentes nos agregados para que a reação ocorra. Esses minerais possuem características especiais, que estão vinculadas à sua granulação, textura, cristalinidade, estrutura, fase mineralógica e alterações geológicas sofridas. Logo, a avaliação dos agregados com o propósito de verificar a sua potencialidade

reativa mostra-se um estudo importante, mesmo porque as soluções preventivas ainda são o melhor meio de evitar os danos causados pela reação álcali-agregado.

Para se ter idéia da importância de conhecer a reatividade dos agregados cita-se o estudo realizado por Valduga (2002, p. 46-158). A autora avaliou a potencialidade reativa de agregados do Estado de São Paulo, concluindo que aproximadamente 60% das 36 amostras coletadas são potencialmente reativas.

Isso significa que, ao contrário do que se pensava até pouco tempo atrás, os agregados nem sempre são materiais inertes dentro do concreto, supondo-se até mesmo que manifestações patológicas decorrentes da reação álcali-agregado possam estar sendo diagnosticadas equivocadamente com relação à sua origem.

Neste sentido, o trabalho efetuado por Valduga (2002) foi o único que buscou mapear agregados reativos brasileiros, mais precisamente do Estado de São Paulo. No entanto, ainda pouco se sabe sobre o comportamento das rochas do restante do país com relação a essa reação deletéria.

Em função disso, esta pesquisa busca avaliar a reatividade de minerais presentes em diferentes tipos de agregados da região sul do Brasil (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) e, além disso, deseja-se verificar o comportamento desses minerais quando se altera o cimento utilizado, buscando-se entender melhor a influência de diferentes tipos de cimentos, de acordo com sua composição química, na reação álcali-agregado.

1.3 OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo principal verificar a potencialidade reativa de amostras de agregados (areias e rochas) do sul do Brasil (estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul) frente à utilização de quatro tipos de cimento Portland: CPV ARI, CPV ARI-RS, CP IV e CPII-Z. A partir do objetivo geral pode-se citar os seguintes objetivos secundários:

- a) Identificar os minerais reativos presentes nos agregados através da análise petrográfica dos mesmos (ASTM C 295/99);
- b) Avaliar o grau de reatividade dos minerais presentes nos agregados, valendo-se do método acelerado prescrito pela ASTM C 1260/01;

- c) Observar a morfologia dos produtos oriundos da reação álcali-agregado nos prismas moldados para o ensaio acelerado através de microscopia eletrônica de varredura (MEV);
- d) Efetuar análises de espectrometria por energia dispersiva (EDS) nas amostras observadas em MEV, buscando identificar as alterações na composição química dos produtos oriundos das diferentes combinações de rochas e cimentos;
- e) Verificar as diferenças petrográficas existentes em agregados com distintos graus de reatividade;
- f) Avaliar a influência do tipo de cimento no desencadeamento e desenvolvimento da reação álcali-agregado;
- g) Comparar as diferentes metodologias de ensaio utilizadas.

1.4 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O trabalho está estruturado em seis capítulos. Neste primeiro capítulo – “INTRODUÇÃO” – são feitas considerações iniciais a respeito da pesquisa, identificando o contexto do tema escolhido, as justificativas da escolha e os objetivos do trabalho.

No capítulo 2 – “A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO” – são abordados os mecanismos de expansão e os diferentes tipos de reação álcali-agregado.

Em – “PRINCIPAIS FATORES INTERVENIENTES NA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO”, capítulo 3 – contempla-se a influência da alcalinidade do concreto, dos agregados e seus minerais constituintes, do uso de adições minerais e de aditivos químicos, bem como outros fatores intervenientes, como a relação água/cimento, a temperatura e o estado de carregamento da estrutura.

No capítulo 4 – “PROGRAMA EXPERIMENTAL” – aborda-se a caracterização dos materiais necessários à realização da pesquisa, bem como o planejamento dos experimentos e os métodos utilizados.

O capítulo 5 – “RESULTADOS E DISCUSSÕES” – apresenta os resultados obtidos nos ensaios, as análises e discussões dos mesmos.

As considerações finais e sugestões para trabalhos futuros são apresentadas no capítulo 6 – “CONSIDERAÇÕES FINAIS”.

2 A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A reação álcali-agregado (RAA) é a reação química entre os hidróxidos alcalinos (provenientes do cimento, da água de amassamento, de aditivos químicos, de adições pozolânicas, entre outros.) e alguns tipos de minerais presentes nos agregados, sendo que, de acordo com os minerais envolvidos, a RAA subdivide-se em reação álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato.

O produto da reação álcali-sílica e álcali-silicato constitui-se num gel sílico-alcalino capaz de expandir em contato com a água. Essa expansão leva ao aparecimento de fissuração mapeada e, algumas vezes, ao deslocamento de peças estruturais. Outra manifestação comum a esse tipo de reação é a exsudação do gel na superfície do concreto.

Na reação álcali-carbonato não há formação do gel alcalino, entretanto, a fissuração mapeada e o deslocamento de elementos da estrutura também são as principais evidências da reação.

A possibilidade de ocorrência da RAA está condicionada à interação entre a quantidade de álcalis disponíveis, a potencialidade reativa dos agregados e a presença de umidade junto à estrutura, sendo que, a partir da constatação dessa manifestação patológica no concreto, somente medidas paliativas podem ser tomadas para minimizar os danos resultantes, já que não se conhece uma forma de eliminá-la. Além disso, uma vez desencadeada a reação, ainda não é possível prever quanto tempo será necessário para que ela cesse.

O perfeito entendimento do mecanismo de expansão do gel poderia ajudar a solucionar esses problemas e, conseqüentemente, encontrar soluções mais eficazes que pudessem ser adotadas após o início da reação.

Almejando tais soluções vários autores vêm estudando os mecanismos de expansão da RAA, tais como Hansen (1940), Vivian (1952), Van Aardt e Visser (1977), Dent Glasser e Kataoka (1981), Deng e Tang (1993), Prezzi, Monteiro e Sposito (1997), Hasparyk (2005) entre outros. Entretanto, apesar das muitas controvérsias sobre o assunto, o que tudo indica é que com o passar do tempo os resultados obtidos estão se aproximando do comportamento real de expansão do gel.

2.1 MECANISMOS DE EXPANSÃO

A RAA é um processo que envolve íons alcalinos, principalmente o sódio (Na^+) e o potássio (K^+), derivados de frações argilosas (argila ou xisto) provenientes do cimento (que é a principal fonte de álcalis no concreto), íons hidroxilas (OH^-) e certos minerais que compõem os agregados.

Um dos minerais que mais causa deterioração devido à RAA é a sílica amorfa. Em função disso, os mecanismos de expansão relatados neste item dizem respeito à reação álcali-sílica.

Dent Glasser e Kataoka (1981, p. 1-9) estudaram a química da RAA e a representaram de duas formas, a primeira quando o ataque dos íons hidroxilas (oriundos da reação de hidratação do cimento) se dá na superfície bem cristalizada da sílica e, a segunda, quando a sílica é amorfa, conforme a Figura 2.1.

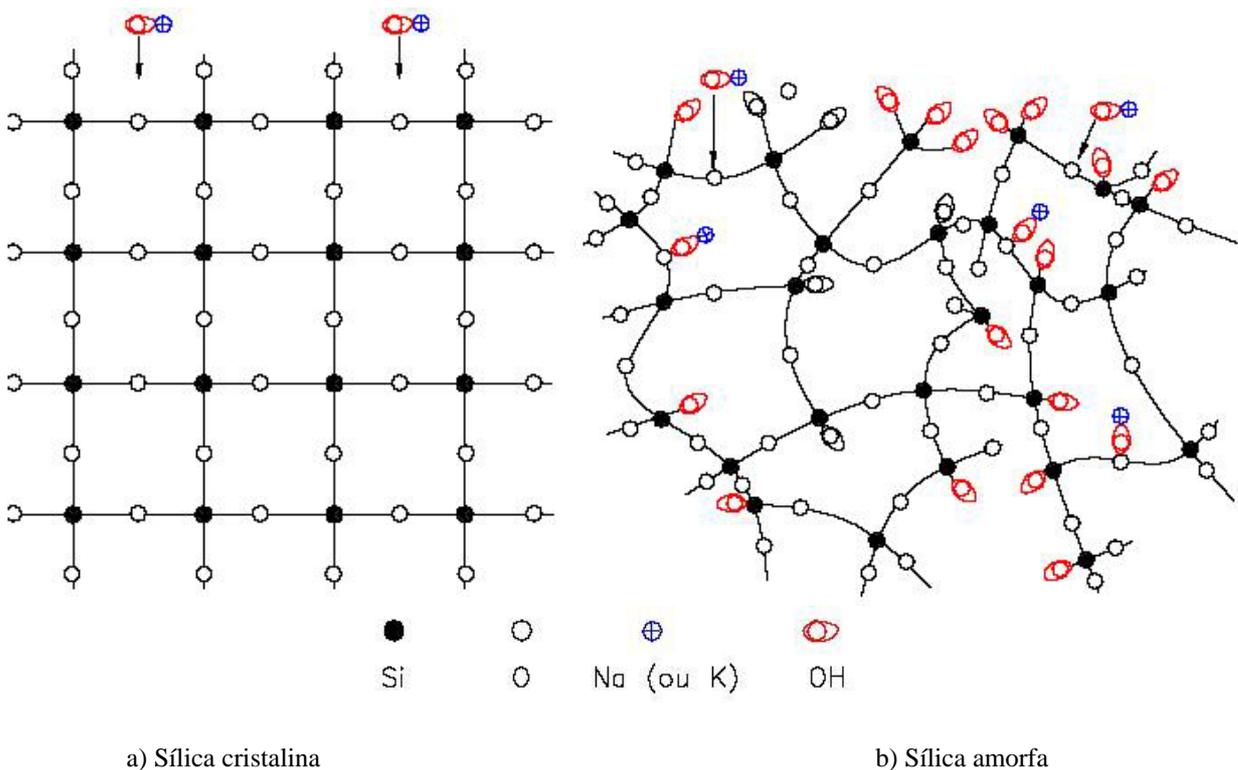


Figura 2.1: ataque das hidroxilas à sílica (DENT GLASSER;
KATAOKA, 1981, p. 2)

Observando-se a Figura 2.1 (a), nota-se que quando a sílica é bem cristalizada o ataque dos íons hidroxilas se dá somente na superfície externa, sendo que esse processo é muito lento, e poucos íons de sílica passam para a fase fluida. Na Figura 2.1 (b), observa-se que a sílica

pouco cristalina permite a penetração generalizada dos íons hidroxila e dos íons alcalinos (Na^+ ou K^+), o que acaba por romper as ligações do sistema Si-O-Si, resultando numa estrutura polieletrólítica contendo álcalis, o gel da RAA (DENT GLASSER; KATAOKA, 1981, p. 2).

Após o estágio inicial de hidratação do cimento, a solução dos poros começa a ficar alcalina e os íons hidróxidos atacam os agregados reativos, causando sua dissolução. A sílica reage com o hidróxido de cálcio e produz uma despolimerização adicional do silicato de cálcio hidratado, C-S-H (reação pozolânica). Uma vez que a cal se esgota, a sílica é liberada através da reação do agregado com o C-S-H e essa sílica livre aumenta o silicato alcalino hidratado, A-S-H (HOU; STRUBLE; KIRKPATRICK, 2004, p. 1683-1696). Análises realizadas por diversos autores, através de várias técnicas, mostraram que o A-S-H tem composição química muito parecida com o C-S-H (WANG, 1990, p.17; HASPARYK, 1999, p. 184-185 SILVEIRA, 2001, p. 31).

De acordo com Glasser (1992, p. 48), o gel alcalino formado absorve água. A água absorvida provoca uma pressão interna e conseqüente expansão e fissuração do concreto, além de solubilizar parcialmente o gel, fazendo com que haja percolação de íons alcalinos.

A solubilidade do gel formado depende de sua mobilidade do interior do agregado para regiões microfissuradas do próprio agregado e do concreto. As microfissuras atingem a superfície externa de acordo com a disponibilidade de água junto ao concreto (MEHTA; MONTEIRO, 1994, p. 163).

Shayan e Quick (1991, p. 156) enfatizam a importância, num segundo momento, da formação da etringita no processo de deterioração do concreto devido à RAA. Em ensaios realizados com concretos e argamassas expostos a diversas condições de umidade e temperatura, os autores observaram, através de microscopia eletrônica, espectometria por energia dispersiva e difração de raios-x, que primeiramente formam-se os produtos oriundos da RAA (gel álcali-silicoso), subseqüentemente, as amostras mostraram a formação de etringita e fissuração na zona de transição.

Investigando o papel do cálcio na RAA, Dent Glasser e Kataoka (1982, p. 330) verificaram que quando o gel está localizado na solução de hidróxido de cálcio, há uma queda imediata nos álcalis e nos OH^- devido à absorção e reação com a sílica. Se houver um fornecimento limitado de cálcio, os íons Ca^{2+} diminuem imediatamente devido à absorção da sílica e

precipitação do C-S-H. De acordo com Wang e Gillot (1991, p. 664), a presença de hidróxido de cálcio agrava a reação, e aumenta a expansão. Duas funções são exercidas pelo Ca(OH)_2 , primeiramente esse composto mantém o alto pH, isto é, a alta concentração de OH^- na solução dos poros. Após, o Ca^{2+} pode ser trocado por íons alcalinos e os álcalis convertidos podem produzir o gel expansivo álcali-silicoso.

Na verdade o mecanismo de expansão do gel formado pela RAA ainda não está claro. Não se sabe exatamente como a composição química do gel se modifica durante a reação e como esta composição afeta a capacidade do gel expandir (PREZZI; MONTEIRO; SPOSITO, 1997, p. 10). Segundo Silveira (2001, p. 28), as teorias mais difundidas sobre os mecanismos de expansão são as de Hansen (1940), Vivian (1952) e Prezzi, Monteiro e Sposito (1997).

De acordo com Hobbs (1988, p. 20), Hansen propôs a teoria da pressão osmótica, na qual assume-se que a pasta de cimento age como uma membrana impermeável aos íons de sílica, mas permite a passagem de água e dos hidróxidos alcalinos. Nessas condições, a reação exerce um aumento na pressão, gerando expansão e fissuração da pasta de cimento, sendo que a difusão de água pelos poros acelera a reação.

Segundo essa teoria, os íons alcalinos do cimento dissolvem-se na água de amassamento do concreto e com a hidratação do cimento a concentração da solução aumenta, tornando-se básica e atacando as partículas de agregado reativo. O produto é um gel que atrai as moléculas aquosas que provocam sua expansão (FURNAS, 1997, p. 5).

Vivian criticou a teoria da pressão osmótica afirmando que, se fosse verdadeira, ao iniciar a fissuração a membrana impermeável romperia, dissipando a pressão de expansão e todos os produtos da reação ao longo das fissuras (HOBBS, 1988, p. 20).

Então, Vivian (1952, apud SILVEIRA, 2001, p. 28) explicou o mecanismo de expansão assegurando que o aumento de volume do gel dependerá da sua taxa de crescimento, concentração volumétrica e propriedades físicas. Quando a expansão é pequena, a pressão interna gerada é dissipada pela migração do gel. Contudo, se a expansão é alta, a pressão interna cresce a ponto de causar fissurações.

No mecanismo proposto por Prezzi (1995, p. 26-27) a expansão do gel foi descrita baseando-se no conceito da dupla camada, de acordo com a teoria de Gouy-Chapman (que tem sido utilizada para explicar as características de floculação, defloculação, inchamento e contração

de argilas). Segundo essa teoria, o gel de sílica é formado por partículas muito pequenas que se aproximam, mas nunca atingem o tamanho de uma molécula. Na superfície da sílica amorfa existem íons de oxigênio com ligações incompletas, que permitem uma troca iônica com os íons alcalinos adsorvidos por forças eletrostáticas à superfície da sílica (semelhante à reação ácido-base), conforme ilustrado esquematicamente na Figura 2.2.

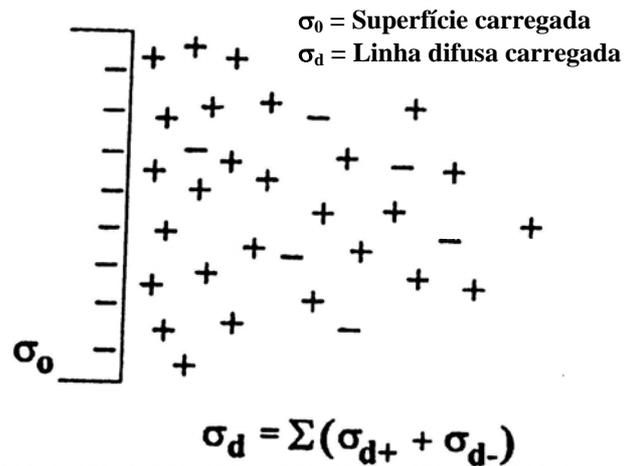


Figura 2.2: distribuição de íons conforme o modelo da dupla camada difusa (PREZZI; MONTEIRO; SPOSITO 1997, p. 12)

De acordo com Prezzi, Monteiro e Sposito (1997, p. 13-14), os sólidos podem desenvolver carga elétrica por adsorção de íons. Quando um sólido entra em contato com um líquido a interface sólido-líquido eletrifica-se, o que acaba alterando as propriedades dos materiais. Na reação álcali-sílica ocorre a interação entre a sílica presente no agregado (possuindo a superfície altamente carregada negativamente) e a solução alcalina dos poros do concreto. Essa interação leva à formação de uma dupla camada elétrica (composta por íons alcalinos: Na^+ , K^+ e Ca^{++}) localizada na superfície da sílica para neutralizar sua carga negativa. A sílica então é constantemente dissolvida e, dependendo da continuidade do fluido nos poros, os íons ficam difusos nas áreas afetadas. Com o tempo o resultado desse processo é o aumento da concentração de íons, enquanto a dupla camada aumenta de volume e a repulsão de forças diminui. O gel formado, desde que não entre em contato com a água, não causa prejuízo. Entretanto, é provável que ele se forme primeiramente em locais parcialmente saturados, fazendo com que ocorra o aumento de volume e a absorção cada vez maior da água disponível, levando a uma pressão expansiva no concreto.

O mecanismo proposto por Prezzi, Monteiro e Sposito tem grande vinculação com a relação cálcio/sílica (Ca/Si), que vem sendo estudada por diversos autores, tais como Hansen (1944,

p. 213-227), Dent Glasser e Kataoka (1981, p. 321-331), Wang (1990, p.296-299), Glasser (1992, p. 50-51), entre outros.

Glasser (1992, p. 50-51) descreve que a superfície eletricamente carregada do C-S-H depende da relação Ca/Si. Quando o valor dessa relação for alto a superfície do C-S-H fica carregada positivamente, atraindo ânions. Com uma relação Ca/Si reduzida, a superfície carregada tende a se neutralizar e, eventualmente, ficar negativa. Carregada negativamente essa superfície aumenta a difusão dos cátions, especialmente os álcalis (Na^+ e K^+).

Apesar dos vários mecanismos de expansão propostos, cabe salientar que tanto os mecanismos como a velocidade de expansão variam de acordo com os minerais envolvidos na RAA, ou seja, de acordo com o tipo de reação (álcali-sílica, álcali-silicato ou álcali-carbonato).

2.2 TIPOS DE REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

De acordo com a literatura, a RAA possui três classificações básicas, em função da composição mineralógica dos agregados constituintes do concreto (GILLOTT, 1975, p. 303-326; PAULON, 1981, p. 8-26; HOBBS, 1988, p. 1-2; FURNAS, 1997, p. 4, etc.):

- a) Reação álcali-sílica;
- b) Reação álcali-silicato;
- c) Reação álcali-carbonato.

Essas classificações buscam agrupar os minerais reativos de acordo com o mecanismo de expansão deles resultante, o que acaba por facilitar a adoção de medidas preventivas para evitar o desencadeamento da RAA.

A reação álcali-sílica e álcali-silicato não possuem diferenças evidentes entre si com relação ao mecanismo de expansão, o que as difere basicamente é a complexidade e a velocidade com que ocorrem. No entanto, os ensaios para identificação da potencialidade reativa dos agregados e as medidas preventivas adotadas no concreto para minimizar os efeitos deletérios da RAA, tais como o uso de adições minerais, são idênticos para os dois tipos de reação.

A reação álcali-carbonato é um pouco mais complexa, já que ainda não existem formas bem claras de preveni-la, a não ser descartar o uso de agregados dolomíticos reativos em concretos sujeitos à RAA (DENG; TANG, 1993, p. 1406).

2.2.1 Reação álcali-sílica

A reação álcali-sílica é mais comum do que a reação álcali-silicato e álcali-carbonato, sendo universalmente considerada como a reação entre os íons alcalinos presentes na solução dos poros do concreto e a sílica amorfa presente nos agregados (DIAMOND, 1997, p. 391).

De acordo com Paulon (1981, p. 11-16), as rochas que desencadeiam a reação álcali-sílica podem possuir formas bem definidas de sílica metaestável (tridimita e cristobalita), sílica microcristalina amorfa (opala) e sílica sob a forma de quartzo criptocristalino, que é a forma mais desordenada e reativa (chert, flint e calcedônia). O autor cita ainda os vidros naturais (vulcânicos) como minerais altamente reativos devido à presença de grande quantidade de quartzo na rocha (acidez da rocha).

Wang e Gillott (1991, p. 649-653) ilustram as etapas da reação álcali-sílica até a formação do gel expansivo, conforme a Figura 2.3. Os autores descrevem essas etapas afirmando que o grupo silanol (SiOH), presente na superfície da sílica (Figura 2.3 (a)), é atacado pelos álcalis Na^+ , K^+ e/ou Ca^{++} (Figura 2.3 (b)), havendo a troca do Ca^{++} por prótons desse grupo e uma associação do Na^+ e do K^+ aos íons H^- . A etapa seguinte do processo de expansão do gel da reação álcali-sílica é a quebra das ligações do grupo siloxano (Si-O-Si) pela ação dos íons hidróxidos (NaOH e KOH), surgindo um grupo silanol na estrutura interna da sílica (Figura 2.3 (c)), o que acarreta na formação de um gel sílico-alcalino através da difusão de íons alcalinos internamente (Figura 2.3 (d)).

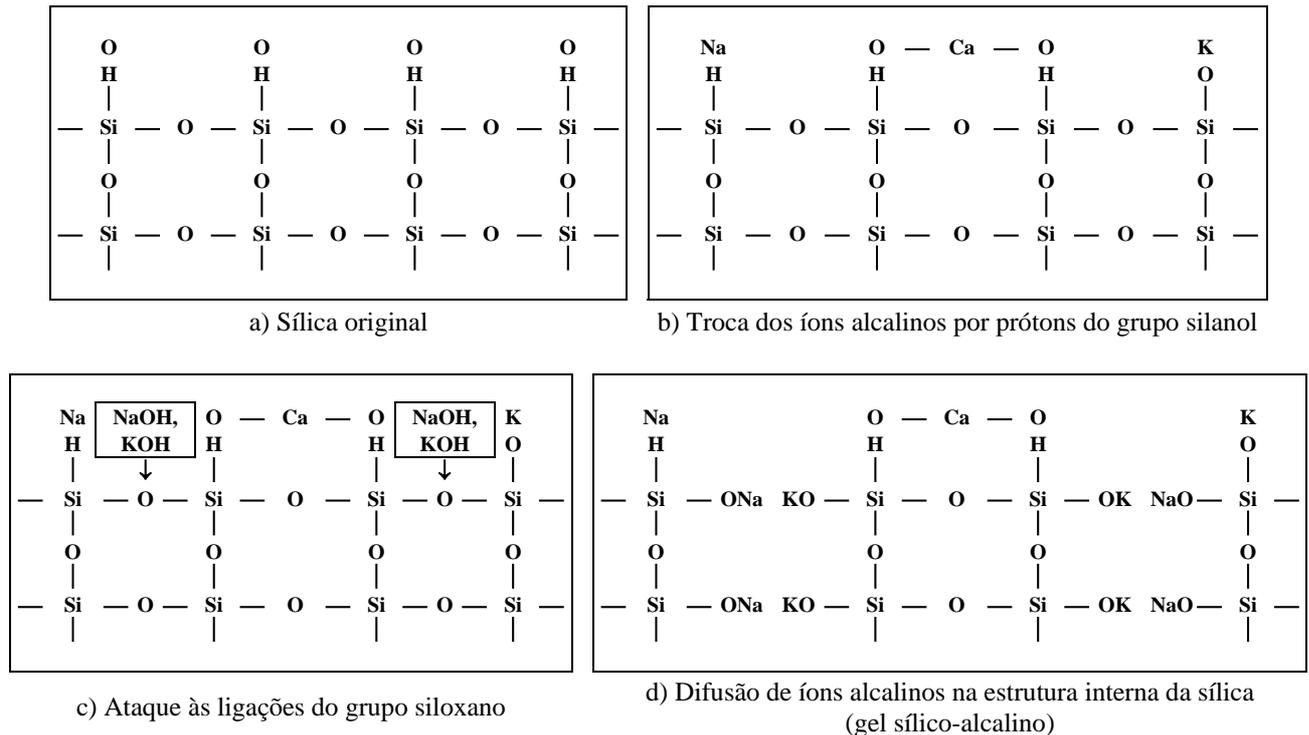


Figura 2.3: diagramas esquemáticos das etapas da reação álcali-sílica (WANG; GILLOTT, 1991, p. 650)

Na reação álcali-sílica normalmente há exsudação do gel na superfície do concreto, o qual é composto basicamente de sílica e álcalis. A análise microscópica do gel mostra que ele possui estrutura interna isotrópica, podendo se tornar algumas vezes anisotrópica, devido à cristalização parcial ou à presença de pequenas inclusões (PAULON, 1981, p. 67)

Por ser a reação mais comum, em função de que grande parte das rochas utilizadas como agregados no concreto possuem sílica, a mesma engloba a maioria dos estudos publicados sobre RAA (HOBBS, 1988; SWAMY, 1992, DIAMOND, 1997; PREZZI; MONTEIRO; SPOSITO, 1998; HASPARYK, 1999, MONTEIRO et al., 2001, entre outros).

2.2.2 Reação álcali-silicato

Hobbs (1988, p. 1) descreve a reação álcali-silicato como sendo a reação entre os álcalis presentes na solução dos poros do concreto e alguns minerais do grupo dos silicatos, normalmente presentes nas grauvacas, filitos e argilitos, sendo que esses minerais podem sofrer esfoliações e expandir em contato com a água. De acordo com Gillott (1975, p. 320), as

grauvacas e os argilitos são rochas que normalmente contém quartzo, feldspato, e, algumas vezes, carbonato.

Na reação álcali-silicato os minerais reativos normalmente tem retículo cristalino deformado. O quartzo está entre esses minerais pois, devido a tensões de origem geológica, na maioria das vezes apresenta o retículo cristalino deformado, sendo que a deformação do quartzo reflete-se sob a forma de extinção ondulante. A presença de quartzo microcristalino também potencializa a reação, além da presença de cristais de silicatos deformados (FURNAS, 1997, p. 5). Neste sentido, Wigum (1995) destaca que a reação devido à presença de quartzo microcristalino e quartzo deformado resulta em expansões mais lentas do que as causadas pela reação álcali-sílica.

Rochas que apresentam quartzo com ângulo de extinção ondulante não necessariamente serão reativas. A reatividade depende de outros fatores aliados, tais como a textura e o tamanho dos grãos (AMO; PÉREZ, 2001, p. 1449). Além disso, de acordo com Dolar-Montuani (apud SILVEIRA, 2001), quando o quartzo apresentar ângulo de extinção ondulante menor que 15° e maior que 25° não apresenta risco de reatividade, porém, este parâmetro tem sido bastante questionado.

Gillott (1986, p.38) salienta que em todos os casos de reação álcali-silicato, a entrada e saída de água é essencial para o mecanismo de expansão, sendo que a estrutura da rocha tem uma influência considerável no mecanismo, na proporção e no grau de expansão, pois muitas vezes os minerais isolados são componentes expansivos.

Van Aardt e Visser (1977, p. 647) estudaram a reação química de feldspatos e folhelos argilosos com os álcalis e desenvolveram uma teoria para explicar o mecanismo de expansão da reação álcali-silicato (*Solution Theory*). De acordo com os autores, na presença de umidade a aderência desenvolvida nas primeiras idades entre o agregado e a pasta de cimento, contendo Ca(OH)_2 , influencia a reação do Ca(OH)_2 com feldspato (presente no agregado). Além disso, a cal que poderá penetrar no agregado também reagirá, fazendo com que sejam liberados álcalis sob a forma de KOH, NaOH e/ou silicatos de sódio e de potássio, sendo que o silicato de sódio é liberado sob a forma de gel parcialmente solúvel em água. Quando os álcalis chegarem a uma determinada concentração, os silicatos de cálcio (aderência) tenderão a se dissolver em silicato de sódio e potássio, formando um vidro (gel), contendo cálcio,

sódio, potássio e sílica em torno do agregado. Esse gel é parcialmente solúvel em água e pode expandir de acordo com a chegada ou saída de água.

Buscando entender a reação álcali-silicato, French (1976, p. 177-190) pesquisou o transporte de materiais em direção aos fragmentos de silicato reativo e verificou que se esse “transporte” fosse dificultado, a reação seria inibida.

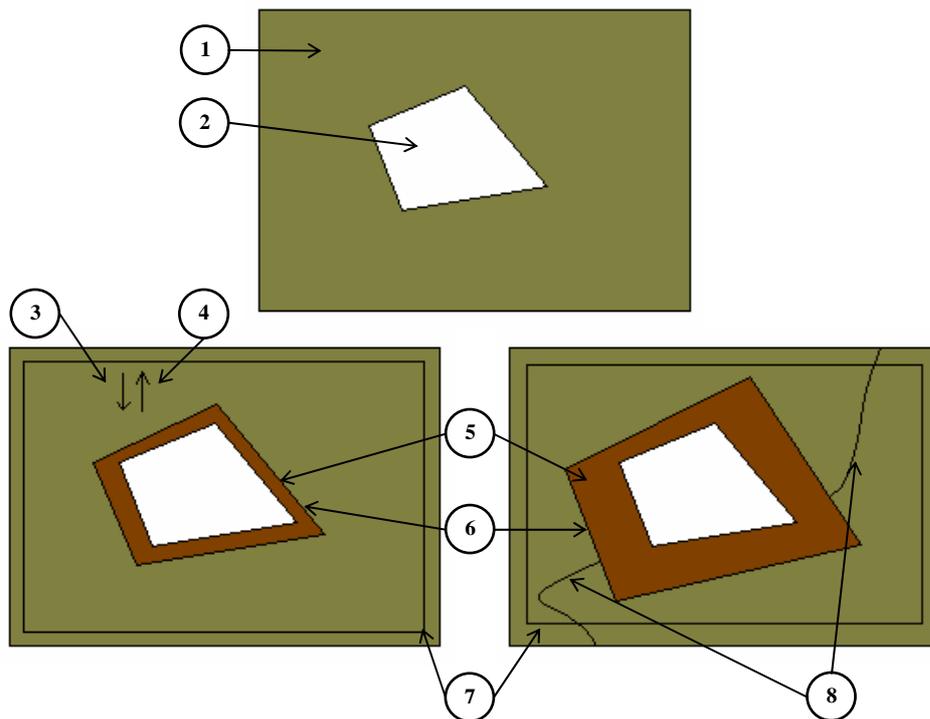
Segundo o Bulletin 79 (1991, apud FURNAS, 1997, p. 6), a reação álcali-silicato manifesta-se através de uma zona escura na interface entre o agregado e a pasta de cimento, que poderá ser mais ou menos expansiva, de acordo com o teor de álcalis ou hidróxido de cálcio presentes. Outra característica da reação é a presença de depósitos brancos nos planos de clivagem dos agregados.

A reação álcali-silicato é a mais encontrada no Brasil, sendo que as barragens que apresentam esse tipo de reação no país foram construídas com agregados provenientes de quartzitos, granitos, e gnaisses (VALDUGA, 2002, p. 18).

2.2.3 Reação álcali-carbonato

A reação álcali-carbonato se dá entre alguns calcários dolomíticos ou dolomitos calcíticos e os álcalis do cimento, manifestando-se através de expansões no concreto, semelhantes às expansões da reação álcali-sílica (NEVILLE, 1982, p. 153). Porém, nesta reação não ocorre a formação do gel expansivo, a expansão se dá pela reação de desdolomitização do calcário dolomítico (FURNAS, 1997, p. 6).

De acordo com Deng e Tang (1993, p. 1405-1406), a dolomita reage com os hidróxidos alcalinos para formar a calcita, a brucita e o CO_3^{-2} . Os cristais de calcita e brucita formados são muito finos e circundados de muito vácuo. No concreto o CO_3^{-2} reage com a portlandita para formar nova calcita e hidróxidos alcalinos, levando a desdolomitização, sendo que essa reação será contínua até que a dolomita termine. A expansão é resultado da pressão de cristalização causada pelo crescimento da fina calcita e brucita confinadas. A Figura 2.4 ilustra esquematicamente a reação.



1) pasta de cimento; 2) dolomita; 3) migração dos íons hidróxidos através dos poros até a superfície da dolomita, reagindo com a dolomita; 4) direção da difusão dos íons CO_3^{2-} ; 5) calcita e brucita; 6) vácuo; 7) tamanho original; 8) fissuração

Figura 2.4: esquema mostrando as etapas da reação álcali-carbonato (DENG; TANG, 1993, p. 1406)

As reações na interface da pasta com os agregados normalmente não podem causar expansões, isso porque o crescimento dos produtos é relativamente livre. No entanto, se a reação ocorrer nos planos de clivagem dos minerais ou na interface e ao redor das menores partículas reativas de agregado carbonático, a formação e o crescimento de produtos cristalinos expansivos no espaço confinado pode gerar forças expansivas suficientes para causar expansão do corpo todo, já que na reação álcali-carbonato a reação resulta na redução do volume sólido (TONG; TANG, 1999, p. 373).

Vários autores descrevem a desdolomitização do calcário dolomítico ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) para formação da brucita ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) de acordo com a Equação 01 (DENG; TANG, 1993, p. 1398; FURNAS, 1997, p. 7; GARCÍA et al., 2003, p. 1443):



Equação 01

A formação da calcita se dá pela reação do carbonato alcalino (NaCO_3) oriundo da reação com o hidróxido de cálcio (Ca(OH)_2). Esta reação pode ser representada através da Equação 02 (FURNAS, 1997, p. 7):



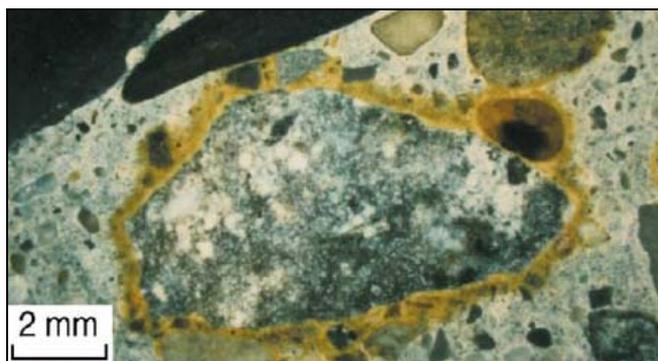
Os álcalis são regenerados com a reação, então, a desdolomitização terá continuidade até que a dolomita tenha reagido completamente, sendo que a máxima intensidade da reação se dá quando a calcita e a dolomita estiverem em quantidades aproximadamente iguais (Paulon, 1981, p. 24).

García et al. (2003, p.1443-1448) verificaram que a dolomita sempre é instável em contato com soluções alcalinas e que a desdolomitização muda conforme a temperatura, sendo que em temperaturas de até 75°C o mecanismo de desdolomitização é simples e sua magnitude é pouco afetada pela concentração de álcalis.

A reação álcali-carbonato caracteriza-se pela a formação de pontos de brucita dentro das bordas da reação e halos de carbonatos de cálcio na pasta de cimento, entretanto, esse estágio não denota em expansão ou fissuração (KATAYAMA, 2004, p. 103).

O hidróxido de lítio vem sendo estudado no combate à RAA, entretanto, quando agregados carbonáticos estão envolvidos, essa adição química pode provocar a expansão (QUÍAN; DENG; TANG, 2002, p. 768). Segundo Neville (1982, p. 154), a diferença entre a reação álcali-carbonato e a reação álcali-sílica é que na reação álcali-carbonato o álcali é regenerado “provavelmente se deve a isso o fato de que as pozolanas não são eficazes na expansão”.

De acordo com Quían et al. (2002, p. 28), o comportamento expansivo dos agregados carbonáticos depende de sua textura e não da sua formação litológica. A Figura 2.5 mostra imagens dos produtos formados pela reação álcali-carbonato na interface entre a pasta de cimento e o agregado.



fonte: Gillott e Rogers, 2003, p. 473



fonte: Katayama, 2004, p. 87

Figura 2.5: imagens dos produtos oriundos da reação álcali-carbonato, obtidas através de microscopia eletrônica de varredura por elétrons retroespalhados - início da redução do volume sólido

Até o presente momento não existem casos registrados de reação álcali-carbonato em estruturas no Brasil.

2.3 O PAPEL DOS ENSAIOS NA AVALIAÇÃO DA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

Por se tratar de uma reação altamente deletéria ao concreto, a RAA vem sendo estudada por diversos autores ao redor do mundo, entretanto, um método rápido e eficaz para avaliar essa reação ainda não foi definido. O que ocorre, na maioria dos casos, é a adoção de um conjunto de ensaios de laboratório, buscando a sua mútua complementação a fim de identificar a potencialidade reativa dos agregados.

Dentre os vários métodos de ensaio encontrados na literatura pode-se citar o método acelerado das barras de argamassa (ASTM C 1260/01), o método dos prismas de concreto para reação álcali-sílica (ASTM C 1293/95), a análise petrográfica (ASTM C 295/90), o método químico (NBR 9774/87), o método Osipov (FURNAS, 1997, p. 22), o método canadense da CSA A23.2-14A-M90 (GUDMUNDSSON; OLAFSSON, 1999, p. 1290), a microscopia eletrônica de varredura, o método de avaliação da potencialidade reativa em rochas carbonáticas (ASTM C 586/92), o método dos prismas de concreto para avaliação da reação álcali-carbonato (ASTM C 1105/95), a difração de raios-x, o método acelerado Sul Africano NBRI (1986, p. 181-189), e o método das barras de argamassa (ASTM C 227/97).

Os métodos mais utilizados dependem da medição da expansão de prismas de concreto ou argamassa confeccionados com os agregados em questão, sendo mais comum a utilização de argamassa, como por exemplo, a ASTM C 1260/01 e a ASTM C 227/97. Para a maioria dos cimentos, esses prismas levam um longo tempo para apresentarem expansões significativas. Então, a fim de acelerar a velocidade da expansão, normalmente eleva-se o teor de álcalis contido na mistura, bem como a temperatura de exposição.

Os agregados utilizados nestes ensaios, e em ensaios similares, são todos em fração granulométrica menor que 4,8mm, isto é, todas as rochas devem ser britadas para ficarem com frações de areia antes dos testes. Entretanto, é melhor testar o material como ele será utilizado no concreto, pois quando os agregados são britados podem se tornar menos ou mais reativos, ou seja, as expansões características podem ser alteradas, podendo-se chegar à incorreta interpretação dos resultados. Em função disso, alguns métodos têm sido executados com a utilização de concreto, tais como o método desenvolvido pela RILEM TC-106, o método canadense da CSA A23.2-14AM94 (GUDMUNDSSON; OLAFSSON, 1999, p. 1290) e o método da ASTM C 1293.

De acordo com Shon et al. (2002, p. 1981), entre os diferentes ensaios existentes, a metodologia prescrita pela ASTM C 1260 é uma das mais freqüentemente adotadas. Isso se deve ao fato de que com esse ensaio pode-se obter resultados em 16 dias. No entanto, existem críticas quanto às severas condições de exposição das amostras ensaiadas, fazendo com que agregados que não tenham nenhum registro de desencadeamento de expansão no campo sejam considerados reativos em laboratório. O contrário também pode ocorrer, levando a resultados falso-negativos, devido a curta permanência das amostras na solução.

Normalmente, os ensaios valem-se de diferentes temperaturas de estocagem das amostras de concreto ou argamassa, sendo as mais comuns 38°C, 60°C e 80°C. Embora discriminem a reatividade dos agregados, na maioria dos casos, estes testes não são satisfatórios, pois não dão qualquer informação sobre a idade correspondente na estrutura real em relação ao tempo de duração dos ensaios em laboratório (CYR; CARLES-GIBERGUES, 2002, p. 1771).

De acordo com estudo realizado por Wigun e French (1996, p. 291), os procedimentos prescritos pela NBRI (1986, p. 181-189), que são muito parecidos com os da ASTM C 1260, parecem satisfatórios para transcrever as situações reais de ocorrência da reação, distinguindo-se entre os diferentes tipos de agregados reativos as propriedades dos produtos

de reação. Porém, para reações extremamente lentas dos agregados, o teste acelerado pode mostrar algumas limitações no que diz respeito à predição do comportamento real, já que, normalmente, as medições das expansões são feitas num período que vai até 28 ou 56 dias. Sendo assim, não são medidas possíveis expansões posteriores.

Algumas vantagens dos ensaios acelerados são citadas por Hudec e Larbi (1989, p. 910-911). Os autores mencionam que a reação pode iniciar imediatamente após a imersão na solução alcalina, pois, em função da pequena dimensão das amostras, da concentração da solução e da temperatura de exposição, o hidróxido alcalino penetra com maior facilidade, reagindo rapidamente com a sílica presente nos agregados, fazendo com que se obtenha uma informação rápida da potencialidade reativa dos agregados que se pretende utilizar.

Berra et al. (1991, p. 36) compararam alguns métodos acelerados de investigação da RAA com cinco tipos de rochas. Dentre os métodos estudados, os autores verificaram que os procedimentos propostos pela NBRI são os mais adequados na avaliação da potencialidade reativa das rochas, independente do cimento utilizado. Os resultados obtidos com o método prescrito pela ASTM C 227/97 não se mostraram eficazes, talvez em função do baixo teor de álcalis contido no cimento.

A comparação de metodologias para avaliação da potencialidade reativa dos agregados também foi feita por Valduga e Paulon (2004, p. 148-149). Neste estudo os autores verificaram que análise petrográfica das rochas é uma técnica bastante eficiente, principalmente se utilizada em conjunto com o método acelerado (ASTM C 1260). Contudo, o método químico (NBR 9774/87) não se mostrou satisfatório, pois os resultados obtidos não tiveram correlação com a análise petrográfica e o ensaio acelerado. Neste mesmo sentido, Taguchi, Chatterji e Kawamura (1992, p.55-56) afirmam que todos os métodos químicos detectam algumas reações químicas, mas não podem dizer qualquer coisa sobre os resultados de expansão, pois estes dependem de diversos fatores, tais como a distribuição granulométrica dos agregados.

A análise petrográfica mostra-se uma ferramenta fundamental no estudo da RAA. Um exemplo da sua importância pode ser ilustrado através do trabalho publicado por Silveira (2001, p. 83-84). Em ensaios preliminares o basalto avaliado mostrou-se inerte, entretanto, a análise petrográfica da rocha indicou a presença de quartzo microcristalino e de mesóstases

(material microcristalino de composição quartzo-feldspática), muitas vezes chamada de vidro vulcânico. Essas formações mineralógicas são evidências da potencialidade reativa da rocha.

Além desses métodos mais comumente utilizados para avaliar a RAA, existem técnicas que valem-se da identificação dos produtos da reação. Dentre essas técnicas está a microscopia eletrônica de varredura e a de transmissão, que possibilitam a visualização dos produtos da reação e, através da espectrometria por energia dispersiva, consegue-se identificar a composição química desses produtos.

Outra técnica que vem sendo utilizada é a microscopia de transmissão de raios-x moles. Segundo Kurtis et al. (1999, p. 298), com essa técnica consegue-se observar em tempo real e em condições normais de umidade e pressão, os produtos da reação, o que não seria possível com as demais técnicas de microscopia existentes. Dessa forma pode-se analisar a estrutura interna do gel.

Como pôde-se perceber, existem diversos questionamentos com relação aos ensaios adotados para avaliar a RAA. Por exercerem papel fundamental quando se deseja conhecer os mecanismos da reação e a potencialidade reativa dos agregados, é de suma importância conhecer as técnicas existentes e avaliar sua adaptação ao tipo de análise desejada. Dessa forma, as respostas obtidas nos ensaios poderão contribuir mais efetivamente.

3 PRINCIPAIS FATORES INTERVENIENTES NA REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A RAA é determinada por diversos intervenientes, sendo estes relacionados com os materiais constituintes do concreto, com as condições ambientais em que a estrutura está inserida e com os agentes inibidores da reação.

Muitas classificações são adotadas para abordar esses fatores. Wang (1990, p. 27-41), por exemplo, divide os fatores que afetam a RAA em:

- a) Agentes relacionados ao meio ambiente: umidade, temperatura, ciclos de molhagem e secagem;
- b) Agentes químicos: presença de sais, aditivos aceleradores de pega, aditivos redutores de água e superplastificantes;
- c) Agentes relacionados ao concreto: relação água/cimento, teor de álcalis do cimento, dimensão das partículas dos agregados;
- d) Agentes que controlam a reação e a expansão: adições pozolânicas, teor de ar incorporado, porosidade dos agregados, aditivos químicos que inibem a expansão.

Além desses intervenientes existem outros, principalmente relacionados com os minerais presentes nas rochas que constituem os agregados do concreto. Paulon (1981, p. 27) cita ainda fatores atrelados às características físicas da estrutura de concreto, ou seja, com a dimensão das peças, com a presença de juntas de dilatação e com a sua geometria. Essas características podem criar condições ideais para o desencadeamento ou para o aparecimento das manifestações patológicas decorrentes da reação.

3.1 ALCALINIDADE DO CONCRETO

O cimento é a principal fonte de álcalis no concreto, sendo que os álcalis mais comuns são o sódio (Na) e o potássio (K).

De acordo com Vivian (1976, p. 12-18), os álcalis influenciam desde a produção do clínquer, reduzindo as temperaturas de clínquerização, até a hidratação do cimento. Além disso,

exercem influência no desenvolvimento de resistência da pasta de cimento, na sua permeabilidade, retração e durabilidade, pois inibem a corrosão do aço presente no concreto, mantendo a mistura com pH elevado. Entretanto, um teor alcalino elevado pode gerar reações expansivas com algumas substâncias presentes nos agregados.

A concentração de hidróxidos alcalinos na solução dos poros do concreto influencia o pH da mistura. O pH de concretos executados com cimentos de baixo equivalente alcalino está entre 12,7 e 13,1. Cimentos com teor de álcalis elevado podem levar a concretos com pH de 13,5 a 13,9. Isso significa que a concentração de íons hidroxilas na solução dos poros do concreto com cimentos de alto teor de álcalis pode ser 10 vezes maior do que de concretos executados com baixo teor de álcalis no cimento. Esse alto pH facilita e acelera a dissolução de certas formas de sílica, o que acaba contribuindo para a formação do gel (ROY et al., 2003, p. 3).

Segundo Hobbs (1988, p. 11), a quantidade total de álcalis solúveis presentes no cimento varia entre 0,3% e 1,3%. Essa quantidade é representada através da porcentagem equivalente de óxido de sódio, que pode ser calculada de acordo com a Equação 03 a seguir:

$$\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}(\%) = \text{Na}_2\text{O} + 0,658 \text{ K}_2\text{O} \quad \text{Equação 03}$$

Rigden, Mijlesi e Burley (1995, p. 13) avaliaram a influência de aumento no equivalente alcalino do cimento com relação ao aumento na expansão devido à RAA. Os níveis de álcalis contemplados no estudo foram 5,8kg de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ de concreto e 12kg de $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$. Os autores verificaram que a redução de 12 para 5,8kg $\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}/\text{m}^3$ resultou num decréscimo de 40% nas expansões. Além disso, os autores concluíram que o hidróxido de potássio resulta em expansões mais moderadas que o hidróxido de sódio, particularmente quando altos níveis de álcalis são utilizados no concreto.

As influências dos tipos de cimentos utilizados em relação à RAA foram avaliadas por Roy et al. (2003, p. 7). Através da análise pelo método da ASTM C 227/97 de 21 tipos de cimento em argamassas confeccionadas com agregados reativos, os autores concluíram que os álcalis são o principal fator que contribui na deterioração devido à RAA, sendo que óxido de potássio é mais importante que o óxido de sódio, embora ambos contribuam para a reação.

Com o intuito de se evitar a reação entre os álcalis do cimento e os agregados reativos, a ASTM C 150/97 limitou em 0,60% o equivalente alcalino nos cimentos. Entretanto, com o passar do tempo, verificou-se que essa limitação não evita a ocorrência das reações.

De acordo com Paulon (1981, p. 32) e Furnas (1997, p. 26), é necessário o estabelecimento de valores limites não somente de porcentagem de álcalis no cimento, mas também de cimento no concreto.

A Figura 3.1 apresenta a relação entre o consumo de cimento no concreto e o equivalente alcalino do cimento, indicando a potencialidade reativa dessas combinações.

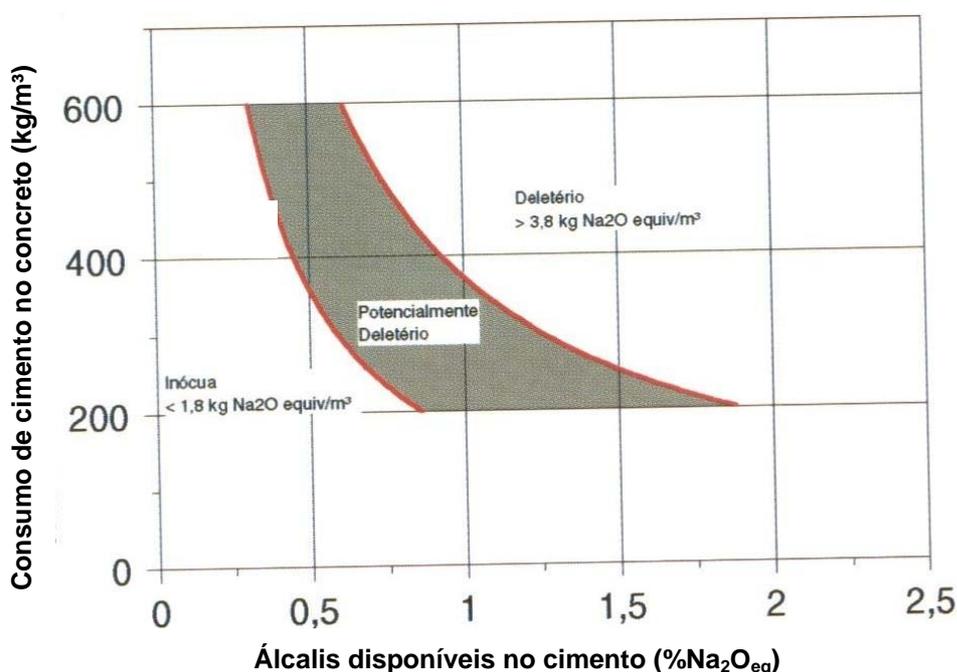


Figura 3.1: relação entre o consumo de cimento no concreto e o equivalente alcalino do cimento (FURNAS, 1997, p. 27)

As fontes de álcalis no concreto podem ser outras que não somente o cimento. Wigun (1995) ressalta que certos tipos de agregados também podem liberar álcalis. O autor exemplifica mencionando o estudo realizado por Jensen (1993) com diferentes tipos e tamanhos de agregados estocados em solução saturada de Ca(OH)₂ à 40°C. Após um ano o teor de Na₂O_{eq} era superior a 1%.

Este tipo de comportamento é atribuído aos feldspatos, zeólitos e rochas ígneas, tais como andesitos, riolitos e granitos, mas principalmente aos feldspatos. Resultados de análises químicas realizadas por Gillott e Rogers (1994, p. 107) com essas rochas mostraram que com o passar do tempo aumentou a concentração de Na₂O na solução dos poros do concreto.

Constantiner e Diamond (2003, p. 549-554) verificaram que os feldspatos liberam quantidades significativas de álcalis na solução dos poros do concreto, sendo que esses álcalis podem desencadear a RAA se o cimento utilizado tiver baixo teor de álcalis. A Figura 3.2 mostra que a concentração alcalina é maior quando utilizado somente o agregado feldspático.

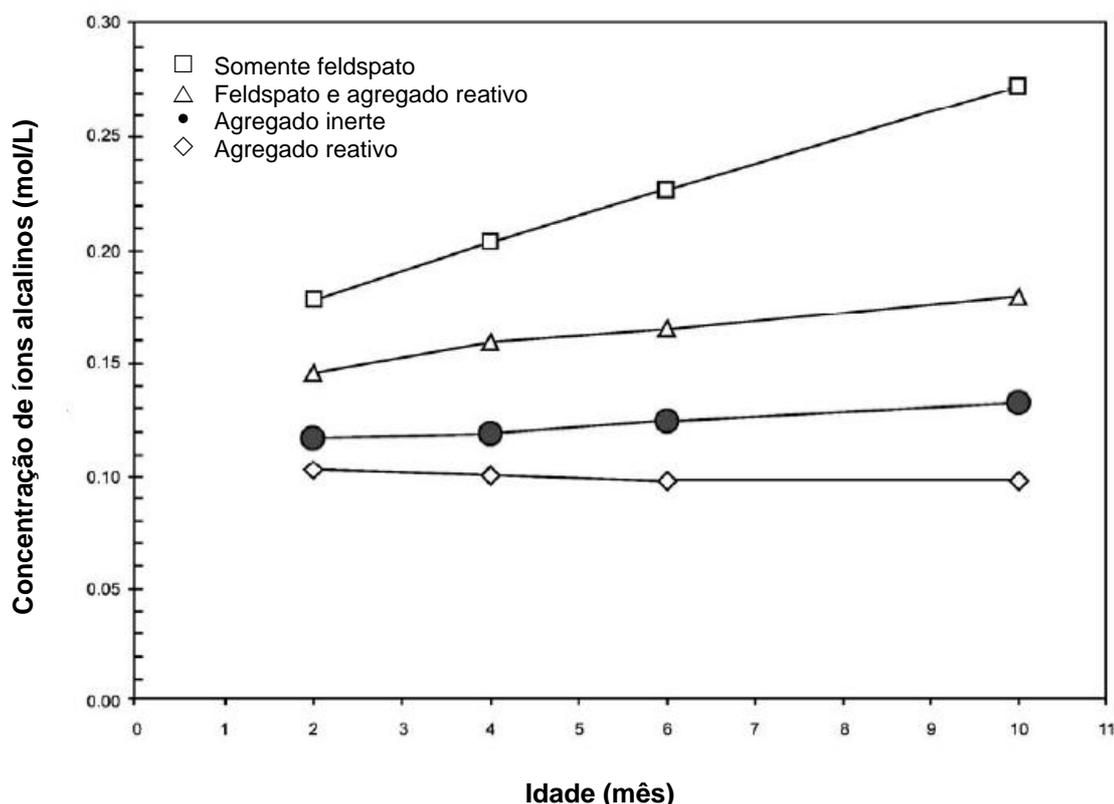


Figura 3.2: concentração alcalina na solução dos poros do concreto em função do tempo (CONSTANTINER; DIAMOND, 2003, p. 553)

Sais alcalinos também podem ser introduzidos no concreto através da água de amassamento, principalmente os cloretos, sulfatos e nitratos (WANG, 1990, p. 33).

Os efeitos nas propriedades mecânicas e de durabilidade do concreto com a adição de hidróxidos alcalinos na água de amassamento foram avaliados por Smaoui et al. (2005, p. 210-211). Os autores verificaram que essa adição causa redução significativa na resistência à compressão do concreto devido à propagação de fissuras. Análises microscópicas mostraram que essa queda na resistência do concreto estaria relacionada com a formação de produtos de hidratação com microestrutura frágil e com uma maior quantidade de poros na pasta de cimento. Com relação aos ensaios de durabilidade avaliados, os autores observaram aumento

na retração com a adição de álcalis e não observaram mudanças nas características do concreto devido à ação de gelo-degelo.

Os álcalis também podem ser introduzidos nos poros do concreto através do ambiente onde a estrutura está inserida, como por exemplo, o ambiente marinho, pois nessas regiões é comum a presença de cloreto de sódio (NaCl).

Kawamura, Takeuchi e Sugiyama (1996, p. 247) estudaram influência do NaCl na RAA, através da imersão de barras de argamassa em solução de NaCl, e compararam as expansões obtidas nessas argamassas com as expansões de argamassas confeccionadas com os mesmos materiais mas não submetidas à solução (armazenadas em câmara úmida). Os autores verificaram que as argamassas expostas ao NaCl tiveram expansões muito superiores, concluindo que o cloreto de sódio acelerou a difusão de íons hidróxidos e, conseqüentemente, a RAA.

3.2 AGREGADOS

Os agregados correspondem a aproximadamente 70% dos materiais sólidos incorporados ao concreto, exercendo influência em várias propriedades desse material de construção, dentre elas destaca-se a durabilidade.

As características dos agregados que afetam a durabilidade relacionam-se com o processo de produção dos mesmos e com a mineralogia da rocha matriz. Com relação à RAA, tanto a composição granulométrica e a quantidade de agregado empregado no concreto, quanto as características mineralógicas, tais como textura, tamanho e deformação dos minerais são preponderantes para a expansão.

3.2.1 Minerais constituintes

Os agregados que reagem com os álcalis possuem características especiais, relacionadas com os minerais que os constituem. As evidências de reatividade de um mineral estão vinculadas à sua granulação, textura, cristalinidade, estrutura, fase mineralógica e alterações geológicas sofridas.

Os minerais são substâncias sólidas e inorgânicas, que se formam por cristalização do magma terrestre, pela recristalização de um sólido ou por reações químicas de sólidos com líquidos, sendo que a menor unidade de um mineral é denominada retículo cristalino (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 15).

De acordo com Mylovsky e Konovov (1985, p. 99), os minerais podem ser divididos nas seguintes categorias, em função de sua composição química e estrutura cristalina:

- a) Elementos nativos: são minerais compostos por um único elemento químico, tais como o cobre (Cu), o ferro (Fe), o níquel (Ni), o ouro (Au), etc.;
- b) Sulfetos: minerais relacionados com enxofre (S), arsênio (As), antimônio (Sb), bismuto (Bi), selênio (Se) e telúrio (Te);
- c) Sais halóides: minerais compostos de flúor (F), cloro (Cl), bromo (Br) e iodo (I), tais como a clorita, a fluorita, a bromita etc.;
- d) Óxidos e hidróxidos: minerais compostos por metais e semi-metais em combinação com o oxigênio (O) e hidrogênio (H);
- e) Silicatos: minerais envolvendo a ligação de silício (Si) e oxigênio (O);
- f) Boratos: minerais relacionados com o boro (B);
- g) Carbonatos: sais de ácido carbônico, sendo que o ânion sempre é o CO_3 ;
- h) Nitratos: sais de ácido nítrico (NO_3);
- i) Fosfatos: minerais ligados aos radicais $(\text{PO}_4)^{3-}$, $(\text{AsO}_4)^{3-}$ e $(\text{VO}_4)^{3-}$;
- j) Sulfatos: estrutura ligada ao radical (SO_4) ;
- k) Wolfratos: minerais com o radical (WO_4) em sua estrutura cristalina.

Dentre as categorias de minerais anteriormente relacionadas, as que envolvem minerais que reagem com os álcalis são os silicatos e os carbonatos, destacando-se os silicatos, que correspondem a 92% dos minerais da crosta terrestre, sendo que nesta categoria encontra-se o quartzo (SiO_2).

De acordo com Swamy (1992, p. 36), o quartzo é um dos minerais mais freqüentes na natureza e está comumente presente no concreto. Abundante em rochas ácidas (por exemplo, o granito) e em areias, o quartzo é um mineral de alta dureza, e confere às rochas em que está presente resistência à abrasão e à degradação.

A presença de quartzo cristalograficamente deformado (por processos tectônicos) nos agregados pode ocasionar reações com os álcalis do cimento (FRAZÃO; PARAGUAÇÚ, 1998, p. 337), sendo que a reatividade do quartzo normalmente é identificada de acordo com

o seu grau de deformação. Um dos indicativos da deformação sofrida pelo quartzo é seu ângulo de extinção ondulante.

O ângulo de extinção ondulante do quartzo pode ser observado através da análise petrográfica da rocha que contém esse mineral, utilizando microscópio petrográfico de luz transmitida. De acordo com Silveira (2001, p. 16),

[...] é possível constatar a extinção de luz por bandas no quartzo entre polarizadores perpendiculares. O ângulo que deve ser movimentada a platina para tornar escura uma banda clara é denominado “ângulo de extinção ondulante”. Um ângulo grande e bandas estreitas são indicadores de que a rocha sofreu deformação. Este parâmetro define a formação de retículo cristalino [...].

Monteiro et al. (2001, p. 1179-183) avaliaram a influência do grau de deformação dos agregados na reação álcali-sílica, através da análise da textura e difração de nêutrons, utilizando rochas com estrutura química e mineralógica semelhante. Os autores verificaram que as rochas com maiores deformações resultavam em maiores expansões, sendo que a orientação preferencial das partículas também mostrou ser um indicativo de reatividade.

Segundo Kerrick e Hooton (1992, p. 949), as deformações mineralógicas das rochas utilizadas como agregados destacam-se como causa principal do desencadeamento da RAA. Os autores correlacionaram as expansões de barras de argamassa com as características mineralógicas dos agregados, verificando que rochas graníticas deformadas com grandes espaços entre as ligações dos grãos de quartzo microcristalino denotaram em maiores expansões, em função da maior facilidade de ingresso dos álcalis.

Um mineral considerado altamente reativo é a opala. Constituindo-se de sílica hidratada ($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), trata-se de um mineral onde os arranjos nos tetraedros de sílica são defeituosos, ou seja, é um mineral amorfo (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 24). Por ser altamente reativa, a opala tem sido utilizada universalmente como referência de mineral reativo em experimentos de laboratório, sendo comum em rochas como cherts e flints.

Rodríguez, Monteiro e Sposito (2001, p. 1551) estudaram a superfície da opala na RAA através da avaliação da influência dos cátions monovalentes e bivalentes. Os autores verificaram que os íons bivalentes (Ca^{+2} , Mg^{+2} e Ba^{+2}) ficam especialmente adsorvidos à superfície da opala, fazendo com que ocorra uma menor superfície para trocas do que quando observados os íons monovalentes (Na^+ e K^+). Isso explica o fato desses álcalis desencadearem a reação.

A presença de vidro vulcânico também é um forte indicativo da reatividade da rocha, sendo que esse mineral é comumente encontrado em basaltos. Korkanç e Tugrul (2005, p. 505) estudaram a potencialidade reativa de basaltos coletados em onze pontos diferentes da Europa e concluíram que a sua reatividade é controlada pela presença de vidro vulcânico e de minerais de alteração. Valduga (2002, p. 67-87) verificou a presença de vidro vulcânico e de feldspatos em amostras de basalto e, baseando-se em mais de um ensaio de reatividade potencial das rochas, considerou todas as amostras de basalto reativas.

Outra preocupação que tem surgido no meio técnico envolve os minerais presentes em agregados leves, em função de que esses agregados freqüentemente são utilizados no concreto, na argamassa ou em *grout*. Mladecnovic et al. (2004, p. 1816) avaliaram a RAA em argamassas confeccionadas com os seguintes agregados leves: argila expandida, vidro expandido, perlita e vermiculita expandida. Ao final dos testes os autores verificaram que a vermiculita e a argila expandida não oferecem perigo de reação com os álcalis, em contrapartida os agregados com componentes vítreos, ou silicosos (vidro expandido e perlita), denotaram alta reatividade.

Diamond (1976, p. 558-559) discute a reatividade dos agregados, salientando que qualquer variedade de sílica pode levar à RAA, dependendo da quantidade de álcalis presente e das características de deformação da sílica. De acordo com o autor, a reatividade do quartzo está relacionada com suas deformações geológicas. Por sua vez, a opala é reativa devido às suas características amorfas. Com relação ao vidro vulcânico a potencialidade reativa se dá pela sua característica ácida, ou seja, ocorre uma reação ácido-base entre os álcalis e o vidro. Já os silicatos são reativos em função da sua capacidade de esfoliação.

Os feldspatos, principais constituintes reativos da reação álcali-silicato, são os minerais mais comuns na crosta terrestre. Podem ser subdivididos em potássicos, encontrados em granitos, arenitos e gnaisses, e plagioclásicos, presentes em todas as rochas ígneas e metamórficas (FRASCÁ; SARTORI, 1998, p. 24).

Esses minerais vêm sendo estudados há alguns anos devido às esfoliações que podem sofrer. Van Aardt e Visser (1977, p. 40) avaliaram o ataque do hidróxido de cálcio ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) à estrutura dos feldspatos. Os autores concluíram que os feldspatos potássicos (K-feldspatos) são mais resistentes ao ataque do $\text{Ca}(\text{OH})_2$ do que os feldspatos sódicos e cálcicos. Entretanto, nas análises realizadas por Constantiner e Diamond (2003, p. 552), verifica-se que os

feldspatos potássicos (microclínio) liberam maior quantidade de álcalis à solução dos poros do que os feldspatos sódicos (oligoclásio).

Além dos minerais que contém sílica, os minerais do grupo dos carbonatos também reagem com os álcalis do cimento. A dolomita, a calcita e a magnesita são exemplos de minerais que participam da reação álcali-carbonato. García et al. (2003, p. 1455) avaliaram a superfície de alteração da dolomita, verificando que existem áreas em que a dolomita dissolve-se e outras que se converte em calcita ou brucita. Parte da calcita precipita-se na dolomita, por causa da similaridade entre as duas estruturas. O crescimento da calcita diminui a superfície da dolomita e aumenta a da calcita.

Gillott e Rogers (2003, p. 479) avaliaram os agregados sílico-carbonáticos do Canadá. Os autores verificaram que o concreto confeccionado com esse tipo de agregado possuía uma quantidade aproximadamente 1,5% superior de Na_2O do que o confeccionado com agregado calcário. Isso ocorre devido à rápida reação dos minerais sílico-carbonáticos com o $\text{Ca}(\text{OH})_2$, sendo que essa reação é agravada pelo aumento na temperatura.

A presença de agregados carbonáticos no concreto causa uma certa preocupação, já que ainda não se conhece uma forma completamente eficiente para prevenir o tipo de reação desencadeada entre os álcalis e os minerais carbonáticos.

Se agregados com constituintes reativos estão sendo utilizados no concreto, e as estruturas começam a apresentar problemas de RAA, é importante que se identifique esses constituintes reativos e se determine em que condições os agregados podem ser utilizados, para evitar o desencadeamento da reação em novas estruturas que também os utilizem.

3.2.2 Características dos agregados

Além das características dos minerais presentes nos agregados, outros fatores são essenciais para o desencadeamento da RAA, como por exemplo, a dimensão dos agregados utilizados e a proporção cimento/agregado.

De acordo com Paulon (1981, p. 33), dependendo da quantidade de componentes reativos podem ocorrer apenas “empipocamentos” ocasionais e localizados ou expansão generalizada.

O tamanho dos grãos pode influenciar a expansão das barras de argamassa, sendo que as expansões aumentam conforme o tamanho dos grãos diminui. A reação entre o pó e os álcalis ocorre mais rapidamente, causando uma redução da concentração de álcalis perto da superfície do agregado e, então, os produtos da RAA podem ser distribuídos igualmente ao invés de se juntar em certos locais. Grãos entre 0,3mm e 0,6mm levam a maiores expansões (FENG; HAO; FENG, 2002, p. 236).

Ao estudarem a influência do tamanho das partículas de agregado e sua distribuição granulométrica, Zhang et al. (1999, p. 1396) concluíram que os agregados que causam maiores expansões têm tamanhos entre 0,15-10mm. Além disso, a relação cimento/agregado que alcança a máxima expansão diminui com o aumento no tamanho dos agregados. De acordo com os autores, a distribuição granulométrica dos agregados tem influência acentuada na expansão, já que na presença de agregados maiores as expansões foram menores nas primeiras idades, mas cresceram continuamente com o passar do tempo.

Hobbs (1988, p. 40-42) mediu as expansões de corpos-de-prova de concreto utilizando diversas dimensões de opala como agregado, para traços com relação água/cimento= 0,41 e proporção agregado/cimento= 3. O autor verificou que quanto menores as partículas de agregado empregado no concreto maior é seu potencial de reagir, como pode ser observado no gráfico da Figura 3.3.

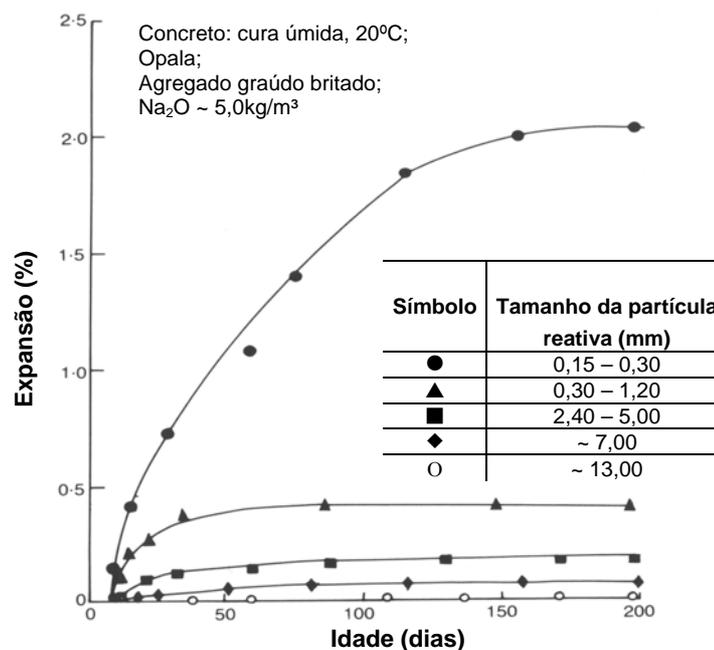


Figura 3.3: influência do tamanho do agregado na expansão do concreto (HOBBS, 1988, p. 41)

Nota-se que as expansões medidas por Hobbs aumentaram, conforme as partículas de agregado foram diminuindo. Rigden, Mijlesi e Burley (1995, p. 13) também verificaram o aumento nas expansões com a redução nas partículas de agregados. No entanto, segundo os autores, essa redução está vinculada com a relação água/cimento, sendo que somente altos valores de água/cimento são capazes de fazer com que o tamanho das partículas contribua para o aumento nas expansões.

Um estudo recente realizado por Valduga et al. (2005, p. 118-128) avaliou a influência da forma do agregado, da relação água/cimento e da consistência das argamassas no ensaio acelerado. Para tanto os autores efetuaram diferentes tipos de moagem em um mesmo agregado para que este adquirisse três formas distintas: angulosa, arredonda e intermediária. Os ensaios mostraram que quando a relação água/cimento é fixa, dependendo unicamente da forma do agregado utilizado para confecção dos prismas, as expansões podem classificá-lo nas três faixas da ASTM C 1260 (inócuo, potencialmente reativo ou reativo), conforme pode ser visualizado na Figura 3.4.

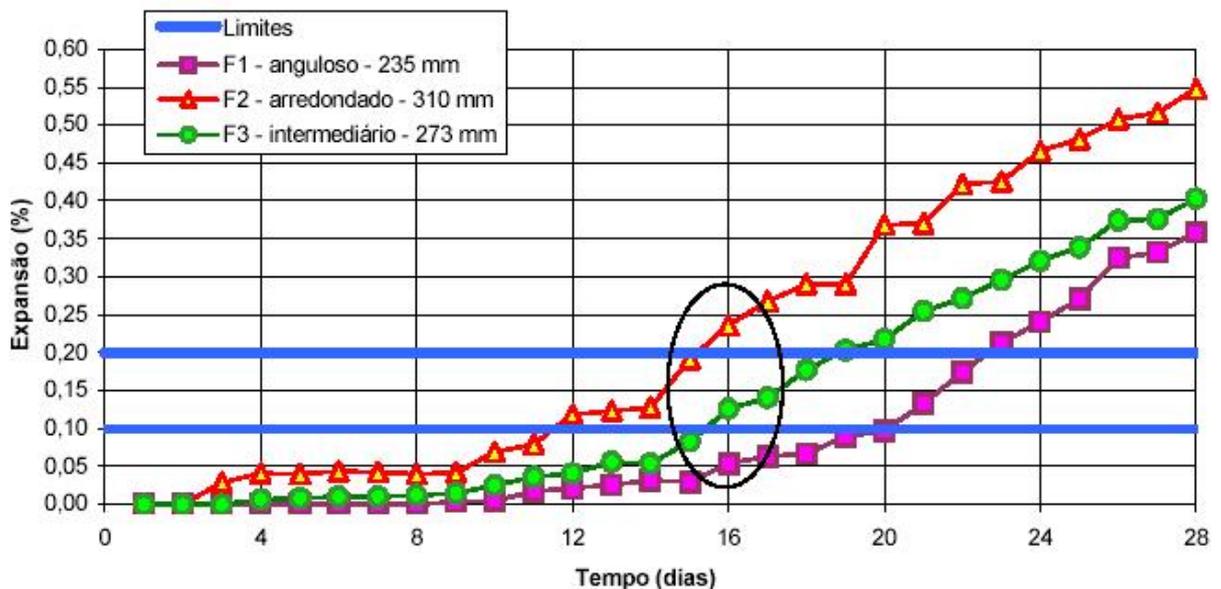


Figura 3.4: influência da forma dos grãos nas expansões do ensaio acelerado (VALDUGA et al., 2005, p. 124)

Preocupados com a potencialidade reativa dos agregados “granitóides” e quartzíticos, provenientes de rochas quartzo-feldspáticas brasileiras (que desencadeiam a reação álcali-silicato), Rodrigues et al. (1997) propõem um índice de reatividade potencial (IRP), baseado nas características desses agregados. O índice fundamenta-se em parâmetros microscópicos (ângulo de extinção ondulante, conteúdo de quartzo microgranular, ocorrência de

fraturamento e granulometria média da rocha matriz), ensaios de expansão (NBRI), conteúdo de álcalis solúveis no cimento, tipo de obra e condições ambientais. A Tabela 3.1 apresenta os parâmetros utilizados para verificar a potencialidade reativa segundo o IRP.

Tabela 3.1: índice de reatividade potencial (IRP)

Parâmetro		Condições	
A	NBR I (12 dias)	<0,11% (0)	ΣA
		>0,11% (3)	
	NBR I (28 dias)	<0,20% (0)	
		>0,20% (3)	
	Ângulo de extinção ondulante	<15° (0)	
		15-25° (1)	
		>25° (2)	
Porcentagem de quartzo microgranular	<1% (0)		
	1-5% (1)		
	5-15% (2)		
	>15% (3)		
Granulometria da matriz	>1mm (0)		
	1-0,20mm (1)		
	<0,20mm (2)		
Microfissuramento	ausente a fraco (0)		
	moderado (1)		
	forte (2)		
Teor de álcalis solúveis no cimento da obra	<0,4% (0)		
	>0,4% (3)		
B Tipo de obra	não hidráulica (0,3)	$\Sigma(B+C)$	
	parcialmente hidráulica (0,8)		
	hidráulica (1,0)		
C Condições ambientais	árido (0,5)		
	temperado ou frio (0,8)		
	tropical (1,0)		
$IRP = \Sigma A \times \Sigma(B+C)$			

fonte: adaptado de RODRIGUES et al., 1997

De acordo com os parâmetros da Tabela 3.1 define-se como inertes os agregados cujo IRP ≤ 12 , potencialmente reativos se $12 < IRP \leq 20$ e reativos agregados com IRP > 20 .

Com o intuito de compreender melhor o comportamento dos agregados, e o mecanismo de dissolução da sílica durante a RAA, Price, Castanier e Giafferi (2000, p. 271-276) avaliaram a semelhança entre a alteração natural das rochas e a alteração causada pela reação com os álcalis. Os autores verificaram que a maior presença de aluminossilicatos no concreto tem potencial de desenvolver a RAA em longo prazo. A RAA no concreto requer que um filme líquido seja confinado ao redor do agregado e aumente de volume, formando produtos que se precipitam, sendo que a natureza desses produtos varia com o pH e a temperatura. Esse mecanismo de reação é igual à alteração natural das rochas.

3.3 ADIÇÕES E ADITIVOS

O uso de adições vem sendo uma prática comum em concretos de estruturas sujeitas à RAA, principalmente as adições pozolânicas. Contudo, várias pesquisas com aditivos químicos vêm sendo realizadas com o intuito de evitar o desencadeamento da reação.

Estudos mostram que o uso de alguns sais (dentre eles destaca-se o lítio) podem reduzir as expansões causadas pela RAA, entretanto, ainda não é possível prever qual será o tempo de duração desse mecanismo de controle das expansões (OKADA et al., 1988, p. 205-208; PREZZI; MONTEIRO; SPOSITO, 1998, p. 3-10; KURTIS et al., 2003; COLLINS et al., 2004, p. 1403-1415; MO, 2005, p. 499-504, etc.).

O mecanismo de ação das adições minerais (ou pozolânicas) na prevenção do desencadeamento da RAA está muito mais claro. As pozolanas reagem com o hidróxido de cálcio da pasta de cimento e diminuem o pH da solução dos poros, o que acaba por inibir a reação.

Neste item serão discutidos os aspectos que envolvem o uso de adições minerais e aditivos químicos na RAA.

3.3.1 Adições minerais

De acordo com Mehta e Monteiro (1994, p. 290-291), as adições minerais, que são materiais silicosos finamente moídos (normalmente oriundos da queima em fornos que utilizam carvão como combustível em usinas termoelétricas e fornos metalúrgicos que produzem ferro fundido, ferro-silício e ligas de ferro), exercem um efeito benéfico sobre as propriedades do concreto, mesmo que tenham sido adicionadas ao cimento Portland, aumentando a durabilidade do concreto aos ataques químicos, tais como águas sulfatadas e expansão álcali-agregado.

De acordo com Diamond (1984), no mecanismo de combate à RAA com o uso de adições minerais, a sílica contida nas adições minerais reage com os álcalis do cimento antes da sílica presente nos agregados, sendo que esta reação não é prejudicial, pois os produtos não aumentam de volume.

A incorporação de adições sobre a massa de cimento no concreto reduz os níveis de sulfatos nos poros durante a cura. Isso se deve à diluição dos sulfatos do cimento e às reações pozolânicas, que removem os íons sódio (Na^+) e potássio (K^+) dos poros (RAMLOCHAN; THOMAS; GRUBER, 2000, p. 1353).

Juenger e Ostertag (2004, p. 1389) avaliaram o comportamento da sílica ativa (incorporada como substituição de parte do agregado e não do cimento, como normalmente é avaliada) no controle da reação álcali-sílica através de ensaios acelerados (ASTM C 1260) e análises da microestrutura de barras de argamassa confeccionadas com essa adição e com dois tipos diferentes de agregados: areia quartzosa de rio e calcário.

A Figura 3.5 apresenta as expansões obtidas pelos autores com o ensaio acelerado. Ao contrário das constatações feitas por outros autores, observando-se a Figura 3.5 (a) nota-se que conforme o tamanho das partículas de sílica ativa foram aumentando, decresceram as expansões, a não ser com a sílica pulverizada, que se mostrou altamente reativa. Além disso, com relação ao agregado calcário, Figura 3.5 (b), observa-se que a adição de sílica fez com que as expansões aumentassem.

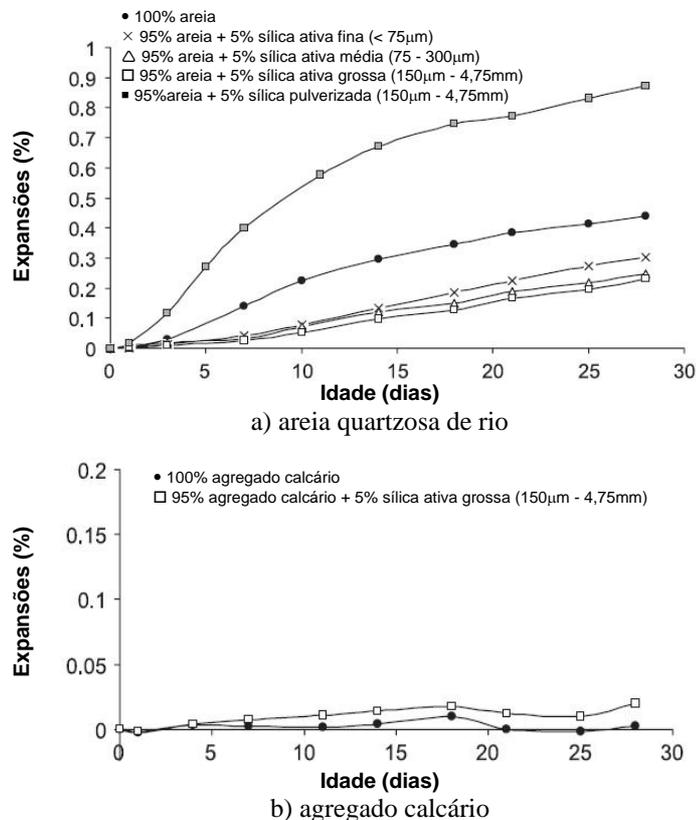


Figura 3.5: expansão conforme a incorporação de sílica ativa (JUENGER; OSTERTAG, 2004, p. 1396)

Como esse não era o comportamento esperado, Juenger e Ostertag (2004, p. 1401) concluíram que partículas grandes de sílica ativa podem diminuir ou aumentar as expansões. Os autores afirmam que na verdade ambas as adições (sílica ativa e sílica pulverizada) reagem com a solução alcalina dos poros do concreto. A diferença no comportamento está relacionada com a facilidade de acesso dos álcalis a esses materiais, conforme o esquema apresentado na Figura 3.6.

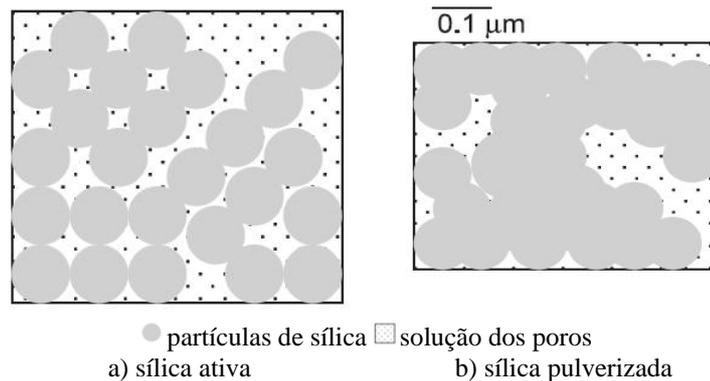


Figura 3.6: diagrama esquemático da diferença da área de contato entre as partículas de sílica ativa (JOENGER; OSTERTAG, 2004, p. 1400)

Na reação dos álcalis com a sílica ativa ocorre maior facilidade de infiltração da solução alcalina, pois sua área específica é maior, Figura 3.6 (a). Dessa forma, os álcalis dos poros podem infiltrar ao redor das partículas mais facilmente e o gel expande livremente. Já com a sílica pulverizada formam-se pelotas, e a solução alcalina não consegue se infiltrar entre os seus grãos. Neste caso as partículas se comportam como um agregado altamente reativo, Figura 3.6 (b).

Hasparyk, Monteiro e Carasek (2000, p. 491), em estudo da influência da sílica ativa e da cinza de casca de arroz na RAA (com a utilização de superplastificante), verificaram que o teor ótimo de adição foi de 15%, e o teor péssimo foi de 4%, sendo que as adições aumentaram a relação cálcio/sílica (C/S) das amostras. Isso indica que os produtos formados por essas adições não foram expansivos. Além disso, os autores correlacionaram as expansões obtidas com a evaporação adicional de água devido à RAA.

De acordo com Xu, Watt e Hudec (1995, p. 1253), a evaporação de água pode ser um indicativo do aumento na formação do gel álcali-silicoso. Nas análises de Hasparyk, Monteiro e Carasek (2000, p. 490-491) as amostras confeccionadas com cinza de casca de arroz amorfa

resultaram em evaporação bem inferior de água, evidenciando que essa adição é eficaz no controle da RAA.

Em contrapartida, Silveira (2001, p. 80) verificou que a cinza de casca de arroz cristalina, ou parcialmente cristalina, pode provocar expansões ao invés de inibi-la. Utilizando vários teores de substituição da cinza, em amostras submetidas ao ensaio acelerado, prescrito pela ASTM C 1260, a autora obteve expansões da ordem de 2% aos 16 dias quando a substituição foi de 25%, sendo que o limite da norma para considerar um agregado reativo é de 0,2%. Analisando a relação C/S, Silveira (2001, p. 92) verificou que essa amostra tinha relações da ordem de 0,39, denotando a formação de produtos altamente expansivos.

Em concretos sem adições a relação C/S é normalmente igual a 1,8. Entretanto, quando o concreto for confeccionado com adições minerais, tais como escória e cinza volante, essa relação tende a diminuir para valores em torno de 1,4 e 1,5, para sílica ativa essa relação cai para 1,0, realçando o poder dos álcalis no concreto (SWAMY, 1992, p. 51), ou seja, dependendo do teor adotado, a sílica ativa também pode provocar a RAA.

Da mesma forma, também deve-se considerar que pode ocorrer a aglomeração dessas partículas, levando-as a desempenhar um papel de agregados ricos em sílica. Este comportamento foi observado tanto com a sílica ativa (JUENGER; OSTERTAG, 2004, p. 1400) quanto com a cinza de casca de arroz (SILVEIRA, 2001, p. 87-92).

Outra adição mineral que vem sendo testada é a escória granulada de alto-forno. Thomas e Innis (1998, p. 723) verificaram que essa adição é eficiente para evitar a reação álcali-sílica, sendo que as expansões diminuem conforme aumenta sua quantidade na amostra. Porém, a escória não se mostrou eficaz no combate da reação álcali-carbonato. Conclusões semelhantes também foram obtidas por Chen, Soles e Malhotra (1993, p. 82-83) com vários tipos de adições minerais, além da escória.

Kormann, Dal Molin e Portella (2004, p. 173) compararam a eficiência da escória de alto-forno e da sílica ativa na inibição das expansões decorrentes da RAA. Os autores verificaram o uso de sílica ativa em substituição de 10% sobre a massa de cimento CP II-Z é mais eficaz que a substituição de 50% de escória.

Mais recentemente vem se estudando o uso do metacaulim no combate à RAA. De acordo com Souza e Dal Molin (2004, p. 355), o metacaulim, obtido através do tratamento de certos

tipos de resíduos como os provenientes da indústria de papel, constitui-se basicamente de caulim beneficiado, tem extrema alvura, finura e pureza (alto teor de caulinita). Este produto é transformado em pozolana aluminossilicosa através do processo de calcinação (700°C à 800°C) e moagem.

O uso de teores de 10% a 20% de metacaulim são suficientes para prevenir expansões deletérias devido à RAA. Substituições da ordem de 20% reduzem significativamente a concentração de hidróxidos alcalinos na solução dos poros do concreto, ficando com valores da ordem de 0,16M a 0,18M, sendo que o mínimo necessário para iniciar a reação é de aproximadamente 0,2M (GRUBER et al., 2001, p. 482-483). Isso fica evidente no gráfico da Figura 3.7.

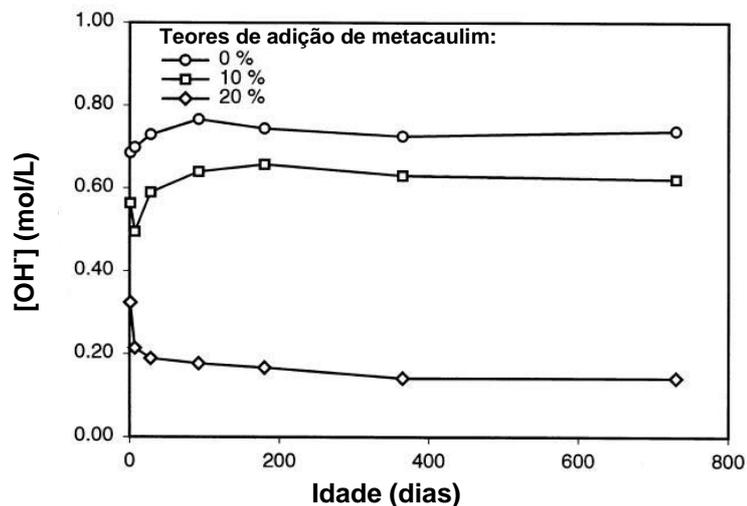


Figura 3.7: relação entre porcentagem de metacaulim e a concentração de hidróxidos alcalinos no tempo (GRUBER et al., 2001, p. 482)

Ramlocham, Thomas e Hooton (2004, p. 1343) compararam as expansões de argamassas confeccionadas com pozolanas (dois tipos de cinza volante), super pozolanas (sílica ativa e metacaulim) e escória de alto-forno. Os autores verificaram que após um ano, sob condições aceleradas, as amostras confeccionadas com sílica ativa tiveram expansões superiores a 1%. Já as amostras com as demais adições tiveram expansões inferiores a 0,1%, o que demonstra que foram eficazes no combate à RAA.

Ao avaliar os resultados obtidos na literatura nota-se que quase todas as adições são eficazes para inibir a expansões decorrentes da RAA. No entanto, existem teores e frações granulométricas ideais para que essas adições não desencadeiem a reação ao invés de impedi-la. Isso deve ser considerado principalmente com relação à sílica ativa e à cinza de casca de

arroz, devido à sua potencialidade de aglomeração e à sua composição química, pois estes materiais possuem grandes percentuais de sílica amorfa.

3.3.2 Aditivos químicos

Os aditivos químicos incorporados à massa de concreto são outra alternativa para inibir a RAA, sendo que as combinações mais estudadas são as com componentes à base de lítio, devido a sua especial eficiência. Porém, seu uso não é comum como as adições pozolânicas. Isso se deve à falta de conhecimento sobre o mecanismo de ação desses aditivos no controle das expansões.

Normalmente considera-se que o lítio (Li^+) substitui parte do sódio e do potássio presente no gel resultante da reação. O Li^+ é capaz de inibir a reação porque tem menor raio atômico e maior densidade de superfície carregada que o Na^+ ou K^+ , o que o capacita a entrar nos produtos da reação mais rapidamente, fazendo com que seja produzido um gel cristalino e não-expansivo. A proporção de íons Li^+ , com relação aos álcalis comuns (Na^+ e K^+) incorporados no gel, é função de sua proporção relativa na solução. Então, a eficiência do tratamento com lítio depende da manutenção de uma alta proporção relativa de lítio com relação aos outros cátions da solução. Esta relação molar $\text{Li}/(\text{Na} + \text{K})$ está entre 0,6-0,9, sendo que dosagens inadequadas levam ao aumento da expansão (MO, 2005, p. 504).

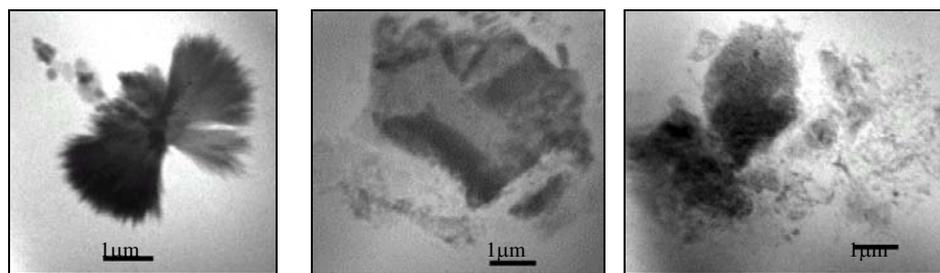
A incorporação do Li^+ nos produtos da reação é relatada por diversos autores. Mitchell, Blaudoin e Grattan-Bellew (2004, p. 648) ressaltam que a inclusão desse íon no gel leva à formação de um composto não expansivo lítico-silicático, em contraste com o complexo expansivo cálcio-álcali-silicato. Essa teoria também é defendida por Collins et al. (2004, p. 1403-1415), que afirmam que os aditivos à base de lítio (LiOH , LiCl e LiNO_3) aumentam a dissolução de sílica. Contudo, esse aumento não traduz acréscimos na expansão, pois a expansão devido à reação álcali-sílica na presença de lítio não depende da quantidade de sílica dissolvida, e sim da formação de um complexo lítico-silicático.

Kawamura e Koderá (2005, p. 498) avaliaram o efeito do hidróxido de lítio (LiOH) após o desencadeamento da reação do Na^+ e do K^+ com os agregados, através da imersão de barras de argamassas em solução de 0,5M de LiOH . Os autores verificaram que após a imersão no LiOH as expansões foram decrescendo com o tempo. Além disso, o gel formado na interface

entre a pasta e os agregados reativos aparentemente é substituído pelos íons Li^+ da solução externa. Isso significa que o LiOH pode ser capaz de deter as expansões desencadeadas pelo Na^+ e K^+ .

Vários sais hidróxidos e cloretos foram estudados por Prezzi, Monteiro e Sposito (1998, p. 9) no combate à RAA: NaOH , KOH , LiOH , NaCl , KCl , LiCl , CaCl_2 , MgCl_2 e AlCl_3 . Esses sais foram incorporados na água de amassamento de barras de argamassa submetidas ao ensaio acelerado (ASTM C-1260). Ao término das análises os autores concluíram que os sais cloretos causaram grandes expansões e verificaram que os resultados dos ensaios estavam de acordo com o modelo da dupla camada proposto por Prezzi, Monteiro e Sposito (1997, p. 10-17). Na teoria da dupla camada fica indicado que para um dado volume iônico, sistemas coloidais contendo cátions com alta valência tem menor potencial de expansão do que os que têm cátions de menor valência na dupla camada. Os resultados obtidos mostram que os sais cloretos monovalentes causam maior expansão, seguida dos cátions bivalentes e trivalentes.

Kurtis et al. (2003, p. 2-3) investigaram os mecanismos do cloreto de cálcio (CaCl_2), do cloreto de lítio (LiCl) e da acetona (CH_3COCH_3) no controle da expansão devido à RAA, usando microscópio de transmissão de raios-x moles. Os autores submeteram amostras de gel sílico-alcalino, oriundo da barragem de Furnas (localizada no estado de Minas Gerais, Brasil), à solução de hidróxido de sódio na presença de íons cálcio, lítio e acetona, e observaram estas imagens no referido microscópio. A Figura 3.8 mostra as imagens obtidas.



a) Cloreto de cálcio (CaCl_2) b) Cloreto de lítio (LiCl) c) Acetona (CH_3COCH_3)

Figura 3.8: imagem da morfologia do gel álcali-silicático na presença de cloreto de cálcio, cloreto de lítio e acetona, obtida em microscopia de transmissão de raios-x moles (KURTIS et al., 2003, p. 2)

Ao observar as imagens nota-se que o cloreto de cálcio - Figura 3.7 (a) - produziu estruturas com morfologia do tipo feixe de trigo, as quais, segundo os autores, não são expansivas. As imagens do gel em solução de cloreto de lítio - Figura 3.7 (b) - mostraram que a dissolução

das partículas originais do gel ocorreu, entretanto, na presença de lítio, a repolimerização do gel expansivo diminuiu se comparada com a reação do gel submetido à solução de hidróxido de sódio (referência). Com relação à acetona - Figura 3.7 (c) - as imagens mostraram que as partículas de gel foram envolvidas por gel repolimerizado, indicando que o uso de acetona como aditivo químico não é eficaz para prevenir as expansões devido à RAA.

3.4 UMIDADE E TEMPERATURA AMBIENTE

Além dos álcalis presentes no concreto, dos agregados reativos e das adições, existem outros fatores intervenientes na formação do gel expansivo da RAA, tais como a temperatura e a umidade do ambiente.

A umidade tem sido vista como um requisito para a expansão em todos os tipos de RAA (álcali-sílica, álcali-silicato e álcali-carbonato). As observações mostram que o concreto é vulnerável a essa reação em locais úmidos, tais como em pontes e barragens (GILLOTT, 1975, p. 309).

Swamy e Al-Alasi (1988, p. 368-369) salientam que a taxa de absorção de água depende do tipo de agregado reativo utilizado e do tipo de gel formado. Para um dado agregado reativo, as diferenças da taxa de absorção em diferentes idades podem ser atribuídas, em parte, à natureza do gel e, em parte, ao desenvolvimento dos vários estágios de fissuração. A taxa de absorção aumenta com o aumento da umidade. Por outro lado, a taxa também aumenta quando novas fissuras surgem, ou quando nas fissuras existentes formam-se canais contínuos. Entretanto, esse acréscimo na taxa de expansão não é regular, é influenciado pelo grau de fissuração, isso porque com o passar do tempo a água absorvida pode diminuir significativamente quando a taxa de expansão diminui, ou pode cessar quando todos os agregados reativos presentes são consumidos.

De acordo com Hobbs (1988, p. 10-11), em concretos com cimento em excesso (500-550 kg/m³), selados depois da desmoldagem e estocados em condições controladas, a água inerente ao concreto algumas vezes pode ser suficiente para causar a fissuração devido à RAA. Entretanto, normalmente é requerida água externa. A Figura 3.9 mostra a dependência da água na expansão em concretos com 15% de sílica calcinada sobre a massa de agregado.

Nota-se que a expansão foi proporcional à aproximadamente a metade do volume de água absorvida.

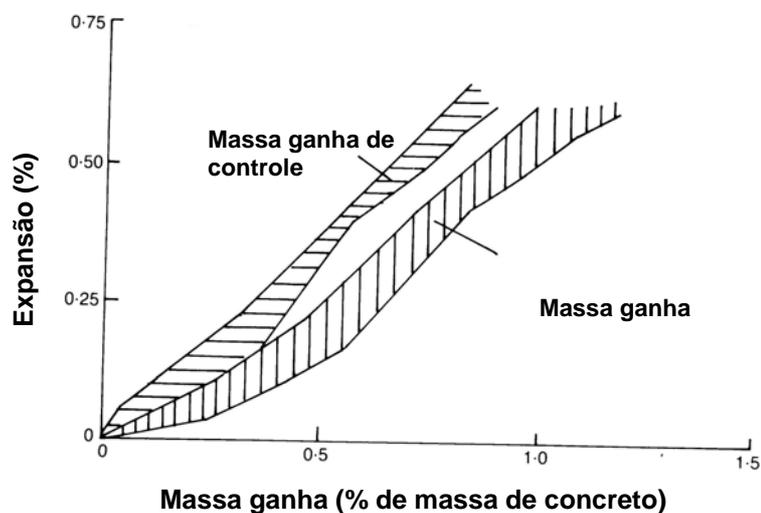


Figura 3.9: relação entre a expansão decorrente da RAA e o ganho de massa no concreto (HOBBS, 1988, p. 10)

Wang (1990, p. 27-28) também ressalta o importante papel da umidade do ambiente para o desencadeamento da reação. O autor explica que, em geral, o gel da RAA contendo baixos teores de cálcio tem grande aumento de absorção de água com o aumento da umidade.

É importante garantir ainda que o teor de umidade seja constante, pois ciclos de molhagem e secagem podem provocar a concentração de álcalis em regiões localizadas do concreto (BULLETIN 79, 1991, apud FURNAS, 1997, p. 17).

Em estudo realizado por Blight (1991, p. 251) num viaduto na África do Sul, no qual a RAA já havia se desencadeado, avaliaram-se algumas alternativas para conter as fissurações da estrutura. Ao final dos trabalhos o autor concluiu que é muito difícil controlar as condições de umidade nas estruturas de concreto, particularmente se essas estruturas tem fissurações. O concreto fissurado admite penetração de água pelas “aberturas” e essa água que penetra não evapora completamente.

Contudo, a exposição do concreto reativo à umidade elevada só provoca expansão enquanto a reação ainda estiver em andamento. Portanto, a influência da água sobre a amplitude das deformações é limitada pelo processo de formação dos produtos de reação (LOPES, 2004, p. 21).

Wang (1990, p. 28) salienta que quando a umidade diminui abaixo de certos níveis, não ocorre a expansão devido à RAA, mas essa umidade é dependente da temperatura.

“O fator temperatura funciona como um catalisador da RAA. Isto porque altas temperaturas, de um modo geral, aceleram as reações químicas” (VALDUGA, 2002, p. 27).

Nos concretos testados por Rigden, Majlesi e Burley (1995, p. 20), a cura em temperaturas maiores que 20°C aumentaram a taxa e a magnitude das expansões em relação às misturas curadas à 20°C. Nesse estudo os autores verificaram que os corpos-de-prova curados a 38°C tiveram resistência à compressão inicial maior que os curados à 20°C. Porém, após 7 semanas a resistência à compressão das amostras curadas à 20°C tornou-se maior, sendo que a resistência final dos corpos-de-prova curados à 20°C é aproximadamente 5% superior. Swamy e Al-Alasi (1988, p. 369) também avaliaram a influência dessas temperaturas na RAA. Os autores verificaram que os concretos curados à 38°C apresentaram considerável redução da resistência à compressão com o passar de um ano, além de apresentarem expansão e fissuração bastante severa. As amostras curadas à 20°C mostraram poucas evidências de deterioração e aumento contínuo da resistência à compressão.

Paulon (1981, p. 54-55) salienta que, quando utilizadas pozolanas no concreto com o intuito de minimizar os efeitos da RAA, o aumento da temperatura acelera a reação da pozolana com os produtos de hidratação do cimento, e esta reação é necessária para evitar que a RAA ocorra. Para o autor, pozolanas muito reativas são ligeiramente afetadas pela temperatura, enquanto que materiais razoavelmente reativos são mais influenciados.

Com o aumento da temperatura o gel torna-se viscoso e tem mais facilidade de percolar pelos vazios do concreto, sendo que temperaturas entre 21°C e 24°C, associadas a umidades relativas do ar superiores a 80%, são condições mínimas para que a reação ocorra (STARK, 1992, apud HASPARYK, 1999, p. 68).

3.5 OUTROS FATORES INTERVENIENTES

A relação água/cimento e o teor de ar incorporado ao concreto também são fatores importantes na RAA, assim como a geometria, a dimensão e o estado de carregamento das

estruturas. Entretanto, poucas análises são encontradas na literatura com relação a esses intervenientes.

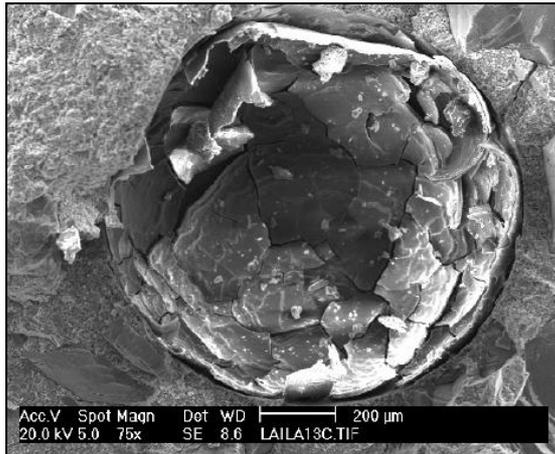
A porosidade do concreto, bem como a interconectividade desses poros, estão intimamente relacionadas com sua relação água/cimento, que por sua vez denotarão em maior ou menor facilidade da umidade ser absorvida pelo concreto, fazendo com que se produza o gel expansivo.

Xu, Watt e Hudec (1995, p. 1233) avaliaram a RAA em amostras de argamassa submersas em água à 80°C com concentração alcalina de 1M. Os autores verificaram que a diferença na água evaporada no ensaio entre as amostras reativas e não reativas pode servir como um indicativo do aumento de água absorvida pelo gel da RAA ou pelas microfissuras geradas pela reação.

Com uma elevada relação água/cimento a porosidade do concreto é maior, assim, os álcalis podem acessar mais facilmente os agregados reativos. Por outro lado, há mais espaço para os produtos da reação se acomodarem, de modo que um menor aumento da pressão de expansão é transferido para a estrutura nas primeiras idades. Em baixa relação água/cimento, a concentração de íons dos poros aumentará. Isso pode aumentar a proporção da RAA, como também a resistência da pasta de cimento. No entanto, quanto mais rápido o ganho de resistência, menor a expansão que pode ser assimilada pela pasta de cimento enquanto ainda está no estado plástico (LENZER, 1981 apud WANG, 1990, p. 37-38).

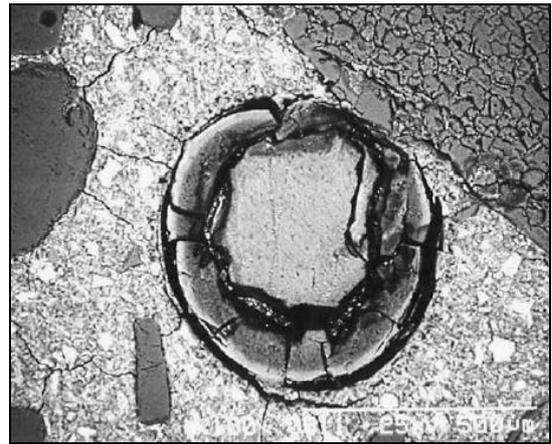
De acordo com Prezzi (1995, p. 21), o uso de ar incorporado ao concreto é benéfico à RAA. Isso ocorre porque os vazios deixados pela incorporação de ar podem proporcionar espaço para o gel expandir. Ao longo do tempo, depois que o gel ocupar todos os espaços vazios e se o concreto ainda apresentar minerais reativos, as estruturas poderão sofrer expansão e fissuração.

Frequentemente em análises microscópicas encontra-se gel dentro dos vazios do concreto. Valduga (2002, p. 158) observou que em corpos-de-prova que não tiveram expansões significativas no ensaio acelerado, prescrito pela ASTM C 1260, foram encontrados os produtos da reação com as mais diversas morfologias nos poros do concreto. A Figura 3.10 mostra imagens de algumas análises microscópicas em que se observou o aspecto do gel incluso nos vazios do concreto.



a) MEV por elétrons secundários

(fonte: VALDUGA, 2002, p. 137)



b) MEV por elétrons retroespalhados

(fonte: KAWAMURA; IWAHORI, 2004, p. 54)

Figura 3.10: gel incluído no poro da matriz cimentícia

Em ensaios realizados por Hobbs (1988, p. 49-50) com relação ao efeito do teor de ar incorporado na RAA, fica claro o seu efeito benéfico com relação à RAA. O autor verificou que o aumento no teor de ar incorporado ao concreto leva à redução das expansões de corpos-de-prova confeccionados com agregado reativo, como pode ser observado na Figura 3.11.

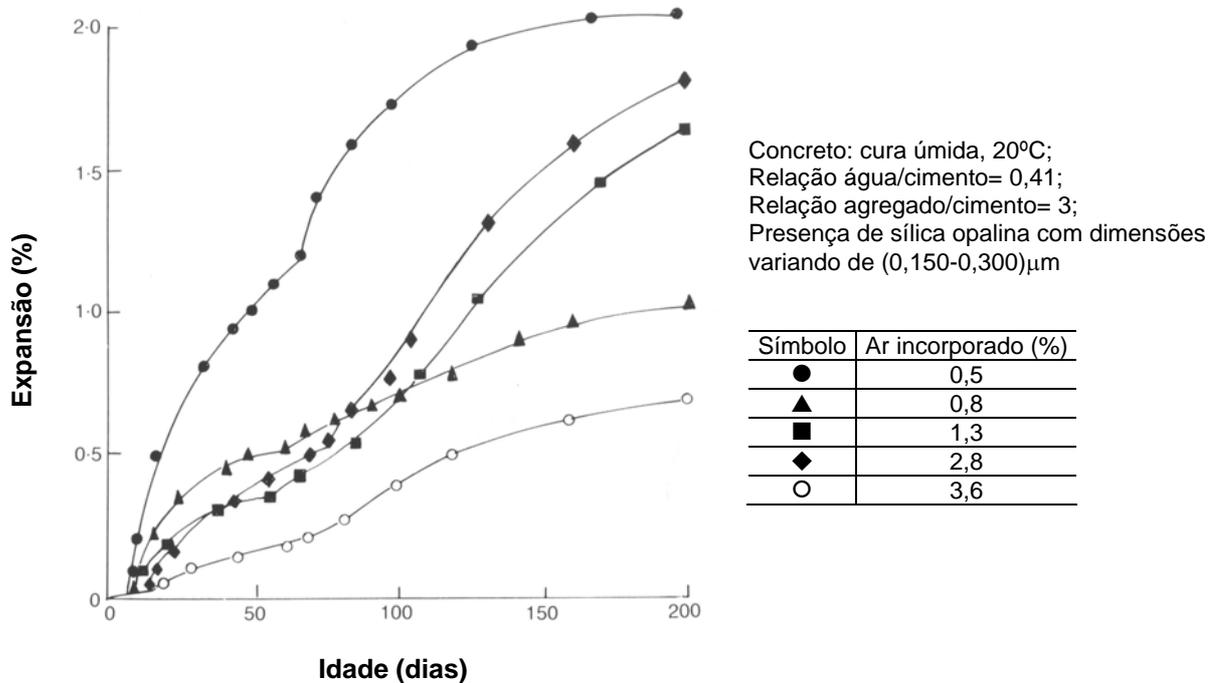


Figura 3.11: influência do teor de ar incorporado nas expansões do concreto confeccionado com agregado reativo (HOBBS, 1988, p. 49)

Lopes (2004, p. 134) discute alguns aspectos sobre o papel da tensão nas estruturas de concreto e afirma que a influência da tensão na RAA se dá, principalmente, através de efeitos estruturais que podem alterar a evolução da expansão. A autora salienta que a evolução da reação química pode depender da pressão do gel, mas não (diretamente) da tensão, pois a ordem de grandeza dessa parcela é ínfima (entre 5 e 10MPa) se comparada com a pressão do gel (que tem ordem de grandeza de 400MPa).

A composição do gel e as pressões de expansão por ele causadas foram estudadas por Kawamura e Iwahori (2004, p. 55). Os autores verificaram que os danos causados devido à tensão secundária (induzida pela pressão expansiva), em concretos com menos restrição, podem não ser significantes, mesmo que o gel contido tenha altos teores de álcalis.

Hobbs (1988, p. 56) avaliou a influência da tensão de compressão na RAA, através da mensuração da expansão de barras de argamassa submetidas a diversos carregamentos durante 112 dias. Após esse período o carregamento foi retirado e as medições continuaram sendo feitas por mais 112 dias. O autor verificou que uma tensão de compressão de 0,35N/mm² foi suficiente para retardar a fissuração e também reduzir a expansão em direção ao carregamento, enquanto que corpos-de-prova que não receberam nenhum carregamento tiveram expansões bem superiores.

A RAA tem sido mais evidente em grandes maciços de concreto, tais como barragens. Mas, de acordo com Paulon (1981, p. 70), a relação entre o fenômeno da RAA e as barragens ocorre somente pelas maiores dificuldades de reparo e riscos de desastres nessas estruturas, pois, segundo o autor, qualquer obra hidráulica pode apresentar a reação.

Ao final desse capítulo se percebeu que são muitos os intervenientes para que a RAA ocorra. Contudo, é necessário que se conheçam os fatores que podem intervir em maiores proporções na estrutura que se está projetando, para que sejam adotadas soluções viáveis tanto estruturalmente como economicamente.

4 PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental do presente estudo foi elaborado objetivando avaliar o comportamento de agregados dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, que constituem a região Sul do Brasil, frente à RAA, com diferentes tipos de cimentos. Para tanto, foram coletadas 10 amostras de areia, 30 amostras de rochas, e escolhidos 4 tipos de cimento Portland.

A escolha dos cimentos foi feita conforme os diferentes teores de adições presentes, em função de que essas adições são capazes de inibir possíveis reações entre os minerais dos agregados e os álcalis. Então, os cimentos utilizados nesse estudo foram: CP V-ARI (cimento Portland de alta resistência inicial), CP V-ARI RS (cimento Portland de alta resistência inicial e resistente a sulfatos), CP IV (cimento Portland pozolânico) e CP II-Z (cimento Portland composto com adição de material pozolânico).

As rochas foram coletadas de acordo com seu potencial de utilização nos respectivos estados de origem, sendo submetidas à análise petrográfica e ao ensaio acelerado da ASTM C 1260/01. Alguns corpos-de-prova utilizados no ensaio acelerado também foram avaliados através de microscopia eletrônica de varredura (MEV) com microanálise por espectrometria de energia dispersiva (EDS).

Essas técnicas de análise foram adotadas por terem se mostrado eficazes ao longo dos anos na predição do comportamento reativo ou inócuo dos agregados quando expostos aos álcalis, sendo que diversos estudos tem encontrado boas correlações entre esses ensaios (WIGUN; FRENCH, 1996, p. 283-284; HASPARYK, 1999, p. 190-191; MONTEIRO et al., 2001, p. 180-181; VALDUGA; PAULON, 2004, p. 148-149).

Desse modo, o planejamento dos experimentos do estudo foi realizado dividindo-se a pesquisa em duas etapas. A primeira contempla o ensaio acelerado e a análise petrográfica, a segunda constitui-se das análises através de MEV e EDS. A Figura 4.1 mostra a organização da primeira parte da etapa experimental do estudo.

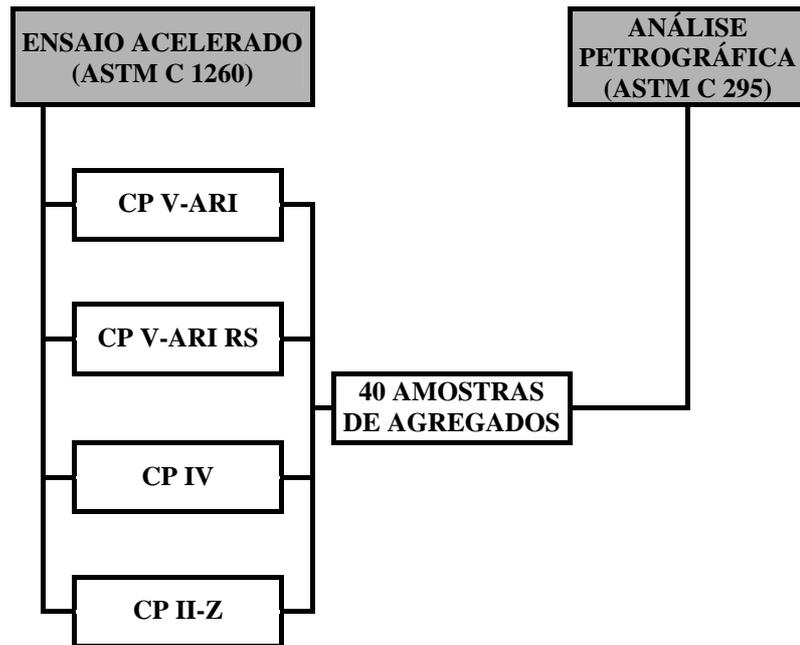


Figura 4.1: primeira parte do programa experimental

Valendo-se dos resultados dos ensaios realizados na primeira etapa dos experimentos, seguiu-se a segunda parte, onde foram escolhidas as amostras para realização das análises microscópicas. A seleção das amostras para essas análises foi feita da seguinte maneira:

- a) Separaram-se fragmentos dos corpos-de-prova submetidos ao ensaio acelerado com todas as rochas e todos os cimentos;
- b) Os fragmentos foram agrupados de acordo com o tipo de rocha constituinte, ou seja, ígneas, metamórficas, sedimentares e sedimentos não consolidados;
- c) As amostras que apresentaram as maiores expansões no ensaio acelerado com o cimento CP V-ARI, de acordo com cada grupo, foram escolhidas para realização de MEV e EDS. Contudo, esse foi somente o critério utilizado para seleção dos agregados a serem avaliados, pois as amostras selecionadas foram avaliadas com os 4 cimentos.

O cimento CP V-ARI foi escolhido como referência nas expansões por possuir menor teor de adições dentre os cimentos avaliados, pressupondo maiores variações de comprimento, já que as adições ajudam a combater a RAA.

A Figura 4.2 apresenta a organização da segunda parte do programa experimental desse estudo.

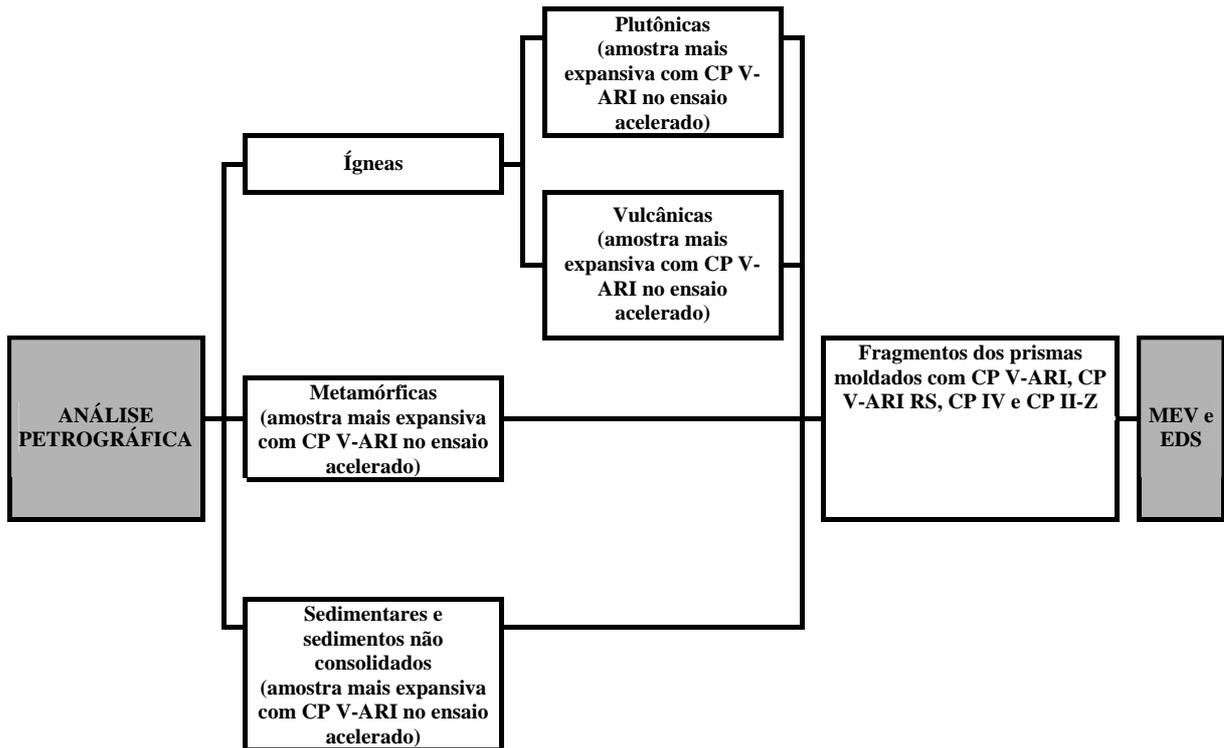


Figura 4.2: segunda parte do programa experimental

Ao final do planejamento dos experimentos verificou-se que para realização do ensaio acelerado, seria necessária a confecção de 3 corpos-de-prova prismáticos de argamassa por amostra de rocha avaliada, conforme as prescrições da ASTM C 1260/01. Como foram avaliadas 40 agregados e 04 tipos de cimento, o experimento conduziu a um total de 480 barras. Dessas barras foram selecionados 20 fragmentos para análise microscópica, 01 fragmento por tipo de amostra (granito, riolito, basalto, areia de rio e gnaiss – para os 4 tipos de cimento). Além disso, executaram-se lâminas delgadas para a análise petrográfica das rochas, totalizando 40 lâminas.

4.1 MATERIAIS

4.1.1 Cimento

Como mencionado anteriormente, o estudo contou com a utilização de 4 tipos de cimentos Portland. No Brasil, os cimentos mais utilizados no concreto são o CP II (E, Z e F), CP III, CP

IV, CP V-ARI e CP V-ARI RS. A Tabela 4.1 apresenta um resumo dos teores de adições prescritos pelas normas brasileiras para os cimentos mais consumidos no Brasil.

Tabela 4.1: composição dos cimentos mais utilizados no Brasil

Tipo de cimento Portland	Sigla	Composição (% em massa)				Norma brasileira
		Clínquer + gesso	Escória granulada de alto-forno (E)	Material pozolânico (Z)	Material carbonático (F)	
Composto	CP II-E	94-56	6-34	-	0-10	NBR 11578
	CP II-Z	94-76	-	6-14	0-10	
	CP II-F	94-90	-	-	6-10	
Alto-forno	CP III	65-25	-	35-70	0-5	NBR 5735
Pozolânico	CP IV	85-45	-	15-50	0-5	NBR 5736
Alta resistência inicial	CP V-ARI	100-95	-	-	0-5	NBR 5733
	CP V-ARI RS	100-95	***	***	0-5	NBR 5737

*** A NBR 5737 prevê a adição de escória granulada de alto-forno ou de materiais pozolânicos, porém não fixa valores.

Valendo-se das informações obtidas das normas e descritas na Tabela 4.1, a escolha dos cimentos a serem utilizados nesse estudo foi feita seguindo os seguintes critérios:

- a) CP V-ARI: foi escolhido por possuir menor teor de adições minerais dentre os cimentos encontrados no mercado;
- b) CP V-ARI RS: selecionado para avaliar a sua capacidade de inibir a RAA, já que não existem especificações do teor de adições a ser utilizado.
- c) CP IV: adotado por ser o cimento com um teor elevado de adições e, além disso, ser bastante consumido nos estados do sul do Brasil;
- d) CP II-Z: escolhido para verificar se a quantidade de adição nele presente é suficiente para inibir a RAA, já que este cimento também possui adição pozolânica, porém em menor teor que o CP IV.

Após a adoção dos cimentos utilizados nesse estudo, solicitou-se junto à empresa fabricante sua caracterização química, física e mecânica, as quais estão descritas nas Tabelas 4.2, 4.3 e 4.4, respectivamente.

Tabela 4.2: características químicas dos cimentos utilizados

Características avaliadas (%)	Tipos de cimento Portland							
	CP V-ARI		CP V-ARI RS		CP IV		CP II-Z	
	Resultado obtido	Exigências da NBR 5733/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 5737/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 5736/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 11578/91
Al ₂ O ₃	4,35	-	6,34	-	9,87	-	6,42	-
SiO ₂	18,55	-	21,66	-	29,35	-	20,31	-
Fe ₂ O ₃	2,69	-	3,13	-	3,28	-	3,12	-
CaO	60,74	-	53,25	-	45,12	-	53,01	-
MgO	5,01	≤ 6,50	5,32	≤ 6,50	4,43	≤ 6,50	5,06	≤ 6,50
SO ₃	2,81	≤ 4,50	3,12	≤ 3,00	2,76	≤ 4,00	3,00	≤ 4,00
Na ₂ O	0,72	-	0,92	-	1,09	-	0,93	-
K ₂ O	0,10	-	0,10	-	0,06	-	0,10	-
Perda ao fogo	3,21	≤ 4,50	3,70	≤ 4,00	3,73	≤ 4,50	5,63	≤ 6,50
CaO livre	1,65	-	1,54	-	1,32	-	1,35	-
Resíduo insolúvel	0,62	≤ 1,00	10,64	≤ 16,00	26,59	-	10,40	≤ 16,00
Equivalente alcalino (Na ₂ O _{eq})*	0,78	-	0,98	-	1,13	-	0,99	-

$$*Na_2O_{eq} = Na_2O + 0,658 K_2O$$

Tabela 4.3: características físicas dos cimentos utilizados

Características avaliadas	Tipos de cimento Portland								
	CP V-ARI		CP V-ARI RS		CP IV		CP II-Z		
	Resultado obtido	Exigências da NBR 5733/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 5737/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 5736/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 11578/91	
Massa específica (g/cm ³)	3,04	-	2,88	-	2,72	-	2,87	-	
Expansão à quente (mm)	1,00	≤ 5,00	0,50	≤ 5,00	0,00	≤ 5,00	0,00	≤ 5,00	
Tempo de pega	Início(h:min)	2:30	≥ 1:00	2:15	≥ 1:00	3:20	≥ 1:00	3:05	≥ 1:00
	Fim (h:min)	3:15	≤ 10:00	3:00	≤ 10:00	4:15	≤ 12:00	3:45	≤ 10:00
Consistência normal (%)	29,60	-	29,70	-	30,00	-	26,80	-	
Finura Blaine (cm ² /g)	4.450	≥ 3.000	4.900	≥ 2.600	4.080	-	3.530	≥ 2.600	
Resíduo peneira #200 (%)	0,10	≤ 6,00	0,20	≤ 15,00	0,10	≤ 8,00	1,50	≤ 12,00	
Resíduo peneira #325 (%)	0,70	-	1,30	-	1,10	-	8,80	-	

Tabela 4.4: características mecânicas dos cimentos utilizados

Características avaliadas	Tipos de cimento Portland								
	CP V-ARI		CP V-ARI RS		CP IV		CP II-Z		
	Resultado obtido	Exigências da NBR 5733/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 5737/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 5736/91	Resultado obtido	Exigências da NBR 11578/91	
Resistência à compressão (MPa)	1 dia	24,40	≥ 14,00	21,90	-	10,30	-	11,40	-
	3 dias	35,30	≥ 24,00	32,70	-	20,70	≥ 10,0	22,20	≥ 10,00
	7 dias	42,70	≥ 34,00	38,90	≥ 10,00	28,00	≥ 20,0	29,20	≥ 20,00
	28 dias	49,70	-	48,10	≥ 20,00	38,90	≥ 32,0	38,10	≥ 32,00

4.1.2 Agregados

No presente estudo foram avaliadas 30 amostras de rochas e 10 amostras de areias dos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul, utilizadas como agregado graúdo e miúdo no concreto. Salienta-se que as amostras foram coletadas de acordo com o seu potencial de utilização como agregado para concreto, ou seja, foram escolhidos os agregados mais utilizados nos estados supracitados.

Com relação à amostragem das rochas, é preciso enfatizar que não foi possível estabelecer um padrão nas profundidades de coleta das amostras no maciço rochoso. Isso porque os agregados foram coletados já beneficiados, diretamente dos depósitos das pedreiras.

A Figura 4.3 mostra um mapa da Região Sul do Brasil, identificando os locais de coletas das amostras avaliadas. Em alguns desses locais foram coletadas mais de uma amostra, porém em pedreiras diferentes. Isso ocorreu nos lugares onde havia a utilização de diferentes tipos de rochas, bem como, algumas vezes, foram coletados agregados miúdos (areia de rio e areia de britagem) e graúdos (brita).



Figura 4.3: locais de coleta dos agregados na Região Sul do Brasil

Na Tabela 4.5 pode-se identificar as cidades do Paraná de onde foram coletadas amostras e, na Figura 4.4, indica-se a localização desses pontos de coleta.

Tabela 4.5: amostras de agregados do Paraná

Número da amostra	Cidade	Tipo de agregado para concreto
01	São Pedro do Paraná	Areia de rio
02	Ponta Grossa	Areia de rio
03	Curitiba	Areia de rio
04	União da Vitória	Areia de rio
05	Paranaguá	Areia de rio
06	Pato Branco	Areia de britagem
07	Cascavel	Areia de britagem
08	Pinhão	Areia de britagem
09	Irati	Areia de britagem
10	Maringá	Brita
11	Ponta Grossa	Brita
12	São José dos Pinhais	Brita
13	São José dos Pinhais	Brita
14	Quatro Barras	Brita
15	Campo Largo	Brita
16	Campo Mourão	Areia de britagem

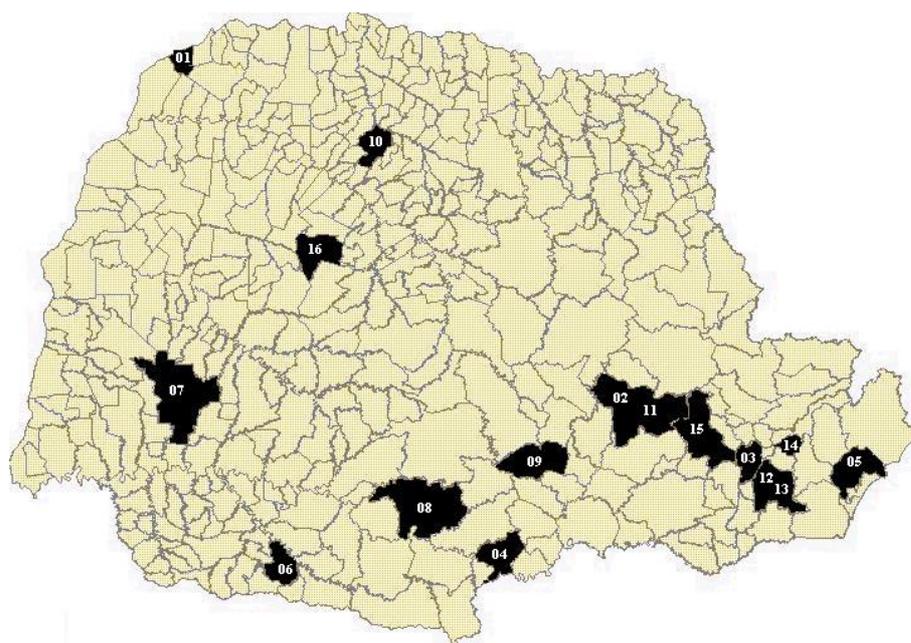


Figura 4.4: identificação dos pontos de coleta no Paraná

Através da Tabela 4.6 pode-se identificar as cidades de Santa Catarina que tiveram amostras de rochas avaliadas neste estudo, bem como, pode-se visualizar a localização dessas cidades na Figura 4.5.

Tabela 4.6: amostras de agregados de Santa Catarina

Número da amostra	Cidade	Tipo de agregado para concreto
17	Gravatal	Areia de rio
18	Gaspar	Areia de britagem
19	Joinville	Areia de rio
20	Joinville	Areia de rio
21	Concórdia	Brita
22	Caçador	Brita
23	Xanxerê	Brita
24	Pouso Redondo	Areia de britagem
25	Joinville	Brita
26	Joinville	Brita
27	Gaspar	Areia de britagem
28	Florianópolis	Brita
29	Tubarão	Brita

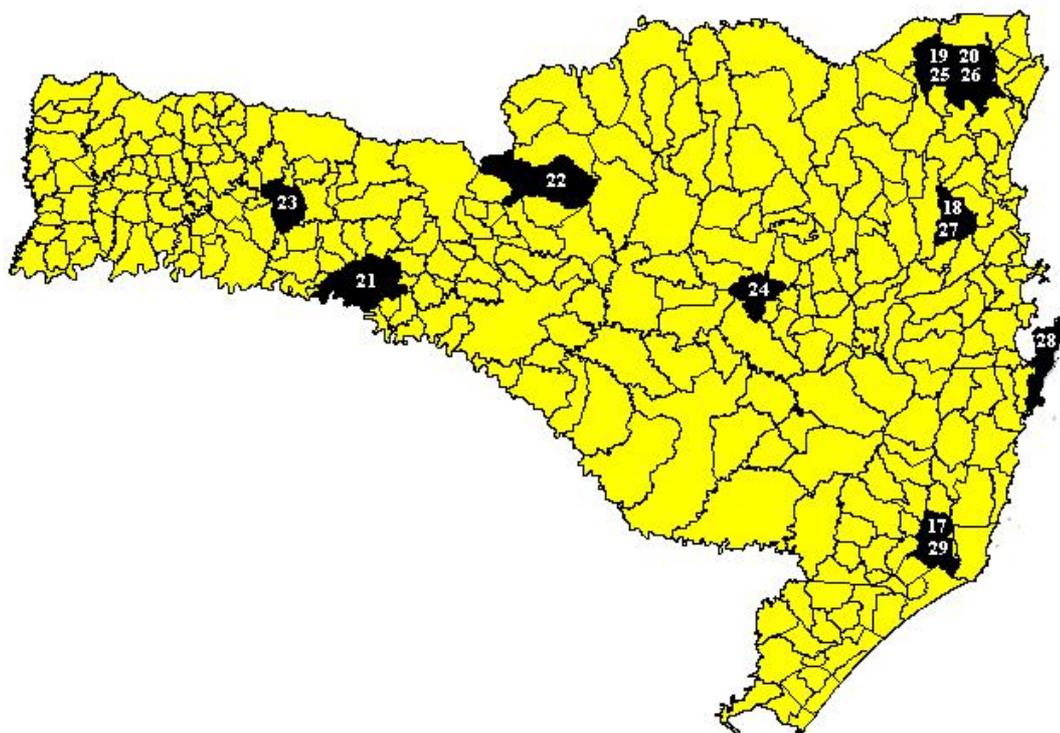


Figura 4.5: identificação dos pontos de coleta em Santa Catarina

As cidades que tiveram seus agregados avaliados no Rio Grande do Sul podem ser conhecidas através da Tabela 4.7. Esses pontos de coleta estão indicados na Figura 4.6.

Tabela 4.7: amostras de agregados do Rio Grande do Sul

Número da amostra	Cidade	Tipo de agregado para concreto
30	Santa Maria	Areia de rio
31	Porto Alegre	Areia de rio
32	Erechim	Brita
33	Montenegro	Brita
34	Passo Fundo	Brita
35	Bento Gonçalves	Brita
36	Estrela	Areia de britagem
37	Itaara	Brita
38	Flores da Cunha	Brita
39	Porto Alegre	Brita
40	Vacaria	Brita

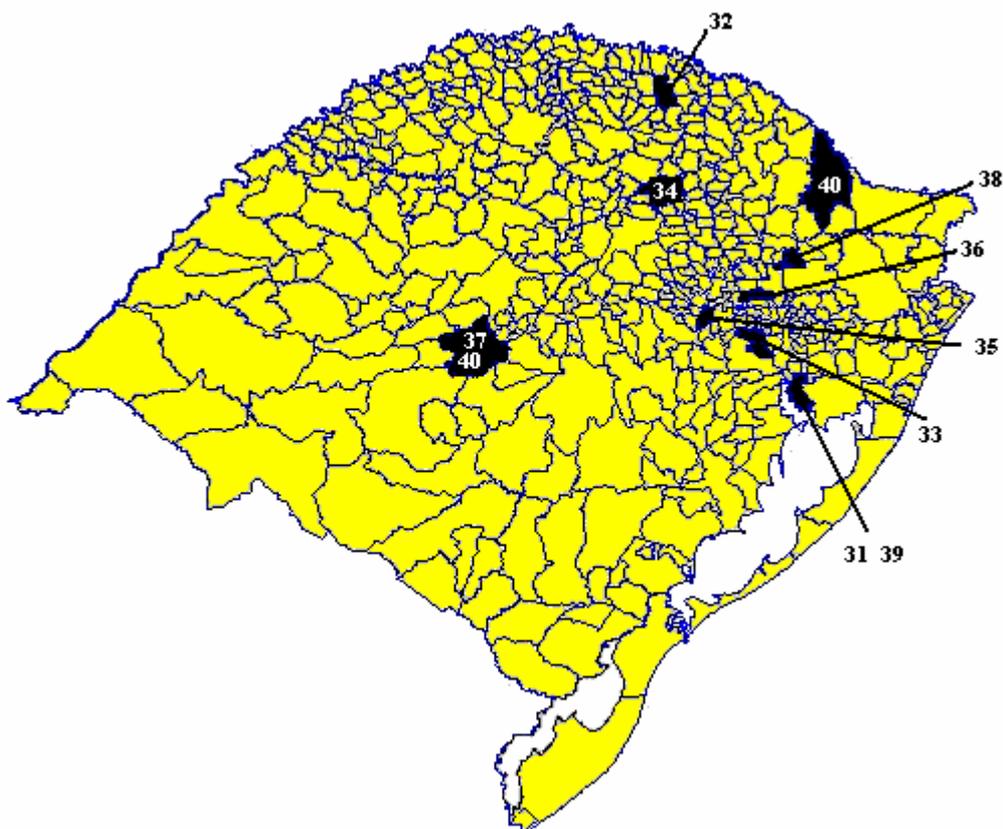


Figura 4.6: identificação dos pontos de coleta no Rio Grande do Sul

4.1.3 Água

A água utilizada nesse estudo é proveniente da rede pública de abastecimento da cidade de Porto Alegre, sendo que para se adequar às recomendações prescritas nas normas de ensaios, passou por um processo de deionização, que consiste na remoção dos íons da água através de resinas catiônicas e aniônicas.

4.2 MÉTODOS

A avaliação da potencialidade reativa de alguns tipos de agregados do sul do Brasil foi realizada através do método acelerado das barras de argamassa e da análise petrográfica. Essas técnicas são bastante utilizadas quando se deseja avaliar o comportamento dos agregados frente à RAA, entretanto, técnicas que envolvem MEV e EDS vêm sendo largamente utilizadas para identificar a formação dos compostos oriundos dessa reação deletéria.

Então, além dos ensaios para avaliação da potencialidade reativa das rochas, efetuaram-se análises microscópicas (MEV e EDS) de fragmentos dos corpos-de-prova utilizados no ensaio acelerado.

A avaliação petrográfica das rochas, o ensaio acelerado e as técnicas de análise microscópica serão descritas nesse item.

4.2.1 Análise petrográfica

As análises petrográficas das rochas avaliadas nessa pesquisa foram realizadas no Instituto de Geociências da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), seguindo as indicações da ASTM C 295/90 (Standard Guide for Petrographic Examination of Aggregates for Concrete).

Esta técnica de avaliação das rochas consiste em analisar, em microscópio óptico, através de lâminas delgadas (aproximadamente 30 μ m), os minerais que compõe a rocha, sua forma, textura e tamanho.

Observou-se, ainda, a estrutura interna das rochas, ou seja, o espaço entre os minerais, seu empacotamento e cimentação. Possíveis heterogeneidades também foram consideradas, assim como as condições físicas da rocha, a presença de inclusões nos minerais e a presença de constituintes conhecidos por causarem reações químicas deletérias ao concreto, tais como a opala e a calcedônia.

Com relação à análise petrográfica, Paulon (1981, p. 63) afirma que “para uma melhor situação de análise, é necessário que esta seja executada por uma pessoa com conhecimento do fenômeno para melhor identificação dos minerais até agora conhecidos que possam causar uma reação deletéria. Portanto, a análise deve ser feita com vistas a este específico tipo de problema”.

Contudo, como a reatividade das rochas pode ser oriunda de fatores que ainda não estão completamente entendidos, é importante que a análise petrográfica seja realizada identificando-se todas as características da rocha.

4.2.2 Método acelerado das barras de argamassa

Normalizado pela ASTM C 1260/01 (Standard Test Method for Potential Alkali Reactivity of Aggregates – Mortar-Bar Method), o ensaio acelerado foi realizado no laboratório de materiais de construção do Núcleo Orientado para Inovação das Edificações (NORIE), da UFRGS, e consiste, basicamente, em verificar a variação de comprimento de barras de argamassa imersas em solução de 1M de hidróxido de sódio (NaOH) à 80°C.

Para execução do ensaio, moldaram-se 3 prismas de argamassa com 25mm de lado e 285mm de comprimento, com os 40 agregados e os 4 tipos de cimento, sendo que o traço dessas argamassas foi de 1:2,25 (cimento:agregado), em massa, e a relação água/cimento 0,47. Desse modo a massa total de cimento utilizada para confeccionar as barras foi de 440g, de agregado de 990g e de água 206,8g.

A ASTM C 1260/01 estabelece as frações granulométricas que devem ser adotadas para os agregados, as quais estão descritas na Tabela 4.8. Para que os agregados atingissem essas frações granulométricas foi necessário sofressem um processo de moagem (com exceção das areias de rio) e peneiramento, sendo que moagem das rochas foi realizada no britador de rolos

do Laboratório de Tecnologia Mineral e Ambiental da Engenharia de Minas e Metalurgia da UFRGS.

Tabela 4.8: frações granulométricas dos agregados para o ensaio da ASTM C 1260/01

Passante na peneira (#)	Retido na peneira (#)	% a ser utilizada na moldagem dos prismas de argamassa (massa)
4,75 mm	2,35 mm	10
2,35 mm	1,18 mm	25
1,18 mm	0,60 mm	25
0,60 mm	0,30 mm	25
0,30 mm	0,15 mm	15

Após a moagem e o peneiramento, as amostras foram lavadas em água corrente, a fim de retirar o material pulverulento, e secas em estufa. Em seguida foram medidas as porcentagens de cada agregado indicadas pela norma para execução do ensaio. Efetuou-se, então, a mistura e estocagem dessas frações granulométricas em sacos plásticos fechados (para que não adquirissem umidade do ambiente).

Para moldagem dos prismas de argamassa, respeitou-se a seguinte seqüência de mistura dos materiais na argamassadeira, a qual é estabelecida pela NBR 13276:

- a) Misturava-se o cimento e a água, em velocidade baixa, durante 30 segundos;
- b) Acréscimo do agregado, misturando por mais 30 segundos, também em velocidade baixa;
- c) Em velocidade alta, os materiais eram misturados por mais 30 segundos;
- d) Durante 1 minuto e 30 segundos interrompia-se a mistura, efetuando-se uma raspagem do fundo e das paredes da cuba da argamassadeira durante os primeiros 30 segundos;
- e) Acionava-se novamente a argamassadeira por mais 1 minuto em velocidade alta.

A utilização de produtos lubrificantes para a desforma dos primas não é recomendada, pois esses produtos podem desencadear reações químicas com a argamassa, intervindo na reação dos agregados com os álcalis. Desse modo, para que fosse possível a desmoldagem dos corpos-de-prova as formas foram previamente envolvidas com um filme plástico.

Os corpos-de-prova de argamassa foram moldados em duas camadas, fazendo-se uma compactação uniformemente distribuída com 17 golpes por camada, sendo estocados após a moldagem em câmara úmida durante 24 horas. Após esse período, efetuou-se a desmoldagem dos prismas e sua devida identificação, levando-os para a cura submersa, em estufa à 80°C por mais 24 horas.

Na etapa seguinte, após 24 horas de imersão, realizou-se a leitura inicial, ou referência, e, subsequentemente, submergiram-se as amostras em uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) na concentração de 1M, confeccionada com água deionizada, na temperatura de 80°C. Salienta-se que a solução foi previamente aquecida nessa temperatura, para evitar o choque térmico das barras.

Os prismas possuíam pinos, ou parafusos, na parte central das suas extremidades, para que as leituras fossem realizadas sempre nos mesmos pontos das barras, sendo que, para evitar sua retração, devido à diferença de temperatura entre a solução e o ambiente, tanto a leitura referência como as demais leituras foram realizadas num período máximo de 15 segundos, de acordo com os seguintes passos:

- a) Retirada individual de cada corpo-de-prova da solução de NaOH à 80°C, ou, no caso da leitura de referência, da água utilizada para cura acelerada, efetuando-se a secagem superficial do prisma com pano úmido;
- b) Colocação da barra no relógio comparador, previamente calibrado com uma barra de aço de 285mm de comprimento;
- c) Submersão do corpo-de-prova novamente na solução.

As leituras efetuadas sempre foram comparadas com a leitura referência, calculando-se a porcentagem de expansão com relação à leitura inicial, e considerando-se a média entre as leituras dos 3 corpos-de-prova moldados por amostra.

De acordo com a ASTM C 1260/01, considera-se que as barras que apresentarem expansões médias inferiores a 0,10% aos 16 dias, são constituídas de agregado inócuo. Quando as expansões aos 16 dias forem superiores a 0,20%, trata-se de um comportamento deletério do agregado. Entretanto, se as expansões forem superiores a 0,10% e inferiores a 0,20% nessa idade, tem-se um comportamento potencialmente deletério, devendo-se levar o ensaio até os 28 dias para verificar se as expansões são oriundas da reação álcali-agregado.

A Figura 4.7 mostra a seqüência de realização do ensaio acelerado.



a) Moagem das rochas



b) Peneiramento e separação das frações granulométricas dos agregados



c) Mistura dos materiais: água; cimento; agregado



d) Moldagem dos prismas



e) Aspecto dos corpos-de-prova após a desmoldagem



f) Amostras alocadas no banho com solução alcalina



g) Realização das leituras

Figura 4.7: seqüência do ensaio acelerado

Ocorre ainda que muitas vezes os agregados tem um comportamento lento no ensaio, então, caso as medições não sejam feitas até os 28 dias, conclusões precipitadas podem ser tiradas, levando à classificação de um comportamento inócuo na idade de 16 dias (HASPARYK, 1999, p. 191). Para evitar classificações equivocadas sobre a potencialidade reativa dos agregados, neste estudo os prismas que apresentaram expansões inferiores a 0,10% aos 16 dias permaneceram na solução de NaOH até completarem 28 dias de ensaio.

Existem muitas críticas com relação a este ensaio, principalmente em função das severas condições de exposição das amostras. Autores como Gudmundsson e Olafsson (1999, p. 1292) salientam que, baseando-se nas condições de exposição e nos limites impostos pela ASTM C 1260, comumente os agregados classificam-se como potencialmente reativos, porém, utilizando-se as mesmas rochas como agregados no concreto de estruturas reais, não se observam sinais de RAA. Por outro lado, de acordo com a própria ASTM C 1260, gnaises e granitos resultaram num comportamento oposto ao descrito por Gudmundsson e Olafsson, tendo apresentado expansões menores que 0,10% aos 16 dias de ensaio, e em campo resultando em concretos com a reação.

Desse modo, cabe salientar que a ASTM C 1260 não foi feita para simular condições de campo, mas sim verificar a potencialidade reativa de um agregado. Alguns autores como Xu; Watt e Hudec (1995, p.1231) chegam a comentar que quando utilizada uma solução de 1M de NaOH à 80°C em barras de argamassa tem-se uma condição muito mais severa do que as que o concreto está exposto ao natural, sendo necessária a utilização de outros métodos para se ter maiores informações sobre o comportamento dos agregados.

4.2.3 Microscopia eletrônica de varredura (MEV) e espectrometria de energia dispersiva de raios-x (EDS)

As observações microscópicas através de MEV e as análises por EDS foram realizadas no Centro de Microscopia Eletrônica (CME) da UFRGS, tratando-se, basicamente, da verificação da presença do gel sílico-alcálico, característico da RAA, em fragmentos dos prismas submetidos ao ensaio acelerado da ASTM C 1260/01 com os 4 tipos de cimentos avaliados.

Como mencionado anteriormente, para as observações em MEV e microanálise por EDS, foram selecionadas as amostras que, de acordo com o tipo de agregado constituinte (rochas

ígneas, metamórficas, sedimentares e sedimentos não consolidados - areias), apresentaram maiores variações de comprimento (expansões) no ensaio acelerado com o cimento CP V-ARI. No entanto, esse foi somente o critério de escolha dos agregados, já que foram avaliados fragmentos dos prismas moldados com essas amostras e os 4 tipos de cimento.

A adoção desse critério de escolha das amostras ocorreu devido ao objetivo das análises, que foi de avaliar possíveis diferenças na composição do gel da RAA, de acordo com as características dos minerais presentes em cada categoria de agregado (ígnea plutônica, ígnea vulcânica, metamórfica, sedimentar e sedimentos não consolidados - areias).

Sendo assim, foram retirados fragmentos do centro dos prismas, localizados preferencialmente em regiões fraturadas devido à expansão, salientando-se que esses fragmentos não sofreram nenhum processo de polimento para análise.

Para realização do ensaio foi necessária uma preparação prévia das amostras, que consistiu em remover a água existente em seus poros, submergindo-as na acetona e estocando-as em um recipiente fechado com sílica gel até que sua superfície fosse metalizada com uma névoa de ouro.

Após a preparação das amostras, realizou-se a MEV, por elétrons secundários, onde faz-se uma leitura topográfica da amostra analisada, sendo possível observar a forma dos compostos. Entretanto, para verificar sua composição química é necessário utilizar a sonda espectrométrica.

A execução da microanálise por espectrometria de energia dispersiva (EDS) teve como principal objetivo verificar os elementos químicos presentes nos locais onde se observaram compostos com morfologias semelhantes às descritas na literatura como características dos produtos da RAA (gel). Entre essas características pode-se citar a mais comum, que são as formações maciças lisas e gretadas, normalmente encontradas sobre o agregado, nos poros e na interface entre o agregado e a pasta de cimento, as quais foram citadas por Hasparyk (1999, 137-146), Silveira (2001, p. 88-89), Valduga (2002, p.134-147), entre outros autores.

Em cada imagem selecionada para realização de EDS foram analisados 16 pontos, uniformemente distribuídos sobre o produto em questão. A adoção dessa distribuição busca avaliar um número representativo de pontos de cada composto.

Por fim, cabe salientar que, ao passo que a MEV pode ser uma valiosa ferramenta para diagnosticar os produtos da RAA, os requisitos de preparação das amostras fazem desta técnica menos usual para estudar a reação e o mecanismo de expansão. Isso se deve ao fato de os produtos da reação apresentarem água, então, a remoção da água, requerida pelo ensaio, pode levar à alteração das amostras e afetar a interpretação dos mecanismos da reação (KURTIS et al., 1999, p. 289).

Além disso, para se obter uma análise quantitativa precisa através de microanálise por EDS seria mais prudente e confiável a adoção de amostras polidas. Entretanto, no presente estudo a avaliação não foi feita nesse tipo de amostra, pois primou-se pela análise dos produtos observados em MEV através das imagens obtidas topograficamente, ou seja, a com a morfologia real dos produtos. Isso não seria possível se fosse efetuado o polimento das amostras.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos com a análise petrográfica, o ensaio acelerado das barras de argamassa, as análises de EDS e as observações em MEV. Além disso, é feita a avaliação dos resultados obtidos, buscando verificar se os objetivos propostos foram atingidos através dos ensaios realizados.

Ao final são feitas análises comparativas entre as metodologias empregadas, procurando determinar a complementaridade entre os mesmos, principalmente entre o ensaio acelerado e a análise petrográfica, isto é, avaliar as características petrográficas que levaram às maiores expansões no ensaio acelerado, procurando destacar peculiaridades mineralógicas comuns entre as amostras consideradas mais reativas.

5.1 ANÁLISE PETROGRÁFICA

Como se sabe as rochas e as areias são constituintes importantes do concreto, e podem estar presentes neste material de construção na forma de agregados miúdos e graúdos.

De acordo com determinadas características desses agregados, tais como a porosidade, a composição granulométrica, a forma, a textura, a resistência, entre outros, eles influenciarão nas propriedades do concreto no estado fresco, como na consistência, e nas propriedades do estado endurecido, como no módulo de elasticidade e na durabilidade, entre outras propriedades muito importantes.

Contudo, essas características que os agregados possuem são fruto da composição mineralógica dos mesmos, a qual está relacionada com suas condições de formação e exposição. Em função disso, as rochas podem ser classificadas como ígneas, sedimentares, metamórficas e sedimentos não consolidados (areias de rio), sendo que, de acordo com cada classificação, os minerais presentes serão semelhantes.

Então, para não tornar repetitiva e exaustiva a compreensão da análise petrográfica desse estudo, já que se trata da avaliação de 40 amostras, optou-se por dividi-las de acordo com essa

classificação (ígneas, metamórficas, sedimentares e sedimentos não consolidados), fazendo uma descrição geral dos principais minerais constituintes conforme o tipo de agregado.

Embora tenha sido feita essa divisão entre as amostras, sempre houve a preocupação em enfatizar as características comuns que pudessem levá-las a maior ou menor potencialidade reativa, além de ilustrá-las através das imagens obtidas microscópio óptico. Salienta-se ainda que no APÊNDICE A podem ser observadas imagens de todas as amostras de agregados avaliadas, bem como no APÊNDICE B as composições químicas dos minerais encontrados.

5.1.1 Rochas ígneas

As rochas ígneas são formadas a partir do resfriamento do magma terrestre, entretanto, dependendo da velocidade com que ocorre esse resfriamento, as rochas poderão ter estrutura diferente. Se o resfriamento for lento, os minerais que se formam possuem estruturas mais cristalinas e de dimensões maiores, formando rochas chamadas plutônicas, contudo, quando as rochas são formadas a partir de um resfriamento rápido do magma, os seus minerais constituintes são menores e contém muito material silicático amorfo ou não cristalizado, na forma de vidro. São as rochas vulcânicas.

Como esses dois tipos de rochas ígneas possuem características mineralógicas bastante diferentes, para efetuar as análises petrográficas foi feita uma subdivisão das amostras, em amostras de rochas ígneas plutônicas e ígneas vulcânicas, as quais serão descritas a seguir.

5.1.1.1 Rochas ígneas plutônicas

Formadas em profundidade, as rochas ígneas plutônicas são bastante utilizadas em construção civil no Brasil. Os representantes mais comuns que fazem parte dessa categoria são os granitos, os dioritos, os sienitos e os gabros.

Nesse estudo foram coletadas somente amostras de granitos, mesmo porque é o exemplar mais comum dentre os citados. De acordo com Frascá e Sartori (1998, p. 28), no Brasil os

granitos são muito abundantes nas regiões de Escudo (Guianas, Brasil Central e Atlântico), principalmente em núcleos de cadeias montanhosas.

De acordo com a análise mineralógica, as rochas que se classificaram como granitos são as Amostras 14 (Paraná), 18, 25, 27, 28, 29 (Santa Catarina) e 39 (Rio Grande do Sul), e fazem parte do Escudo Atlântico, conforme pode ser observado na Figura 5.1.

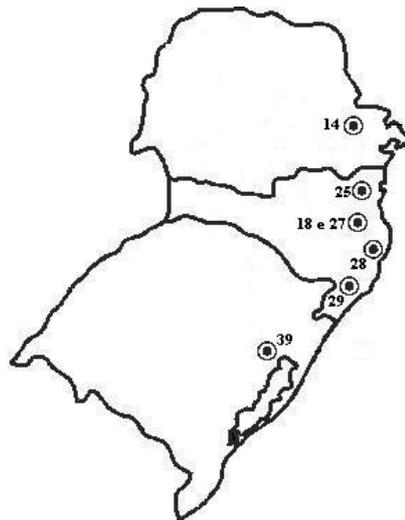


Figura 5.1: localização das rochas ígneas plutônicas avaliadas

Os granitos avaliados são constituídos basicamente por quartzo e feldspato (feldspato alcalino e plagioclásio). Entretanto, também foram observados, em alguns casos, a presença de grãos de zircão, anfibólio, biotita, clorita, muscovita e carbonatos. Na Figura 5.2 pode-se observar os minerais mais comumente encontrados nos granitos.

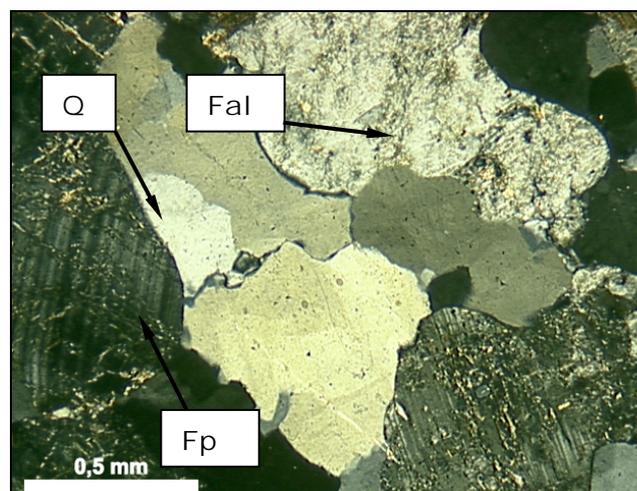
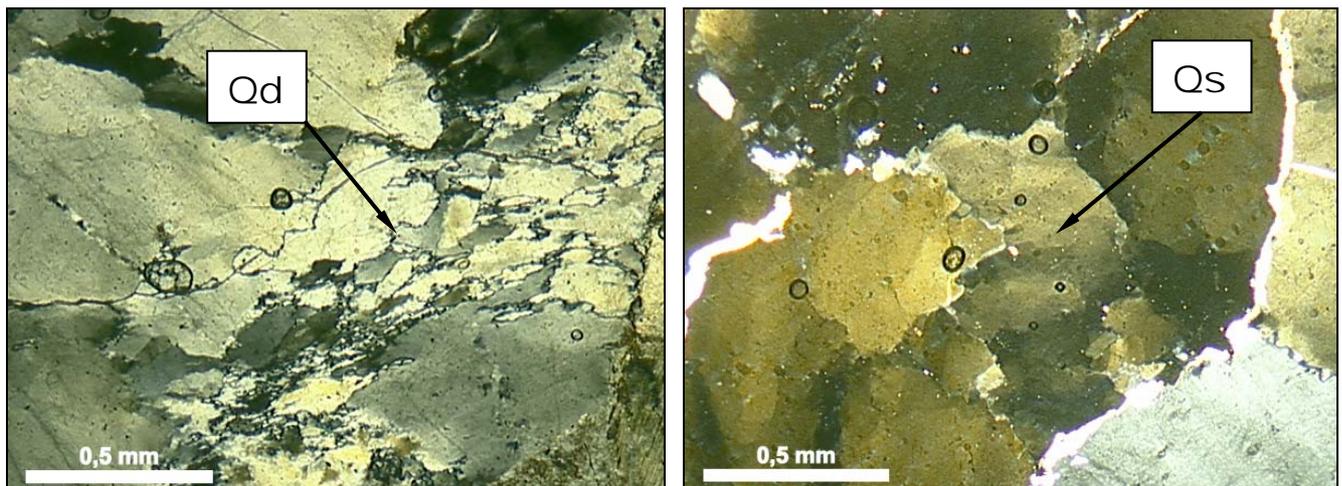


Figura 5.2: Amostra 25 - aspecto microscópico de um granito constituído por quartzo (Q), plagioclásio (Fp) e feldspato alcalino (Fal). Ampliação 5x – polarizador cruzado

Dentre esses minerais, o quartzo é único constituído somente de sílica, portanto, denota em maior possibilidade de reação com os álcalis. Dessa forma, verificou-se que a Amostra 14 é a que possui menor quantidade de quartzo, sendo que a quantidade presente ocupa aproximadamente 10% da amostra e tem leve extinção ondulante, o que indica que quase não está deformado. Além disso, seus grãos são pequenos, possuindo aproximadamente 0,4mm de diâmetro, e tem forma subédrica. Já as Amostras 27 e 39 possuem muito quartzo em sua constituição mineralógica, cerca de 50%. Na Amostra 27 os grãos são subédricos, pouco deformados e seu tamanho está em torno 1,5mm de diâmetro. Entretanto, a Amostra 39 possui grãos muito deformados de quartzo, chegando a apresentar dobramentos (quartzo fitado), conforme pode ser observado na Figura 5.3 (a), e seu tamanho é de aproximadamente 3,5mm. Nas Amostras 28 e 29 o quartzo presente está bastante deformado, possuindo grande extinção ondulante e chegando a formar sub-grãos, como indica a Figura 5.3 (b); em ambas as amostras sua quantidade está em torno de 35%, seu tamanho pode chegar a 4mm e sua forma é subédrica. A amostra 18 caracteriza-se por apresentar quartzo com muita extinção ondulante, formando sub-grãos e grãos microcristalinos, o que é indicativo que esse mineral está bastante deformado. Além disso, 30% da amostra é constituída por quartzo e os grãos possuem aproximadamente 1,0mm. Na Amostra 25 os grãos de quartzo variam de 0,3mm a 1,5mm, entretanto, predominam os grãos maiores; ocupando aproximadamente 20% da amostra, esse mineral possui grande extinção ondulante.

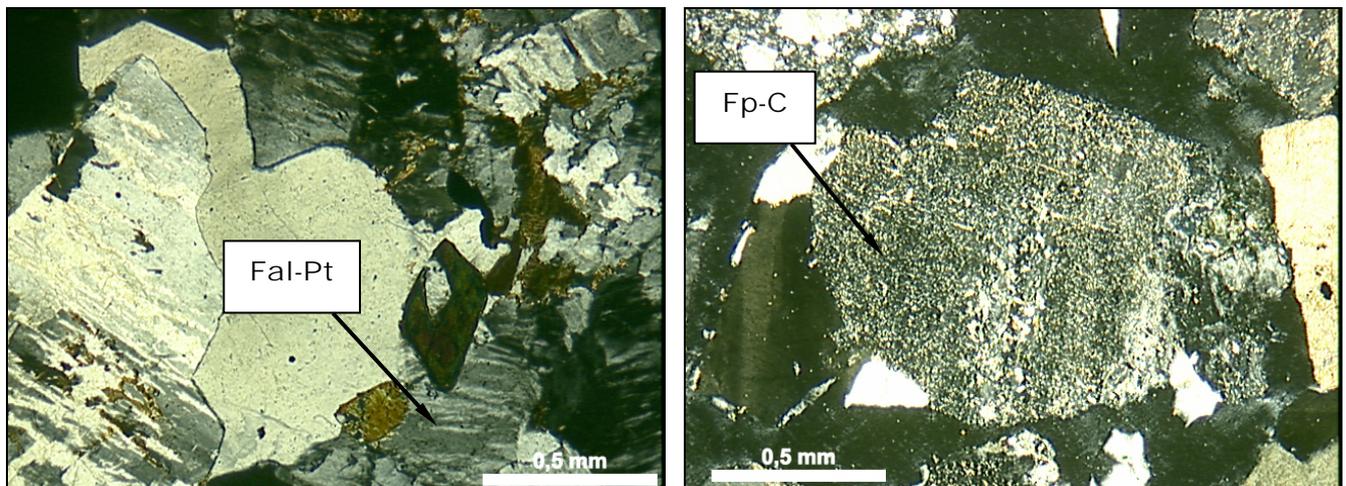


a) Amostra 39: quartzo apresentando dobramentos (Qd). b) Amostra 28: quartzo com grande extinção ondulante, chegando a formar sub-grãos (Qs). Ampliação 5x – polarizador cruzado.

Figura 5.3: rochas graníticas apresentando grãos de quartzo bastante deformados

Como os feldspatos fazem parte da constituição mineralógica dos granitos, é importante que se saliente que os cátions que constituem sua solução sólida¹ são o cálcio (Ca), o sódio (Na) e o potássio (K). Por isso vários autores têm avaliado a possibilidade de liberação de álcalis dos feldspatos na solução do concreto, o que acabaria por aumentar a potencialidade de desencadeamento de RAA na estrutura (VAN AARDT; VISSER, 1977; CONSTANTINER; DIAMOND, 2003).

Avaliando a ocorrência de feldspatos nos granitos estudados, verificou-se que todos apresentavam em sua constituição tanto feldspatos alcalinos como plagioclásios. As quantidades presentes desses minerais variaram entre 8% e 15%, sendo que nas Amostras 14, 28 e 29 foram observadas pertitas sobre os feldspatos alcalinos, conforme pode ser visualizado na Figura 5.4 (a). Em algumas amostras os minerais feldspáticos estão se alterando, tais como na Amostra 25, 27 e 29, sendo que na Amostra 27 essa alteração ocorre para argilominerais e carbonatos (Figura 5.4 (b)) e na amostra 29, além de haver alteração dos feldspatos para argilominerais, estes apresentam extinção ondulante.



a) Amostra 14: presença de pertitas sobre os feldspatos alcalinos (Fal-Pt). Ampliação 5x – polarizador cruzado. b) Amostra 27: plagioclásio alterando-se para carbonato (Fp-C). Ampliação 5x – polarizador cruzado.

Figura 5.4: feldspatos presentes nas rochas graníticas

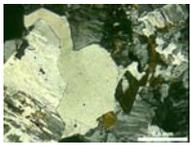
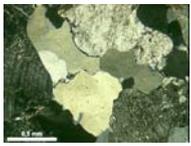
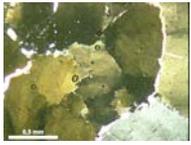
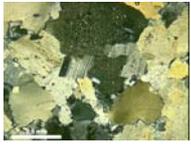
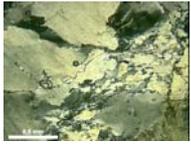
Em todas as amostras também foi observada a presença de grãos de biotita, muitas vezes bastante alterados, como nas Amostras 28 e 29. Observou-se ainda, nas Amostras 14 e 25, alguns grãos de anfibólio, sendo que na Amostra 14 trata-se de anfibólio sódico (riebekita). A

¹ Solução sólida: variação na composição química de um mineral possibilitada por diferentes cátions dos vários sítios existentes entre os ânions.

Amostra 18 apresenta alguns raros grãos de clorita, a Amostra 39 de muscovita e a Amostra 27 possui grãos bem cristalizados de carbonatos.

A Tabela 5.1 apresenta resumidamente as principais características petrográficas das rochas graníticas.

Tabela 5.1: resumo das principais características dos granitos avaliados

Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados						Observações	Imagem da amostra
			Quartzo			Feldspato (feldspato alcalino e plagioclásio)		Outros		
			Quant. (%)	Tam.(mm) Forma	EO	Quant. (%)	Tam.(mm) Forma			
14	PR	Quatro Barras	10	0,4 ----- Subédrica	F	10 - 15	- ----- Anédrica	Biotita, riebekita, zircão	-	
18	SC	Gaspar	30	1,0 ----- -	E	8	1,0 ----- Subédrica	Biotita, clorita	Presença de quartzo microcristalino e os feldspatos possuem inclusões	
25	SC	Joiville	20	0,3 - 1,5 ----- -	E	7 - 12	1,4 - 2,5 ----- Anédrica	Biotita, anfibólio	Predominam os grãos maiores de quartzo e o anfibólio está alterando-se para biotita	
27	SC	Gaspar	50	1,5 ----- Subédrica	F	7	1,5 ----- Subédrica	Biotita, carbonatos	Os carbonatos estão em quantidades localizadas e os feldspatos alterando-se para argilas	
28	SC	Florianópolis	35	4,0 ----- Subédrica	E	50	5,0 - 7,0 ----- Subédrica	Biotita	Presença de pertitas sobre os feldspatos alcalinos	
29	SC	Tubarão	35	4,0 ----- Subédrica	E	10	3,0 - 7,0 ----- Anédrica	Biotita	Presença de pertitas sobre os feldspatos alcalinos	
39	RS	Porto Alegre	50	3,5 ----- Anédrica	E	20	- ----- -	Biotita, muscovita	Quartzo muito alterado (fitado)	

EO= extinção ondulante; F= fraca; E= elevada.

5.1.1.2 Rochas ígneas vulcânicas

As rochas ígneas vulcânicas se formam pelo extravasamento do magma sob pressão na superfície terrestre ou nas suas proximidades, o qual resfria e cristaliza rapidamente, levando à formação de rochas bastante compactas, com cristais muito finos.

O basalto, o riolito, o andesito, o traquito e o fonolito são os exemplos mais comuns de rochas ígneas vulcânicas. Entretanto, somente amostras de basaltos e riolitos foram coletadas para avaliação no presente estudo, sendo que maior parte delas são basaltos, oriundos da Formação Serra Geral da Bacia do Paraná.

A Figura 5.5 mostra a localização das rochas ígneas vulcânicas coletadas para avaliação, sendo que as Amostras 12, 16 (Paraná), 26 (Santa Catarina), 34, 35, 37 e 38 (Rio Grande do Sul) foram classificadas como riolitos e as Amostras 06, 07, 08, 09, 10, 11 (Paraná), 21, 22, 23, 24 (Santa Catarina), 32, 33, 36 e 40 (Rio Grande do Sul), como basaltos.

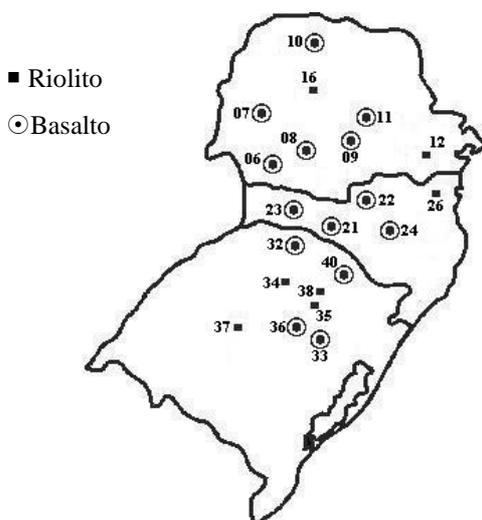


Figura 5.5: localização das rochas ígneas vulcânicas avaliadas

Constituídos basicamente por quartzo e feldspatos (plagioclásios e feldspatos alcalinos), os riolitos são equivalentes vulcânicos dos granitos, pois possuem os mesmos minerais. Além disso, muitas vezes o quartzo presente se forma a partir de mesóstases vítreas oriundas do processo de formação da rocha, conhecida como vidro vulcânico. Na Figura 5.6 pode-se observar os principais minerais constituintes de riolitos.

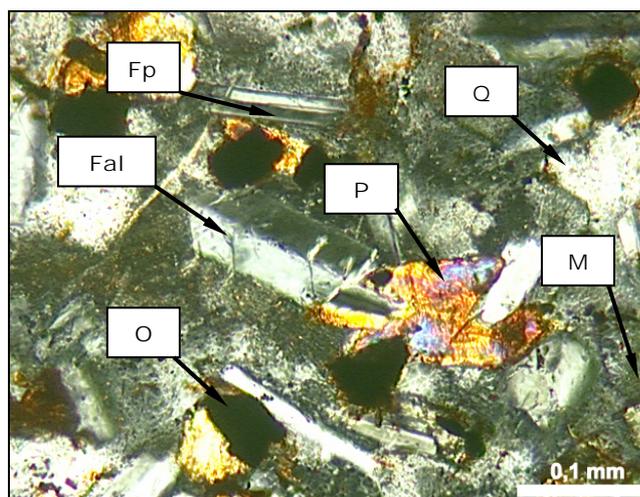
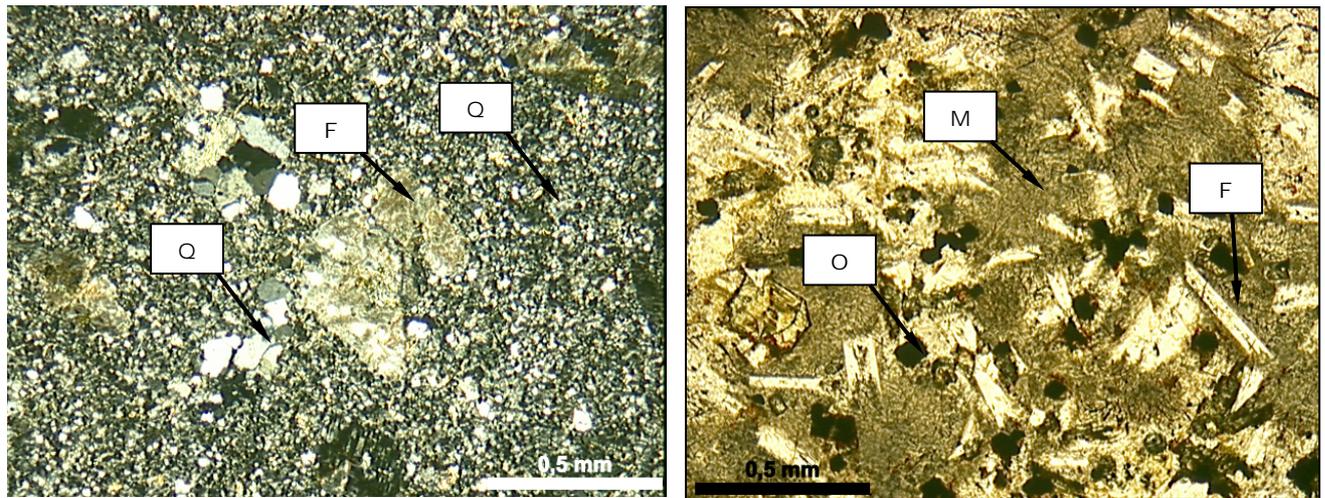


Figura 5.6: Amostra 35 - aspecto microscópico de um riolito constituído por quartzo (Q), plagioclásio (Fp), feldspato alcalino (Fal), piroxênio (P), minerais opacos (O) e mesóstase (M). Ampliação 20x – polarizador cruzado

As mesóstases vítreas foram observadas em quase todas as amostras de riolitos avaliadas, somente nas Amostras 12 e 37 esta constituição amorfa não foi observada. Entretanto, na Amostra 12 o quartzo ocupa aproximadamente 60% da rocha e apresenta grande extinção ondulante (Figura 5.7 (a)), chegando a formar sub-grãos com dimensões que variam de 0,01mm a 0,2mm, ou seja, minerais bastante finos. Na Amostra 37 também são observados grãos de quartzo, porém intersticial e com extinção homogênea, ocupando em torno de 20% da amostra. Dentre as demais amostras de riolitos destaca-se a predominância de mesóstases com relação aos cristais nas Amostras 26 e 34 (cerca de 40-50%), havendo inclusive formação de grãos de quartzo com extinção ondulante na mesóstase, o que indica que esta é rica em sílica, como pode ser visualizado na Figura 5.7 (b). As Amostras 16 e 35 possuem mesóstases bem disseminadas entre os grãos, ocupando em torno de 20% do total, sendo que na Amostra 16 há a formação de microgrãos de quartzo. Na Amostra 38 a mesóstase é um pouco diferente, de cor castanha e alterada para argilominerais, havendo ainda a presença de quartzo intersticial com leve extinção ondulante. Além disso, essa amostra é cortada por um veio quartzoso.



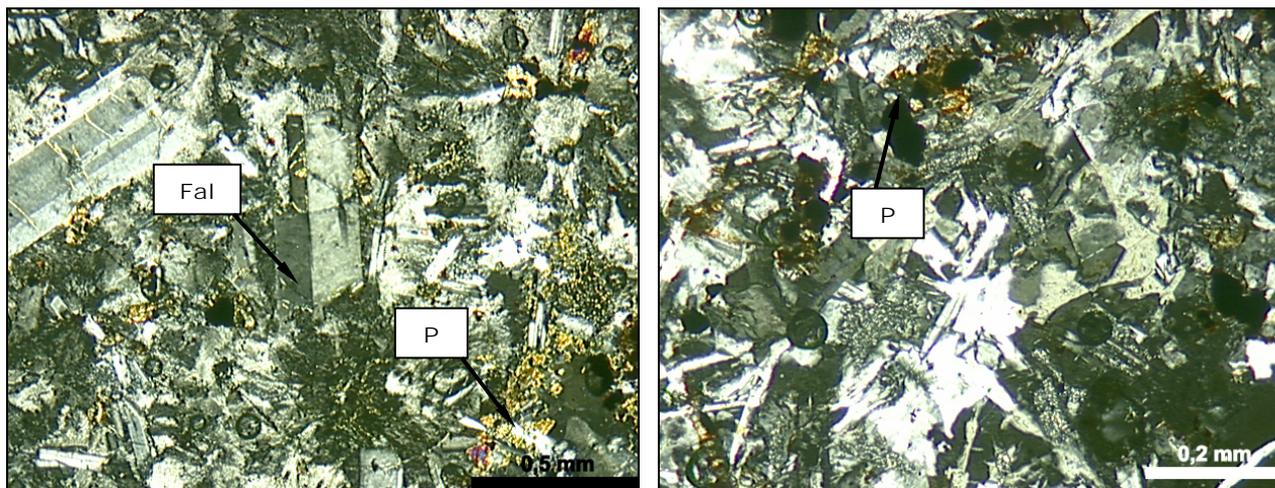
a) Amostra 12: matriz muito fina com grande quantidade de grãos de quartzo (Q), havendo ainda a presença de cristais maiores de quartzo e de feldspato alterado (F). Ampliação 5x – polarizador cruzado.

b) Amostra 26: grande quantidade de mesóstase vítrea amorfa (M) com relação aos cristais de feldspato (F) e aos minerais opacos (O). Ampliação 5x - luz natural.

Figura 5.7: características de amostras riolíticas

Os minerais feldspáticos constituintes das amostras riolíticas analisadas apresentam-se em quantidades aproximadamente iguais, variando de 30% a 40%, a não ser na Amostra 35, na qual ocupam cerca de 60% do total. O tamanho dos grãos também é semelhante em todas as amostras, variando de 0,2mm a 0,5mm de comprimento. Nas Amostras 12, 37 e 38 os minerais feldspáticos estão se alterando para argilominerais, o que é mais um indicativo de alta potencialidade reativa desses agregados.

Em quase todas as amostras de riolitos avaliadas verificou-se a presença de piroxênios, a única exceção foi a Amostra 12. A quantidade desse mineral nas amostras foi bastante variada, sendo que nas rochas 26 e 34 apresentaram-se nas menores proporções, cerca de 2% a 5%. Contudo, na Amostra 34 sua granulação é muito fina, variando de 0,02mm a 0,08mm, conforme pode ser visualizado na Figura 5.8 (a). Nas amostras 16, 35, 37 e 38 as quantidades de piroxênios presentes ficaram em torno de 20% a 30%, sendo que a dimensão desse mineral variou de 0,1mm a 0,3mm, a não ser na Amostra 37, em que os grãos ficaram entre 0,6mm a 1,0mm. Outra característica a ser salientada, e que pode ser observada na Figura 5.8 (b), é que os piroxênios das Amostras 37 e 38 apresentaram um grau incipiente de alteração para óxidos de ferro e argilominerais nos planos de clivagem e nas fraturas.



a) Amostra 34: presença de mesóstase (M), feldspato alcalino (Fal) e piroxênios de granulação muito fina (P). Ampliação 5x- polarizador cruzado
 b) Amostra 37: piroxênios alterando-se para óxidos de ferro. Ampliação 5x – polarizador cruzado.

Figura 5.8: presença de piroxênios em amostras riolíticas

Nas Amostras 16, 26, 34, 35 e 37 também observou-se a presença de minerais opacos em proporções variadas, sendo que as Amostras 35 e 37 foram as que apresentaram maiores quantidades, 10% e 15% respectivamente. Nas amostras 26 e 34 cerca de 5% a 8% das rochas são constituídas por esse mineral. Já a Amostra 16 apresentou proporções menores, cerca de 2%, entretanto, nessa amostra os opacos estavam alterados para óxidos de ferro.

A Tabela 5.2 apresenta um resumo das principais características dos riolitos coletados para avaliação no presente estudo.

Tabela 5.2: resumo das principais características dos riolitos avaliados

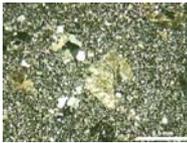
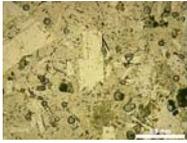
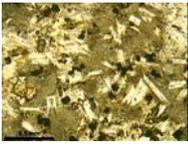
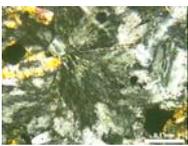
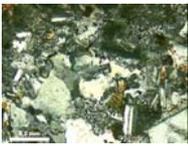
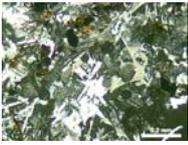
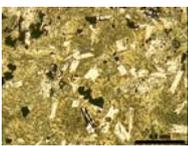
Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados							Observações	Imagem da amostra	
			Mesóstase silicosa amorfa (%)	Quartzo		Feldspato (feldspato alcalino e plagioclásio)		Piroxênio (%)				Minerais opacos (%)
				Quant. (%)	Tam.(mm)	Quant. (%)	Tam.(mm)	Quant. (%)	Tam.(mm)			
				EO	Forma	Forma	Forma	Forma				
12	PR	S.J. dos Pinhais	-	55 - 60	0,01 – 0,2	30	0,2	-	-	-	Presença de fenocristais de quartzo e de feldspato alcalino	
16	PR	Campo Mourão	40	-	-	40	0,3 – 0,8	20	0,1 – 0,3	2	Presença de microgrãos de quartzo na mesóstase	

Tabela 5.2: resumo das principais características dos riolitos avaliados
(continuação)

Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados								Observações	Imagem da amostra
			Mesóstase silicosa amorfa (%)	Quartzo		Feldspato (feldspato alcalino e plagioclásio)		Piroxênio (%)		Minerais opacos (%)		
				Quant. (%)	Tam.(mm)	Quant. (%)	Tam.(mm)	Quant. (%)	Tam.(mm)			
				EO	Forma	Forma	Forma					
26	SC	Joinville	40	10	0,3	35	0,6	2	0,2 – 0,3	8	Os feldspatos alcalinos predominam; Microgrãos de quartzo na mesóstase	
				E	-		-		Anédrica			
34	RS	Passo Fundo	40 - 50	10	0,6	30	0,2 – 0,6	5	0,08 – 0,2	3 – 5	-	
				E	-		Subédrica		Anédrica			
35	RS	Bento Gonçalves	20	-	-	60	0,3 – 0,4	20	0,2	10 - 15	Presença de microgrãos de quartzo na mesóstase	
				-	-		Subédrica		Subédrica			
37	RS	Itaara	-	20	0,2 – 0,6	35	0,2 – 0,6	30	0,6 – 1,0	15	Piroxênio bastante alterado para ferruginosos e argilominerais	
				M	Anédrica		Subédrica		Subédrica			
38	RS	Flores da Cunha	40	-	-	40	0,1 – 0,5	20	0,1 – 1,5	-	Mesóstase de cor castanha e alterada; Presença de um veio de quartzo cortando a amostra	
				-	-		Subédrica		Subédrica			

EO= extinção ondulante; F= fraca; M= moderada; E= elevada.

As amostras basálticas caracterizaram-se pela presença de mesóstases vítreas amorfas, plagioclásios, piroxênios, argilas e minerais opacos, conforme pode-se observar na Figura 5.9.

A presença de mesóstases é o maior indicativo da existência de material silicoso nas rochas basálticas, sendo que esse tipo de formação amorfa foi observada em todas as amostras de basaltos avaliadas. Algumas amostras apresentaram menor quantidade, tais como a 32, a 33, a 36 e a 40, contudo, em todas essas rochas as mesóstases vítreas mostraram-se bem disseminadas nos interstícios dos grãos, como pode-se observar na Figura 5.10 (a). Na Amostra 32 verificou-se a existência de cristais com birrefringência de quartzo na mesóstase, indicando que a mesma é rica em sílica. A presença de quartzo microgranular também foi verificada na Amostra 11. Grandes proporções de mesóstases foram observadas nas Amostras

06, 07, 08, 09, 10, 11, 21, 22, 23 e 24. Avaliando-se a Figura 5.10 (b) verifica-se que a Amostra 21 apresenta a peculiaridade de ser muito mais fina que as demais.

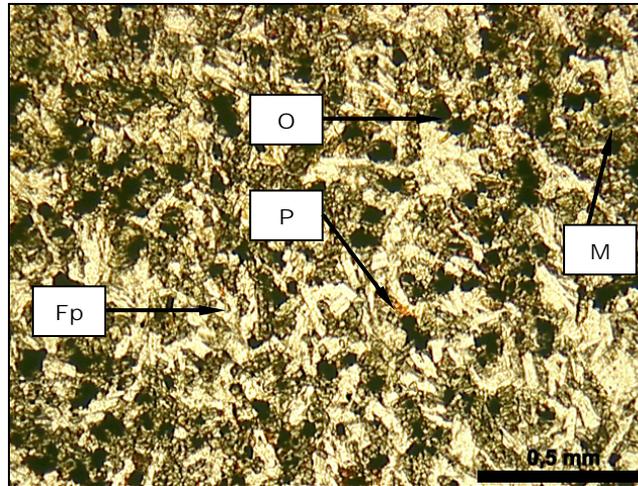
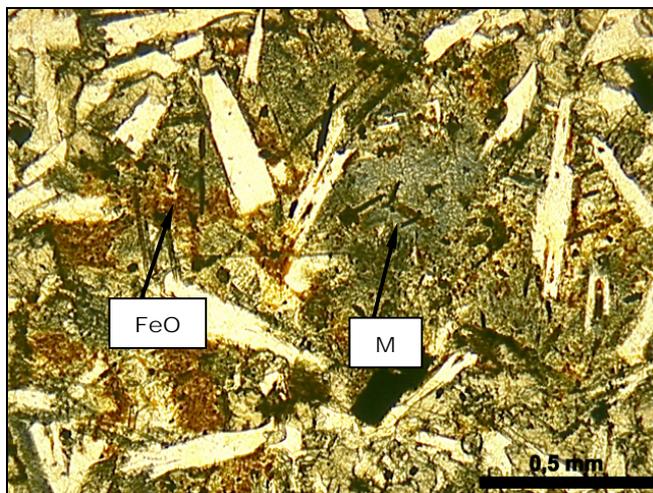
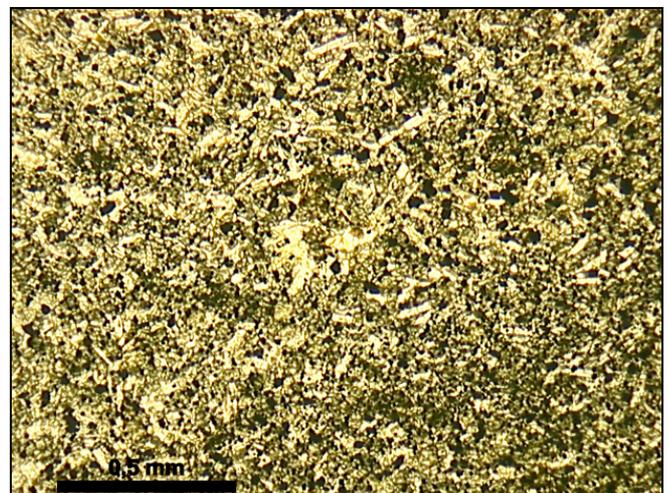


Figura 5.9: Amostra 32 - aspecto microscópico de um basalto constituído por plagioclásio (Fp), piroxênio (P), minerais opacos (O) e mesóstase (M). Ampliação 5x – luz natural



a) Amostra 33: presença de mesóstase vítrea (M) e óxidos de ferro (FeO). Ampliação 5x – luz natural.



b) Amostra 21: matriz muito constituída de grande quantidade de mesóstase. Ampliação 5x – luz natural.

Figura 5.10: características de amostras basálticas

Em todas as amostras basálticas verificou-se a presença de argila, na maioria das vezes argila marrom (esmectita), a qual é expansiva. As proporções de argilas observadas foram de modo geral pequenas, porém, a Amostra 22 apresentou quantidades maiores não só de argila marrom, como também de argila verde (celadonita), não expansiva. A presença de argila

verde também foi observada na Amostra 08. A Figura 5.11 mostra imagem obtida microscopicamente da esmectita e da celadonita.

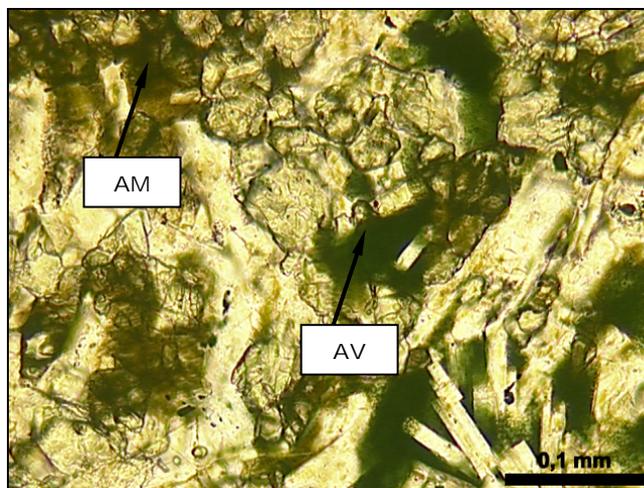


Figura 5.11: Amostra 22 - aspecto microscópico da argila verde (AV), e da argila marrom (AM). Ampliação 20x – luz natural

Os plagioclásios apresentaram-se em quantidades bastante variadas em todos os basaltos. As rochas com maiores proporções desse mineral foram as Amostras 06, 09, 10, 11, 21, 23 e 24, com cerca de 40%. Nas Amostras 09, 10 e 23 sua granulação variou de 0,5mm a 0,6mm, na Amostra 11 foram observados grãos com tamanhos mais variados, entre 0,1mm e 1,5mm, contudo, nessa amostra os plagioclásios apresentaram-se alterados para argilominerais. A granulação dos plagioclásios nas Amostras 06, 21 e 24 mostrou-se muito fina, não sendo possível medi-los. As amostras 07, 08, 22, 32, 33 e 36 apresentaram quantidades menores desse mineral, ficando em torno de 30%, e seus grãos possuem dimensões entre 0,3mm e 0,6mm, assim como na Amostra 40, porém nessa rocha a quantidade de plagioclásios foi de apenas 10%.

A presença de grãos de piroxênios foi mais significativa nas Amostras 11 e 21, ficando em torno de 40%. Nas demais amostras as quantidades variaram de 20% a 30%, a não ser na Amostra 36, que apresentou somente 5% desse mineral. Em todas as rochas a dimensão dos piroxênios foi de aproximadamente 0,3mm. Cabe salientar que nas Amostras 10 e 11 esse mineral apresentou-se alterado para argilominerais.

As principais características dos basaltos são apresentadas resumidamente na Tabela 5.3.

Tabela 5.3: resumo das principais características dos basaltos avaliados

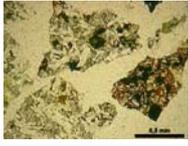
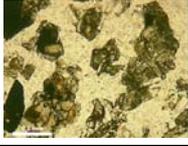
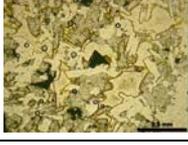
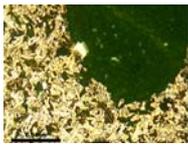
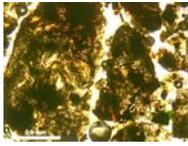
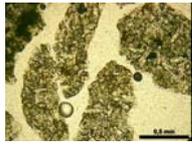
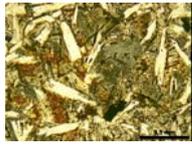
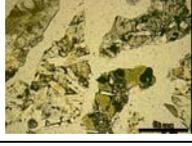
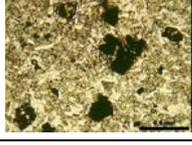
Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados						Observações	Imagem da amostra
			Mesóstase silicosa amorfa (%)	Feldspato (feldspato alcalino e plagioclásio)		Piroxênio (%)		Minerais opacos (%)		
				Quant. (%)	Tam.(mm) Forma	Quant. (%)	Tam.(mm) Forma			
06	PR	Pato Branco	20	50	0,1 Subédrica	20	0,3 Anédrica	5	Grãos bastante oxidados e presença de argila	
07	PR	Cascavel	45 - 50	20	0,3 Subédrica	30	0,2 - 0,3 Anédrica	5	-	
08	PR	Pinhão	45	30	0,3 - 0,6 Subédrica	20	0,3 Anédrica	2	Presença de argila verde	
09	PR	Irati	50	40	0,3 - 0,6 Subédrica	10	0,3 Anédrica	2	-	
10	PR	Maringá	40	35	0,5 - 0,6 Subédrica	17	0,5 - 0,6 Anédrica	2	-	
11	PR	Ponta Grossa	10	40	0,1 - 1,5 Subédrica	40	0,1 - 0,4 Anédrica	10	Presença de microgrãos de quartzo na mesóstase	
21	SC	Concórdia	20	40	- Subédrica	35	- Anédrica	2	Amostra microcristalina, não sendo possível medir o tamanho dos grãos. Há ainda a presença de argila verde e argila marrom	
22	SC	Caçador	50	30	0,3 Subédrica	30	0,3 Anédrica	2	Presença de argila verde	
23	SC	Xanxerê	40	40	0,5 Subédrica	20	0,4 - 0,6 Anédrica	5	Os opacos estão muito alterados para ferruginosos	

Tabela 5.3: resumo das principais características dos basaltos avaliados (continuação)

Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados						Observações	Imagem da amostra
			Mesóstase silicosa amorfa (%)	Feldspato (feldspato alcalino e plagioclásio)		Piroxênio (%)		Minerais opacos (%)		
				Quant. (%)	Tam.(mm) Forma	Quant. (%)	Tam.(mm) Forma			
24	SC	Pouso Redondo	30	40	0,1 ----- Subédrica	30	0,1 ----- Anédrica	-	-	
32	RS	Erechim	30	25	- ----- -	25	- ----- -	10	Matriz microcristalina: muito fina, não sendo possível obter a dimensão dos minerais	
33	RS	Montenegro	20	30	0,3 – 0,6 ----- Subédrica	20	0,2 – 0,3 ----- Anédrica	2	Grande quantidade de ferruginosos – cerca de 15%, mesóstase bem cristalizada	
36	RS	Estrela	60	20	0,6 ----- Subédrica	5	0,1 – 0,5 ----- -	5	Indícios da presença de quartzo na mesóstase	
40	RS	Vacaria	20	10	0,3 ----- -	20	0,3 ----- -	2	Presença de restos de olivina	

5.1.2 Rochas sedimentares e sedimentos não consolidados

As rochas sedimentares são formadas a partir da consolidação de partículas oriundas de rochas pré-existentes, sendo que essa consolidação pode ocorrer por deposição mecânica, precipitação química ou por ação biogênica.

De acordo com o processo de formação das rochas sedimentares os minerais presentes serão diferentes, podendo-se então dividi-las em três categorias: depositadas mecanicamente (tanto no estado consolidado como no estado não consolidado), depositadas mecanicamente e consolidadas por cimentos oriundos de reações químicas e depositadas e consolidadas por via química. As areias de rio fazem parte da categoria dos sedimentos depositados mecanicamente e não consolidados, assim como pedregulhos, siltes e argilas (MEHTA;

MONTEIRO, 1994, p. 242). Outros exemplares conhecidos de rochas sedimentares são o calcário, o carvão mineral, a grauvaca e o chert.

Largamente utilizadas como agregado miúdo no concreto, as areias coletadas para avaliação foram as Amostras 01, 02, 03, 04, 05 (Paraná), 17, 19, 20 (Santa Catarina), 30 e 31 (Rio Grande do Sul). Apenas uma rocha consolidada de origem sedimentar foi analisada, trata-se da Amostra 15, um calcário, oriundo do Estado do Paraná. A localização dessas amostras pode ser observada através da Figura 5.12.



Figura 5.12: localização das rochas sedimentares e das areias de rio

Os calcários são constituídos por minerais carbonáticos, sendo eles calcita ou dolomita. Conhecidos por desencadearem a reação álcali-carbonato, os carbonatos causam preocupação quando utilizados no concreto, em função de que ainda não se conhecem formas de inibir o desencadeamento da reação expansiva que eles provocam ao reagirem com os álcalis, pois as pozolanas, que são normalmente utilizadas para prevenir a reação álcali-sílica e álcali-silicato, não têm efeito benéfico em concretos contendo esse tipo de agregado.

No presente estudo a Amostra 15 foi classificada como rocha de origem carbonática. Constituída por uma matriz completamente carbonática com veios de carbontos, a Amostra 15 é um calcário dolomítico, cuja granulação é muito fina e pode ser visualizada na Figura 5.13.

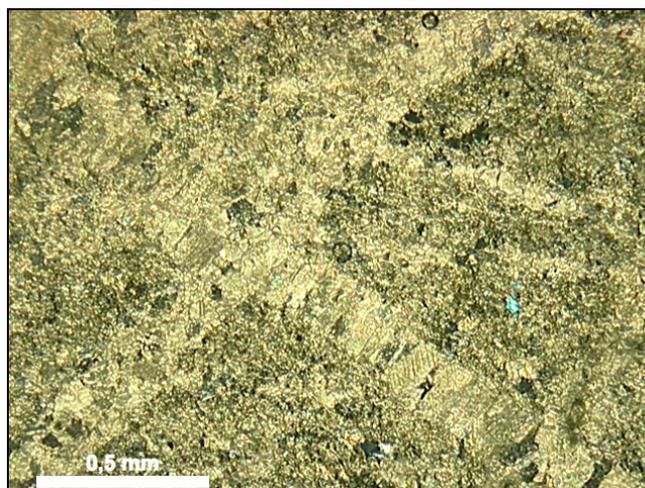
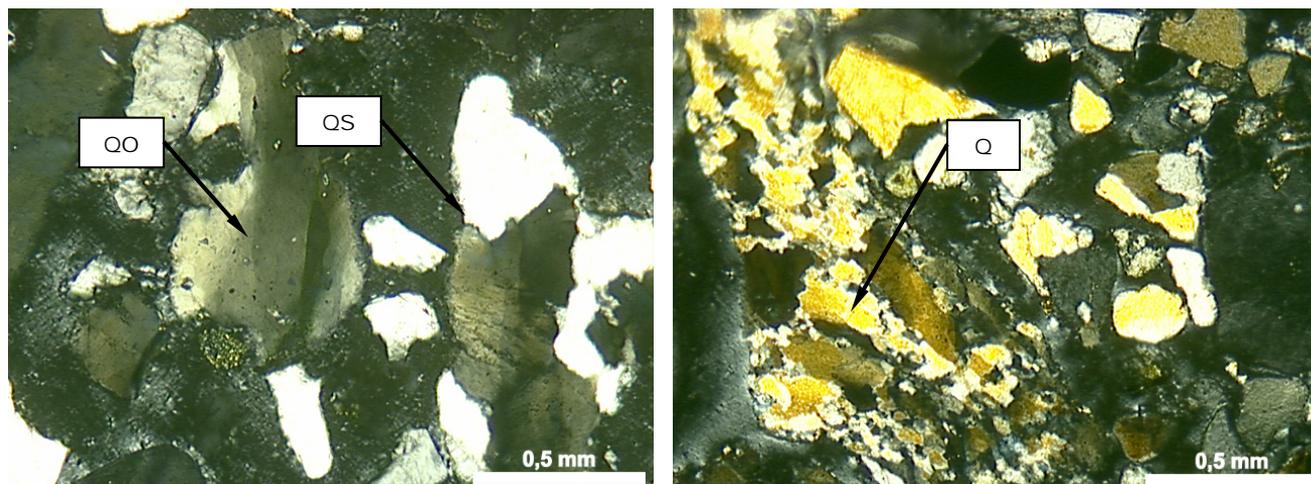


Figura 5.13: Amostra 15 – matriz carbonática com veios de carbonatos. Ampliação 5x – luz polarizada

Os sedimentos não consolidados, ou areias de rio, são constituídos basicamente por grãos de quartzo e alguns raros grãos de feldspatos, zircão, biotita e epidoto.

Em todas as areias os grãos de quartzo apresentaram-se com extinção ondulante, porém, em alguns casos, a deformação mostrou-se mais intensa, como nas Amostras 01, 04, 05, 19, 30 e 31. Nessas amostras já pode se perceber a formação de sub-grãos de quartzo a partir dos grãos principais (Figura 5.14 (a)). Além disso, na Amostra 19 observou-se a presença de quartzo microcristalino (Figura 5.14 (b)). A granulação das areias foi bastante variada, as amostras mais finas foram a 02, 03, 05 e 17, onde os grãos variaram de 0,1mm a 0,4mm. Os grãos de quartzo observados foram de modo geral arredondados, contudo, a Amostra 17 apresentou grãos mais angulosos. Na Amostra 31 os grãos de quartzo apresentaram-se bastante fraturados, sendo esses de dimensões bem maiores, cerca de 2mm a 4mm. Porém, em quase todas as amostras as dimensões dos grãos variaram de 0,2mm a 1,8mm.



a) Amostra 05: presença de quartzo bastante alterado, com extinção ondulante (QO) e formando sub-grãos (QS). Ampliação 5x – polarizador cruzado.

a) Amostra 19: presença de quartzo microcristalino e com extinção ondulante (Q). Ampliação 5x – polarizador cruzado.

Figura 5.14: características das areias de rio

Grande parte das amostras de areias apresentou feldspatos, no entanto, em pequena quantidade (máximo 2%), sendo que na maioria das vezes o feldspato observado foi o plagioclásio. Nas Amostras 02, 03 e 31 esses minerais mostraram-se alterados para argilominerais.

A Tabela 5.4 resume as características mais importantes a serem salientadas das areias de rio.

Tabela 5.4: resumo das principais características das areias de rio avaliadas

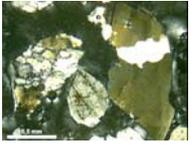
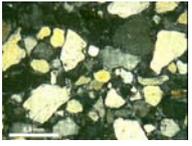
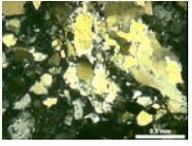
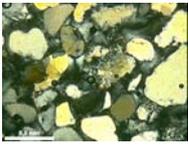
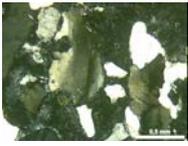
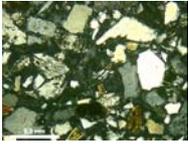
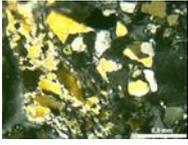
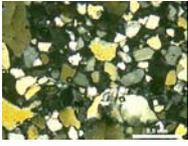
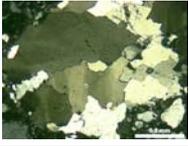
Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados				Observações	Imagem da amostra
			Quartzo			Outros		
			Quant. (%)	Tam.(mm) Forma	EO			
01	PR	S.P. do Paraná	90	0,2 – 1,8 ----- Arredondada	E	Plagioclásio	Presença de fragmentos de rocha quartzosa (quartzito)	
02	PR	Ponta Grossa	98	0,8 ----- Arredondada	F	Feldspato	-	
03	PR	Curitiba	80	0,1 – 0,7 ----- Arredondada	F	Feldspato, zircão	-	

Tabela 5.4: resumo das principais características das areias de rio avaliadas (continuação)

Amostra	Estado	Cidade	Principais características dos minerais encontrados				Observações	Imagem da amostra
			Quartzo		EO	Outros		
			Quant. (%)	Tam.(mm) Forma				
04	PR	União da Vitória	100	0,4 – 0,7 ----- Arredondada	E	-	Grãos de quartzo recristalizados em grãos menores	
05	PR	Paranaguá	85	0,1 – 0,4 ----- Subédrica	E	Feldspato alcalino, plagioclásio	-	
17	SC	Gravatal	90	0,1 – 7,0 ----- Subédrica	M	Plagioclásio, biotita	-	
19	SC	Joiville	90	0,1 – 0,8 ----- Arredondada	E	Plagioclásio, epidoto	-	
20	SC	Joiville	98	0,1 – 0,8 ----- Arredondada	F	Zircão	-	
30	RS	Santa Maria	98	0,2 – 1,8 ----- Arredondada	M	Feldspato alcalino	-	
31	RS	Porto Alegre	75	0,5 – 4,0 ----- Arredondada	E	Feldspato alcalino, plagioclásio, zircão	-	

EO= extinção ondulante; F= fraca; M= moderada; E= elevada.

5.1.3 Rochas metamórficas

As rochas metamórficas são formadas a partir da alteração de rochas ígneas ou sedimentares, por processos que envolvem mudanças de temperatura, pressão e alterações químicas, sendo que a composição mineralógica das rochas metamórficas se dá em função da petrografia da rocha original, das condições de pressão e temperatura e dos fluidos envolvidos.

Bastante utilizadas em ornamentos na construção civil, as rochas metamórficas mais conhecidas são o mármore, a ardósia, o gnaiss, o xisto e o quartzito. O estudo contou com a presença de um exemplar de rocha metamórfica, a Amostra 13. Trata-se de um gnaiss, originário do Paraná, e cuja localização pode ser observada através da Figura 5.15.

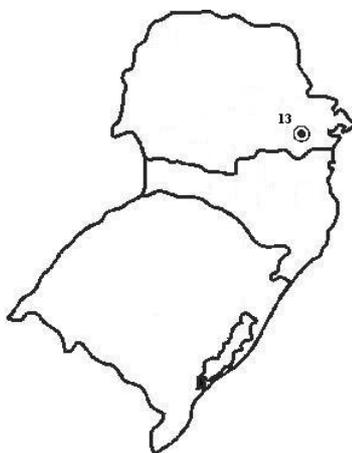


Figura 5.15: localização da rocha metamórfica

Constituída por uma matriz muito fina, a Amostra 13 é composta por quartzo (50%), plagioclásio (10-15%), feldspato (10%), veios de carbonatos (2%) e alguns grãos de clorita. Os grãos de quartzo têm diâmetro aproximado de 0,3mm e os veios de carbonatos têm 0,001mm de espessura. Trata-se de uma rocha metamórfica, pois possui grãos de granada, e os grãos de quartzo e feldspato encontram-se bastante deformados. A Figura 5.16 apresenta o aspecto microscópico da Amostra 13.

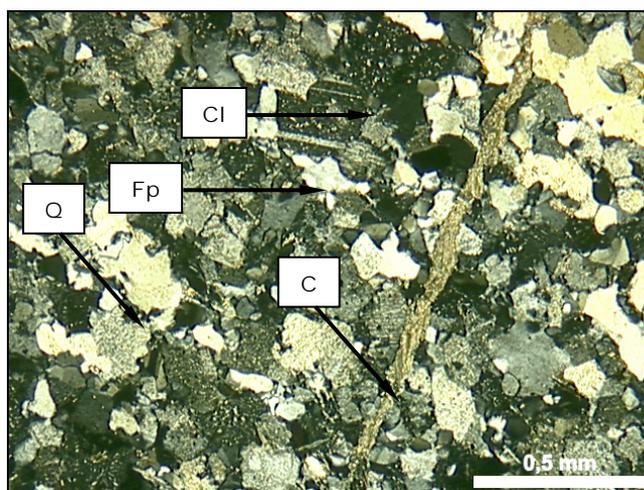


Figura 5.16: Amostra 13 – aspecto microscópico – presença de quartzo (Q), plagioclásio (Fp), clorita (Cl) e veios de carbonatos (C).
Ampliação 5x – polarizador cruzado

5.2 ENSAIO ACELERADO EM BARRAS DE ARGAMASSA

O ensaio prescrito pela ASTM C 1260/01 foi realizado combinando todos os agregados com os 4 tipos de cimento (CP V-ARI, CP V-ARI RS, CPIV e CP II-Z).

Os resultados obtidos com esse ensaio foram analisados através de gráficos relacionando a porcentagem média de expansão das barras com o passar do tempo, salientando-se que as expansões foram calculadas em relação à leitura inicial (ou referência), ou seja, quando os prismas ainda não tinham sido expostos à solução de NaOH.

A fim de verificar possíveis comportamentos expansivos tardios, optou-se por manter na solução até os 28 dias as amostras que aos 16 dias tiveram expansões iguais ou inferiores a 0,20%, entretanto, as barras que expandiram mais do que 0,20% aos 16 dias foram retiradas da solução de NaOH. A partir da adoção desses critérios, a classificação das amostras como reativas, potencialmente reativas ou inócuas foi feita seguindo-se as prescrições da norma, que são as seguintes:

- a) Reativa: expansões superiores a 0,20%;
- b) Potencialmente reativa: expansões iguais ou maiores que 0,10% e iguais ou menores que 0,20%;
- c) Inócuas: expansões inferiores a 0,10%.

A Amostra 15 foi classificada como carbonática de acordo com a análise petrográfica, por isso não foi submetida ao ensaio da ASTM C 1260/01, já que esse ensaio não avalia o comportamento expansivo originado pela reação álcali-carbonato.

A Tabela 5.5 apresenta as expansões médias obtidas com o cimento CP V-ARI e as respectivas classificações das amostras como reativas, potencialmente reativas ou inócuas após a última leitura. Salientando-se que nenhuma barra rompeu antes do término das leituras, mesmo aquelas que apresentaram fissurações mais intensas.

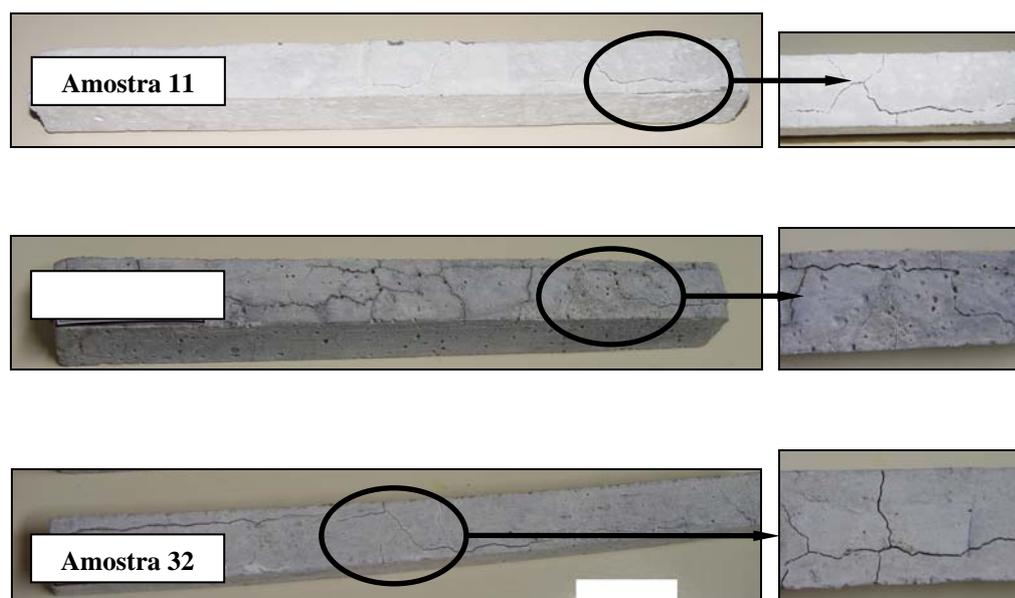
Tabela 5.5: expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP V-ARI

Identificação da amostra	Expansão - % (média de 3 medições)		Classificação		
	16 dias	28 dias	Reativa	Potencial. Reativa	Inócua
01	0,14	0,35	X		
02	0,13	0,21	X		
03	0,28		X		
04	0,20	0,62	X		
05	0,14	0,29	X		
06	0,35		X		
07	0,48		X		
08	0,23		X		
09	0,36		X		
10	0,20	0,30	X		
11	1,05		X		
12	0,35		X		
13	0,28		X		
14	0,16	0,17		X	
16	0,44		X		
17	0,20	0,29	X		
18	0,18	0,31	X		
19	0,18	0,31	X		
20	0,19	0,32	X		
21	0,64		X		
22	0,32		X		
23	0,58		X		
24	0,23		X		
25	0,08	0,15		X	
26	0,14	0,25	X		
27	0,30		X		
28	0,19	0,25	X		
29	0,12	0,21	X		
30	0,36		X		
31	0,27		X		
32	0,77		X		
33	0,37		X		
34	0,39		X		
35	0,25		X		
36	0,35		X		
37	0,22		X		
38	0,74		X		
39	0,11	0,19		X	
40	0,36		X		

Ao avaliar a Tabela 5.5 nota-se que apenas 3 amostras não foram classificadas como reativas e, mesmo assim, as expansões dessas amostras ficaram na faixa que a norma classifica como potencialmente reativa. Além disso, com relação a Amostra 39, a expansão final ficou muito próxima do limite que classificaria a amostra como reativa (0,20%).

O CP V-ARI é o cimento que possui menor teor de adições dentre os cimentos avaliados, por isso já era esperado que grande parte das amostras avaliadas com esse cimento fossem classificadas como reativas. Porém, acreditava-se que algumas amostras teriam comportamento inócuo, o que não ocorreu. Observando-se a Tabela 5.1 percebe-se, ainda, que muitas amostras tiveram expansões inferiores a 0,20% aos 16 dias, mas aos 28 dias as expansões foram superiores a esse valor, o que acabou por classificá-las como reativas.

A Figura 5.17 mostra o aspecto de alguns prismas moldados com o CP V-ARI após o ensaio acelerado, notando-se a diferença entre o aspecto final de prismas que tiveram expansões bem significativas como, por exemplo, as Amostras 11 (1,05% aos 16 dias), 21 (0,64% aos 16 dias) e 32 (0,77% aos 16 dias), e prismas em que as expansões foram menores e as amostras foram consideradas potencialmente reativas, tais como a Amostra 25 (0,15% aos 28 dias).



a) Rochas que resultaram em grande expansão



b) Rochas que resultaram em pequena expansão

Figura 5.17: aspecto dos prismas moldados com o CP V-ARI após o ensaio acelerado

Na Tabela 5.6 pode-se verificar as expansões médias dos prismas moldados com o CP V-ARI RS e a classificação da potencialidade reativa das amostras com esse cimento.

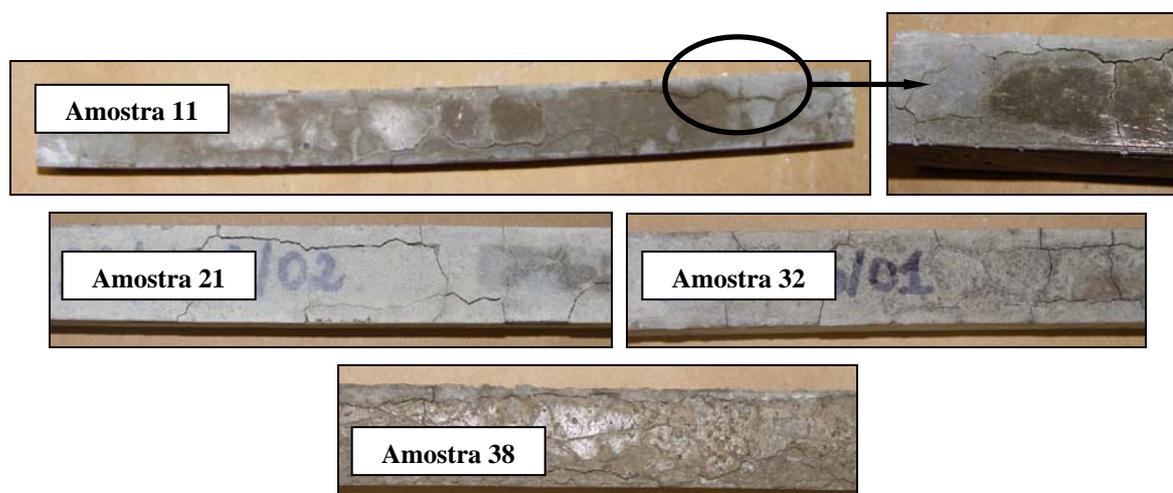
Tabela 5.6: expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP V-ARI RS

Identificação da amostra	Expansão - % (média de 3 medições)		Classificação		
	16 dias	28 dias	Reativa	Potencial. Reativa	Inócua
01	0,14	0,31	X		
02	0,18	0,29	X		
03	0,18	0,39	X		
04	0,21		X		
05	0,17	0,43	X		
06	0,28		X		
07	0,32		X		
08	0,15	0,22	X		
09	0,26		X		
10	0,30		X		
11	0,78		X		
12	0,29		X		
13	0,21		X		
14	0,17	0,23	X		
16	0,34		X		
17	0,16	0,25	X		
18	0,23		X		
19	0,29		X		
20	0,28		X		
21	0,78		X		
22	0,26		X		
23	0,46		X		
24	0,23		X		
25	0,18	0,23	X		
26	0,17	0,31	X		
27	0,29		X		
28	0,25		X		
29	0,22		X		
30	0,32		X		
31	0,36		X		
32	0,56		X		
33	0,29		X		
34	0,23		X		
35	0,17	0,25	X		
36	0,27		X		
37	0,09	0,34	X		
38	0,50		X		
39	0,15	0,30	X		
40	0,25		X		

Não há especificação do teor de adição utilizado no CP V-ARI RS, no entanto, ao avaliar a Tabela 4.2, verifica-se que o resíduo insolúvel desse cimento é bastante elevado (10,64), sendo muito parecido com o teor encontrado no CP II-Z (10,40), o que indica a presença de adições minerais no CP V-ARI RS.

Porém, ao avaliar as expansões obtidas na Tabela 5.6 com esse cimento, observa-se que o mesmo não foi eficaz para evitar as expansões oriundas da RAA. Nota-se que todas as amostras foram classificadas como reativas, tendo-se, inclusive, algumas expansões superiores às obtidas com o CP V-ARI, como no caso das Amostras 14, 25 e 39, que foram consideradas potencialmente reativas com este cimento e com o CP V-ARI RS classificaram-se como reativas. Esse comportamento pode ser atribuído a dois fatores: o uso de um tipo de adição menos eficaz ou a adoção de um teor insuficiente para inibir as expansões.

Observando-se as imagens da Figura 5.18 nota-se a aparência, ao final do ensaio acelerado, dos corpos-de-prova moldados com o CP V-ARI RS.



a) Rochas que resultaram em grande expansão



b) Rochas que resultaram em pequena expansão

Figura 5.18: aspecto dos prismas moldados com o CP V-ARI RS após o ensaio acelerado

As expansões médias dos prismas moldados com o CP IV podem ser avaliadas através da Tabela 5.7. Além disso, é feita a classificação da reatividade das amostras quando utilizado esse cimento.

Tabela 5.7: expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP IV

Identificação da amostra	Expansão - % (média de 3 medições)		Classificação		
	16 dias	28 dias	Reativa	Potencial. Reativa	Inócua
01	-0,01	-0,01			X
02	0,03	0,02			X
03	0,00	-0,02			X
04	0,01	0,01			X
05	0,05	0,09			X
06	0,08	0,10		X	
07	0,05	0,07			X
08	-0,03	-0,04			X
09	0,00	-0,01			X
10	0,03	0,06			X
11	0,10	0,17		X	
12	0,03	0,07			X
13	0,06	0,08			X
14	0,11	0,13		X	
16	0,07	0,12		X	
17	0,00	0,05			X
18	0,01	0,07			X
19	0,03	0,03			X
20	0,00	0,05			X
21	0,06	0,16		X	
22	0,03	0,07			X
23	0,02	0,08			X
24	0,06	0,06			X
25	0,01	0,03			X
26	-0,01	0,04			X
27	0,07	0,08			X
28	0,03	0,05			X
29	0,04	0,07			X
30	0,03	0,07			X
31	0,01	0,08			X
32	0,03	0,08			X
33	-0,07	0,05			X
34	-0,01	0,09			X
35	0,01	0,07			X
36	0,06	0,04			X
37	0,03	0,08			X
38	0,11	0,19		X	
39	-0,06	0,00			X
40	0,05	0,10		X	

Observando-se a Tabela 5.7, nota-se que o CP IV estudado mostrou-se bastante eficiente para inibir as expansões decorrentes da RAA, pois com esse cimento a maioria das amostras (aproximadamente 83%) foi classificada como inócua, sendo que nenhuma foi considerada reativa, diferentemente do CP V-ARI e do CP V-ARI RS.

Esse resultado altamente benéfico do CP IV deve-se ao teor de adições pozolânicas que o constituem, o qual pode chegar a 50%. Contudo, o cimento utilizado neste estudo o teor empregado foi de 26,59%, de acordo com o resíduo insolúvel obtido na Tabela 4.2 (p. 47). O efeito das pozolânicas como inibidores da RAA já vem sendo relatado há alguns anos por diversos pesquisadores, tais como Chen, Soles e Malhotra (1993, p. 75-85), Ramachandran (1998, p. 149-161), Ramlochan, Thomas e Hooton (2004, p. 1341-1356). No entanto, todos eles são enfáticos ao afirmar que essas adições somente são favoráveis se estiverem dentro de um intervalo de quantidade ideal, ou seja, um teor muito baixo pode não ser suficiente e um teor muito elevado pode acabar provocando expansões maiores.

Contudo, o que se observou com o CP IV é que o teor de adições utilizado foi capaz de inibir as manifestações deletérias decorrentes da RAA. Na Figura 5.19 fica evidente que as amostras que denotaram em prismas bastante fissurados com o CP V-ARI e o CP V-ARI RS, não apresentaram fissurações aparentes com o CP IV.



Figura 5.19: aspecto dos prismas moldados com o CP IV após o ensaio acelerado

A Tabela 5.8 mostra as expansões médias obtidas para as barras moldadas com o CP II-Z, assim como a classificação das amostras quanto à sua potencialidade reativa com esse cimento.

Tabela 5.8: expansões médias e classificação da potencialidade reativa das amostras com o CP II-Z

Identificação da amostra	Expansão - % (média de 3 medições)		Classificação		
	16 dias	28 dias	Reativa	Potencial. Reativa	Inócua
01	0,10	0,17		X	
02	0,11	0,18		X	
03	0,16	0,29	X		
04	0,18	0,18		X	
05	0,11	0,12		X	
06	0,26		X		
07	0,25		X		
08	0,15	0,17		X	
09	0,33		X		
10	0,28		X		
11	0,69		X		
12	0,28		X		
13	0,18	0,20	X		
14	0,18	0,21	X		
16	0,34		X		
17	0,21		X		
18	0,25		X		
19	0,20	0,20	X		
20	0,24		X		
21	0,57		X		
22	0,18	0,25	X		
23	0,33		X		
24	0,12	0,19		X	
25	0,06	0,11		X	
26	0,09	0,14		X	
27	0,14	0,19		X	
28	0,12	0,16		X	
29	0,12	0,15		X	
30	0,20	0,24	X		
31	0,19	0,27	X		
32	0,47		X		
33	0,21	0,35	X		
34	0,17	0,36	X		
35	0,10	0,22	X		
36	0,15	0,26	X		
37	0,13	0,21	X		
38	0,31		X		
39	0,09	0,19		X	
40	0,23		X		

Observando-se a Tabela 5.8 verifica-se que o CP II-Z foi capaz de inibir as expansões decorrentes da RAA, contudo, nenhuma amostra foi inócua com esse cimento, sendo que a grande maioria, que corresponde a um percentual de aproximadamente 70%, foi classificada como reativa.

De modo geral as expansões medidas foram inferiores às obtidas com o CP V-ARI e CP V-ARI RS, cimentos que denotaram em maiores expansões, indicando que o percentual de adição pozolânica utilizado no CP II-Z (entre 6% e 14%) traz algum efeito benéfico com relação à RAA. Porém, esses teores de adição utilizados ainda não são capazes de garantir um comportamento inócuo dos minerais presentes nos agregados utilizados no concreto, sendo para isso necessários teores mais elevados de adições pozolânicas.

Quando comparado com o CP IV, que é um cimento com um teor mais elevado de adição pozolânica, e que resultou em expansões muito menores, o CP II-Z mostrou-se menos eficiente, pois as expansões medidas com esse cimento foram bem maiores. Então, mais uma vez, fica evidente que o teor de adição utilizado no CP II-Z não é suficiente para inibir a RAA em todos os tipos de agregados estudados.

Na Figura 5.20 pode-se observar o aspecto final das barras moldadas com o CP II-Z, notando-se que houve intensa fissuração das mesmas, ao contrário da aparência dos corpos-de-prova moldados com o CP IV.

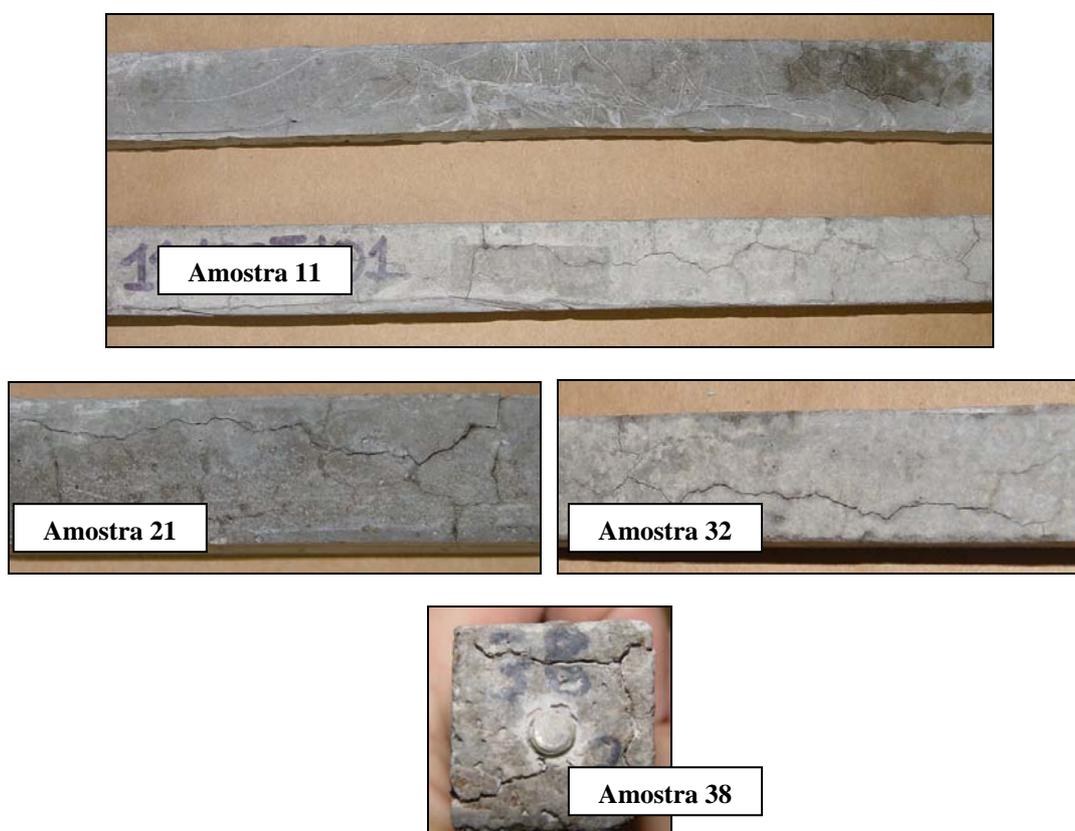


Figura 5.20: aspecto dos prismas moldados com o CP II-Z após o ensaio acelerado

5.2.1 Comparação entre os diferentes tipos de cimentos avaliados no ensaio acelerado

Como se sabe, o equivalente alcalino não é o único fator que deve ser considerado quando se pensa no cimento a ser empregado no concreto para evitar o desencadeamento da RAA.

Alguns estudos já demonstraram que além de se limitar o equivalente alcalino do cimento a ser utilizado no concreto, é importante que se controle a quantidade de cimento a ser utilizada, ou seja, para evitar a RAA deve-se controlar o equivalente alcalino do concreto e não do cimento (PAULON, 1982, p. 32; FURNAS, 1997, p.26).

Contudo, como as fontes de álcalis do concreto podem ser outras que não somente o cimento empregado, tais como a água de amassamento, os aditivos químicos, os próprios agregados e, muitas vezes, as fontes externas, fica difícil ter um controle efetivo da quantidade total de álcalis contida no concreto. Portanto, a maneira que parece ser mais eficaz até o presente momento para evitar a RAA é a utilização de pozolanas no concreto.

Essas adições são ricas em sílica, que reagem mais rapidamente com os álcalis presentes, antes mesmo da sílica dos agregados, e os produtos resultantes dessa reação não são expansivos em contato com a água (DIAMOND, 1984).

Neste sentido, o presente estudo também evidenciou o efeito benéfico das adições pozolânicas com relação a RAA, pois ao final das medições das expansões foram plotados gráficos relacionando as expansões medidas com a leitura inicial (realizada quando as barras ainda não tinham sido submetidas ao NaOH), em função do tempo de exposição dos prismas à solução de NaOH, que mostraram o decréscimo nas expansões medidas conforme foi-se aumentando a quantidade de adições contida no cimento utilizado para moldar os prismas, com a maioria dos agregados avaliados.

As Figuras de 5.21 a 5.40 mostram esses gráficos, evidenciando o comportamento de cada cimento em relação às 39 amostras, bem como, seu desempenho de acordo com os limites da ASTM C 1260/01.

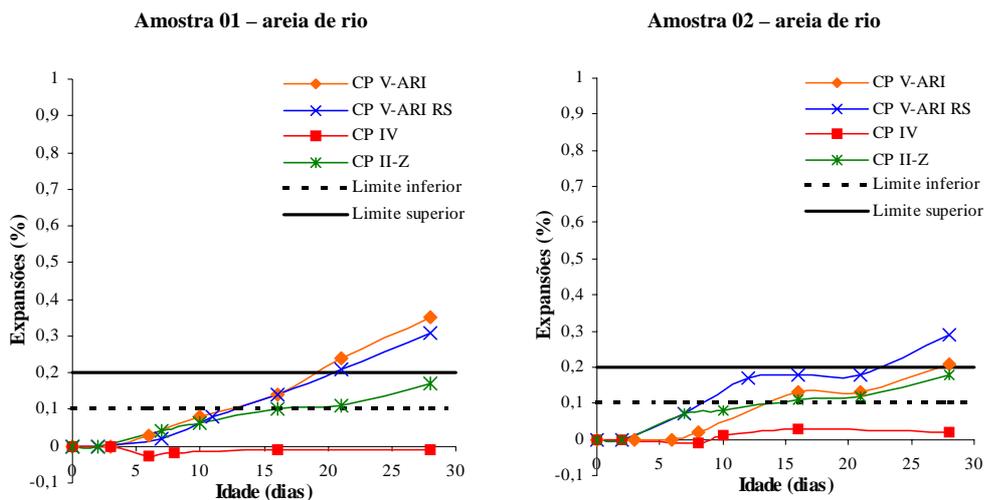


Figura 5.21: expansão das Amostras 01 e 02 no ensaio acelerado

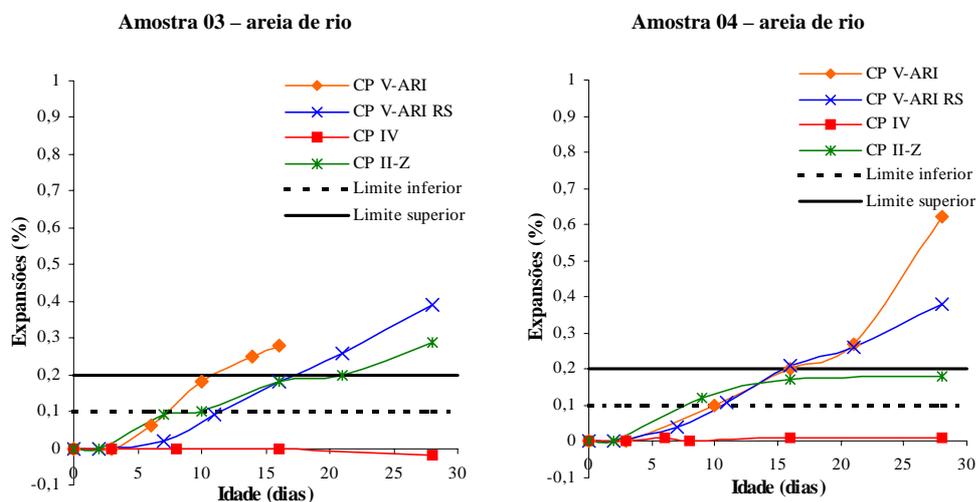


Figura 5.22: expansão das Amostras 03 e 04 no ensaio acelerado

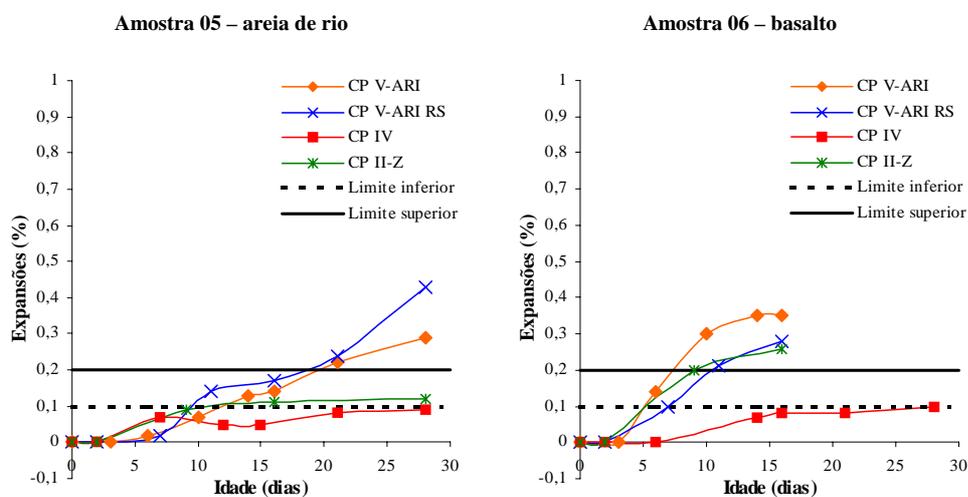


Figura 5.23: expansão das Amostras 05 e 06 no ensaio acelerado

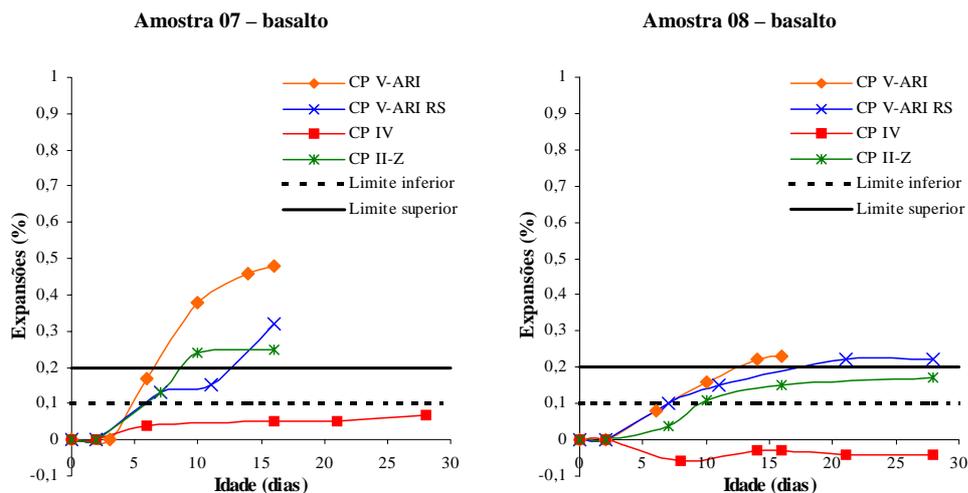


Figura 5.24: expansão das Amostras 07 e 08 no ensaio acelerado

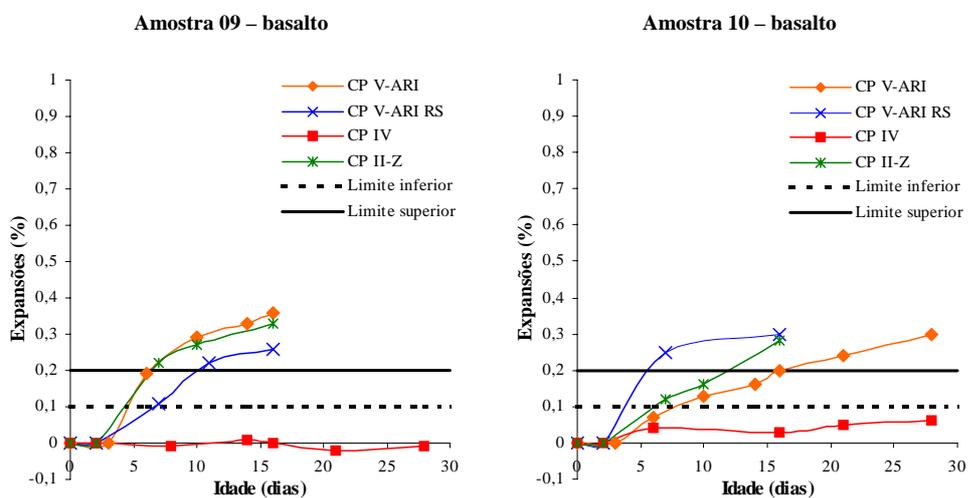


Figura 5.25: expansão das Amostras 09 e 10 no ensaio acelerado

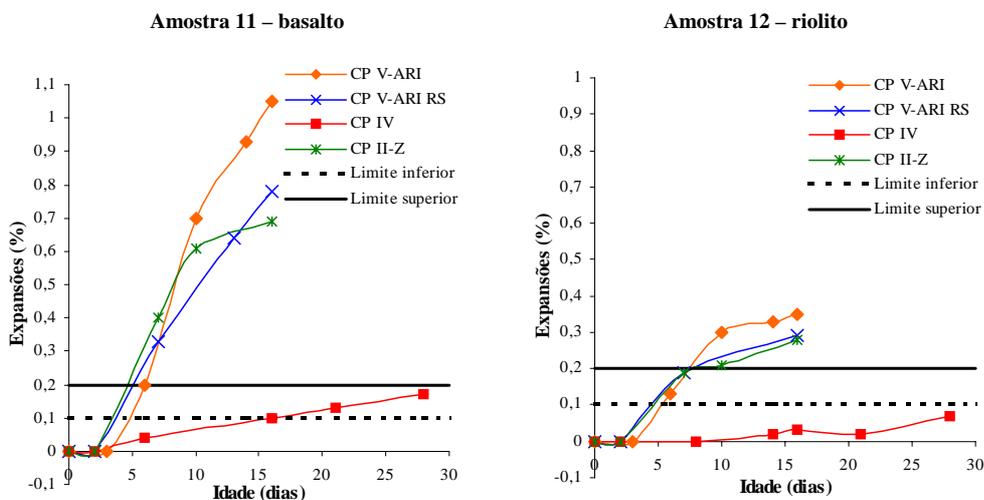


Figura 5.26: expansão das Amostras 11 e 12 no ensaio acelerado

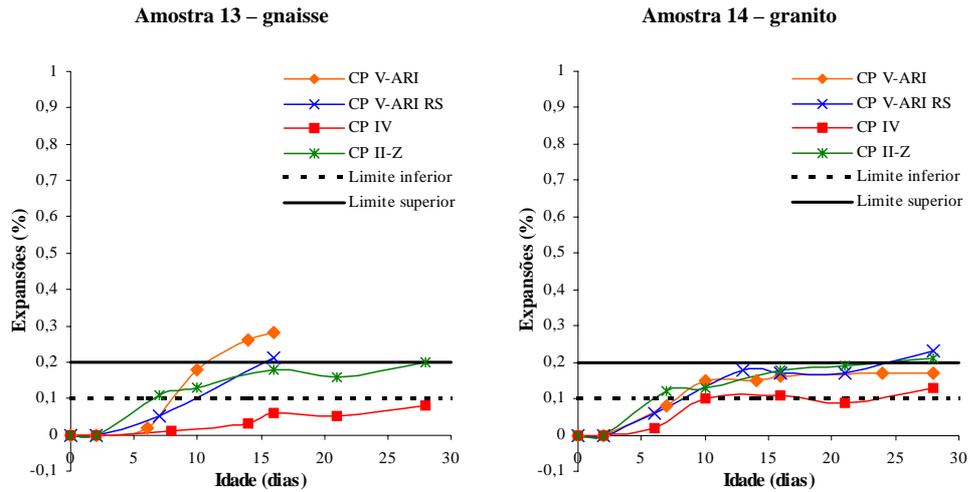


Figura 5.27: expansão das Amostras 13 e 14 no ensaio acelerado

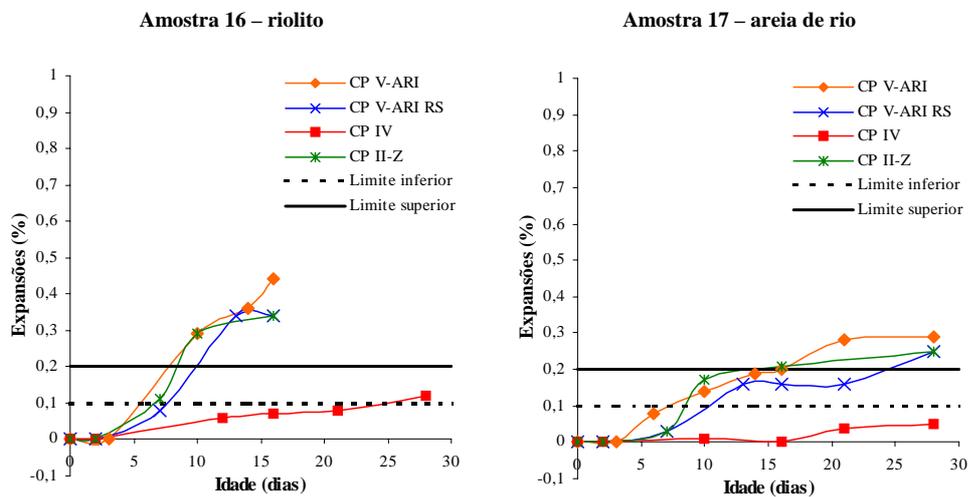


Figura 5.28: expansão das Amostras 16 e 17 no ensaio acelerado

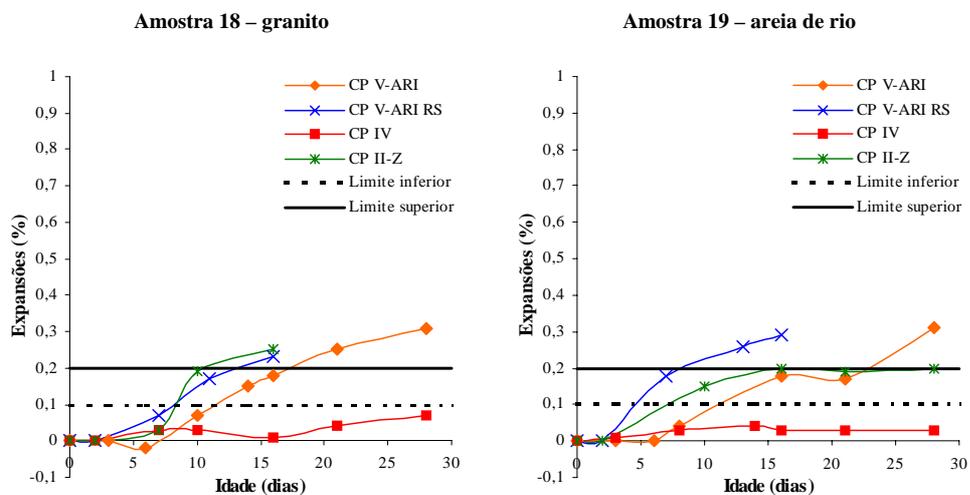


Figura 5.29: expansão das Amostras 18 e 19 no ensaio acelerado

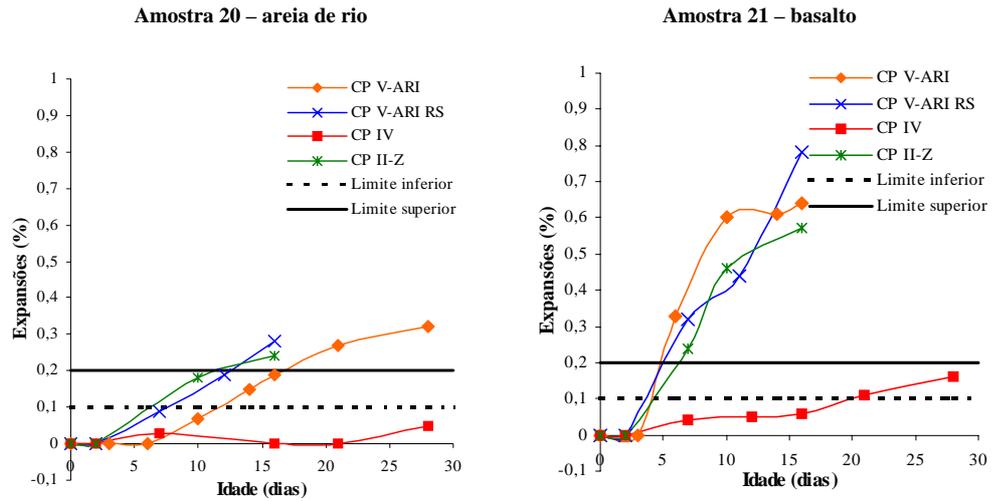


Figura 5.30: expansão das Amostras 20 e 21 no ensaio acelerado

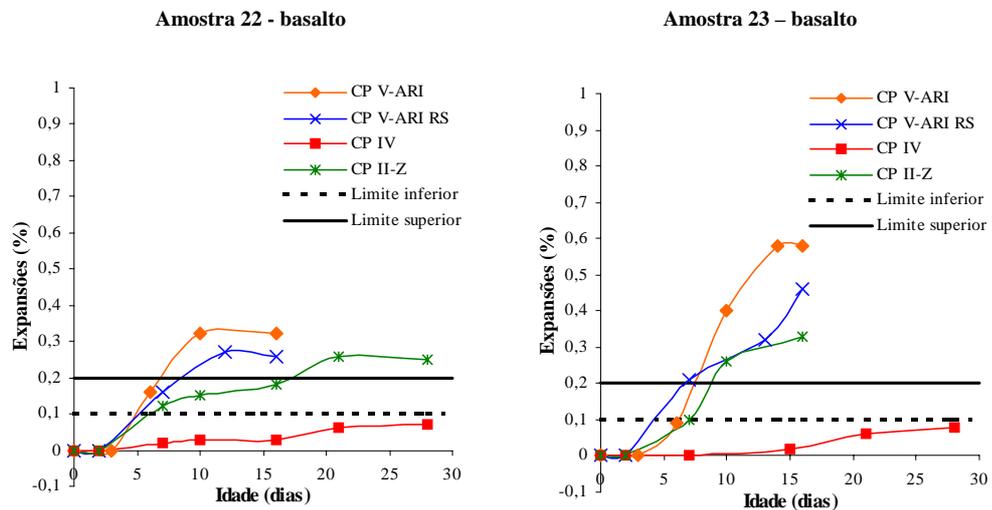


Figura 5.31: expansão das Amostras 22 e 23 no ensaio acelerado

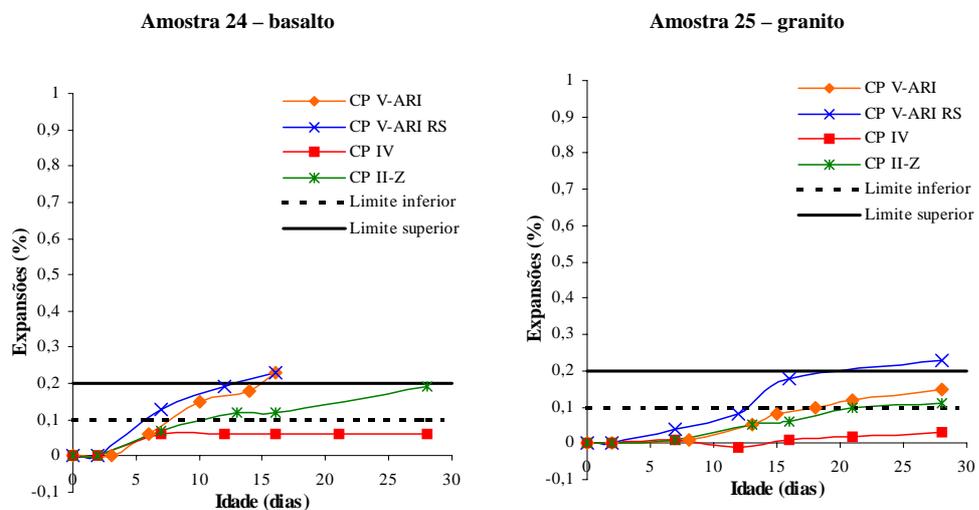


Figura 5.32: expansão das Amostras 24 e 25 no ensaio acelerado

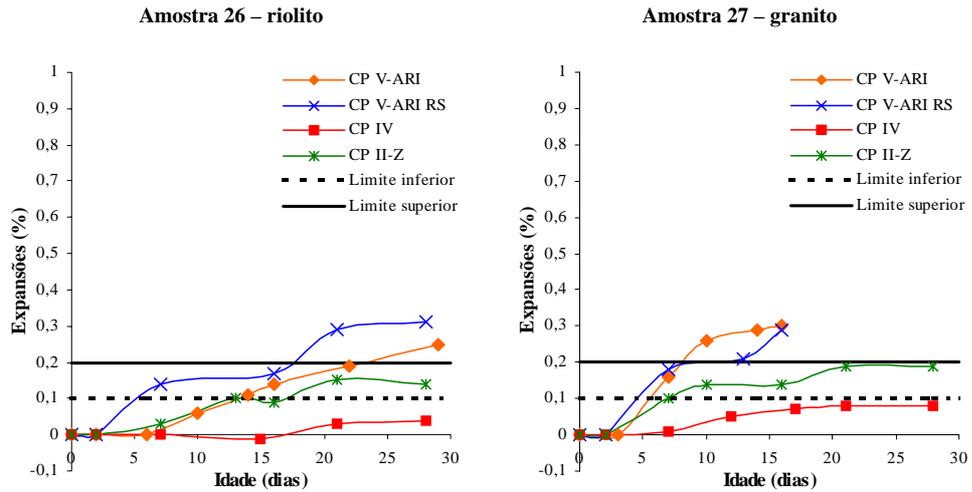


Figura 5.33: expansão das Amostras 26 e 27 no ensaio acelerado

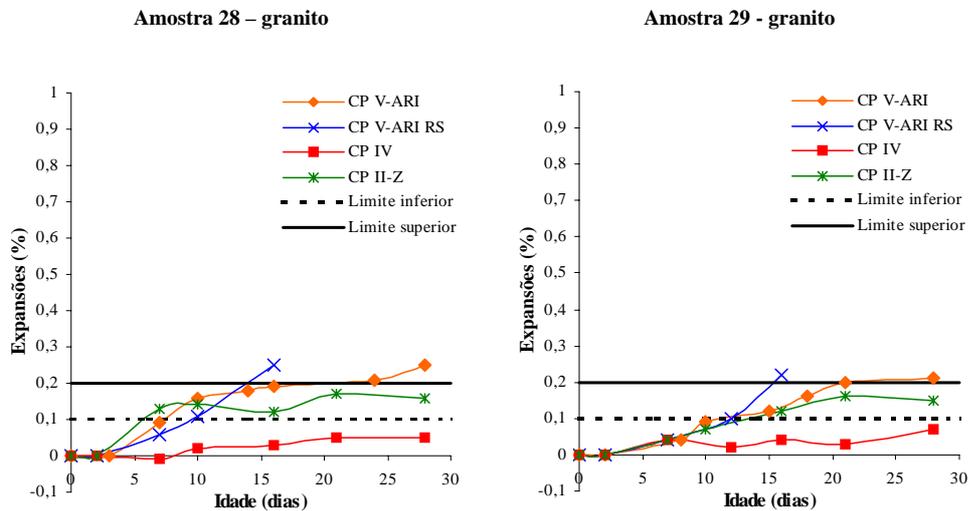


Figura 5.34: expansão das Amostras 28 e 29 no ensaio acelerado

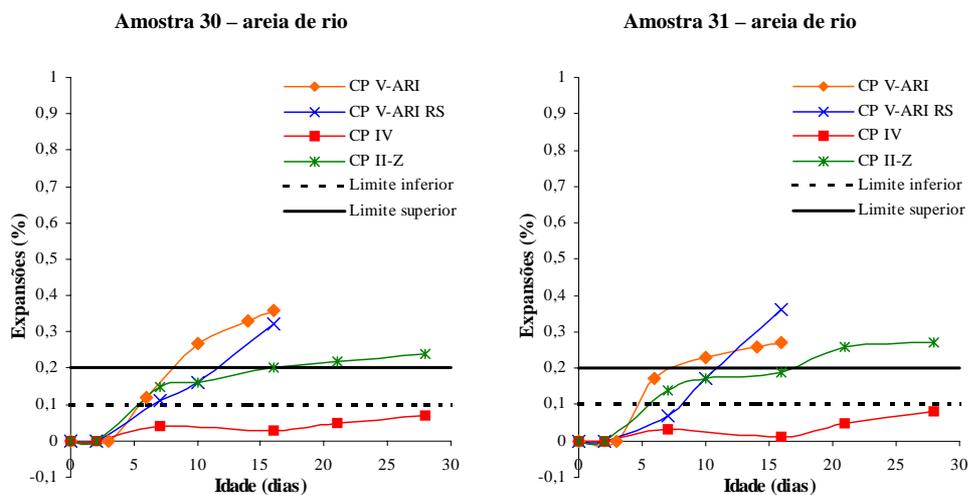


Figura 5.35: expansão das Amostras 30 e 31 no ensaio acelerado

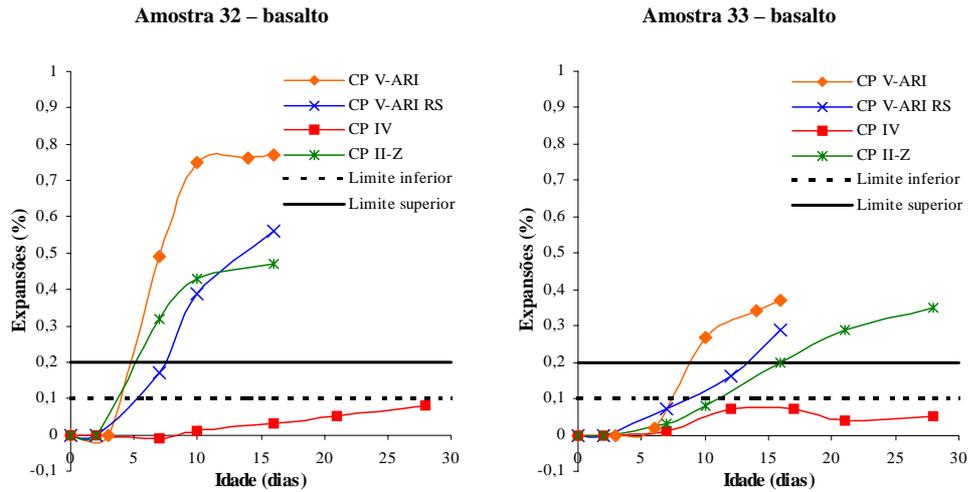


Figura 5.36: expansão das Amostras 32 e 33 no ensaio acelerado

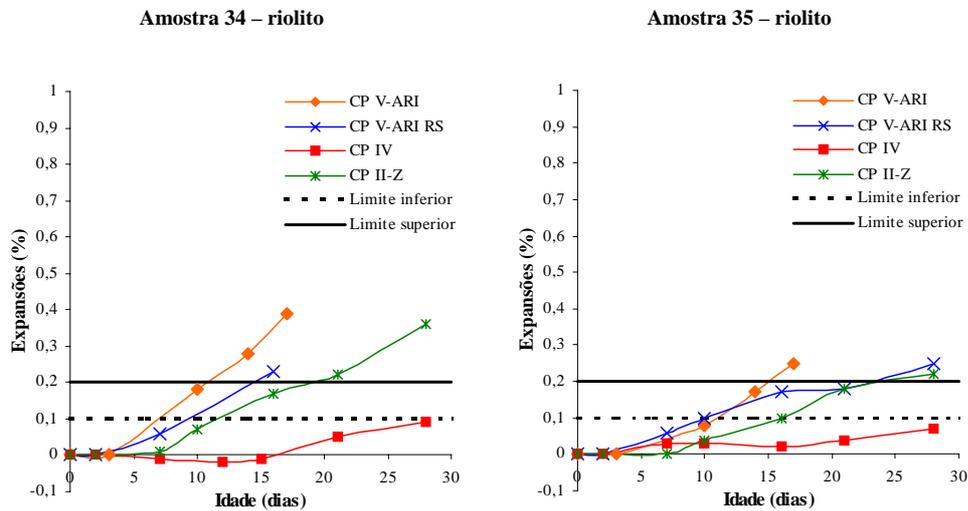


Figura 5.37: expansão das Amostras 34 e 35 no ensaio acelerado

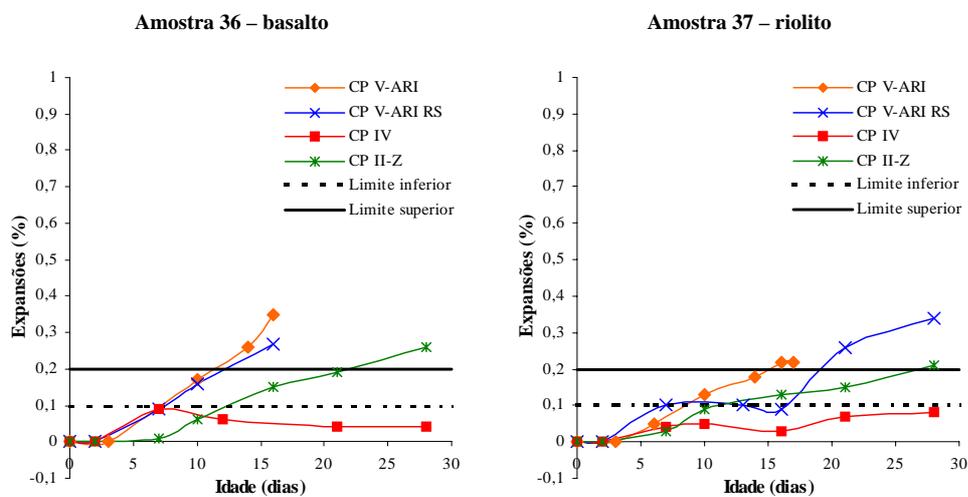


Figura 5.38: expansão das Amostras 36 e 37 no ensaio acelerado

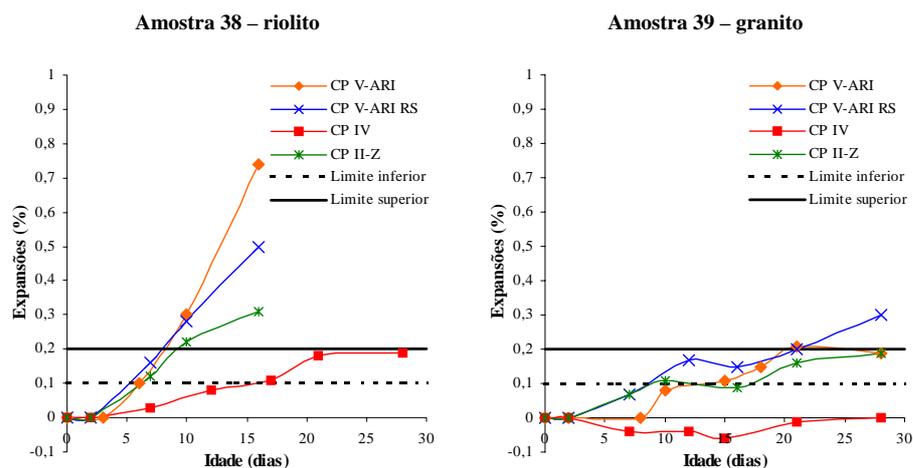


Figura 5.39: expansão das Amostras 38 e 39 no ensaio acelerado

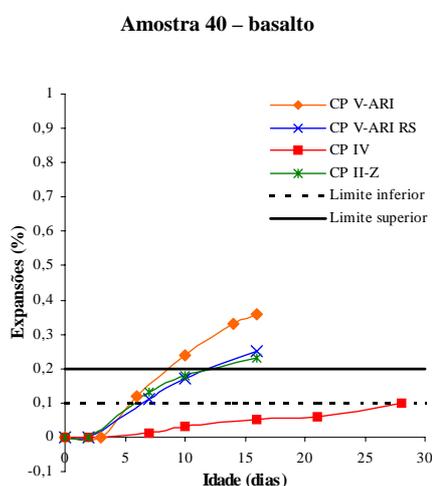


Figura 5.40: expansão da Amostra 40 no ensaio acelerado

5.2.1.1 Avaliação do efeito das adições pozolânicas dos cimentos nas expansões

Avaliando-se os gráficos apresentados nas Figuras 5.21 a 5.40, percebe-se que o cimento CP V-ARI foi o que resultou nas maiores expansões em 64% das amostras, seguido pelo CP V-ARI RS, que foi o mais reativo em 36%. Contudo, mesmo contendo um teor maior de adições pozolânicas que o CP V-ARI, o CP V-ARI RS não se mostrou capaz para evitar que as expansões fossem intensas, pois todas as amostras foram consideradas reativas com esse cimento. Logo, duas hipóteses podem surgir, a primeira é que o teor de adições utilizado no CP V-ARI RS não é suficiente para inibir a reação expansiva, e a segunda é que o tipo de adição utilizado não é eficiente para combater a RAA.

O CP II-Z provocou expansões menores que o CP V-ARI e que o CP V-ARI RS em 85% das amostras, embora a maior parte também tenha sido classificada como reativa com esse cimento. Porém, com o CP II-Z foi maior o número de amostras que ficou na faixa intermediária da norma, entre 0,10% e 0,20%, em que os agregados podem ou não desencadear expansões deletérias, sendo que o percentual de amostras que ficou nesta faixa foi de 31%.

Os teores de adição utilizados no CP II-Z já se mostraram benéficos para evitar as expansões decorrentes da RAA. No entanto, as maiores quantidades permitidas no CP IV evidenciaram sua capacidade de inibir a reação, pois, das 39 amostras moldadas com este cimento, 80% foram classificadas como inócuas e o restante como potencialmente reativas.

Para avaliar se o efeito do teor de adições contido no cimento foi realmente significativo nas expansões dos prismas, realizou-se a análise da variância (ANOVA) entre o tipo de cimento e as expansões resultantes aos 16 dias. Essa idade foi adotada com o intuito de padronizar a o período de exposição das amostras à solução de NaOH, já que várias amostras foram retiradas da solução aos 16 dias por terem tido expansões consideradas deletérias nesse período. Desse modo, nem todas as amostras prosseguiram no ensaio até completarem 28 dias. Os resultados obtidos com essa apreciação podem ser observados através da Tabela 5.9, salientando-se que os dados utilizados para essa análise estão descritos no APÊNDICE C.

Tabela 5.9: análise da variância da influência do tipo de cimento nas expansões do ensaio acelerado

Fator	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	Teste F	Valor-p	Significância
Tipo de cimento	5,463185	3	1,313348	1314,670	0,00	Significativo
Erro	0,434067	312	0,00191			

Teste F= média quadrada do tipo de cimento/média quadrada do erro;

Valor-p= probabilidade, distribuição t de Student.

Observando-se o resultado obtido com a análise da Tabela 5.9 nota-se que o efeito do tipo de cimento utilizado influencia nas expansões dos corpos-de-prova significativamente. Esse resultado já era esperado, uma vez que foi bastante evidente o decréscimo das expansões conforme o aumento no teor de adições contidas nos cimentos. Na Figura 5.41 pode-se observar graficamente o efeito isolado do tipo de cimento utilizado nas expansões.

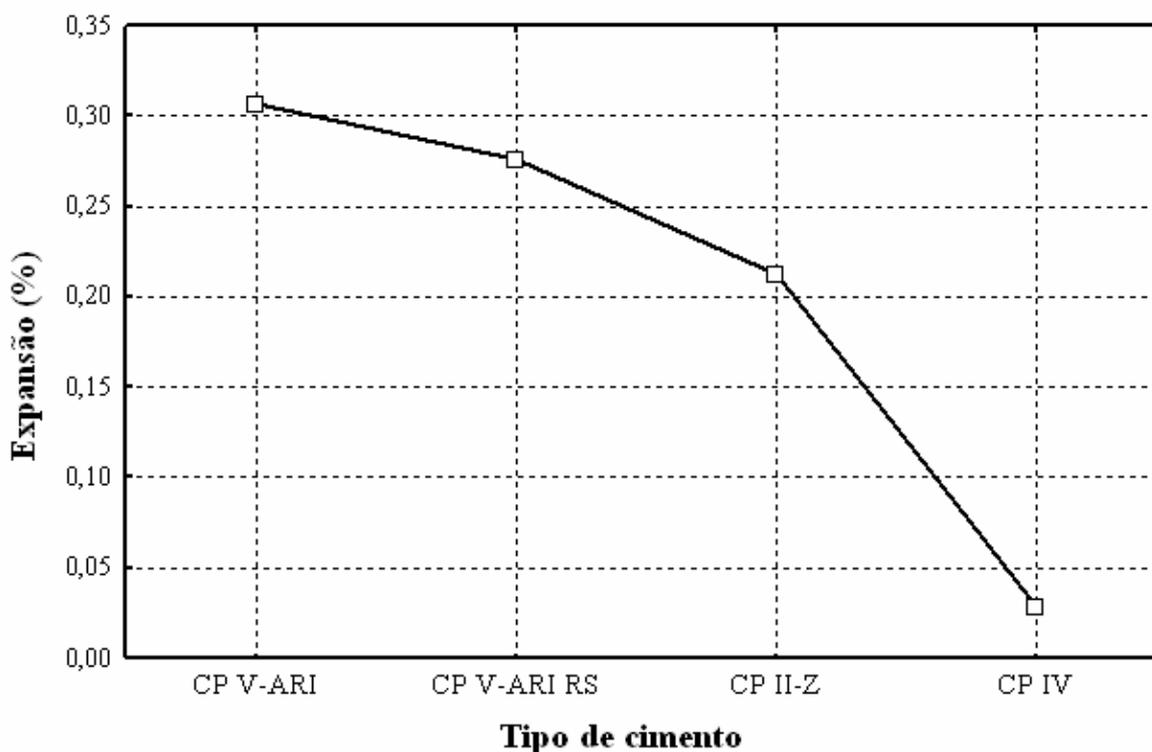


Figura 5.41: influência isolada do tipo de cimento nas expansões

A Figura 5.41 mostra o decréscimo das expansões conforme aumenta a quantidade de adições presentes nos cimentos. Verifica-se ainda que na idade de análise (16 dias) os prismas moldados com o CP V-ARI expandiram, em média, 0,31%, com o CP V-ARI RS, aproximadamente 0,27%, com o CP II-Z, em torno de 0,22%, e com o CP IV as expansões médias alcançadas foram de 0,03% aproximadamente.

Desse modo, pode-se verificar que aos 16 dias os prismas moldados com o CP V-ARI RS foram aproximadamente 13% menos expansivos que os prismas moldados com o CP V-ARI. As barras moldadas com o CP II-Z, aproximadamente 29% menos expansivas que as do CP V-ARI. Já as barras confeccionadas com o CP IV tiveram expansões aproximadamente 90% inferiores que as confeccionadas com o CP V-ARI.

5.2.1.2 Avaliação do efeito do teor de álcalis dos cimentos nas expansões

Ao avaliar os equivalentes alcalinos de cada cimento (Tabela 4.2), verifica-se que o maior teor é encontrado no CP IV (1,13%) e o menor no CP V-ARI (0,78%), ou seja, o cimento cujos prismas apresentaram as menores expansões – CP IV – é o que possui o maior

equivalente alcalino, e o cimento para o qual as expansões foram as maiores – CP V-ARI – contém o menor teor de álcalis.

Esses teores não são coerentes com o que seria esperado, pois quanto mais alcalinidade presente nos poros, maior a potencialidade de expansão. Contudo, cabe salientar que como se trata de um ensaio acelerado, em que os prismas são imersos em uma solução altamente alcalina (1M de NaOH), o equivalente alcalino do cimento provavelmente não exerce influência nas expansões, pois os álcalis da solução é que reagirão mais intensamente com os minerais dos agregados.

Neste sentido, Jensen et al. (1982, p. 646) salientam que quando há adição de sais alcalinos, com o intuito de se acelerar a álcali-reatividade das rochas, deve-se considerar a interferência da facilidade de migração desses sais aceleradores, pois a magnitude das expansões dependerá da migração dos álcalis. Então, amostras confeccionadas com os mesmos agregados reativos podem desenvolver diferentes magnitudes de expansões.

Para avaliar se os álcalis dos cimentos interferiram nas expansões, realizou-se a análise química de pastas moldadas com os 4 cimentos. Essa análise foi feita a fim de verificar isoladamente a contribuição dos álcalis dos cimentos nas expansões, ou seja, desconsiderando os álcalis presentes na solução a que os prismas foram submetidos.

Para tanto as pastas de cimento foram moldadas com relação água/cimento de 0,50 (em massa), e submetidas ao mesmo tipo de cura que os prismas moldados para o ensaio acelerado. Desse modo, após a moldagem as mesmas permaneceram durante 24 horas em câmara úmida e, em seguida, foram imersas em água, que foi aquecida gradativamente num período de 24 horas até atingir 80°C. As pastas de cimento não foram submetidas à solução alcalina. Assim, após a cura acelerada elas foram analisadas quimicamente.

Esse procedimento teve o objetivo de avaliar qual era a alcalinidade dos prismas após a cura acelerada, isto é, antes de serem submetidos à solução alcalina, podendo-se, dessa forma, tentar correlacionar com as expansões obtidas e identificar se os cimentos que resultaram nas maiores expansões eram os mais alcalinos após a cura.

Os resultados obtidos com a análise química das pastas de cimento podem ser observados na Tabela 5.10, bem como os equivalentes alcalinos dos cimentos.

Tabela 5.10: composição química das pastas de cimento e equivalentes alcalinos ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$) dos cimentos

Características avaliadas (%)	Amostras avaliadas			
	CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
Al_2O_3	4,04	5,55	5,77	9,12
SiO_2	19,71	21,99	21,59	27,61
Fe_2O_3	3,05	3,40	3,47	3,92
CaO	51,14	48,14	48,92	40,66
MgO	2,02	1,91	1,69	1,45
SO₃	2,35	2,44	2,65	2,67
Na₂O	0,02	0,02	0,02	0,02
K₂O	0,54	0,70	0,79	1,35
CO₂	17,12	15,86	15,10	13,20
Na₂O_{eq} das pastas	0,37	0,48	0,54	0,90
Na₂O_{eq} dos cimentos	0,78	0,98	0,99	1,13

Através da Tabela 5.10, nota-se que a pasta moldada com o CP V-ARI foi a que apresentou menor teor de álcalis (0,37%), seguida das pastas com CP V-ARI RS (0,48%) e com CP II-Z (0,54%). Entretanto, esses foram os cimentos que resultaram nas maiores expansões, e nenhum agregado foi considerado inócuo os mesmos. Além disso, as pastas moldadas com esses cimentos possuem equivalentes alcalinos menores do que recomenda a ASTM C 150 para evitar a ocorrência das reações deletérias dos agregados com os álcalis, 0,60%.

Por outro lado, a pasta moldada com o CP IV possui o maior equivalente alcalino, mas com esse cimento quase todas as amostras foram consideradas inócuas, pois os corpos-de-prova do ensaio acelerado expandiram menos que 0,10%.

A Figura 5.42 mostra graficamente a relação entre o tipo de cimento, o equivalente alcalino das pastas moldadas com esses cimentos e as expansões médias dos prismas do ensaio acelerado.

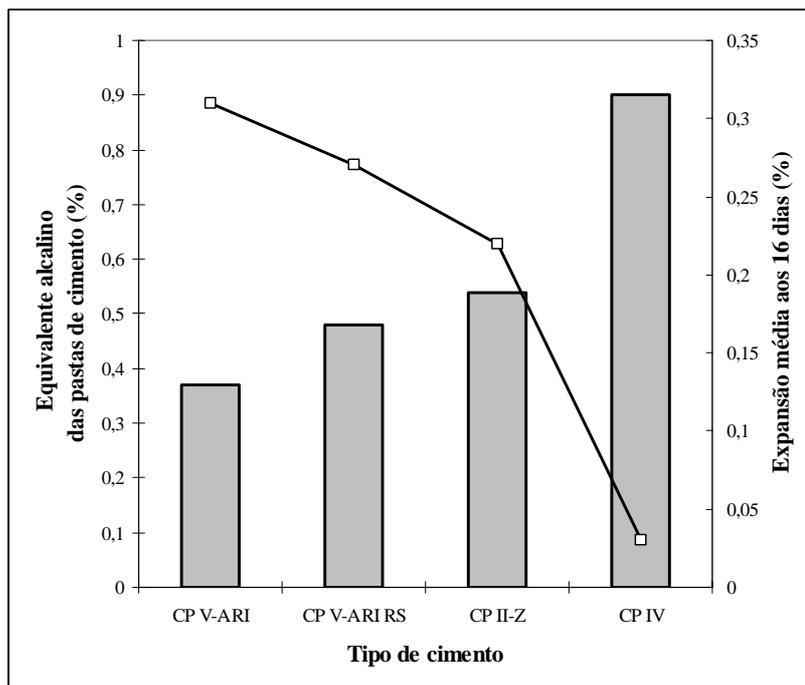


Figura 5.42: relação entre o tipo de cimento e o equivalente alcalino das pastas de cimento e as expansões médias dos prismas

Na Figura 5.42 fica bastante evidente que, ao passo que o equivalente alcalino aumentou, as expansões diminuíram. No entanto, com a redução no teor de adições dos cimentos aumentaram as expansões.

Essas constatações mostram que foram as adições pozolânicas empregadas nos cimentos que evitaram expansões deletérias, e comprovam o grande potencial de inibição do CP IV. Mais do que isso, as evidências mostram que se basear no equivalente alcalino dos cimentos para evitar as expansões deletérias oriundas da RAA, tal como recomenda a ASTM C 150, não é seguro.

5.2.1.3 Avaliação do efeito da porosidade dos corpos-de-prova nas expansões

Um aspecto que chamou atenção neste ensaio foi a dificuldade na moldagem dos prismas de argamassa com algumas amostras de agregados, devido, principalmente, à forma dos grãos. Como o ensaio prevê que sempre seja utilizada a mesma relação água/cimento e as mesmas proporções granulométricas, algumas rochas com texturas mais ásperas e com o formato mais anguloso denotaram em misturas bastante “secas” e, por isso, em barras com muitos vazios, como ilustrado na Figura 5.43.

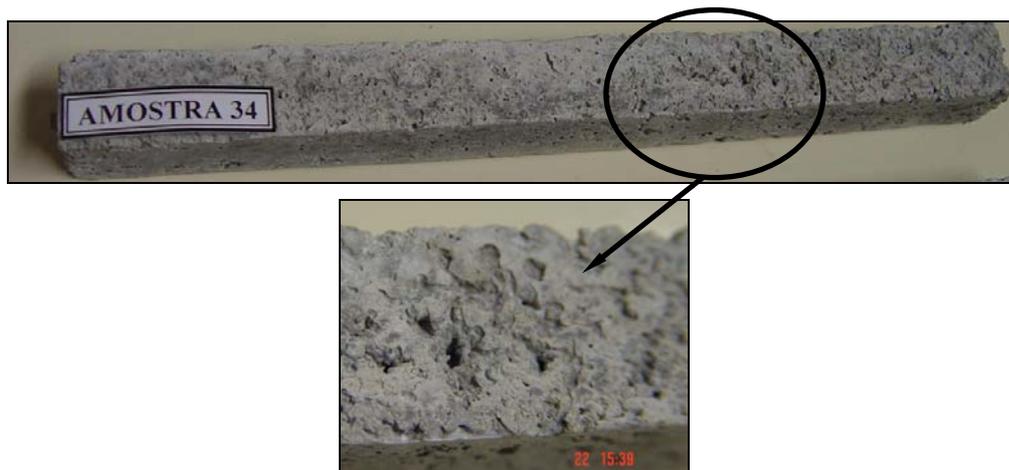


Figura 5.43: prisma moldado com amostra de grãos ásperos e angulosos

A grande quantidade de vazios que ocorreu em alguns corpos-de-prova faz com que se questione a validade dos resultados obtidos com esse ensaio, já que o gel oriundo da reação tem mais espaços vazios para se alojar, o que muitas vezes pode resultar numa classificação equivocada da potencialidade reativa da amostra.

No trabalho realizado por Valduga et al. (2005, p. 127) fica clara a influência da forma dos grãos nos resultados do ensaio acelerado. Nesse estudo os autores verificaram que quando as argamassas são moldadas com grãos mais angulosos tem-se expansões menores do que quando os agregados possuem os grãos arredondados, justamente devido aos vazios presentes nessas argamassas, onde o gel se acomoda. Porém, quando as medidas foram feitas em idades mais avançadas (180 dias) pode-se verificar que as expansões praticamente se igualaram, havendo uma estabilização das mesmas.

Além deste, outro fator que merece ser salientado, são as severas condições do ensaio. De acordo com diversos autores, a alta temperatura e a elevada alcalinidade prescrita pelo ensaio da ASTM C 1260 acabam por acentuar a potencialidade reativa dos agregados (Shon et al., 2002, p. 1981; CYR; CARLES-GIBERGUES, 2002, p. 1771).

Então, ressalta-se que se fundamentar somente no ensaio acelerado para classificar a potencialidade reativa de um agregado não é recomendado. Porém, como nesse estudo todas as amostras foram submetidas às mesmas condições, para efeito comparativo entre as expansões dos prismas moldados com diferentes cimentos, o ensaio é válido. Mesmo porque ainda não existe outro método normalizado para uma avaliação expedita do potencial reativo dos agregados.

5.3 MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV) COM MICROANÁLISE DE ESPECTROMETRIA POR DISPERSÃO DE ENERGIA (EDS)

Com a análise petrográfica dos agregados pôde-se classificá-los de acordo com sua origem geológica. Assim, as rochas foram sub-divididas em 4 grupos: ígneas plutônicas (granitos), ígneas vulcânicas (riolitos e basaltos), sedimentares e sedimentos não consolidados (calcário e areias de rio), metamórfica (gnaisse).

Baseando-se nessa sub-divisão e observando-se os prismas que tiveram as maiores expansões com o CP V-ARI no ensaio acelerado, foram selecionadas as amostras a serem analisadas através de MEV e EDS. Salientando-se, novamente, que esse foi somente o critério adotado para escolha dos agregados, pois uma vez eleitas as amostras foram selecionados fragmentos dos prismas moldados com todos os cimentos para observação em MEV e análise química por EDS. Tais fragmentos foram retirados das barras após o período de exposição das mesmas à solução de NaOH. Isso significa que alguns foram retirados de barras com 16 dias e outros de barras com 28 dias.

As análises não foram realizadas em lâminas delgadas com seção polida, e sim nos fragmentos em seu estado natural, primando-se, dessa forma, pela obtenção de imagens topográficas dos produtos da reação, isto é, sem alterar sua morfologia. Contudo, com a adoção desse critério a análise química realizada por EDS ficou um pouco prejudicada, denotando em resultados menos precisos.

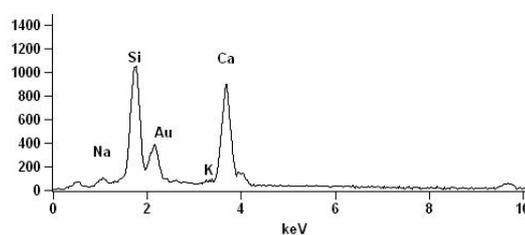
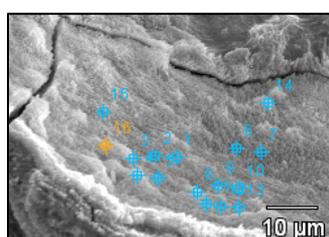
Então, para que a avaliação da composição química dos produtos da reação pudesse ser mais representativa, as análises de EDS foram realizadas sempre em 16 pontos e expressas em óxidos dos produtos da reação. Os resultados individuais de cada ponto de análise podem ser observados no APÊNDICE D, notando-se que como não houve padronização de uma região para análise (ex.: interface pasta/agregado), os resultados apresentaram grande variabilidade.

Cabe mencionar ainda que não foi fixada uma determinada ampliação para as imagens a serem analisadas quimicamente. Isso ocorreu porque em alguns fragmentos a visualização dos produtos só se dava com grandes aumentos. É o caso, por exemplo, das amostras moldadas com o CP IV, enquanto que para outros o gel foi facilmente identificado, pois se encontrava vastamente disseminado na amostra.

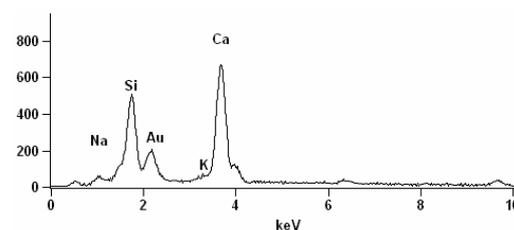
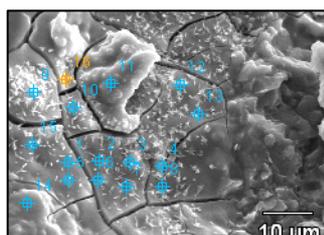
É importante enfatizar ainda que não foram moldados prismas para o ensaio acelerado com a amostra de calcário, já que esse ensaio não é adequado para avaliação da reação álcali-carbonato. Portanto, não se realizaram as análises de MEV e EDS da única rocha de origem sedimentar coletada.

Dessa forma, os agregados selecionados para as análises em questão foram as Amostras 27 (granito), 38 (riolito), 11 (basalto), 30 (areia de rio) e 13 (gnaisse).

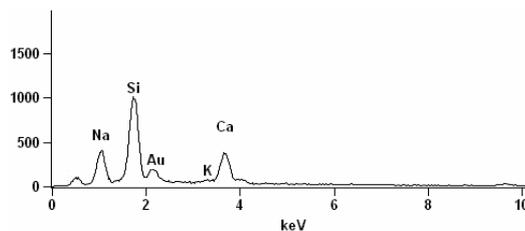
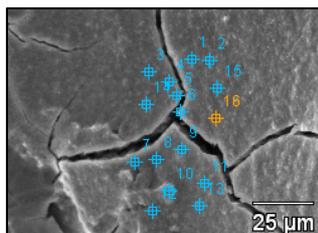
A Figura 5.44 apresenta as imagens obtidas dos fragmentos analisados com a amostra granítica – Amostra 27 – bem como o espectro de um dos 16 pontos de análise por EDS.



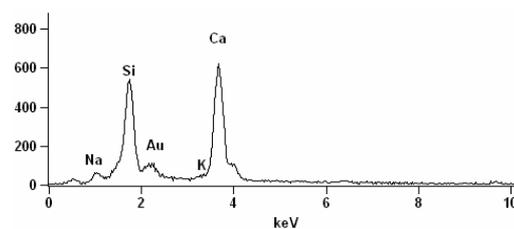
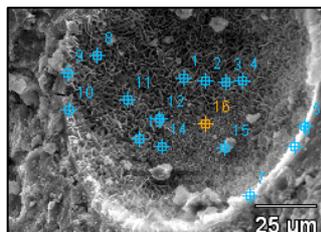
a) Fragmento moldado com CP V-ARI: finas placas cristalizadas no poro – Ampliação 2000x – espectro do ponto 8



b) Fragmento moldado com CP V-ARI RS: gel maciço sobre o agregado – Ampliação 2000x – espectro do ponto 4



c) Fragmento moldado com CP II-Z: gel maciço gretado sobre a pasta – Ampliação 1000x – espectro do ponto 16



d) Fragmento moldado com CP IV: cristais entrelaçados no poro – Ampliação 1000x – espectro do ponto 1

Figura 5.44: imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 27 e os 04 tipos de cimentos

Ao observar a Figura 5.44 nota-se que houve a formação do gel sílico-alcálico em todos os fragmentos avaliados, mesmo nos que apresentaram expansões inferiores no ensaio acelerado. É o caso do prisma moldado com o CP IV, para o qual as expansões foram menores que 0,10%, limite da ASTM C 1260 para classificar o agregado como inócuo. Contudo, foi possível notar que com esse cimento a quantidade de produtos expansivos foi bem menor, sendo que os mesmos só foram encontrados nos poros do fragmento avaliado.

Os espectros apresentados na Figura 5.44 mostraram que em todas as morfologias analisadas a presença dos principais constituintes do gel sílico-alcálico foi encontrada, ou seja, Si, Ca, Na e K. Porém, uma avaliação mais detalhada da composição química dos produtos da reação encontrados na Amostra 27 através de MEV e analisados por EDS pode ser observada através da Tabela 5.11.

Tabela 5.11: composição química média do gel sílico-alcálico encontrado nos prismas moldados com a Amostra 27 e os 04 cimentos

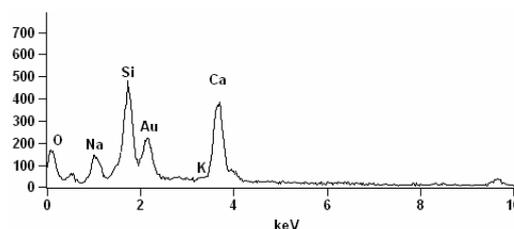
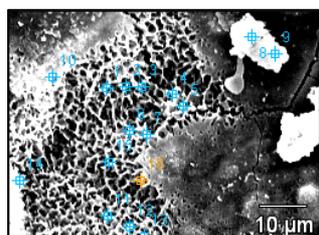
Compostos (%)	Cimentos			
	CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
SiO ₂	48,20	48,79	57,34	42,85
CaO	44,68	39,81	18,65	41,66
Na ₂ O	4,03	5,98	19,36	6,63
K ₂ O	0,21	1,02	0,83	0,07
Al ₂ O ₃	1,41	3,32	3,13	6,43
MgO	0,14	0,25	0,01	0,71
SO ₃	0,02	0,00	0,00	0,02
Fe ₂ O ₃	0,19	0,84	0,22	1,64
CaO/SiO ₂	0,93	0,82	0,33	0,97
Na ₂ O _{eq}	4,17	6,65	19,91	6,67
Expansão final (%)	0,30	0,29	0,19	0,08

A relação CaO/SiO₂, entre outros parâmetros, vem servindo para identificação dos produtos da RAA por diversos autores, tais como Swamy (1992, p. 51), Prezzi (1995, p. 78-80), Hasparyk (1999, p. 152), Silveira (2001, p. 93), entre outros. De acordo com esses autores, quanto menor for essa relação, mais expansivo é o gel, sendo que valores superiores a 1,5 podem caracterizá-los como produtos de hidratação do cimento (C-S-H) e não o gel da RAA.

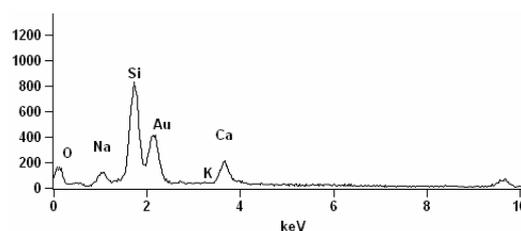
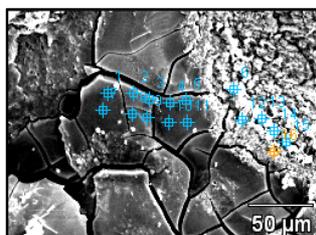
Desse modo, analisando-se a Tabela 5.11, o que se observou foram relações CaO/SiO₂ menores que 1,5, evidenciando que se tratam dos produtos da RAA. Entretanto, não ficou evidente uma correspondência entre o aumento das expansões e o decréscimo dessa relação.

Para o CP V-ARI, o CP V-ARI RS e CP IV os valores encontrados foram parecidos, variando de 0,82 a 0,97. Porém, com o CP II-Z, cuja expansão final foi menor que o CP V-ARI e o CP V-ARI RS, a CaO/SiO_2 foi de 0,33. Nos produtos analisados no prisma moldado com o CP II-Z e a Amostra 27 também se destacou o equivalente alcalino ($\text{Na}_2\text{O}_{\text{eq}}$), que foi de 19,91%, enquanto que para os demais cimentos variou de 4,17 a 6,67%.

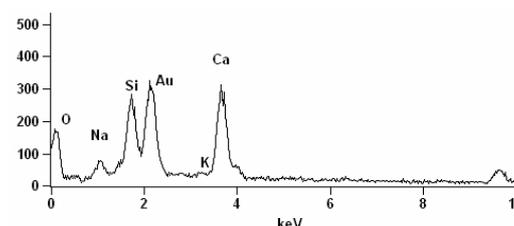
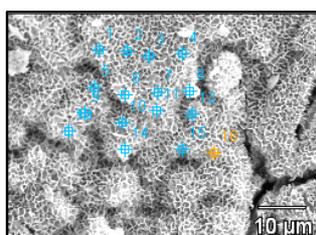
As imagens microscópicas da amostra riolítica – Amostra 38 – podem ser observadas através da Figura 5.45, como também o espectro de um dos pontos avaliados através de EDS.



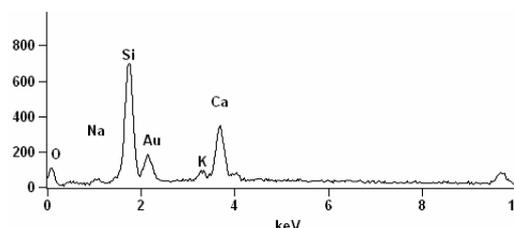
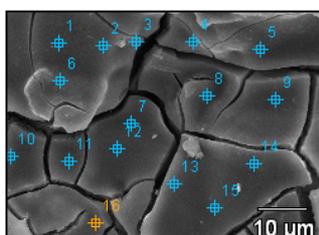
a) Fragmento moldado com CP V-ARI: gel rendado na interface pasta/agregado – Ampliação 2000x – espectro do ponto 4



b) Fragmento moldado com CP V-ARI RS: gel maciço gretado – Ampliação 550x – espectro do ponto 12



c) Fragmento moldado com CP II-Z: gel rendado preenchendo o poro – Ampliação 2000x – espectro do ponto 6



d) Fragmento moldado com CP IV: gel gretado revestindo o poro – Ampliação 2000x – espectro do ponto 3

Figura 5.45: imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 38 e os 04 tipos de cimentos

Nos fragmentos avaliados com a Amostra 38, assim como nos avaliados com a Amostra 27, também foram encontrados produtos da RAA em todos os corpos-de-prova, e isso pode ser constatado na Figura 5.45, tendo-se observado, inclusive, produtos com diferentes morfologias no mesmo fragmento. Nessa amostra notou-se ainda que os produtos apresentaram-se mais disseminados, e não somente preenchendo os poros, a não ser no fragmento moldado com o CP IV, no qual, mais uma vez, foi percebida a menor incidência de gel.

Na Tabela 5.12 é possível verificar a composição química dos produtos encontrados nos prismas moldados com a Amostra 38 e os 04 tipos de cimentos.

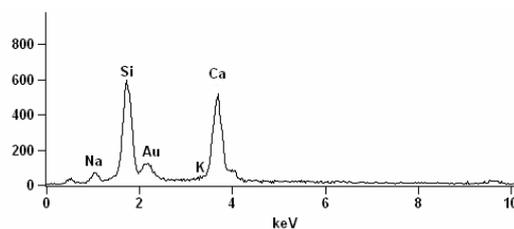
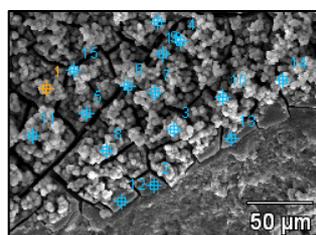
Tabela 5.12: composição química média do gel sílico-alcálico encontrado nos prismas moldados com a Amostra 38 e os 04 cimentos

Compostos (%)	Cimentos			
	CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
SiO ₂	43,65	61,02	36,79	68,45
Cão	32,88	17,79	41,31	13,54
Na ₂ O	13,75	7,52	9,22	7,53
K ₂ O	0,12	0,26	0,15	1,38
Al ₂ O ₃	7,79	11,26	8,76	7,49
MgO	0,28	1,79	1,11	0,60
SO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	1,53	0,36	2,66	1,00
CaO/SiO ₂	0,75	0,29	1,12	0,20
Na ₂ O _{eq}	13,83	7,69	9,32	8,44
Expansão final (%)	0,74	0,50	0,31	0,19

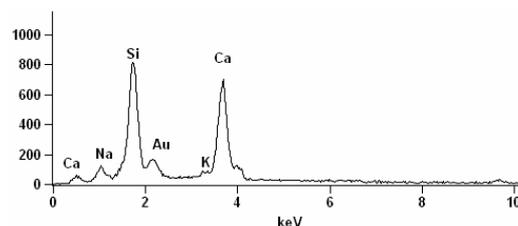
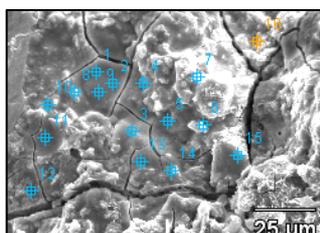
Os géis avaliados nos fragmentos da Amostra 38 apresentaram composições bastante variadas, mas analisando-se a Tabela 5.12 não se nota relação entre as diferentes composições químicas e as expansões dos prismas. Sendo assim, mais uma vez não foi possível estabelecer uma relação entre o aumento das expansões e a redução da relação CaO/SiO₂. Contudo, ficou claro que com todos os cimentos tratava-se do gel da RAA, pois a relação sempre foi inferior a 1,5, além de apresentarem morfologia característica nas imagens obtidas com MEV.

Na Tabela 5.12 nota-se ainda que o Na₂O_{eq} da amostra moldada com o CP V-ARI, para a qual a expansão foi superior às demais, chegou a 13,83%, sendo esse teor maior que o encontrado nas demais amostras, para as quais os valores ficaram bastante próximos, variando entre si de 7 a 9%.

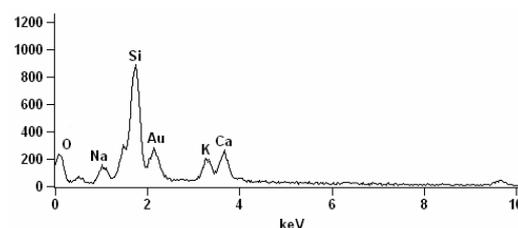
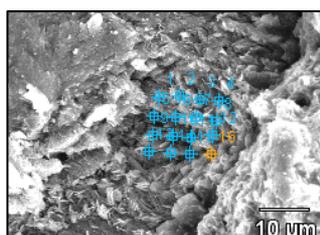
As análises de MEV realizadas nas barras moldadas com a Amostra 11, de origem basáltica, podem ser avaliadas na Figura 5.46.



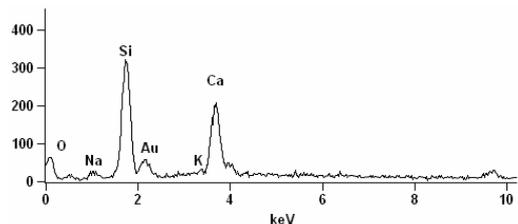
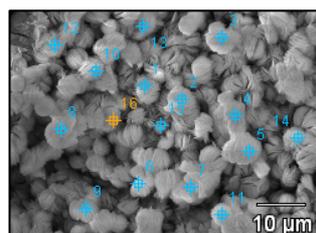
a) Fragmento moldado com CP V-ARI: produto cristalizado sobre o agregado – Ampliação 550x – espectro do ponto 11



b) Fragmento moldado com CP V-ARI RS: gel maciço gretado sobre o agregado – Ampliação 1000x – espectro do ponto 12



c) Fragmento moldado com CP II-Z: rosáceas na interface pasta/agregado – Ampliação 2000x – espectro do ponto 13



d) Fragmento moldado com CP IV: rosáceas revestindo o poro – Ampliação 2000x – espectro do ponto 13

Figura 5.46: imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 11 e os 04 tipos de cimentos

A Amostra 11 foi a que apresentou as maiores expansões no ensaio acelerado dentre todos os agregados coletados para análise. Ao avaliar a presença dos produtos da reação nos fragmentos moldados com essa amostra e os 04 tipos de cimentos através de MEV, verificou-se que todos apresentavam quantidade abundante de gel sílico-alcálico, inclusive no fragmento moldado com o CP IV, ao contrário do que ocorreu com as demais amostras. As

morfologias observadas mostraram-se, mais uma vez, bastante variadas, e isso pôde ser notado através das imagens apresentadas na Figura 5.39.

A Tabela 5.13 apresenta a composição química média dos 16 pontos avaliados nos fragmentos de argamassa submetidas à solução alcalina com a Amostra 11 e os quatro tipos de cimentos.

Tabela 5.13: composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 11 e os 04 cimentos

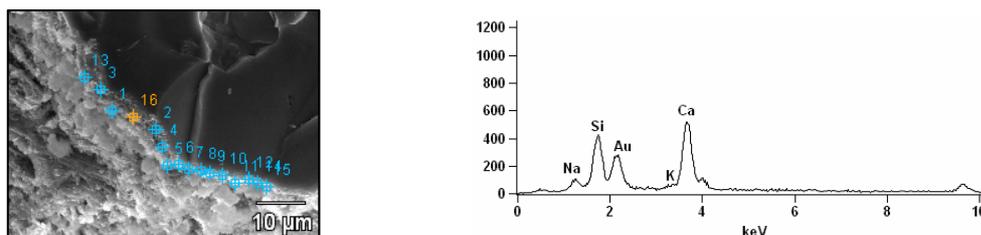
Compostos (%)	Cimentos			
	CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
SiO ₂	55,97	48,02	56,12	67,48
CaO	29,18	35,39	4,33	19,14
Na ₂ O	9,42	10,84	15,30	10,66
K ₂ O	0,27	0,81	5,85	0,35
Al ₂ O ₃	2,22	3,28	17,53	1,86
MgO	0,00	0,28	0,20	0,06
SO ₃	0,02	0,01	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,37	1,36	0,68	0,46
CaO/SiO ₂	0,52	0,74	0,08	0,28
Na ₂ O _{eq}	9,60	11,38	19,15	10,89
Expansão final (%)	1,05	0,78	0,69	0,17

Ao analisar a Tabela 5.13 verifica-se que relações CaO/SiO₂ bastante distintas para cada cimento não havendo relação com o crescimento das expansões. Entretanto, todas foram bastante inferiores a 1,5.

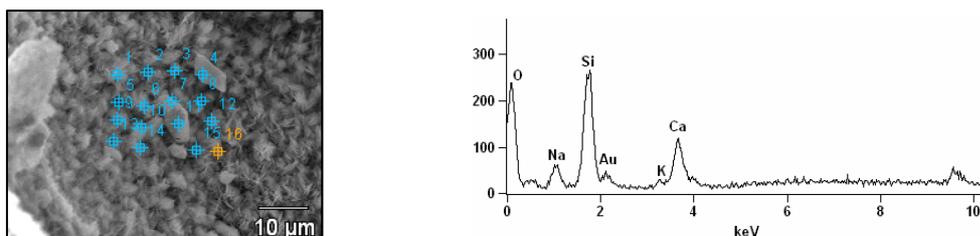
Também não foi possível se estabelecer relações entre o Na₂O_{eq} e as expansões, porém, de modo geral, os produtos avaliados com a Amostra 11 tiveram teores superiores do que as demais amostras, sendo para todos os cimentos maior que 9,00%.

Assim como ocorreu com a Amostra 27, o fragmento analisado a Amostra 11 com o CP II-Z foi o que apresentou menor relação CaO/SiO₂ e maior Na₂O_{eq}, mas as expansões não foram maiores que as obtidas com os outros cimentos.

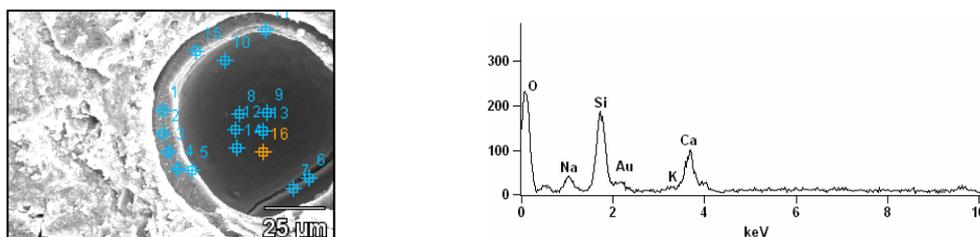
Através da Figura 5.47 pode-se observar as imagens microscópicas e os respectivos espectros dos prismas moldados com a Amostra 30, areia de rio.



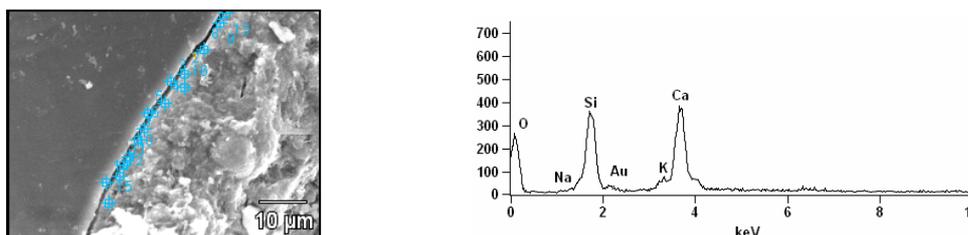
a) Fragmento moldado com CP V-ARI: produtos cristalizados na interface pasta/agregado – Ampliação 2000x – espectro do ponto 11



b) Fragmento moldado com CP V-ARI RS: produtos cristalizados no poro – Ampliação 2000x – espectro do ponto 15



c) Fragmento moldado com CP II-Z: gel maciço no poro – Ampliação 1000x – espectro do ponto 6



d) Fragmento moldado com CP IV: produtos cristalizados na interface pasta/agregado – Ampliação 2000x – espectro do ponto 11

Figura 5.47: imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 30 e os 04 tipos de cimentos

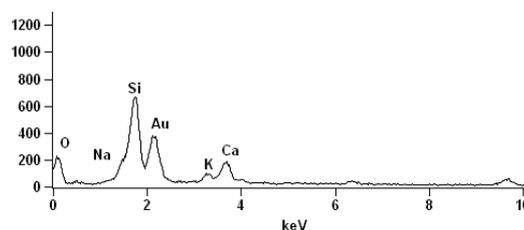
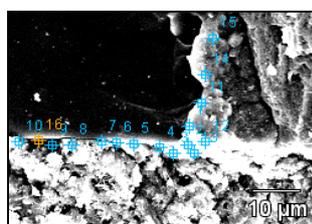
Nos fragmentos moldados com a Amostra 30 foi bastante difícil encontrar os produtos da RAA. Ao observar a Figura 5.47, nota-se que só foi possível observá-los na interface entre o agregado e a pasta de cimento ou nos poros. Mesmo assim, na interface não foi possível identificar com nitidez sua morfologia.

No entanto, a análise química mostrou que provavelmente se tratavam dos produtos expansivos, pois a relação CaO/SiO_2 foi inferior a 1,5 em todos os fragmentos. Isso pode ser observado na Tabela 5.14, bem como os demais compostos encontrados nos produtos avaliados com a Amostra 30 e os 04 cimentos.

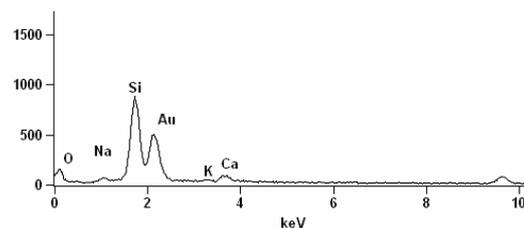
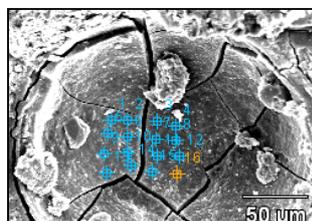
Tabela 5.14: composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 30 e os 04 cimentos

Compostos (%)	Cimentos			
	CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
SiO ₂	54,58	62,16	60,18	53,31
CaO	36,76	18,19	19,63	37,89
Na ₂ O	0,74	15,50	14,71	0,62
K ₂ O	0,39	0,81	1,71	1,30
Al ₂ O ₃	5,42	2,36	2,70	5,04
MgO	1,51	0,00	0,07	0,63
SO ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	0,60	0,99	0,62	1,22
CaO/SiO ₂	0,67	0,29	0,33	0,71
Na ₂ O _{eq}	1,00	16,03	15,84	1,47
Expansão final (%)	0,53	0,32	0,24	0,07

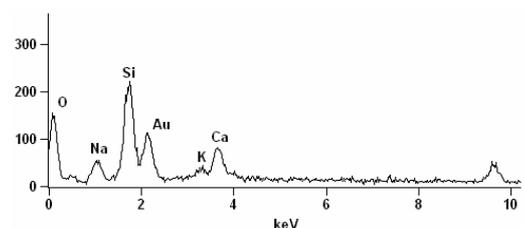
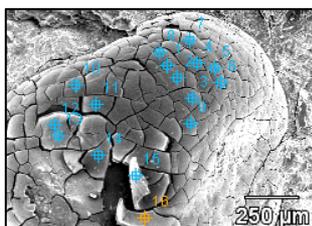
As imagens de MEV da Amostra 13 (gnaisse) podem ser observadas na Figura 5.48.



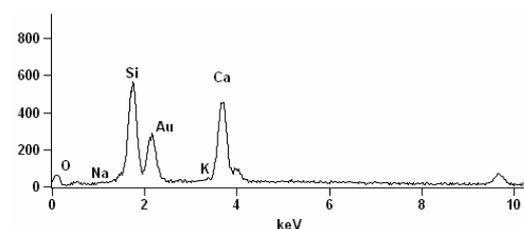
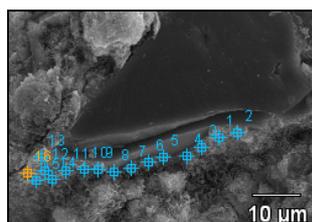
a) Fragmento moldado com CP V-ARI: produtos cristalizados na interface – Ampliação 2000x – espectro do ponto 3



b) Fragmento moldado com CP V-ARI RS: gel gretado revestindo o poro – Ampliação 550x – espectro do ponto 14



c) Fragmento moldado com CP II-Z: gel gretado recobrando o poro – Ampliação 100x – espectro do ponto 4



d) Fragmento moldado com CP IV: produtos cristalizados na interface – Ampliação 2000x – espectro do ponto 05

Figura 5.48: imagens obtidas com MEV e espectros obtidos com EDS dos prismas moldados com a Amostra 13 e os 04 tipos de cimentos

Assim como ocorreu com a Amostra 30, na Amostra 13 também houve dificuldade de encontrar os produtos da RAA. Através da Figura 5.48 nota-se que dos fragmentos avaliados, somente com o CP II-Z foi possível observar o gel recobrindo o agregado. Com os demais cimentos o gel foi encontrado na interface do agregado com a pasta e nos poros.

A Tabela 5.15 apresenta a composição química média dos do géis avaliados nos corpos-de-prova moldados com a Amostras 13 e os 04 cimentos.

Tabela 5.15: composição química média do gel sílico-alcalino encontrado nos prismas moldados com a Amostra 13 e os 04 cimentos

Compostos (%)	Cimentos			
	CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
SiO ₂	66,28	75,27	59,62	62,43
CaO	21,43	8,41	15,70	28,01
Na ₂ O	0,94	3,26	19,96	0,63
K ₂ O	0,25	0,94	2,10	0,05
Al ₂ O ₃	8,71	8,73	4,71	7,05
MgO	1,27	1,54	0,30	1,14
SO ₃	0,00	0,77	0,00	0,00
Fe ₂ O ₃	1,12	1,10	0,61	0,70
CaO/SiO ₂	0,32	0,11	0,26	0,45
Na ₂ O _{eq}	1,11	3,87	18,34	0,66
Expansão final (%)	0,28	0,21	0,20	0,08

Ao observar a Tabela 5.15 verifica-se que os equivalentes alcalinos dos géis foram bem inferiores aos obtidos com as outras amostras avaliadas, com exceção do gel encontrado no fragmento moldado com o CP II-Z. Os valores da relação CaO/SiO₂ dessa amostra mostraram-se bastante baixos, indicando que se trata de produtos expansivos e não do C-S-H.

5.4 COMPARAÇÃO ENTRE OS ENSAIOS REALIZADOS

Cada ensaio empregado nesse estudo tem sua peculiaridade, no entanto, todos foram realizados com a finalidade principal de avaliar a potencialidade reativa de 40 amostras de agregados do sul do Brasil.

Da análise petrográfica verificou-se que todas as amostras de agregados possuem minerais silicáticos deformados ou amorfos e feldspatos alcalinos, ou seja, passíveis de causarem RAA. Essa potencialidade reativa verificada na análise petrográfica foi confirmada com as demais avaliações. No ensaio acelerado constatou-se que somente o cimento CP IV foi capaz de inibir

as expansões a ponto de classificar como inócuos a maioria dos agregados. Contudo, nas análises de MEV e EDS observou-se a presença do gel também nessas amostras, mostrando que a reação ocorreu, porém a sílica das adições pozolânicas presentes no CP IV consumiu os álcalis dos poros antes que esses reagissem com os minerais reativos dos agregados.

A fim de facilitar a identificação das características petrográficas que levaram às maiores expansões dos prismas no ensaio acelerado, de acordo com a origem geológica dos agregados, plotou-se a Tabela 5.16.

Tabela 5.16: comparativo entre a fase mineralógica reativa e as expansões do ensaio acelerado dos agregados estudados

Origem geológica dos agregados	Nº da amostra	Principais características petrográficas da fase mineralógica reativa	Expansões médias dos prismas quando foram retirados da solução alcalina			
			CP V-ARI	CP V-ARI RS	CP II-Z	CP IV
Ígneas plutônicas: granitos	14	Quartzo= 10%, 0,4mm. EO= F	0,17	0,23	0,21	0,13
	18	Quartzo= 30%, 1,0mm. EO= E	0,31	0,23	0,25	0,07
	25	Quartzo= 20%, 0,3-1,5mm. EO= E	0,15	0,23	0,11	0,03
	27	Quartzo= 50%, 1,5mm. EO= F	0,30	0,29	0,19	0,08
	28	Quartzo= 35%, 4,0mm. EO= E	0,25	0,25	0,16	0,05
	29	Quartzo= 35%, 4,0mm. EO= E	0,21	0,22	0,15	0,07
	39	Quartzo= 50%, 3,5mm. EO= E	0,19	0,30	0,19	0,00
Ígneas vulcânicas: riolitos	12	Quartzo= 60%, 0,01-0,2mm. EO= F	0,35	0,29	0,28	0,07
	16	Mesóstase*= 40%	0,44	0,34	0,34	0,12
	26	Mesóstase*= 40%; Quartzo= 10%, 0,3mm. EO= E	0,25	0,31	0,14	0,04
	34	Mesóstase= 50%; Quartzo= 10%, 0,6mm. EO= E	0,39	0,23	0,36	0,09
	35	Mesóstase*= 20%	0,25	0,25	0,22	0,07
	37	Quartzo= 20%, 0,2-0,6mm. EO= M	0,22	0,34	0,21	0,08
	38	Mesóstase*= 40%	0,74	0,50	0,31	0,19
Ígneas vulcânicas: basaltos	06	Mesóstase= 20%; Cristais= 0,1-0,3mm	0,35	0,28	0,26	0,10
	07	Mesóstase= 45-50%; Cristais= 0,2-0,3mm	0,48	0,32	0,25	0,07
	08	Mesóstase= 45%; Cristais= 0,3-0,6mm	0,23	0,22	0,17	-0,04
	09	Mesóstase= 50%; Cristais= 0,3-0,6mm	0,36	0,26	0,33	-0,01
	10	Mesóstase= 40%; Cristais= 0,5-0,6mm	0,20	0,30	0,28	0,06
	11	Mesóstase*= 10%; Cristais= 0,1-1,5mm	1,05	0,78	0,69	0,17
	21	Mesóstase*= 20%; Cristais= microcristais	0,64	0,78	0,57	0,16
	22	Mesóstase= 50%; Cristais= 0,3mm	0,32	0,26	0,18	0,07
	23	Mesóstase= 40%; Cristais= 0,4-0,6mm	0,58	0,46	0,33	0,08
	24	Mesóstase= 30%; Cristais= 0,1mm	0,23	0,23	0,19	0,06
	32	Mesóstase= 30%; Cristais= microcristais	0,77	0,56	0,47	0,08
	33	Mesóstase= 20%; Cristais= 0,2-0,6mm	0,37	0,29	0,35	0,05
	36	Mesóstase*= 60%; Cristais= 0,1-0,6mm	0,35	0,27	0,26	0,04
40	Mesóstase= 20%; Cristais= 0,3mm	0,36	0,25	0,23	0,10	
Sedimentos não consolidados: areias de rio	01	Quartzo= 90%, 0,2-1,8mm. EO= E	0,35	0,31	0,17	-0,01
	02	Quartzo= 98%, 0,8mm. EO= F	0,21	0,29	0,18	0,02
	03	Quartzo= 80%, 0,1-0,7mm. EO= F	0,28	0,39	0,29	-0,02
	04	Quartzo= 100%, 0,4-0,7mm. EO= E	0,62	0,21	0,18	0,01
	05	Quartzo= 85%, 0,1-0,4mm. EO= E	0,29	0,43	0,12	0,09
	17	Quartzo= 90%, 0,1-7,0mm. EO=M	0,29	0,25	0,21	0,05
	19	Quartzo= 90%, 0,1-0,8mm. EO= E	0,31	0,29	0,20	0,03
	20	Quartzo= 98%, 0,1-0,8mm. EO= F	0,32	0,28	0,24	0,05
	30	Quartzo= 98%, 0,2-1,8mm. EO= M	0,36	0,32	0,24	0,07
	31	Quartzo= 75%, 0,5-4,0mm. EO= E	0,27	0,36	0,27	0,08
Metamórfica: gnaiss	13	Quartzo= 50%; Veios de carbonatos	0,28	0,21	0,20	0,08

Quartzo= porcentagem existente, dimensão dos grãos; EO= extinção ondulante; F= fraca; M= moderada; E= elevada; Mesóstase= porcentagem existente; Mesóstase*= presença de microgrãos de quartzo na mesóstase (isso indica que a mesóstase é rica em sílica); Cristais= dimensão média dos demais cristais presentes (importante para saber a disseminação da mesóstase na amostra).

Ao avaliar a Tabela 5.16 nota-se que nos granitos, de modo geral, quanto maiores as quantidades de quartzo presentes, maiores foram as expansões. Se comparados os granitos com grande quantidade de quartzo verifica-se que os que mais expandiram foram os que apresentaram grãos menores. No entanto, com relação ao grau de extinção ondulante do quartzo presente nas amostras graníticas não ficou evidente nenhuma correlação com as expansões, mesmo porque apenas em uma amostra o quartzo apresentou extinção ondulante fraca. Além disso, percebe-se que os granitos apresentaram expansões menores que os demais grupos de agregados.

Os riolitos que apresentaram as maiores expansões, de acordo com a Tabela 5.16, foram os que possuíam maior quantidade de mesóstase, que, conforme já foi mencionado, é uma formação amorfa constituída de material silicoso nos interstícios dos grãos, também conhecida como vidro vulcânico. A presença de microgrãos de quartzo disseminados na mesóstase não corroborou para comprovar maiores expansões, bem como a presença de grãos bem cristalizados de quartzo na amostra.

Da Tabela 5.16 também pode-se observar que os basaltos foram, de modo geral, as amostras mais expansivas. Com raras exceções, assim como nos riolitos, nos basaltos também se verificaram maiores expansões quanto maiores as quantidades de mesóstases presentes. Ficou evidente, ainda, que quanto mais finos os cristais presentes na amostra, mais expansiva ela é, sendo que a presença de cristais microcristalinos aumenta bastante a potencialidade de expansão do agregado. Isso ocorre justamente em função da maior disseminação do material amorfo quanto menores os cristais.

Com relação às areias de rio, analisando-se a Tabela 5.16, não ficou evidente nenhuma correlação entre a quantidade de grãos de quartzo presente, sua dimensão, seu grau de deformação (extinção ondulante) e as expansões dos prismas. De modo geral, as amostras de areias tiveram expansões parecidas com os granitos, provavelmente em função da mesma fase mineralógica reativa nesses dois grupos de agregados avaliados – o quartzo.

Buscando verificar se realmente há influência da origem geológica da amostra nas expansões resultantes, efetuou-se a análise da variância (ANOVA) das expansões aos 16 dias conforme o tipo de cimento e o tipo de agregado. Os resultados obtidos com essa análise podem ser observados na Tabela 5.17.

Tabela 5.17: análise da variância da influência dos resultados de expansão

Fator	Soma quadrada	Graus de liberdade	Média quadrada	Teste F	Valor-p	Significância
Tipo de cimento	5,463185	3	1,821061	1308,9490	0,00	Significativo
Agregado	6,498158	38	0,171004	122,9150	0,00	Significativo
Tipo de cimento x Agregado	2,677382	114	0,023486	16,8810	0,00	Significativo
Erro	0,434067	312	0,001391			
Total	15,072792	467	2,016942			

Teste F= média quadrada do tipo de cimento/média quadrada do erro;
Valor-p= probabilidade, distribuição t de Student.

Ao calcular a variância dos resultados de expansão, avaliando a influência do tipo de cimento, do agregado utilizado e a interação entre o tipo de cimento e o agregado, verificou-se que todos os efeitos são estatisticamente significativos nas expansões. A influência significativa do tipo de cimento já havia sido constatada anteriormente, porém, esses resultados confirmam a hipótese de que dependendo do tipo de agregado as expansões poderão ser maiores ou menores e, ainda, que a interação entre os dois também interfere. A Figura 5.49 ilustra graficamente o efeito da interação entre o tipo de cimento e o agregado utilizado.

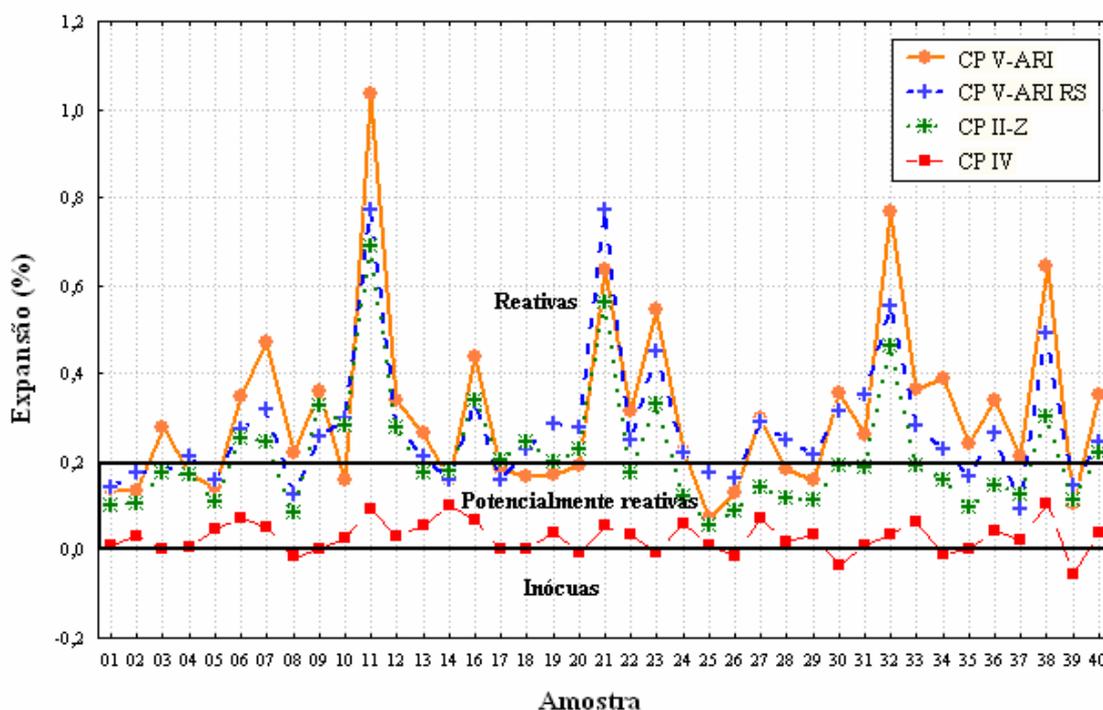


Figura 5.49: efeito da interação entre o tipo de cimento e o tipo de agregado nas expansões do ensaio acelerado

Analisando-se a Figura 5.49 fica bastante claro que conforme aumentou o teor de adições dos cimentos as expansões reduziram. Ao avaliar as Amostras 06, 11, 16, 21, 23, 32 e 38, as quais apresentaram os maiores picos de expansões no gráfico, verificou-se que todas têm origem ígnea vulcânica, sendo que cinco agregados são rochas de origem basáltica (Amostras 06, 11, 21, 23 e 32) e dois são de origem riolítica (Amostras 16 e 38).

Essas constatações mostram que os agregados com grãos mais finos e com a presença de mesóstases silicosas amorfas em sua matriz são mais suscetíveis à reação com os álcalis.

De forma geral a maioria das amostras apresentou expansões bastante significativas e, em todos os fragmentos de prismas submetidos ao ensaio acelerado e avaliados através de MEV e EDS foram encontrados os produtos da reação.

A MEV mostrou que nas amostras em que as expansões do ensaio acelerado foram menores, o gel se deformou dentro dos poros, ou seja, ocupou os espaços vazios sem causar expansões significativas. A composição química desses produtos não variou de acordo com a origem geológica do agregado, pois todos os produtos avaliados através de EDS apresentaram composições semelhantes.

Ao contrário de alguns autores, que relacionaram o aumento das expansões com o decréscimo da relação CaO/SiO_2 , (HASPARYK, 1999, p. 152; PREZZI, 1995, p.101), nas análises feitas na presente pesquisa não pôde-se estabelecer nenhuma correlação. No entanto, ficaram evidentes em todos os fragmentos a presença de produtos com relações inferiores a 1,5.

Assim como a relação CaO/SiO_2 , os equivalentes alcalinos dos géis observados também não evidenciaram possíveis correlações com o aumento das expansões ou com a origem geológica dos agregados. Porém, é muito importante salientar que foi grande a variabilidade dos resultados obtidos com as análises de EDS. Além disso, as análises foram feitas em diferentes regiões (pasta, poro, interface pasta/agregado), o que pode ter influenciado no comportamento dos resultados observados.

Por fim, enfatiza-se que não é possível garantir que todos os cimentos pozolânicos (CP IV) existentes no mercado são eficazes no combate à RAA. O CP IV avaliado no presente estudo mostrou um comportamento bastante satisfatório, no entanto, esse comportamento pode variar em função do teor e do tipo de pozolana utilizada.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o objetivo de avaliar o comportamento de 40 amostras de agregados do sul do Brasil com relação à RAA, frente à utilização dos cimentos CP V-ARI, CP V-ARI RS, CP IV e CP II-Z, neste trabalho realizou-se a análise petrográfica e o ensaio acelerado das barras de argamassa. Além disso, observou-se a morfologia e a composição química do gel sílico-alcalino oriundo da reação, através da microscopia eletrônica de varredura (MEV) e da espectrometria por energia dispersiva de raios-x (EDS).

A partir dessas análises, várias conclusões puderam ser percebidas, tanto em função dos ensaios isoladamente, como da comparação entre eles. Essas conclusões serão descritas a seguir, sendo que as mesmas são válidas para os materiais e métodos utilizados neste trabalho, devendo ser corroboradas através de novas pesquisas.

6.1 CONCLUSÕES

6.1.1 Agregados

Dentre as 40 amostras de agregados avaliadas, 10 são areias de rio e 30 são rochas. Das 30 amostras de rochas utilizadas, 28 são de origem ígnea, sendo 07 granitos (ígnea plutônica), 07 riolitos e 14 basaltos (ígneas vulcânicas), uma amostra tem origem carbonática, é 01 calcário, e uma tem origem metamórfica, 01 gnaisse. A análise petrográfica desses agregados mostrou que todos (tanto as areias como as rochas) apresentam constituições mineralógicas potencialmente reativas.

De forma geral, são agregados que possuem em sua matriz minerais silicáticos deformados, na maioria das vezes quartzo com extinção ondulante, ou mesóstases silicosas amorfas. O quartzo deformado foi observado mais comumente nos granitos e nas areias, já as mesóstases nos riolitos e nos basaltos.

Em algumas amostras, principalmente em granitos, observou-se ainda a presença de minerais carbonáticos, o que potencializa o risco de ocorrência da reação álcali-carbonato.

6.1.2 Cimentos

Avaliando-se o efeito do tipo de cimento nas expansões do ensaio acelerado da ASTM C 1260/01 concluiu-se que este influi significativamente nas expansões decorrentes da RAA, ou seja, se escolhido o cimento adequado, consegue-se evitar expansões deletérias.

De acordo com os limites classificatórios da ASTM C 1260/01 com relação à potencialidade reativa dos agregados, nenhuma das amostras avaliadas foi considerada inócua com o CP V-ARI, o CP V-ARI RS e com o CP II-Z. Desse modo, pode-se concluir que esses cimentos não são indicados quando se deseja evitar a o risco de ocorrência de RAA nas estruturas de concreto.

O fato de o CP V-ARI apresentar uma quantidade muito pequena de adições pozolânicas foi um fator preponderante para que os corpos-de-prova moldados com esse cimento tivessem expansões altamente deletérias. Com esse cimento, 64% das amostras apresentaram expansões maiores do que com os demais. Além disso, 36 dos 39 agregados avaliados foram classificados como deletérios. As outras 03 amostras ficaram na faixa intermediária da norma, que classifica as expansões como potencialmente reativas aos álcalis.

O cimento CP V-ARI RS não se mostrou eficaz para inibir as expansões decorrentes da RAA, mesmo possuindo teores de adições superiores ao CP V-ARI. Com esse cimento todas as amostras foram consideradas reativas, sendo que 36% apresentaram expansões superiores aos prismas moldados com os outros cimentos. Supõe-se que essas expansões ocorreram devido a um teor insuficiente de adições ou à utilização de um tipo de adição menos eficaz que a adição pozolânica.

Os corpos-de-prova moldados com o CP II-Z tiveram expansões menores que os moldados CP V-ARI e CP V-ARI RS com 85% das amostras. Porém, a redução das expansões não foi suficiente para classificar os agregados como inócuos. Com esse cimento, 31% dos agregados avaliados foram considerados potencialmente reativos, ou seja, os corpos-de-prova tiveram expansões entre 0,10% e 0,20%, o que comprova a redução das expansões. Entretanto, essa

classificação não garante que a reação será evitada. Logo, pode-se dizer que o teor de adições pozolânicas utilizado no CP II-Z – até 14% – não é satisfatório para evitar a RAA.

O CP IV estudado mostrou-se bastante eficaz para inibir a RAA, sendo que 80% dos prismas moldados com esse cimento apresentaram expansões que classificaram os agregados como inócuos, e os demais 20% como potencialmente reativos, ou seja, nenhuma amostra foi considerada deletéria. Assim, constata-se que o teor de adições pozolânicas empregado no CP IV – até 50% – pode ser capaz de evitar que expansões decorrentes da RAA se desenvolvam, ou seja, é recomendável que se utilize o CP IV quando se deseja inibir a RAA nas estruturas de concreto. No entanto, deve-se controlar o tipo e o teor de adição pozolânica empregado neste cimento, pois caso haja a variação destes dois fatores, a redução das expansões pode não ser satisfatória.

Desse modo pode-se concluir que a sílica presente nas adições minerais constituintes dos cimentos reagiu os álcalis presentes nos poros do concreto antes dos minerais reativos constituintes dos agregados, evitando que as expansões deletérias ocorressem, ou diminuindo sua intensidade, resultando na formação de uma quantidade menor de gel sílico-alcalino.

Ficou evidente, ainda, que o equivalente alcalino do cimento não deve ser considerado com o intuito de evitar o desencadeamento da RAA, pois o CP IV, cujo equivalente alcalino foi maior dentre os quatro cimentos, denotou nas menores expansões. Já o CP V-ARI, CP V-ARI RS e CP II-Z, que possuíam equivalentes alcalinos menores, tiveram expansões superiores a 0,10% com todos os agregados, isto é, com esses cimentos nenhum agregado foi considerado inócuo. Assim, conclui-se que a escolha do cimento a ser utilizado para impedir que a RAA se desenvolva deve ser feita baseando-se no teor de adições pozolânicas nele presente, e não no seu equivalente alcalino.

6.1.3 Morfologia e composição química dos produtos oriundos da reação álcali-agregado

A MEV e as análises com EDS mostraram que os produtos da RAA (gel) se formaram mesmo nos prismas que apresentaram expansões pequenas, ou seja, mesmo nas amostras moldadas com o CP IV, que tiveram expansões consideradas inócuas, foi encontrado o gel da RAA.

Contudo, nas amostras cujas expansões foram pequenas o gel foi observado incluso nos poros ou na interface entre a pasta e o agregado, e não disseminado por toda a amostra, como ocorreu com os prismas mais expansivos. Isso significa que a reação foi desencadeada, porém, a quantidade de produtos formados não foi suficiente para preencher completamente os vazios e causar expansões deletérias.

Para que seja considerado um produto expansivo e não um produto das reações de hidratação do cimento, o gel deve apresentar relação CaO/SiO_2 menor que 1,5. Nas análises de EDS efetuadas confirmou-se que os produtos encontrados eram oriundos da RAA. Entretanto, não foi possível estabelecer uma correlação entre o aumento das expansões e a redução dessa relação, como fizeram outros autores.

6.1.4 Correlações entre a petrografia dos agregados, as expansões do ensaio acelerado e os produtos da reação

Relacionando-se as técnicas de análise utilizadas neste trabalho verificou-se que, de modo geral, as amostras que apresentaram maiores expansões no ensaio acelerado foram as constituídas por minerais finos ou microcristalinos e que, além disso, apresentaram mesóstases silicosas nos interstícios dos grãos. É o caso dos riolitos e dos basaltos. Contudo, os basaltos foram as amostras que mais expandiram no ensaio acelerado.

Entre os granitos verificou-se que quanto maior a quantidade de quartzo presente, maiores foram as expansões no ensaio acelerado. No entanto, estes foram os que expandiram menos, não sendo possível constatar correlação entre a intensidade das deformações dos minerais silicosos e a intensidade das expansões. Um comportamento semelhante foi verificado com as areias.

As análises de MEV mostraram que o gel formado pode possuir diversas morfologias. Contudo, não foi possível estabelecer uma ligação entre a morfologia do produto expansivo e a origem geológica da rocha ou o tipo de cimento empregado.

Composições químicas bastante semelhantes foram verificadas através de EDS em todos os produtos expansivos observados. Desse modo, pode-se dizer que o gel da RAA tem a mesma constituição, independentemente do tipo de agregado ou cimento utilizado.

6.1.5 As técnicas de análise

Fazendo-se uma avaliação das técnicas utilizadas para alcançar os objetivos propostos, verifica-se que as mesmas se mostraram bastante satisfatórias.

A análise petrográfica dos agregados permitiu que se verificasse a presença de minerais passíveis de reação com os álcalis, o que foi confirmado com a realização do ensaio acelerado da ASTM C 1260/01. Este, por sua vez, mostrou que o aumento do teor de adições pozolânicas nos cimentos inibe as expansões deletérias.

Por outro lado, o ensaio acelerado não é uma técnica que deva ser utilizada isoladamente para classificação da potencialidade reativa dos agregados. Ficou bastante evidente nas análises feitas que a forma dos grãos influencia bastante as expansões dos prismas moldados nesse ensaio. Além disso, as severas condições de ensaio (temperatura elevada e alta concentração de álcalis) potencializam a ocorrência de expansões consideradas deletérias.

As análises através de MEV e EDS mostraram-se ferramentas complementares bastante interessantes, principalmente para confirmar se as expansões foram decorrentes da formação dos produtos da RAA. Essas análises permitiram, ainda, que pudessem ser notadas diferenças de disseminação do gel entre as amostras que apresentaram maiores ou menores expansões.

6.1.6 Conclusões gerais

A partir dos resultados obtidos com as análises feitas neste trabalho, conclui-se que os agregados utilizados para confecção de concreto no sul do Brasil tem grande potencial reativo, dependendo do tipo de cimento utilizado. Desse modo, o que ficou comprovado nesse estudo é que a utilização de um cimento CP IV pode evitar que as expansões deletérias ocorram.

Outra constatação percebida foi a de que os diversos ensaios empregados para avaliar RAA não são por si só conclusivos, pois, além de acelerar o processo gerando resultados que não são condizentes com a realidade, podem gerar resultados mascarados, em função da porosidade dos corpos-de-prova.

Então, considerando-se que ainda não existe um ensaio ou um conjunto de ensaios que represente exatamente as condições de desencadeamento em campo da RAA, recomenda-se que em estruturas de concreto sujeitas à intensa umidade, tais como barragens, pontes, rodovias, tubulações de água e esgoto, fundações de edifícios, entre outras construídas no Brasil, seja utilizado preferencialmente o cimento pozolânico – CP IV – porém, é importante que se analise o teor e o tipo de adição empregado neste cimento antes do seu uso. Ou, se for mais conveniente a utilização de outro tipo de cimento, que seja realizado um estudo da quantidade ideal de adição pozolânica a ser utilizada para evitar o desencadeamento da RAA.

6.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Ao final desse trabalho verificou-se que alguns estudos poderiam elucidar novos questionamentos que surgiram durante as análises e, dessa forma, contribuir para o aperfeiçoamento e melhor compreensão da RAA. Assim, faz-se as seguintes sugestões para futuros trabalhos:

- a) Avaliação da potencialidade reativa dos agregados comumente utilizados no concreto no restante do país;
- b) Realização do ensaio acelerado da ASTM C 1260 com os mesmos agregados utilizados nesse estudo e os cimentos CP II-E (cimento composto com escória granulada de alto-forno) e CP III (cimento de alto-forno), a fim de verificar se a adição de escória de alto-forno no cimento é capaz de evitar o desencadeamento da RAA;
- c) Quantificação da sílica existente nas mesóstases silicosas amorfas presentes nas rochas ígneas vulcânicas, com o intuito de realizar correlações com as expansões do ensaio acelerado;
- d) Análise da composição química das amostras de agregados estudadas, para verificar com maior precisão o percentual de constituintes deletérios presentes;
- e) Estudo de vários cimentos pozolânicos (CP IV) brasileiros, buscando, dessa forma, verificar o potencial de redução das expansões de cimentos com diferentes tipos e teores de adições.

REFERÊNCIAS

ACRES. **Dams**. Disponível em: <[http:// www.acres.com/AcresGroup/Experience/ExpHydroAAR/](http://www.acres.com/AcresGroup/Experience/ExpHydroAAR/)>. Acesso em: 08 fev. 2005.

AMO, D. G.; PÉREZ, C. B. Diagnosis of the alkali-silica reactivity potential by means of digital image analysis of aggregate thin sections. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 1449-1454, 2001.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS – American Society For Testing and Materials. **ASTM C-150/97a: Standard specification for Portland cement**. Philadelphia, 1997. Section 4 (Construction), (Cement), p. 5.

_____. **ASTM C-227/97a: Standard test method for potential alkali reactivity of cement-aggregate combinations (mortar-bar method)**. Philadelphia, 1997. Section 4 (Construction), (Concrete and Aggregates), p. 5.

_____. **ASTM C-295/90: Standard for guide of aggregates for concrete**. Philadelphia, 1990. Section 4 (Construction), (Concrete and Aggregates), p. 8.

_____. **ASTM C-586/92: Standard test method for potential alkali reactivity of carbonate rocks for concrete aggregates (rock cylinder method)**. Philadelphia, 1992. Section 4 (Construction), (Concrete and Aggregates), p. 4.

_____. **ASTM C-1105/95: Standard test method for length change of concrete due to alkali-carbonate rock reaction**. Philadelphia, 1995. Section 4 (Construction), (Concrete and Aggregates), p. 3.

_____. **ASTM C-1260/01: Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method)**. Philadelphia, 2001. Section 4 (Construction), (Concrete and Aggregates), p. 4.

_____. **ASTM C-1293/95: Standard test method for concrete aggregates by determination of length change of concrete due to alkali-silica reaction**. Philadelphia, 1995. Section 4 (Construction), (Concrete and Aggregates), p. 6.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5733 EB - 2: Cimento Portland de alta resistência inicial**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5735 – EB 208: Cimento Portland de alto forno**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5736 – EB 758: Cimento Portland pozolânico**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 5737 – EB 903: Cimento Portland de moderada resistência a sulfatos e moderado calor de hidratação (MRS) e cimento Portland de alta resistência a sulfatos (ARS)**. Rio de Janeiro, 1977.

_____. **NBR 9774: Agregado: Verificação da reatividade potencial pelo método químico**. Rio de Janeiro, 1987.

_____. **NBR 11578: Cimento Portland composto**. Rio de Janeiro, 1991.

_____. **NBR 13276**: Argamassa para assentamento e revestimento de paredes e tetos: Preparo da mistura e determinação do índice de consistência. Rio de Janeiro, 2002.

ÁVILA, J. I. S. L. **A Aids do concreto**. [S.I]: Revista da ABEAS, 2004. Disponível em: <<http://www.abeas.com.br/wt/news.php?cod=441>>. Acesso em: 30 jun. 2005.

BERRA, M.; MANGIALARDI, T.; PAOLINI, A. E.; TURRIZIANI, R. Critical evaluation of accelerated test methods for detecting the alkali-reactivity of aggregates. **Advances in Cement Research**, v. 4, n. 1, p. 29-37, jan. 1991.

BLIGHT, G. E. The moisture condition in an exposed structure damaged by alkali-silica reaction. **Magazine of Concrete Research**, v. 43, n. 157, p. 249-255, dez. 1991.

BROEKMANS, M. A. T. M. Structural properties of quartz and their potential role for ASR. **Materials Characterization**, v. 53, p. 129-140, 2004.

CHEN, H.; SOLES, J. A.; MALHOTRA, V. M. Investigations of supplementary cementing materials for reducing alkali-aggregate reactions. **Cement and Concrete Composites**, v. 15, p. 75-85, 1993.

COLLINS, C. L.; IDEKER, J. H.; WILLIS, G. S.; KURTIS, K. E. Examination of the effects of LiOH, LiCl, and LiNO₃ on alkali-silica reaction. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1389-1402, 2004.

CONSTANTINER, D.; DIAMOND, S. Alkali release from feldspars into pore solutions. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 549-554, 2003.

CYR, M.; CARLES-GIBERGUES, A. Normalized age applied to AAR occurring in concretes with or without mineral admixtures. **Cement and Concrete Research**, v. 32, p. 1771-1782, 2002.

DENG, M.; TANG, M. Mechanism of dedolomitization and expansion of dolomitic rocks. **Cement and Concrete Research**, v. 23, n. 6, p. 1397-1408, 1993.

DENT GLASSER, L. S.; KATAOKA, N. The chemistry of alkali-aggregate reaction. **Cement and Concrete Research**, v. 11, n. 3, p. 1-9, 1981.

DIAMOND, S. A review of alkali-silica reaction and expansion mechanisms: Reactive aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 6, n. 4, p. 549-560, 1976.

DIAMOND, S. Alkali silica reactions: some paradoxes. **Cement and Concrete Composites**, v. 19, p. 391-401, 1997.

DIAMOND, S. Alkali-aggregate reaction (PCC). In: **Reports-Feel free to download**, 1984. Disponível em: <<http://www.this.is/ergo/reports/Chapter3.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2004.

FENG, N. Q.; HAO, T. Y.; FENG, X. X. Study of the alkali reactivity of aggregates used in Beijing. **Magazine of Concrete Research**, v. 54, n. 4, p. 233-237, ago. 2002.

FRASCÁ, M.H.B.O.; SARTORI, P.L.P. Minerais e rochas. In: **Geologia de Engenharia**, 1998, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, CNPQ, FAPESP, 1998. p. 15-38.

FRAZÃO, E. B.; PARAGUASSU, A. B. Materiais rochosos para a construção. In: **Geologia de Engenharia**, 1998, São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, CNPQ, FAPESP, 1998. p. 331-342.

FRENCH, W. J. The role solvent migration in alkali-silicate reactivity. In: **THE EFFECT OF ALKALIES ON THE PROPERTIES OF CONCRETE**, 3., 1976, London. **Proceedings...** London: Cement and Concrete Association, set. 1976, p. 177-190.

FURNAS, Equipe de.; Laboratório de Concreto; ANDRADE, W.P. (Ed.). Reatividade potencial álcali-agregado. In: **Concretos massa estrutural, projetado e compactado com rolo: ensaios e propriedades**. São Paulo: Pini, 1997.

GARCÍA, E.; ALFONSO, P.; LABRADOR, M. GALÍ, S. Dedolomitization in different alkaline media: Application to Portland cement paste, **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 1443-1448, 2003.

GILLOTT, J. E. Alkali-aggregate reactions in concrete. **Engineering Geology**, v. 9, p. 303-326, 1975.

GILLOTT, J. E. Alkali-reactivity problems with emphasis on Canadian aggregates. **Engineering Geology**, v. 23, p. 29-43, 1986.

GILLOTT, J. E.; ROGERS, C. A. Alkali-aggregate reaction and internal release of alkalis. **Magazine of Concrete Research**, v. 46, n. 167, p. 99-112, jun. 1994.

GILLOTT, J. E.; ROGERS, C. A. The behavior of silicocarbonatite aggregates from the Montreal area. **Cement and Concrete Research**, v. 33, p. 471-480, 2003.

GLASSER, F. P. Chemistry of the alkali-silica reaction. In: **The alkali-silica reaction in concrete**. R. N. Swamy (ed.). London, 1992, p. 30-52.

GRUBER, K. A.; RAMLOCHAN, T.; BODDY, A.; HOOTON, R. D.; THOMAS, M. D. A. Increasing concrete durability with high-reactivity metakaolin. **Cement and Concrete Composites**, v. 23, p. 479-484, 2001.

GUDMUNDSSON, G.; OLAFSSON, H. Alkali-silica reactions and silica fume 20 years of experience in Iceland. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1289-1297, 1999.

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.

HASPARYK, N. P. **Investigação de concretos afetados pela reação álcali-agregado e caracterização avançada do gel exsudado**. 2005. 334f. Tese (Doutorado em Engenharia)-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

HASPARYK, N. P.; MONTEIRO, P. J. M.; CARASEK, H. Effect of silica fume and rice husk ash on alkali-silica reaction. **ACI Materials Journal**, v. 97, n. 4, p. 486-492, 2000.

HOBBS, D. W. **Alkali-silica reaction in concrete**. London: Ed. Thomas Telford Ltda, 1988.

HOU, X.; STRUBLE, L. J.; KIRPATRICK, R. J. Formation of ASR gel and the roles of C-S-H and portlandite. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1683-1696, 2004.

- HUDEEC, P. P.; LARBI, J. A. A study of alkali-aggregate reaction in concrete: Measurement and prevention. **Cement and Concrete Research**, v. 19, n. 6, p. 905-912, 1989.
- JUENGER, M. C. G.; OSTERTAG, C. P. Alkali-silica reactivity of large silica fume-derived particles. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1389-1402, 2004.
- JENSEN, A. D.; CHATTERJI, S.; CHRISTENSEN, P.; THAULOW, N.; GUDMUNDSSON, H. Studies of alkali-silica reaction – Part I – A comparison of two accelerated test methods. **Cement and Concrete Research**, v. 12, p. 641-647, 1982.
- KATAYAMA, T. How to identify carbonate rock reactions in concrete. **Materials Characterizations**, v. 53, p. 85-104, 2004.
- KAWAMURA, M.; KODERA, T. Effects of externally supplied lithium on the suppression of ASR expansion in mortars. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 494-498, 2005.
- KAWAMURA, M.; TAKEUCHI, K.; SUGIYAMA, A. Mechanisms of the influence of externally NaCl on the expansion of mortars containing reactive aggregate. **Magazine of Concrete Research**, v. 48, n. 176, p. 237-248, set. 1996.
- KERRICK, D. M.; HOOTON, R. D. ASR of concrete aggregate quarried from a fault zone: Results and petrographic interpretation of accelerated mortar bar tests. **Cement and Concrete Research**, v. 22, n. 5, p. 949-960, 1992.
- KHIARA, Y.; SBRIGHI, C. N.; KUPERMAN, S. C. Reação álcali-agregado: visão atual e situação brasileira. In: **Simpósio sobre durabilidade do concreto**, 1998. São Paulo. Anais...São Paulo: IBRACON/USP, 1998.
- KORKANÇ, M.; TUGRUL, A. Evaluation of selected basalts from the point of alkali-silica reactivity. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 505-512, 2005.
- KORMANN, A. C. M.; DAL MOLIN, D. C. C; PORTELLA, K. F. Uso de adições minerais em concretos submetidos a ensaios de reação álcali-agregado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004. 1 CD-ROM.
- KURTIS, K. E.; MONTEIRO, P. J. M.; BROWN, J. T.; MEYER-ILSE, W. Effect of chemical additives on the alkali-silica reaction product examined by transmission soft x-ray microscopy. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF CEMENT MICROSCOPY, 25., 2003, Richmond. **Proceedings...** Richmond: Virginia (USA), Proceedings of ICMA Conferences, v. 2, p. 2-10, 2003. 1 CD ROM.
- KURTIS, K. E.; MONTEIRO, P. J. M.; BROWN, J. T.; MEYER-ILSE, W. High resolution transmission soft x-ray microscopy of deterioration products developed in large concrete dams. **Journal of Microscopy**, v. 196, p. 288-298, 1999.
- LOPES, L. E. **Modelagem mecânica e numérica da reação álcali-agregado com aplicação à barragens de concreto**. 2004. 157f. Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia Civil)-Faculdade de Engenharia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. 3. ed. São Paulo: Pini, 1994.

MILOVSKY, A. V.; KONONOV, O. V. Systems of minerals (an outline). In: **Mineralogy**, 1985, Moscow: Mir Publishers Moscow, 1985. p. 99-224.

MITCHELL, L. D.; BEAUDOIN, J. J.; GRATAN-BELLEW, P. The effects of lithium hydroxide solution on alkali silica reaction gels created with opal. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 641-649, 2004.

MLADENOVIC, A.; SUPUT, J. S.; DUCMAN, V.; SKAPIN, A. S. Alkali-silica reactivity of some frequently used lightweight aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1809-1816, 2004.

MO, X. Laboratory study of LiOH in inhibiting alkali-silica reaction at 20°C: a contribution. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 499-504, 2005.

MONTEIRO, J. P. M.; SHOMGLIN, K.; WENK, H. R.; HASPARYK, N. P. Effect of aggregate deformation on alkali-silica reaction. **ACI Materials Journal**, v. 98, n. 2, p. 179-183, 2001.

MSLEXPERS. **Alkali-silica reaction**. Disponível em:
<http://www.mslexperts.com/concrete_reality/alkali_silica_reaction/droite_alkali.htm>. Acesso em: 08 fev. 2005.

NEVILLE, A.M. **Propriedades do concreto**. Tradução de Salvador E. Giammusso. São Paulo: Pini, 1982.

PAULON, V. A. **Reações álcali-agregado em concreto**. 1981. 114f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)–Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PERSONAL. **Alkali-aggregate reaction**. Disponível em:
<<http://personal.cityu.edu.hk/~bshxwen/0302Index/Photo/Case1/aar.htm>>. Acesso em: 08 fev. 2005.

PREZZI, M. **Analysis of the mechanisms of concrete deterioration**. 1995, 220f. PhD (Thesis). University of California, Berkeley, USA.

PREZZI, M.; MONTEIRO, J. P. M.; SPOSITO, G. Alkali-silica reaction-Part II: The effect of chemical admixtures. **ACI Materials Journal**, v. 95, n. 1, p. 3-9, 1998.

PREZZI, M.; MONTEIRO, P. J. M.; SPOSITO, G. The alkali-silica reaction, Part I: use of the double-layer theory to explain the behavior of reaction-product gels. **ACI Materials Journal**, v. 94, n. 1, p. 10-17, 1997.

PRICE, W.; CATANIER, G.; GIAFFERI, J. L. Similarity between alkali-aggregate reaction and natural alteration of rocks. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 271-276, 2001.

QUÍAN, G.; DENG, M. TANG, M. Expansion of siliceous and dolomitic aggregates in lithium hydroxide solution. **Cement and Concrete Research**, v. 32, p. 763-768, 2002.

QUÍAN, G.; DENG, M.; LAN, X.; XU, Z.; TANG, M. Alkali carbonate reaction expansion of dolomitic limestone aggregates with porphyrotropic texture. **Engineering Geology**, v. 63, p. 17-29, 2002.

- RAMACHANDRAN, V. S. Alkali-aggregate expansion inhibiting admixtures. **Cement and Concrete Composites**, v. 20, p. 149-161, 1998.
- RAMLOCHAN, T.; THOMAS, M.; GRUBER, K. A. The effect of metakaolin on alkali-silica reaction in concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 30, p. 339-344, 2000.
- RAMLOCHAN, T.; THOMAS, M. D. A.; HOOTON, R. D. The effect of pozzolans and slag on the expansion of mortars cured at elevated temperature Part II: Microstructural and microchemical investigations. **Cement and Concrete Research**, v. 34, p. 1341-1356, 2004.
- RIGDEN, S. R.; MAJLESI, Y.; BURLEY, E. Investigation of factors influencing the expansive behavior, compressive strength and modulus of rupture of alkali-silica reactive concrete using laboratory concrete mixes. **Magazine of Concrete Research**, v. 47, n. 170, p. 11-21, mar. 1995.
- RODRIGUES, F. A.; MONTEIRO, P. J. M.; SPOSITO, G. The alkali-silica reaction: The effect of monovalent and bivalent cations on the surface charge of opal. **Cement and Concrete Research**, v. 31, p. 1549-1552, 2001.
- ROY, D. M.; TIKALSKY, P. J.; SHEETZ, B. E.; ROSENBERGER, J.; KRIZE, T.; ARJUNAN, P. Influence of cement characteristics on alkali silica reactivity. In: PROCEEDINGS OF THE ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF CEMENT MICROSCOPY, 25., 2003, Richmond. **Proceedings...** Richmond: Virginia (USA), Proceedings of ICMA Conferences, v. 2, p. 2-10, 2003. 1 CD ROM.
- SHAYAN, A.; QUICK, G. W. Relative importance of deleterious reactions in concrete: formation of AAR products and secondary ettringite. **Advances in Cement Research**, v. 4, n. 16, p. 149-157, 1991.
- SHON, C. S.; ZOLLINGER, D. G.; SARKAR, S. L. Evaluation of modified ASTM C 1260 accelerated mortar bar test for alkali-silica reactivity. **Cement and Concrete Research**, v. 32, p. 1981-1987, 2002.
- SILVEIRA, A.A. **O efeito da incorporação de cinza de casca de arroz em concretos submetidos à reação álcali-agregado**. 2001. 102f. Exame de Qualificação para obtenção do título de Doutor-Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SMAOUI, N.; BÉRUBÉ, M. A.; FOURNIER, B.; BISSONNETTE, B.; DURAND, B. Effects of alkali addition on the mechanical properties and durability of concrete. **Cement and Concrete Research**, v. 35, p. 203-212, 2005.
- SOUZA, P. S. L.; DAL MOLIN, D. C. C. Avaliação do módulo de elasticidade em concreto com metacaulim de alta reatividade proveniente de rejeito industrial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004. 1 CD-ROM.
- SWAMY, R. N.; AL-ASALI, M. M. Expansion of concrete due alkali-silica reaction. **ACI Materials Journal**, v. 85, n. 5, p. 33-40, 1988.
- TAGUCHI, T.; CHATTERJI, S.; KAWAMURA, M. A comparison of different methods of detection of alkali-silica reactivity of aggregates. **Cement and Concrete Research**, v. 23, n. 1, p. 55-58, 1993.

THOMAS, M. D. A.; INNIS, F. A. Effect of slag on expansion due to alkali-aggregate reaction in concrete. **ACI Materials Journal**, v. 95, n. 6, p. 716-724, 1998.

TONG, L.; TANG, M. Expansion mechanism of alkali-dolomite and alkali-magnesite reaction. **Cement and Concrete Composites**, v. 21, p. 361-373, 1999.

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.

VALDUGA, L.; PAULON, V. A. Comparativo entre metodologias utilizadas para verificação da potencialidade reativa de agregados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 46., 2004, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: IBRACON, 2004. 1 CD-ROM.

VALDUGA, L.; SGARBOSSA, F.; DAL MOLIN, D. C. C.; PAULON, V. A. Influência da forma do agregado, da relação água/cimento e da consistência da argamassa na verificação da potencialidade reativa do agregado. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 47., 2005, Olinda. **Anais...** Olinda: IBRACON, 2005. 1 CD-ROM.

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.

VENTURA. **A Aids do concreto**. [S.I]: Revista da ABEAS, 2004. Disponível em: <<http://www.abeas.com.br/wt/news.php?cod=441>>. Acesso em: 30 jun. 2005.

VILLAÇA, S. **Doença do concreto atacou Areia Branca**. [S.I]: Associação de empresas do mercado imobiliário de Pernambuco (ADMI-PE), 2005. Disponível em: <http://www.ademi-pe.com.br/imprensa/dp_22mai05.html>. Acesso em: 30 jun. 2005.

VIVIAN, H. E. Alkalis in cement and concrete. In: THE EFFECT OF ALKALIES ON THE PROPERTIES OF CONCRETE, 3., 1976, London. **Proceedings...** London: Cement and Concrete Association, set. 1976, p. 9-25.

WANG, H. **Alkali-silica reaction: mechanism. Significance of chemical and mineral admixtures**. 1990, 330f. PhD (Thesis)-University of Calgary, Calgary, Alberta, Canada.

WANG, H.; GILLOTT, J. E. Mechanism of alkali-silica reaction and the significance of calcium hydroxide. **Cement and Concrete Research**, v. 21, n. 4, p. 647-654, 1991.

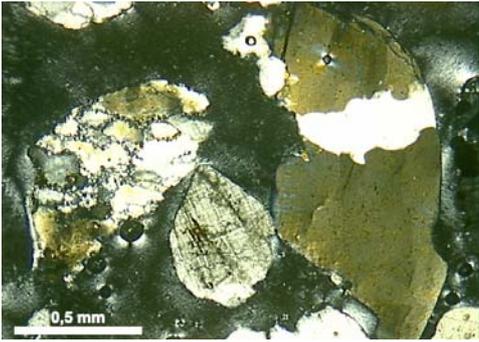
WIGUN, B. J.; FRENCH, W. J. Sequential examination of slowly expanding alkali-reactive aggregates in accelerated mortar bar testing. **Magazine of Concrete Research**, v. 48, n. 177, p. 281-292, dez. 1996.

WIGUN, B.J. The alkali-aggregate reaction. In: **Reports-Feel free to download**, 1995. Disponível em: <<http://www.this.is/ergo/reports/Dr.ing/Chapter2.pdf>>. Acesso em: 10 ago. 2004.

XU, G. J. Z.; WATT, D. F.; HUDEC, P. P. Effectiveness of mineral admixtures in reducing ASR expansion. **Cement and Concrete Research**, v. 25, n. 6, p. 1225-1236, 1995.

ZHANG, C.; WANG, A.; TANG, M.; WU, B.; ZHANG, N. Influence of aggregate size grading on ASR expansion. **Cement and Concrete Research**, v. 29, p. 1393-1396, 1999.

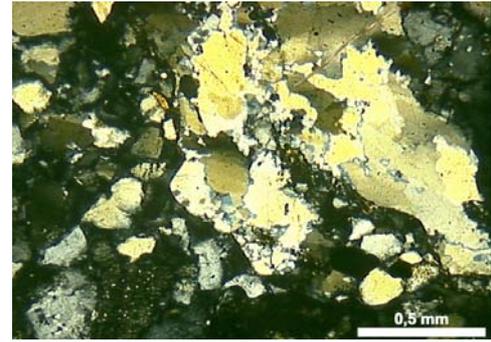
**APÊNDICE A – Imagens obtidas com a análise petrográfica dos agregados
em microscópio óptico**



Amostra 01 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



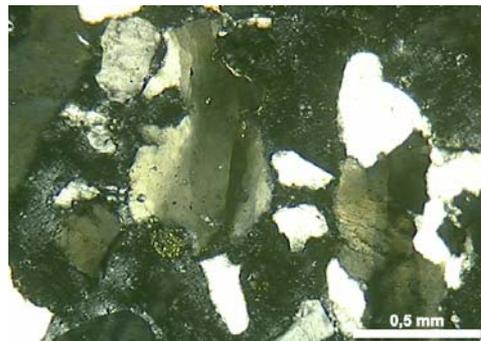
Amostra 02 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



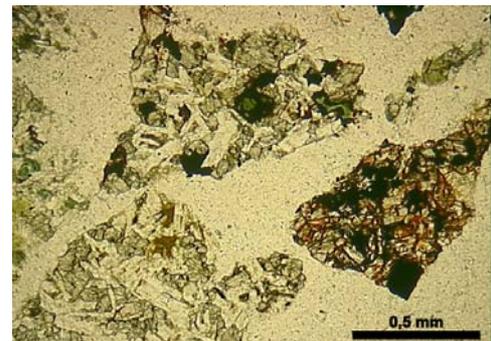
Amostra 03 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



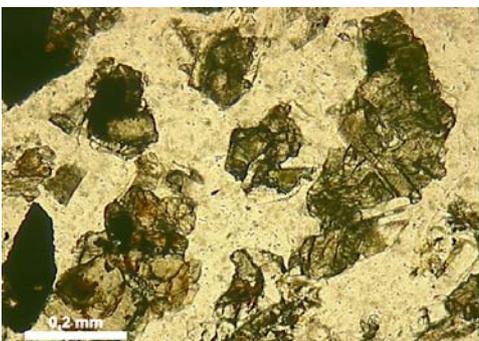
Amostra 04 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



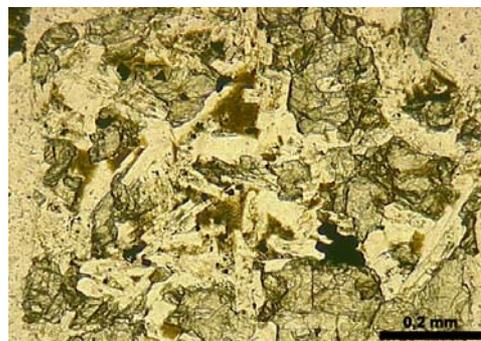
Amostra 05 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



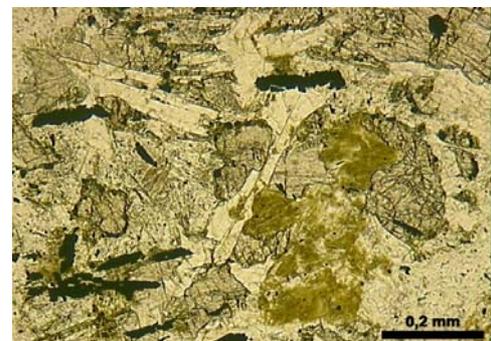
Amostra 06 – ampliação 5x, luz natural – basalto



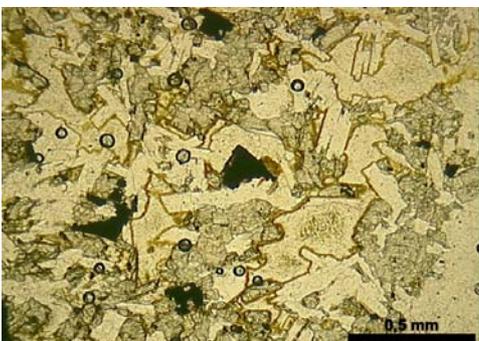
Amostra 07 – ampliação 10x, luz natural – basalto



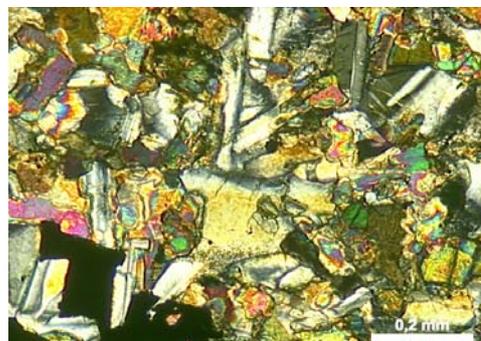
Amostra 08 – ampliação 10x, luz natural – basalto



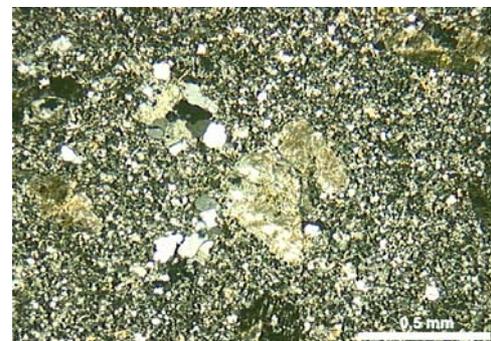
Amostra 09 – ampliação 10x, luz natural – basalto



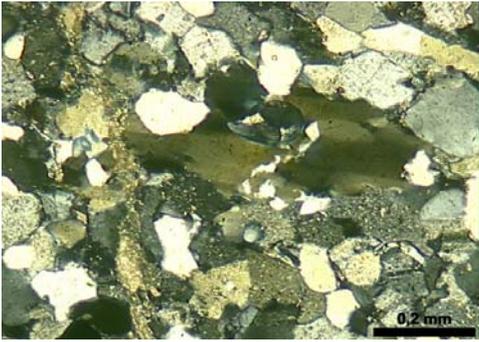
Amostra 10 – ampliação 5x, luz natural – basalto



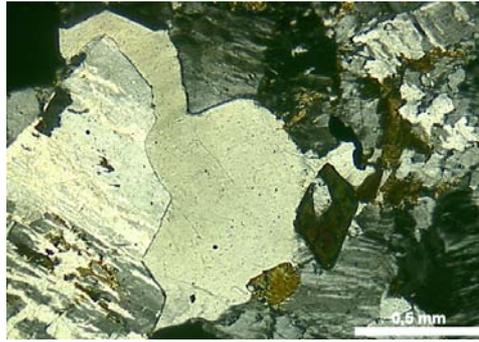
Amostra 11 – ampliação 10x, luz polarizada – basalto



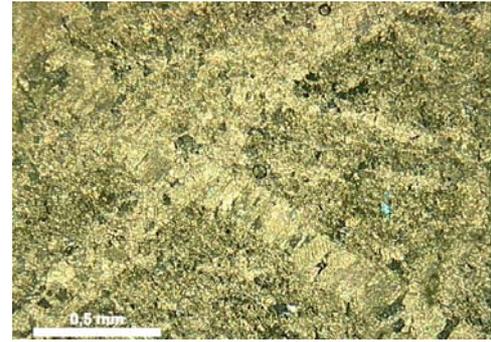
Amostra 12 – ampliação 5x, luz polarizada – riolito



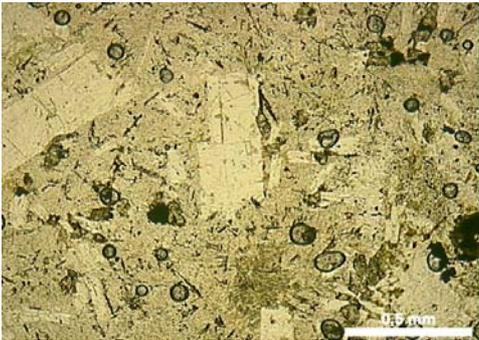
Amostra 13 – ampliação 10x, luz polarizada – gnaiss



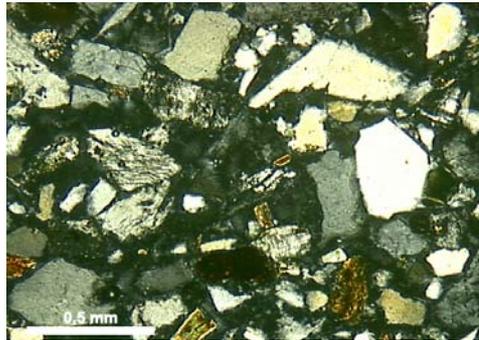
Amostra 14 – ampliação 5x, luz polarizada – granito



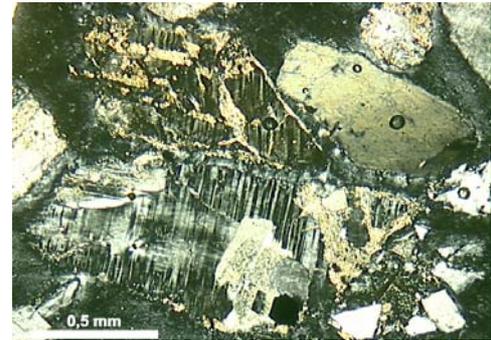
Amostra 15 – ampliação 5x, luz natural – calcário



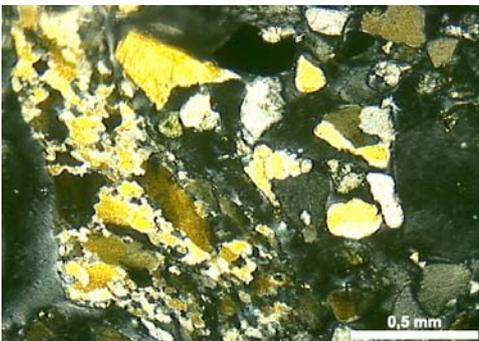
Amostra 16 – ampliação 5x, luz natural – riolito



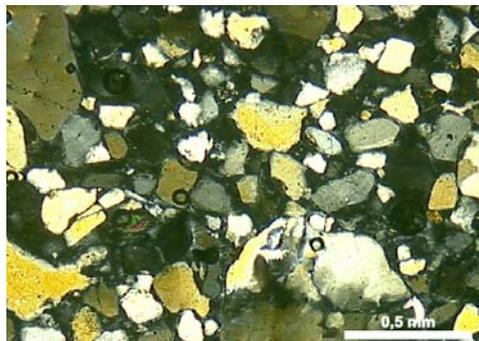
Amostra 17 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



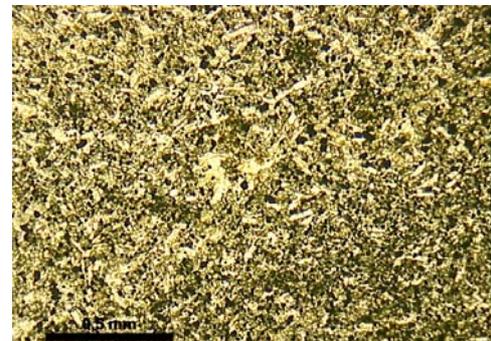
Amostra 18 – ampliação 5x, luz polarizada – granito



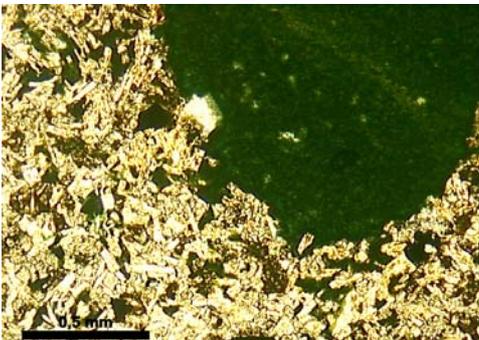
Amostra 19 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



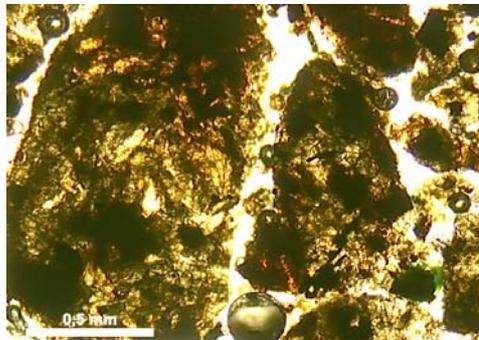
Amostra 20 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



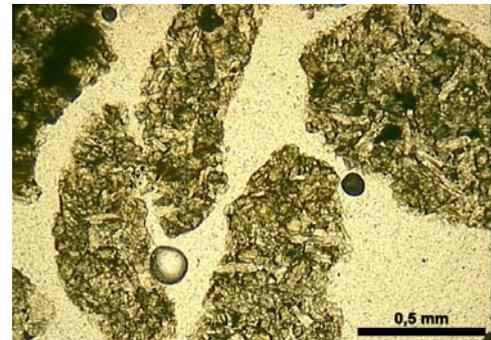
Amostra 21 – ampliação 5x, luz natural – basalto



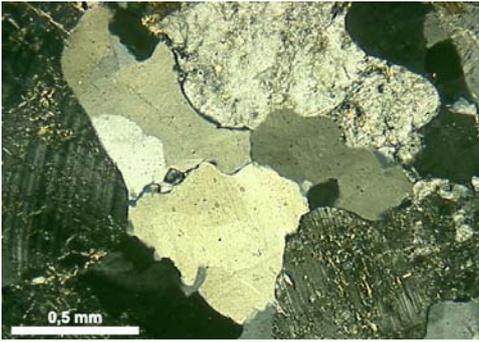
Amostra 22 – ampliação 5x, luz natural – basalto



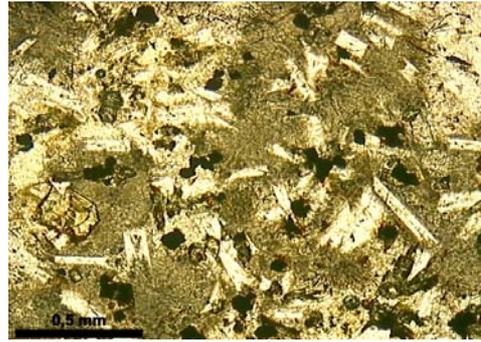
Amostra 23 – ampliação 5x, luz polarizada – basalto



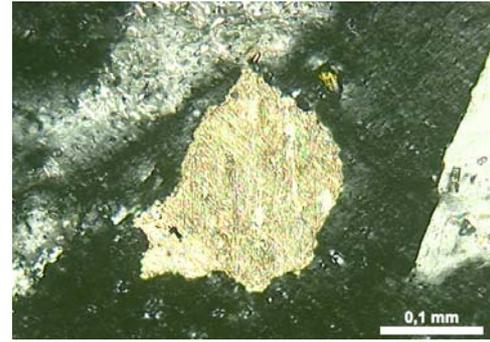
Amostra 24 – ampliação 5x, luz natural – basalto



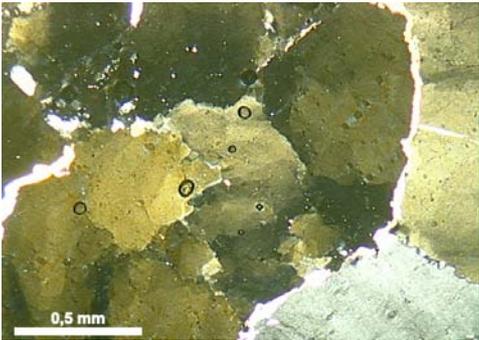
Amostra 25 – ampliação 5x, luz polarizada – granito



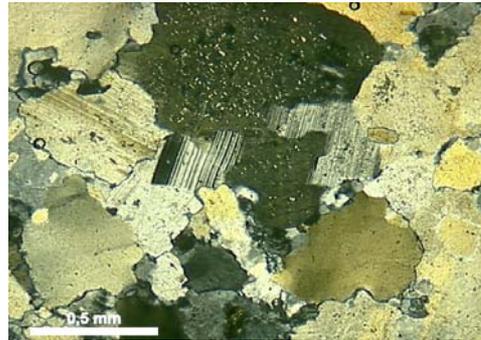
Amostra 26 – ampliação 5x, luz natural – riolito



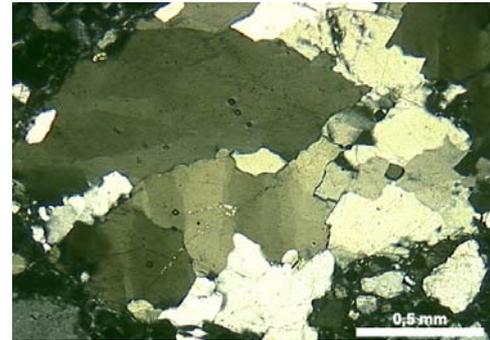
Amostra 27 – ampliação 20x, luz polarizada – granito



Amostra 28 – ampliação 5x, luz polarizada – granito



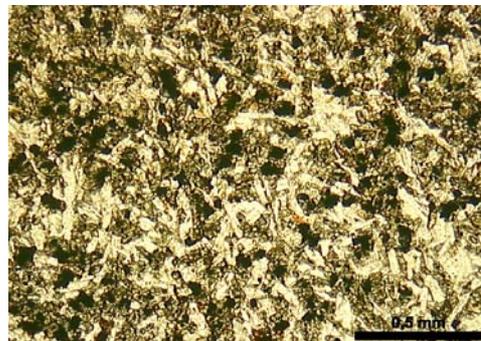
Amostra 29 – ampliação 5x, luz polarizada – granito



Amostra 30 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



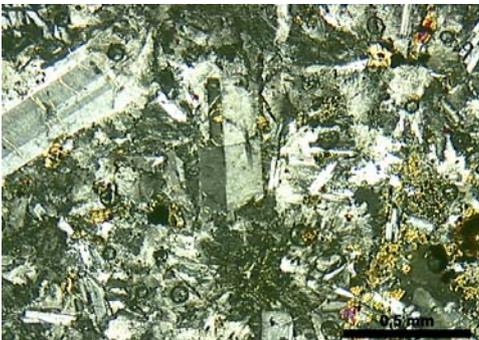
Amostra 31 – ampliação 5x, luz polarizada – areia de rio



Amostra 32 – ampliação 5x, luz natural – basalto



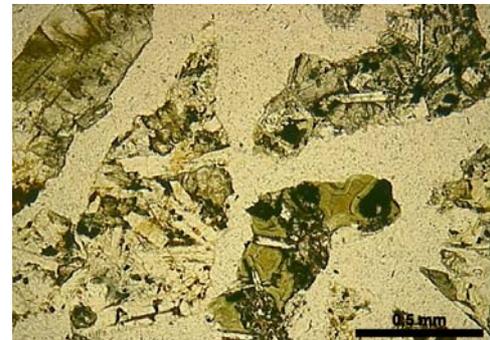
Amostra 33 – ampliação 5x, luz natural – basalto



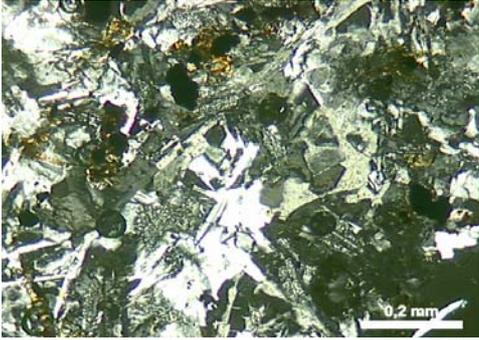
Amostra 34 – ampliação 5x, luz polarizada – riolito



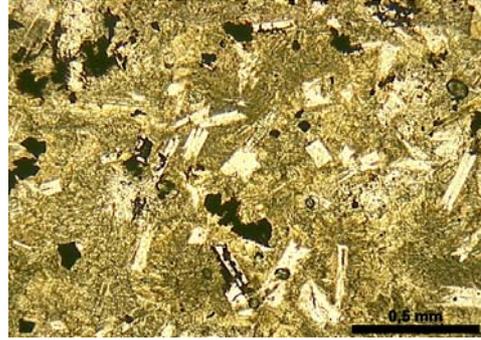
Amostra 35 – ampliação 20x, luz polarizada – riolito



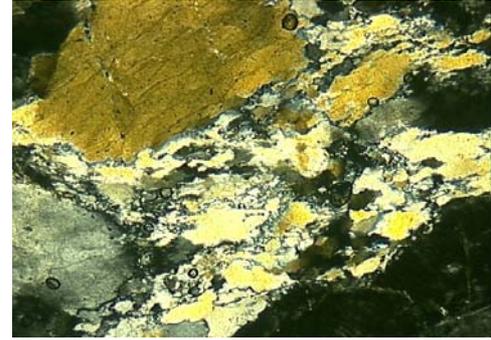
Amostra 36 – ampliação 5x, luz natural – basalto



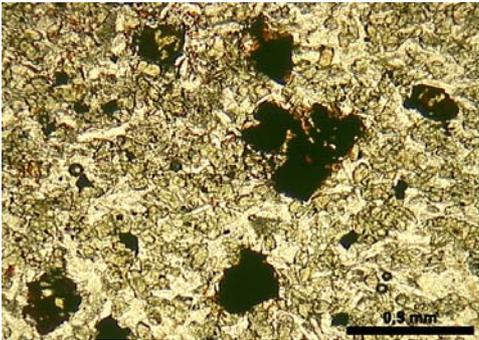
Amostra 37 – ampliação 5x, luz polarizada – riolito



Amostra 38 – ampliação 5x, luz natural – riolito



Amostra 39 – ampliação 5x, luz polarizada – granito



Amostra 40 – ampliação 5x, luz natural – basalto

**APÊNDICE B – Composição química dos minerais observados na análise
pedrográfica dos agregados estudados**

Mineral		Composição química
Biotita		$K_2(Mg,Fe^{2+})_{6-4}(Fe^{3+},Al,Ti)_{0-2}[Si_{6-5}Al_{2-3}O_{20}](OH,F)_4$
Carbonatos *	Calcita	$CaCO_3$
	Dolomita	$CaMgCO_3$
	Magnesita	$MgCO_3$
Celadonita (argilomineral)		$K(Mg,Fe^{2+})(Fe^{3+},Al)[Si_4O_{10}](OH)_2$
Clorita		$(Mg,Fe^{2+},Fe^{3+},Mn,Al)_{12}[(Si,Al)_8O_{20}](OH)_{16}$
Epidoto		$Ca_2(Fe^{3+},Al)Al_2O.OH.Si_2O_7.SiO_4$
Esmectita (argilomineral expansivo)		$(1/2Ca,Na)_{0,7}(Al,Mg,Fe)_4(Si,Al)_8O_{20}(OH)_4.nH_2O$
Feldspato alcalino (K-feldspato)		$(K,Na)[AlSi_3O_8]$
Mesóstase (vidro vulcânico)		SiO_2
Minerais opacos **		-
Muscovita		$K_2Al_4[Si_6Al_2O_{20}](OH,F)_4$
Piroxênio		$(Mg,Fe)SiO_3$
Plagioclásio		$Na[AlSi_3O_8]$ ou $Ca[Al_2Si_3O_8]$
Quartzo		SiO_2
Riebekita (anfíbólio sódico)		$Na_2Fe_2^{3+}Fe_2^{3+}[Si_8O_{22}](OH)_2$
Zircão		$Zr[SiO_4]$

*Não foi possível diferenciar os tipos de carbonatos dentre os citados (calcita, dolomita e magnesita), pois esses minerais apresentaram características ópticas bastante parecidas.

**São chamados minerais opacos àqueles que não refletem luz na microscopia ótica de luz transmitida. Podem ser óxidos, sulfetos, entre outros. Portanto, na análise feita não foi possível definir qual a sua composição química.

APÊNDICE C – Resultados das leituras das expansões dos prismas moldados para o ensaio acelerado da ASTM C 1260/01 com todas as amostras de agregados e todos os cimentos

AMOSTRA 01 – ÁREA DE RIO CIDADE: SÃO PEDRO DO PARANÁ ESTADO: PARANÁ																												
CP VARI	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP IV	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP VARI RS	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP II-Z	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	
3/9/2004	2	1	2,320	0	0	0	7/1/2005	2	1	4,382	0	0	0	13/4/2005	2	1	1,353	0	0	0	0	2/6/2005	2	1	3,210	0	0	0
		2	2,471	0					2	5,647	0					2	1,700	0						2	3,219	0		
		3	0,475	0					3	0	3					0	3	3,508						0				
6/9/2004	6	1	2,666	0,1204	0,033	0,033	10/1/2005	6	1	4,276	-0,0366	-0,026	-0,026	18/4/2005	7	1	1,394	0,0143	0,021	0,021	0,021	8/6/2005	7	1	3,334	0,0430	0,040	0,040
		2	2,489	0,0063					2	5,604	-0,0148					2	1,777	0,0269						2	3,311	0,0319		
		3	0,397	-0,0273					3	0,000	3					0,000	3	3,639						0,0454				
10/9/2004	10	1	2,581	0,0908	0,08	0,08	12/1/2005	8	1	4,354	-0,0097	-0,02	-0,02	22/4/2005	11	1	1,582	0,0800	0,08	0,08	0,08	10/6/2005	10	1	3,358	0,0514	0,065	0,065
		2	2,742	0,0943					2	5,567	-0,0275					2	1,933	0,0813						2	3,417	0,0687		
		3	0,668	0,0676					3	0,000	3					0,000	3	3,728						0,0763				
14/9/2004	14	1	2,890	0,1984	0,19	0,19	20/1/2005	16	1	4,362	-0,0069	-0,01	-0,01	27/4/2005	16	1	1,764	0,1435	0,14	0,14	0,14	16/6/2005	16	1	3,467	0,0892	0,104	0,104
		2	3,067	0,2073					2	5,588	-0,0203					2	2,111	0,1434						2	3,532	0,1086		
		3	0,910	0,1524					3	0,000	3					0,000	3	3,840						0,1151				
16/9/2004	16	1	2,744	0,1476	0,14	0,14	25/1/2005	21	1	4,18	-0,0698	-0,07	-0,07	2/5/2005	21	1	1,972	0,2162	0,21	0,21	0,21	21/6/2005	21	1	3,486	0,0958	0,111	0,111
		2	2,888	0,1451					2	5,42	-0,0781					2	2,282	0,2030						2	3,549	0,1145		
		3	0,848	0,1307					3	0,000	3					0,000	3	3,866						0,1241				
21/9/2004	21	1	3,007	0,2391	0,24	0,24	1/2/2005	28	1	4,397	0,0052	-0,01	-0,01	9/5/2005	28	1	2,243	0,3108	0,31	0,31	0,31	28/6/2005	28	1	3,67	0,1596	0,172	0,172
		2	3,199	0,2532					2	5,583	-0,0220					2	2,56	0,3000						2	3,73	0,1773		
		3	1,097	0,2179					3	0,000	3					0,000	3	4,024						0,1789				
28/9/2004	28	1	3,304	0,3425	0,35	0,35																						
		2	3,516	0,3635																								
		3	1,427	0,3335																								

AMOSTRA 02 – ÁREA DE RIO CIDADE: PONTA GROSSA ESTADO: PARANÁ																												
CP VARI	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP IV	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP VARI RS	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP II-Z	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	
7/1/2005	2	1	5,116	0	0	0	3/2/2005	2	1	3,117	0	0	0	19/3/2005	2	1	3,447	0	0	0	0	2/6/2005	2	1	2,088	0	0	0
		2	3,776	0					2	2,546	0					2	2,414	0						2	2,572	0		
		3	3,597	0					3	4,005	0					3	3,569	0						3	1,651	0		
10/1/2005	6	1	5,124	0,00275	0,00	0,00	9/2/2005	8	1	3,226	0,03783	-0,01	-0,01	24/3/2005	7	1	3,634	0,064829934	0,07	0,07	0,07	8/6/2005	7	1	2,275	0,065136822	0,07	0,07
		2	3,821	0,01558					2	2,362	-0,06398					2	2,589	0,060887779						2	2,799	0,078936753		
		3	3,568	-0,01004					3	4,029	0,00830					3	3,802	0,080743254						3	1,798	0,051281872		
12/1/2005	8	1	5,2	0,02895	0,02	0,02	15/2/2005	14	1	3,245	0,04442	0,01	0,01	29/3/2005	12	1	4,047	0,208010484	0,17	0,17	0,17	10/6/2005	10	1	2,32	0,080811459	0,08	0,08
		2	4,177	0,13886					2	2,451	-0,03303					2	2,828	0,144043088						2	2,797	0,078241275		
		3	3,654	0,01975					3	4,054	0,01695					3	4,003	0,150397305						3	1,891	0,083725506		
20/1/2005	16	1	5,46	0,11857	0,13	0,13	17/2/2005	16	1	3,283	0,05761	0,03	0,03	4/4/2005	16	1	3,868	0,145954023	0,18	0,18	0,18	16/6/2005	16	1	2,373	0,099272697	0,11	0,11
		2	4,177	0,13886					2	2,55	0,00139					2	2,983	0,197972263						2	2,848	0,095975964		
		3	4,015	0,14483					3	4,091	0,02975					3	4,15	0,201338328						3	2,08	0,149659342		
25/1/2005	21	1	5,563	0,15407	0,13	0,13	22/2/2005	21	1	3,172	0,01908	-0,01	-0,01	7/4/2005	21	1	3,987	0,187209435	0,18	0,18	0,18	21/6/2005	21	1	2,402	0,109374129	0,12	0,12
		2	4,187	0,14232					2	2,464	-0,02851					2	2,884	0,163527177						2	2,875	0,105364917		
		3	3,896	0,10360					3	3,985	-0,00692					3	4,072	0,174308398						3	2,059	0,142333336		
1/2/2005	28	1	5,743	0,21612045	0,21	0,21	1/3/2005	28	1	3,283	0,05761	0,02	0,02	14/4/2005	28	1	4,355	0,314789199	0,29	0,29	0,29	28/6/2005	28	1	2,587	0,173814301	0,18	0,18
		2	4,406	0,21816217					2	2,517	-0,01008					2	3,188	0,269297947						2	3,013	0,153352899		
		3	4,187	0,20443733					3	4,065	0,02076					3	4,4	0,287972721						3	2,261	0,212802328		

AMOSTRA 03 – ÁREA DE RIO CIDADE: CURITIBA ESTADO: PARANÁ																												
CP VARI	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP IV	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP VARI RS	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP II-Z	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	
27/11/2004	2	1	5,512	0	0	0	7/1/2005	2	1	2,884	0	0	0	13/4/2005	2	1	0,887	0	0	0	0	2/6/2005	2	1	1,495	0	0	0
		2	1,986	0					2	4,206	0					2	3,43	0						2	2,02	0		
		3	2,411	0					3	3,871	0					3	1,793	0						3	0,409	0		
1/12/2004	6	1	5,518	0,0021	0,06	0,06	10/1/2005	6	1	3,817	0,3241	-0,03	-0,03	18/4/2005	7	1	1,239	0,1231	0,02	0,02	0,02	8/6/2005	7	1	1,758	0,0918	0,09	0,09
		2	2,205	0,0763					2	4,131	-0,0259					2	3,472	0,0146						2	2,264	0,0850		
		3	2,705	0,1023					3	2,747	-0,3891					3	1,583	-0,0732						3	0,680	0,0950		
6/12/2004	10	1	5,885	0,1284	0,18	0,18	12/1/2005	8	1	3,878	0,3453	-0,02	-0,02	22/4/2005	11	1	1,275	0,1357	0,09	0,09	0,09	10/6/2005	10	1	1,81	0,1099	0,10	0,10
		2	2,561	0,2004					2	4,189	-0,0059					2	3,782	0,1220						2	2,345	0,1132		
		3	3,059	0,2255					3	2,741	-0,3912					3	1,857	0,0223						3	0,646	0,0830		
10/12/2004	16	1	6,188	0,2327	0,28	0,28	20/1/2005	16	1	3,905	0,3547	0,00	0,00	27/4/2005	16	1	1,53	0,2249	0,18	0,18	0,18	16/6/2005	16	1	1,972	0,1665	0,18	0,18
		2	2,823	0,2917					2	4,293	0,0301					2	4,021	0,2049						2	3,245	0,4268		
		3	3,324	0,3177					3	2,784	-0,3763					3	2,114	0,1119						3	0,95	0,1896		
15/12/2004	21	1	6,41	0,3091	0,34	0,34	25/1/2005	21	1	3,725	0,2921	-0,06	-0,06	2/5/2005	21	1	1,789	0,3155	0,26	0,26	0,26	21/6/2005	21	1	2,604	0,2035	0,20	0,20
		2	3,007	0,3558					2	4,076	-0,0450					2	4,245	0,2826						2	2,604	0,2035		
		3	3,457	0,3639					3	2,601	-0,4396					3	2,343	0,1918						3	1,023	0,2151		
22/12/2004	28	1	6,643	0,3893	0,43	0,43	1/2/2005	28	1	3,883	0,3470	-0,02	-0,02	9/5/2005	28	1	2,146	0,4404	0,39	0,39	0,							

AMOSTRA 04 – ÁREA DE RIO
CIDADE: UNIÃO DA VITÓRIA
ESTADO: PARANÁ

CP VARI	CP IV					CP VARI RS					CP II Z													
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)						
CP VARI	3/9/2004	2	1	1,833	0	0	7/1/2005	3	1	1,944	0	0	13/4/2005	2	1	0,833	0	0	8/6/2005	2	1	4,63	0	0
			2	2,083	0				2	2,81	0				2	2,619	0							
			3	1,564	0				3	3,422	0				3	0,268	0							
	6/9/2004	6	1	1,737	-0,0334689	-0,05	10/1/2005	6	1	1,975	0,010803502	0,01	18/4/2005	7	1	0,879	0,016093313	0,04	15/6/2005	9	1	4,983	0,12187964	0,12
			2	1,984	-0,0344848				2	1,959	0,002439432				2	2,949	0,048295751				2	2,923	0,105695382	
			3	1,330	-0,0816571				3	3,120	0,002776698				3	3,555	0,046112987				3	0,619	0,123042192	
	10/9/2004	10	1	2,171	0,117838603	0,10	12/1/2005	8	1	1,948	0,001394	0,00	22/4/2005	11	1	1,089	0,089562787	0,11	17/6/2005	11	1	4,729	0,034181542	0,08
			2	2,348	0,092307799				2	1,949	-0,0010454				2	3,179	0,128209583				2	2,737	0,041026497	
			3	1,814	0,087240547				3	3,099	-0,0045121				3	3,738	0,109561684				3	3,702	0,152137639	
	14/9/2004	14	1	2,407	0,200116444	0,20	20/1/2005	16	1	1,957	0,004530501	0,01	27/4/2005	16	1	1,296	0,161982696	0,21	22/6/2005	16	1	5,115	0,167455029	0,17
			2	2,712	0,2191004				2	2,008	0,019515459				2	3,394	0,202911643				2	3,091	0,164105987	
			3	2,105	0,188788543				3	3,119	0,002429611				3	4,204	0,271130496				3	3,745	0,167211184	
16/9/2004	16	1	2,397	0,196630095	0,18	25/1/2005	21	1	1,818	-0,0439110	-0,05	2/5/2005	21	1	1,519	0,24000028	0,26	4/7/2005	28	1	5,249	0,213720954	0,18	
		2	2,622	0,187750581				2	1,816	-0,0473946				2	3,623	0,282478024				2	3,055	0,151589429		
		3	1,970	0,141678648				3	2,975	-0,0475509				3	4,199	0,269396925				3	3,078	0,181583634		
21/9/2004	21	1	2,712	0,306450095	0,27	1/2/2005	28	1	1,979	0,012197502	0,01	9/5/2005	28	1	1,857	0,358251147	0,38							
		2	2,864	0,27204676				2	2,993	0,01528494				2	4,001	0,413814669								
		3	2,212	0,226127497				3	3,133	0,007288832				3	4,509	0,376878324								
28/9/2004	28	1	4,995	1,102383617	0,62																			
		2	3,174	0,380029469																				
		3	2,672	0,386650103																				

AMOSTRA 05 – ÁREA DE RIO
CIDADE: PARANAGUÁ
ESTADO: PARANÁ

CP VARI	CP IV					CP VARI RS					CP II Z													
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)						
CP VARI	25/11/2004	2	1	5,203	0	0	5/3/2005	2	1	4,83	0	0	13/4/2005	2	1	3,271	0	0	8/6/2005	2	1	3,089	0	0
			2	3,723	0				2	2,552	0				2	1,548	0				2	1,078	0	
			3	3,808	0				3	2,865	0				3	1,698	0				3	1,123	0	
	29/11/2004	6	1	5,248	0,01550639	0,02	10/3/2005	7	1	5,033	0,07004106	0,07	18/4/2005	7	1	3,447	0,06105366	0,02	15/6/2005	9	1	3,38	0,10101045	0,09
			2	3,878	0,05368467				2	2,883	0,11510961				2	1,541	-0,00244287				2	1,236	0,05522969	
			3	3,816	0,00277001				3	2,909	0,01528494				3	1,743	0,01569596				3	1,416	0,10240351	
	2/12/2004	10	1	5,393	0,06547141	0,07	15/3/2005	12	1	5,0044	0,0601732	0,05	22/4/2005	11	1	3,561	0,10059978	0,14	17/6/2005	11	1	3,084	-0,00173557	0,00
			2	3,939	0,07481219				2	2,861	0,10745882				2	1,785	0,08270866				2	1,043	0,01223443	
			3	4,046	0,08240769				3	2,845	-0,0069477				3	2,357	0,2298586				3	1,123	0	
	7/12/2004	14	1	5,547	0,11853771	0,13	18/3/2005	15	1	5,029	0,06866094	0,05	27/4/2005	16	1	3,754	0,16755067	0,17	22/6/2005	16	1	3,44	0,12183735	0,11
			2	4,189	0,16140037				2	2,625	0,02538671				2	2,006	0,15983361				2	1,36	0,15729976	
			3	4,158	0,12118778				3	3,017	0,05280253				3	2,2	0,17509714				3	1,474	0,12267451	
9/12/2004	16	1	5,631	0,14748297	0,14	24/3/2005	21	1	5,089	0,08936273	0,08	2/5/2005	21	1	3,982	0,24664292	0,24	27/6/2005	21	1	3,555	0,16175557	0,17	
		2	4,186	0,16036132				2	2,711	0,05529435				2	2,188	0,22334827				2	1,528	0,15729976		
		3	4,160	0,12188028				3	3,103	0,08267764				3	2,400	0,24485696				3	1,672	0,19187552		
15/12/2004	22	1	5,861	0,22673784	0,22	31/3/2005	28	1	5,159	0,11351482	0,09	9/5/2005	28	1	4,451	0,40933705	0,43	4/7/2005	28	1	3,555	0,16175557	0,12	
		2	4,415	0,23967609				2	2,703	0,05251224				2	3,077	0,53359298				2	1,276	0,06921189		
		3	4,400	0,20498047				3	3,153	0,1000469				3	2,725	0,35821666				3	1,461	0,11813101		
22/12/2004	29	1	6,045	0,29014173	0,29																			
		2	4,573	0,29439982																				
		3	4,618	0,28046315																				

AMOSTRA 06 – BASALTO
CIDADE: PATO BRANCO
ESTADO: PARANÁ

CP VARI	CP IV					CP VARI RS					CP II Z													
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)						
CP VARI	27/11/2004	2	1	3,924	0	0	13/3/2005	2	1	2,51	0	0	13/4/2005	2	1	2,52	0	0	8/6/2005	2	1	1,618	0	0
			2	4,652	0				2	4,625	0				2	2,681	0				2	1,816	0	
			3	3,012	0				3	1,193	0				3	2,602	0				3	2,828	0	
	1/12/2004	6	1	4,43	0,17513256	0,14	18/3/2005	7	1	2,532	0,00765191	0,00	18/4/2005	7	1	2,867	0,12068726	0,10	15/6/2005	9	1	2,23	0,21352462	0,20
			2	5,025	0,12877522				2	4,598	-0,0093224				2	2,982	0,10462978				2	2,404	0,20500948	
			3	3,342	0,11457856				3	1,216	0,00803653				3	2,838	0,08205784				3	3,379	0,19143377	
	6/12/2004	12	1	4,872	0,32811397	0,30	23/3/2005	12	1	2,748	0,08277973	0,07	22/4/2005	11	1	3,111	0,20555092	0,21	17/6/2005	11	1	2,024	0,14165195	0,14
			2	5,467	0,28137213				2	4,759	0,04626672				2	3,334	0,22698753				2	2,23	0,14434341	
			3	3,841	0,28783523				3	1,437	0,08525715				3	3,146	0,18915028				3	3,25	0,14661534	
	8/12/2004	14	1	5,013	0,37691573	0,35	28/3/2005	17	1	2,756	0,08562224	0,08	27/4/2005	16	1	3,309	0,27441569	0,28	22/6/2005	16	1	2,356	0,25748557	0,26
			2	5,667	0,3504205				2	4,794	0,05835132				2	3,529	0,29477094				2	2,559	0,2590511	
			3	3,938	0,32151438				3	1,437	0,08525715				3	3,367	0,26599259				3	3,587	0,26369915	
10/12/2004	16	1	4,999	0,37207016	0,35	1/4/2005	21	1	2,721	0,07338875	0,08													
		2	5,675	0,35318244				2	4,816	0,06594735														
		3	3,94	0,3222088				3	1,452	0,09049837														
					8/4/2005	28	1	2,815	0,10608327	0,10														
							2	4,854	0,07906776															
							3	1,498	0,10657144															

AMOSTRA 07 – BASALTO
CIDADE: CASCAVEL
ESTADO: PARANÁ

CP V-ARI	CP I-IV					CP V-ARI RS	CP II-Z																				
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)														
CP V-ARI	27/11/2004	2	1	2,555	0	0	14/1/2005	2	1	2,154	0	0	13/4/2005	2	1	1,4	0	15/6/2005	2	1	3,109	0	0				
			2	2,657	0				2	2,917	0				2	3,186	0										
			3	2,9	0				3	1,572	0				3	4,481	0										
	1/12/2004	6	1	3,059	0,17527082	0,17	18/1/2005	6	1	2,257	0,03586925	0,04	18/4/2005	7	1	1,711	0,10858939	0,13	20/6/2005	7	1	3,475	0,12703525	0,13			
			2	3,145	0,16964649				2	3,404	0,04440189				2	3,332	0,14413876				2	3,587	0,13914625				
			3	3,387	0,16915596				3	0,176	0,03437656				3	1,834	0,09142554				3	4,839	0,1236696				
	6/12/2004	12	1	3,624	0,37175497	0,38	24/1/2005	14	1	2,112	-0,0146263	0,00	22/4/2005	11	1	1,996	0,20810056	0,15	23/6/2005	10	1	3,764	0,22734451	0,24			
			2	3,754	0,38135696				2	3,255	0,00728469				2	3,159	0,084052				2	3,836	0,22554878				
			3	4,008	0,38485585				3	0,155	0,02701015				3	3,593	0,70523289				3	5,224	0,25666624				
8/12/2004	14	1	3,895	0,46599781	0,46	28/1/2005	16	1	2,295	0,04910257	0,05	27/4/2005	16	1	2,275	0,30551676	0,32	29/6/2005	16	1	3,831	0,2505996	0,25				
		2	3,97	0,45644639				2	3,442	0,0575837				2	3,902	0,34211248				2	3,865	0,23561172					
		3	4,211	0,45536645				3	0,21	0,04630312				3	2,413	0,29346901				3	5,261	0,26944774					
10/12/2004	16	1	3,949	0,48477683	0,48	2/2/2005	21	1	2,323	0,05885344	0,05	9/2/2005	28	1	2,387	0,08114113	0,07										
		2	4,006	0,4689613				2	3,428	0,05272725				2	3,497	0,07666264								2			
		3	4,277	0,47829107				3	0,229	0,05296796				3	0,254	0,06173749								3			

AMOSTRA 08 – BASALTO
CIDADE: PINHAO
ESTADO: PARANÁ

CP V-ARI	CP I-IV					CP V-ARI RS	CP II-Z																	
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)											
CP V-ARI	27/11/2004	2	1	4,772	0	0	3/2/2005	2	1	1,78	0	0	20/4/2005	2	1	2,394	0	15/6/2005	2	1	3,792	0	0	
			2	3,18	0				2	2,528	0				2	2,471	0			2	1,534	0		
			3	2,978	0				3	4,597	0				3	1,018	0			3	3,083	0		
	1/12/2004	6	1	4,924	0,05245503	0,08	9/2/2005	8	1	1,53	-0,08717	-0,06	25/4/2005	7	1	2,707	0,10890972	0,10	20/6/2005	7	1	3,907	0,03982105	0,04
			2	3,442	0,0909154				2	2,4	-0,04452				2	2,723	0,08766102				2	1,684	0,05234981	
			3	3,225	0,08577044				3	4,44	-0,05421				3	1,566	0,19159633				3	3,199	0,04026617	
	6/12/2004	12	1	5,169	0,13700427	0,16	15/2/2005	14	1	1,603	0,06172	-0,03	29/4/2005	11	1	2,827	0,15066424	0,15	23/6/2005	10	1	4,102	0,10734369	0,11
			2	3,706	0,18252481				2	2,472	0,01948				2	2,887	0,14471025				2	1,867	0,11621657	
			3	3,448	0,16320691				3	4,535	-0,02141				3	1,450	0,15103945				3	3,363	0,097719421	
8/12/2004	14	1	5,354	0,20084756	0,22	17/2/2005	16	1	1,655	-0,04359	-0,02	4/5/2005	16	1	2,794	0,13918175	0,13	29/6/2005	16	1	4,059	0,09245408	0,15	
		2	3,866	0,23804567				2	2,523	-0,00174				2	2,798	0,1137506				2	1,759	0,07852471		
		3	3,597	0,21494698				3	4,545	-0,01796				3	1,339	0,1122307				3	3,874	0,27457365		
10/12/2004	16	1	5,38	0,20982013	0,23	22/2/2005	21	1	1,6	-0,06277	-0,04	9/5/2005	21	1	3,031	0,22164694	0,22	4/7/2005	21	1	3,925	0,04605391	0,05	
		2	3,886	0,24498577				2	2,468	-0,02087				2	3,095	0,21706537				2	1,683	0,05200081		
		3	3,633	0,22744793				3	4,499	-0,03384				3	1,902	0,30907146				3	3,234	0,05241545		
1/3/2005	28	1	1,68	-0,03487	-0,02	1/3/2005	28	1	1,68	-0,03487	-0,02	16/5/2005	28	1	3,056	0,2303458	0,22	11/7/2005	28	1	4,255	0,160323	0,17	
		2	2,514	-0,00487				2	2,514	-0,00487				2	3,072	0,20906457				2	2,093	0,19509029		
		3	4,499	-0,03384				3	4,499	-0,03384				3	2,101	0,3786475				3	3,549	0,16175894		

AMOSTRA 09 – BASALTO
CIDADE: IRATI
ESTADO: PARANÁ

CP V-ARI	CP I-IV					CP V-ARI RS	CP II-Z																			
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)													
CP V-ARI	8/10/2004	3	1	3,429	0	0	3/2/2005	2	1	4,308	0	0	20/4/2005	2	1	2,034	0	22/6/2005	2	1	1,484	0	0			
			2	4,317	0				2	4,179	0				2	1,107	0			2	2,435	0				
			3	3,912	0				3	1,42	0				3	1,911	0			3	2,751	0				
	11/10/2004	6	1	3,723	0,1019315	0,19	9/2/2005	8	1	4,337	0,01002	-0,01	25/4/2005	7	1	2,361	0,11392379	0,11	27/6/2005	7	1	2,138	0,228285	0,22		
			2	4,625	0,10645762				2	4,128	-0,01764				2	1,48	0,13037081				2	3,049	0,21361351			
			3	4,217	0,34718184				3	1,386	-0,01187				3	2,162	0,08748358				3	3,36	0,21164131			
	15/10/2004	10	1	4,203	0,26835027	0,29	15/2/2005	14	1	4,434	0,04355	0,01	29/4/2005	11	1	2,724	0,24038964	0,22	30/6/2005	10	1	2,352	0,30298376	0,27		
			2	5,069	0,25992251				2	4,136	-0,01487				2	1,723	0,21530406				2	3,172	0,2564058			
			3	4,578	0,34843136				3	1,448	0,00978				3	2,472	0,19553102				3	3,488	0,25612422			
19/10/2004	14	1	4,363	0,32382319	0,33	17/2/2005	16	1	4,464	0,05392	0,00	4/5/2005	16	1	2,759	0,25258332	0,26	6/7/2005	16	1	2,505	0,35638989	0,33			
		2	5,195	0,30347335				2	3,992	-0,06467				2	1,789	0,23837236				2	3,359	0,32146398				
		3	4,775	0,34911322				3	1,489	0,02409				3	2,748	0,2917281				3	3,663	0,31694069				
21/10/2004	16	1	4,530	0,38172306	0,36	22/2/2005	21	1	4,428	0,04148	-0,02	1/3/2005	28	1	4,406	0,03387	-0,01									
		2	5,361	0,36084986				2	3,951	-0,07884				2	4,047	-0,04565							2			
		3	4,950	0,34971895				3	1,337	-0,02898				3	1,401	-0,00663							3			

AMOSTRA 10 - BASALTO
CIDADE: MARINGÁ
ESTADO: PARANÁ

CP-VARI	CP-IV					CP-VARI-IRS	CP-II-Z																
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)										
CP-VARI	10/9/2004	3	1	3,627	0	0	14/1/2005	2	1	0,996	0	0	20/4/2005	2	1	2,301	0	22/6/2005	2	1	3,921	0	0
			2	0,453	0				2	2,667	0				2	2,987	0						
			3	0,645	0				3	1,733	0				3	3,146	0						
	13/9/2004	6	1	3,841	0,074144414	0,07	18/1/2005	6	1	1,076	0,02797242	0,04	25/4/2005	7	1	3,05	0,26070219	27/6/2005	7	1	4,263	0,11837146	0,12
			2	0,553	0,03503204				2	1,402	0,02619383				2	3,263	0,207184			2	3,363	0,13056145	
			3	0,915	0,09452292				3	0,995	0,05492622				3	2,5	0,26749624			3	3,489	0,11903688	
	17/9/2004	10	1	3,963	0,11641323	0,13	24/1/2005	14	1	0,795	-0,0702807	-0,03	29/4/2005	11	1	3,257	0,33275206	30/6/2005	10	1	4,371	0,15575192	0,16
			2	0,903	0,15764417				2	1,266	0,02130431				2	3,649	0,34136693			2	3,357	0,12847802	
			3	0,949	0,10642581				3	0,813	0,00874621				3	2,941	0,42129786			3	3,672	0,18254635	
	21/9/2004	14	1	4,117	0,16976929	0,16	28/1/2005	16	1	0,936	0,02997931	0,03	4/5/2005	16	1	3,118	0,28437075	6/7/2005	16	1	4,722	0,27723841	0,28
			2	0,959	0,17726211				2	1,434	0,03736986				2	3,506	0,29165667			2	3,733	0,25903947	
			3	0,986	0,11937895				3	1,02	0,06367243				3	2,672	0,32748236			3	4,04	0,31025938	
23/9/2004	16	1	4,177	0,19055736	0,16	2/2/2005	21	1	1,001	0,00174828	0,05	9/2/2005	28	1	1,028	0,01118897	0,06	2/2/2005	21	1	1,494	0,05832492	0,05
		2	0,859	0,14223007				2	1,494	0,05832492				2	1,066	0,07976546				2	1,494	0,05832492	
		3	1,091	0,15613786				3	1,066	0,07976546				3	1,066	0,07976546				3	1,066	0,07976546	
28/9/2004	21	1	4,397	0,26678031	0,24	9/2/2005	28	1	1,028	0,01118897	0,06	9/2/2005	28	1	1,028	0,01118897	0,06	9/2/2005	28	1	1,028	0,01118897	0,06
		2	1,056	0,21124318				2	1,532	0,07159646				2	1,532	0,07159646				2	1,532	0,07159646	
		3	1,323	0,23735756				3	1,083	0,08571289				3	1,083	0,08571289				3	1,083	0,08571289	
5/10/2004	28	1	4,556	0,32186871	0,30	5/10/2004	28	1	4,556	0,32186871	0,30	5/10/2004	28	1	4,556	0,32186871	0,30	5/10/2004	28	1	4,556	0,32186871	0,30
		2	1,208	0,26449188				2	1,208	0,26449188				2	1,208	0,26449188				2	1,208	0,26449188	
		3	1,508	0,30212326				3	1,508	0,30212326				3	1,508	0,30212326				3	1,508	0,30212326	

AMOSTRA 11 - BASALTO
CIDADE: PONTA GROSSA
ESTADO: PARANÁ

CP-VARI	CP-IV					CP-VARI-IRS	CP-II-Z																
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)										
CP-VARI	3/9/2004	3	1	3,044	0	0	14/1/2005	2	1	5,479	0	0	7/4/2005	2	1	2,091	0	22/6/2005	2	1	3,248	0	0
			2	0,992	0				2	4,452	0				2	1,991	0			2	0,161	0	
			3	1,531	0				3	2,23	0				3	0,437	0			3	0	0	
	6/9/2004	6	1	3,658	0,21316188	0,20	18/1/2005	6	1	5,549	0,02409813	0,04	12/4/2005	7	1	3,062	0,33822029	27/6/2005	7	1	4,38	0,39271738	0,40
			2	1,580	0,20560016				2	4,556	0,03592996				2	2,918	0,32300664			2	1,312	0,40363163	
			3	2,071	0,18846128				3	2,434	0,07102322				3	1,412	0,3415815			3	0	0	
	10/9/2004	10	1	5,083	0,70787796	0,70	24/1/2005	14	1	5,462	-0,0058524	0,01	18/4/2005	13	1	3,897	0,62906883	30/6/2005	10	1	5,018	0,61405456	0,61
			2	3,009	0,70526448				2	4,482	0,01036441				2	3,865	0,65298215			2	1,879	0,60246668	
			3	3,513	0,69172271				3	2,299	0,02402256				3	2,252	0,63586711			3	0	0	
	14/9/2004	14	1	5,806	0,95888128	0,93	28/1/2005	16	1	5,716	0,08158937	0,10	21/4/2005	16	1	4,262	0,75620622	6/7/2005	16	1	5,215	0,68239849	0,69
			2	3,661	0,93324289				2	4,757	0,10537153				2	4,156	0,75437906			2	2,158	0,70030614	
			3	4,123	0,90461416				3	2,547	0,11036452				3	2,786	0,82294867			3	0	0	
16/9/2004	16	1	5,650	0,90472289	1,05	2/2/2005	21	1	5,786	0,1056875	0,13	9/2/2005	28	1	5,887	0,14045766	0,17	9/2/2005	28	1	5,887	0,14045766	0,17
		2	4,495	1,22485944				2	4,850	0,13750121				2	4,850	0,13750121				2	4,850	0,13750121	
		3	4,480	1,02920801				3	2,632	0,13995753				3	2,632	0,13995753				3	2,632	0,13995753	
9/2/2005	28	1	5,887	0,14045766	0,17	9/2/2005	28	1	5,887	0,14045766	0,17	9/2/2005	28	1	5,887	0,14045766	0,17	9/2/2005	28	1	5,887	0,14045766	0,17
		2	4,950	0,17204925				2	4,950	0,17204925				2	4,950	0,17204925				2	4,950	0,17204925	
		3	2,757	0,18347666				3	2,757	0,18347666				3	2,757	0,18347666				3	2,757	0,18347666	

AMOSTRA 12 - RIOLITO
CIDADE: SÃO JOSÉ DOS PINHAIS
ESTADO: PARANÁ

CP-VARI	CP-IV					CP-VARI-IRS	CP-II-Z																
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)										
CP-VARI	24/9/2004	3	1	3,528	0	0	3/2/2005	2	1	4,645	0	0	7/4/2005	2	1	0,943	0	22/6/2005	2	1	3,563	0	0
			2	4,470	0				2	3,959	0				2	2,636	0			2	1,028	0	
			3	4,171	0				3	2,947	0				3	2,144	0			3	1,322	0	
	27/9/2004	6	1	3,825	0,10293628	0,13	9/2/2005	8	1	4,571	-0,02554852	0	12/4/2005	8	1	1,5	0,19479407	27/6/2005	7	1	4,852	0,446696215	0,19
			2	5,019	0,18965696				2	4,02	0,02111026				2	3,172	0,18634663			2	1,622	0,207671976	
			3	4,484	0,10824045				3	2,96	0,00451472				3	2,664	0,18109381			3	1,797	0,165897137	
	1/10/2004	10	1	4,345	0,28316143	0,30	15/2/2005	14	1	4,633	-0,004143	0,02	18/4/2005	14	1	1,513	0,19934043	30/6/2005	10	1	5,032	0,509074275	0,21
			2	5,497	0,35478633				2	4,091	0,04568122				2	3,167	0,18460832			2	1,659	0,220607773	
			3	4,970	0,2763071				3	3,032	0,02951932				3	2,765	0,2162678			3	1,891	0,198727307	
	5/10/2004	14	1	4,459	0,32267232	0,33	17/2/2005	16	1	4,65	0,00172625	0,03	21/4/2005	16	1	1,799	0,29936036	6/7/2005	16	1	4,78	0,421744992	0,28
			2	5,545	0,37136836				2	4,149	0,06575327				2	3,472	0,29064512			2	1,903	0,305914106	
			3	5,058	0,30673892				3	3,025	0,02708832				3	2,932	0,27442677			3	2,048	0,253560676	
7/10/2004	16	1	4,478	0,32925747	0,35	22/2/2005	21	1	4,605	-0,01381001	0,02	1/3/2005	28	1	4,711	0,02278651	0,07	1/3/2005	28	1	4,711	0,02278651	0,07
		2	5,584	0,38484126				2	4,112	0,05294869				2	4,112	0,05294869				2	4,112	0,05294869	
		3	5,102	0,32195483				3	3,004	0,01979531				3	3,004	0,01979531				3	3,004	0,01979531	
1/3/2005	28	1	4,711	0,02278651	0,07	1/3/2005	28	1	4,711	0,02278651	0,07	1/3/2005	28	1	4,711	0,02278651	0,07	1/3/2005	28	1	4,711	0,02278651	0,07
		2	4,23	0,09378493				2	4,23	0,09378493				2	4,23	0,09378493				2	4,23	0,09378493	
		3	3,183	0,08195953				3	3,183	0,08195953				3	3,183	0,08195953				3	3,183	0,08195953	

AMOSTRA 13 – GNAISSE CIDADE: SÃO JOSÉ DOS PINHAIS ESTADO: PARANÁ																											
CP VARI	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP IV	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP VARI RS	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP II-Z	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)
		25/11/2004	2	1	2,277	0		0		3/2/2005	3	1	2,778		0	0		28/4/2005	2	1		3,318	0	0		22/6/2005	2
			2	2,879	0					2	2,592	0					2	2,758	0					2	0,843	0	
			3	3,062	0					3	0	0					3	1,675	0					3	1,068	0	
	29/11/2004	6	1	2,299	0,00765811	0,02		9/2/2005	8	1	2,801	0,00799227	0,01		3/5/2005	7	1	3,459	0,04890433	0,05		27/6/2005	7	1	0,838	0,09840417	0,11
			2	2,957	0,02709472					2	2,638	0,01599488					2	2,9	0,04934702					2	1,162	0,11159972	
			3	3,113	0,01770452					3	0	0					3	1,81	0,04709165					3	1,375	0,10731714	
	2/12/2004	10	1	3,046	0,26768589	0,18		15/2/2005	14	1	2,875	0,03370654	0,03		9/5/2005	13	1	3,98	0,22960759	0,23		30/6/2005	10	1	0,828	0,09490224	0,13
			2	3,268	0,13512622					2	2,696	0,03616234					2	3,398	0,22240911					2	1,289	0,15602971	
			3	3,476	0,14371906					3	0	0					3	2,342	0,23266766					3	1,486	0,1461191	
	7/12/2004	14	1	3,454	0,4097091	0,26		17/2/2005	16	1	2,922	0,05003857	0,06		12/5/2005	16	1	3,935	0,21399982	0,21		6/7/2005	16	1	0,96	0,14112769	0,18
			2	3,296	0,14485252					2	2,768	0,06119781					2	3,343	0,20329582					2	1,468	0,2186515	
			3	3,682	0,21523144					3	0	0					3	2,319	0,22464463					3	1,549	0,16814184	
	9/12/2004	16	1	3,560	0,44660728	0,28		22/2/2005	21	1	2,921	0,04969108	0,05												1	0,943	0,13517441
			2	3,338	0,15944199					2	2,736	0,05007093													2	1,383	0,18891489
			3	3,694	0,21939721					3	0	0													3	1,505	0,15276088
								1/2/2005	28	1	2,962	0,06393817	0,08												1	1,049	0,17229485
										2	2,848	0,08901499													2	1,565	0,25258621
										3	0	0													3	1,591	0,18282366

AMOSTRA 14 – GRANITO CIDADE: QUATRO BARRAS ESTADO: PARANÁ																											
CP VARI	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP IV	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP VARI RS	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP II-Z	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)
		16/9/2004	2	1	2,895	0		0		20/1/2005	2	1	4,018		0	0		28/4/2005	2	1		2,199	0	0		22/6/2005	2
			2	2,819	0					2	2,899	0					2	0,895	0					2	1,926	0	
			3	3,979	0					3	3,377	0					3	1,521	0					3	1,365	0	
	21/9/2004	7	1	3,147	0,087531913	0,08		24/1/2005	6	1	4,05	0,1107197	0,02		3/5/2005	7	1	2,28	0,02820344	0,06		27/6/2005	7	1	2,116	0,10983225	0,12
			2	3,117	0,103537293					2	2,959	0,02084064					2	1,229	0,11682611					2	2,226	0,10455658	
			3	4,117	0,047754335					3	3,499	0,04230573					3	1,634	0,03943864					3	1,772	0,14212631	
	24/9/2004	10	1	3,343	0,155612289	0,15		28/1/2005	10	1	4,289	0,09376579	0,10		9/5/2005	13	1	2,661	0,16086407	0,18		30/6/2005	10	1	2,121	0,11157562	0,13
			2	3,318	0,173372849					2	3,169	0,09378289					2	1,446	0,1927281					2	2,316	0,13592355	
			3	4,341	0,125268618					3	3,719	0,11859476					3	2,031	0,17799742					3	1,735	0,12920573	
	1/10/2004	16	1	3,476	0,201809688	0,15		3/2/2005	16	1	4,263	0,08476981	0,11		12/5/2005	16	1	2,644	0,15494483	0,17		6/7/2005	16	1	2,311	0,17782365	0,18
			2	3,285	0,16190731					2	3,23	0,11497088					2	1,388	0,17244093					2	2,434	0,17704913	
			3	4,339	0,124576526					3	3,723	0,11998183					3	2,002	0,167876					3	1,872	0,17704678	
	7/10/2004	21	1	3,398	0,174716476	0,16		8/2/2005	21	1	4,241	0,07715782	0,09		17/5/2005	21	1	2,648	0,15633759	0,17		11/7/2005	21	1	2,377	0,20083612	0,19
			2	3,346	0,183101185					2	3,145	0,08544663					2	1,404	0,17803739					2	2,405	0,166942	
			3	4,377	0,137726271					3	3,727	0,1213689					3	2,009	0,1703191					3	1,977	0,21371327	
	13/10/2004	28	1	3,400	0,175411174	0,17		15/2/2005	28	1	4,326	0,10656776	0,13		24/5/2005	28	1	2,824	0,21761914	0,23		18/7/2005	28	1	2,466	0,23186809	0,21
			2	3,369	0,191092318					2	3,32	0,14623184					2	1,573	0,23715					2	2,451	0,18297401	
			3	4,380	0,138764408					3	3,8	0,14668299					3	2,199	0,23663187					3	1,989	0,21790372	

AMOSTRA 16 – RIOLITO CIDADE: CAMPO MOURÃO ESTADO: PARANÁ																											
CP VARI	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP IV	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP VARI RS	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	CP II-Z	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)
		1/10/2004	3	1	5,384	0		0		12/2/2005	2	1	5,426		0	0		28/4/2005	2	1		2,838	0	0		29/6/2005	2
			2	4,063	0					2	5,329	0					2	3,874	0					2	3,07	0	
			3	5,414	0					3	0	0					3	0,622	0					3	0	0	
	4/10/2004	6	1	6,161	0,26757673	0,28		17/2/2005	7	1	5,576	0,05164827	-0,12		3/5/2005	7	1	3,141	0,10526755	0,08		4/7/2005	7	1	4,957	0,12984277	0,11
			2	4,833	0,26637792					2	4,454	0,30138222					2	3,929	0,01903944					2	3,344	0,09511577	
			3	6,267	0,29371862					3	0	0					3	0,949	0,11448698					3	0	0	
	8/10/2004	10	1	6,199	0,28066285	0,29		22/2/2005	12	1	5,603	0,06094496	0,06		9/5/2005	13	1	3,846	0,35019699	0,34		7/7/2005	10	1	5,446	0,29870744	0,29
			2	4,871	0,27952384					2	5,505	0,06062088					2	4,773	0,31120835					2	3,886	0,28326448	
			3	6,310	0,30852507					3	0	0					3	1,604	0,34381105					3	0	0	
	12/10/2004	14	1	6,398	0,34919279	0,36		26/2/2005	16	1	5,636	0,07230758	0,07		12/5/2005	16	1	3,847	0,3505444	0,34		13/7/2005	16	1	5,573	0,34256391	0,34
			2	5,140	0,37258314					2	5,524	0,06716518					2	4,780	0,31363155					2	4,069	0,34679071	
			3	6,494	0,3718829					3	0	0					3	1,62	0,34941286					3	0	0	
	15/10/2004	17	1	6,814	0,49245137	0,44		3/3/2005	21	1	5,634	0,07161893	0,08												1	5,617	0,35775828
			2	5,237	0,40613984					2	5,58	0,08645364															

AMOSTRA 17 – ÁREA DE RIO
CIDADE: GRAVATAL
ESTADO: SANTA CATARINA

CP-VARI	CP-IV					CP-VARI-RS	CP-II-Z													
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)				
CP-VARI	27/11/2004	2	1	3,312	0	12/1/2005	2	1	4,411	0	28/4/2005	2	1	3,391	0	29/6/2005	2	1	3,805	0
			2	4,803	0			2	3,897	0			2	2,346	0			2	3,838	0
			3	2,923	0			3	3,723	0			3	1,453	0			3	5,043	0
	1/12/2004	6	1	3,637	0,1127251	17/1/2005	7	1	4,517	0,0366261	3/5/2005	7	1	3,556	0,05721399	4/7/2005	7	1	3,824	0,00657883
			2	5,055	0,08695562			2	4,357	0,159226			2	2,39	0,01531255			2	4,002	0,05677923
			3	3,08	0,05452847			3	3,807	0,029093			3	1,465	0,00418917			3	5,155	0,03861496
	6/12/2004	10	1	3,796	0,16787369	20/1/2005	10	1	4,487	0,026260	9/5/2005	13	1	3,91	0,17996401	7/7/2005	10	1	4,22	0,14369557
			2	5,235	0,14906678			2	3,849	-0,016614			2	2,817	0,16391389			2	4,367	0,18314765
			3	3,238	0,10940425			3	3,808	0,029439			3	1,87	0,14557362			3	5,557	0,1772151
	8/12/2004	14	1	3,96	0,22475651	26/1/2005	16	1	4,466	0,019004	12/5/2005	16	1	3,84	0,15569141	13/7/2005	16	1	4,325	0,18005228
			2	5,368	0,19496002			2	3,841	-0,019384			2	2,801	0,15834569			2	4,47	0,21880777
			3	3,396	0,16428003			3	3,716	-0,002424			3	1,9	0,15604654			3	5,706	0,2285868
10/12/2004	16	1	3,936	0,2164322	31/1/2005	21	1	4,557	0,050447	17/5/2005	21	1	3,883	0,17060172						
		2	5,380	0,19910077			2	3,978	0,028037			2	2,825	0,16669799						
		3	3,411	0,16948976			3	3,870	0,050913			3	1,904	0,15744293						
15/12/2004	21	1	4,076	0,2649907	7/2/2005	28	1	4,591	0,062195	24/5/2005	28	1	4,133	0,25728958						
		2	5,511	0,24430389			2	4,012	0,039806			2	3,084	0,25683323						
		3	3,915	0,34453656			3	3,875	0,052645			3	2,147	0,2422736						
22/12/2004	28	1	4,227	0,31736452																
		2	5,666	0,2977885																
		3	3,668	0,25874974																

AMOSTRA 18 – GRANITO
CIDADE: GASPARG
ESTADO: SANTA CATARINA

CP-VARI	CP-IV					CP-VARI-RS	CP-II-Z													
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)				
CP-VARI	25/11/2004	2	1	2,885	0	12/1/2005	2	1	1,512	0	4/5/2005	2	1	2,08	0	29/6/2005	2	1	2,736	0
			2	4,031	0			2	1,188	0			2	0,474	0			2	2,946	0
			3	3,642	0			3	0	3			0,841	0	3			0	0	
	29/11/2004	6	1	2,913	-0,02501	17/1/2005	7	1	1,68	0,058636287	9/5/2005	7	1	2,407	0,113905532	4/7/2005	7	1	2,823	0,03023605
			2	4,072	0,01419			2	1,192	0,001397683			2	0,878	0,141519017			2	3,044	0,034034159
			3	3,483	-0,05509			3	0	3			0,836	-0,00174922	3			0	0	
	2/12/2004	10	1	3,042	0,05454	20/1/2005	10	1	1,661	0,052004803	13/5/2005	11	1	2,629	0,191235892	7/7/2005	10	1	3,291	0,192885145
			2	4,268	0,08200			2	1,218	0,01048262			2	1,143	0,234347086			2	3,495	0,190660749
			3	3,871	0,07934			3	0	3			1,074	0,081513849	3			0	0	
	7/12/2004	14	1	3,281	0,13755	26/1/2005	16	1	1,587	0,026176914	18/5/2005	16	1	2,638	0,194370907	13/7/2005	16	1	3,397	0,22972447
			2	4,468	0,15119			2	1,147	-0,01432625			2	1,417	0,330327806			2	3,7	0,261854653
			3	4,104	0,16006			3	0	3			1,352	0,178770715	3			0	0	
9/12/2004	16	1	3,36	0,16500	31/1/2005	21	1	1,693	0,063173619											
		2	4,541	0,17645			2	1,26	0,025158288											
		3	4,183	0,18743			3	0	3											0
15/12/2004	22	1	3,553	0,23204	7/2/2005	28	1	1,763	0,087605406											
		2	4,752	0,24945			2	1,358	0,059401512											
		3	4,402	0,26330			3	0	3											0
22/12/2004	29	1	3,717	0,28900																
		2	5,003	0,33630																
		3	4,556	0,31666																

AMOSTRA 19 – ÁREA DE RIO
CIDADE: JOINVILLE
ESTADO: SANTA CATARINA

CP-VARI	CP-IV					CP-VARI-RS	CP-II-Z																		
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)									
CP-VARI	7/1/2005	2	1	4,21	0	3/2/2005	2	1	1,863	0	19/3/2005	3	1	3,169	0	29/6/2005	2	1	5,129	0					
			2	3,127	0			2	0,434	0			2	2,276	0			2	3,88	0					
			3	2,465	0			3	2,535	0			3	0	0			3	0	0					
	10/1/2005	6	1	4,23	0,006915	9/2/2005	8	1	1,851	-0,00418318	24/3/2005	8	1	3,461	0,10132943	4/7/2005	7	1	5,244	0,03963754					
			2	3,195	0,02360			2	0,473	0,0136634			2	3,011	0,25585152			2	3,721	0,05504016					
			3	2,418	-0,016349			3	2,592	0,01982367			3	0	0			3	0	0					
	12/1/2005	8	1	4,289	0,027315	15/2/2005	14	1	1,892	0,01010936	29/3/2005	13	1	3,76	0,20508799	7/7/2005	10	1	5,686	0,19198357					
			2	3,313	0,064554			2	0,538	0,03643574			2	3,17	0,31119899			2	4,203	0,11181113					
			3	2,535	0,024350			3	2,648	0,03929956			3	0	0			3	0	0					
	20/1/2005	16	1	4,631	0,145568	17/2/2005	16	1	1,917	0,01882432	4/4/2005	16	1	3,925	0,26234605	13/7/2005	16	1	5,862	0,25264624					
			2	3,663	0,186029			2	0,589	0,05430327			2	3,187	0,31711664			2	4,325	0,1540432					
			3	3,03	0,196545			3	2,692	0,05460205			3	0	0			3	0	0					
25/1/2005	21	1	4,75	0,186715	22/2/2005	21	1	1,876	0,00453178	7/4/2005	21	1	3,889	0,24985338	18/7/2005	21	1	5,806	0,23334448						
		2	3,701	0,199217			2	0,538	0,03643574			2	2,861	0,20363692			2	4,314	0,15023539						
		3	2,854	0,135320			3	2,664	0,0448641			3	0	0			3	0	0						
1/2/2005	28	1	5,069	0,297016	1/3/2005	28	1	1,771	-0,03207106																
		2	4,056	0,322427			2	0,203	0,08092939											2	0	0	2	6,119	0,34122752
		3	3,354	0,309255			3	2,639	0,03616951											3	0	0	3	4,618	0,2554694

AMOSTRA 20 – AREIA DE RIO
CIDADE: JOINVILLE
ESTADO: SANTA CATARINA

CP-VARI	CP-VARI					CP-IV	CP-IV					CP-VARI-1	CP-VARI-1					CP-III-Z	CP-III-Z										
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP		Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)		
CP-VARI	25/11/2004	2	1	4,406	0	0	12/1/2005	2	1	3,773	0	0	19/3/2005	2	1	1,437	0	0	29/6/2005	2	1	4,843	0	0	4/7/2005	7	1	5,043	0,0690028
			2	4,078	0				2	4,763	0				2	1,638	0				2	2,906	0				2	2,895	-0,003820
			3	3,177	0				3	5,023	0				3	1,623	0				3	1,95	0				3	2,126	0,0613327
	29/11/074	6	1	4,408	0,00069107	0,00	17/1/2005	7	1	3,933	0,055406842	0,03	24/3/2005	7	1	1,179	0,123238269	0,09	7/7/2005	10	1	5,447	0,2083879	0,18	13/7/2005	16	1	5,592	0,258157
			2	4,089	0,0038052				2	4,755	0,002760877				2	1,846	0,072565396				2	2,895	-0,003820				2	2,414	0,270724747
			3	3,18	0,00104103				3	5,134	0,038272827				3	1,839	0,075360317				3	2,126	0,0613327				3	2,385	0,26585445
	2/12/2004	10	1	4,632	0,07890999	0,07	20/1/2005	10	1	3,776	0,001038878	-0,03	29/3/2005	12	1	1,939	0,175256688	0,19	7/7/2005	10	2	3,317	0,1427471	0,18	13/7/2005	16	2	3,49	0,2028439
			2	4,23	0,05258096				2	4,665	0,033820743				2	2,166	0,184204467				2	3,317	0,1427471				2	2,414	0,270724747
			3	3,431	0,08814027				3	4,872	0,052064836				3	2,229	0,211427555				3	2,534	0,2035197				3	2,653	0,2449904
	7/12/2004	14	1	4,835	0,14823466	0,15	26/1/2005	16	1	3,779	0,002077757	0,00	4/4/2005	16	1	2,298	0,300589658	0,28	7/7/2005	10	3	3,619	0,15337796	0,24	13/7/2005	16	3	3,49	0,2028439
			2	4,526	0,15497547				2	4,655	0,037271839				2	2,414	0,270724747				2	3,49	0,2028439				2	2,414	0,270724747
			3	3,619	0,15337796				3	5,085	0,021377615				3	2,385	0,26585445				3	2,653	0,2449904				3	2,653	0,2449904
9/12/2004	16	1	4,941	0,18486141	0,19	31/5/2005	21	1	3,909	0,047095816	-0,31	7/2/2005	28	1	3,955	0,063025283	0,05	7/2/2005	28	1	5,387	0,33897017	0,24	13/7/2005	16	1	5,592	0,258157	
		2	4,630	0,19095192				2	3,781	0,338897651				2	4,837	0,025538112				2	4,897	0,28331454				2	4,897	0,28331454	
		3	3,772	0,20647033				3	3,198	0,629260438				3	5,242	0,075511253				3	4,149	0,33729271				3	4,149	0,33729271	
15/12/2004	22	1	5,143	0,25465954	0,27	7/2/2005	28	1	3,955	0,063025283	0,05	7/2/2005	28	1	3,955	0,063025283	0,05	7/2/2005	28	1	5,387	0,33897017	0,24	13/7/2005	16	1	5,592	0,258157	
		2	4,901	0,28469825				2	4,837	0,025538112				2	4,837	0,025538112				2	4,897	0,28331454				2	4,897	0,28331454	
		3	3,977	0,27760717				3	5,242	0,075511253				3	5,242	0,075511253				3	4,149	0,33729271				3	4,149	0,33729271	
22/12/2004	28	1	5,387	0,33897017	0,32	7/2/2005	28	1	3,955	0,063025283	0,05	7/2/2005	28	1	3,955	0,063025283	0,05	7/2/2005	28	1	5,387	0,33897017	0,24	13/7/2005	16	1	5,592	0,258157	
		2	4,897	0,28331454				2	4,837	0,025538112				2	4,837	0,025538112				2	4,897	0,28331454				2	4,897	0,28331454	
		3	4,149	0,33729271				3	5,242	0,075511253				3	5,242	0,075511253				3	4,149	0,33729271				3	4,149	0,33729271	

AMOSTRA 21 – BASALTO
CIDADE: CONCORDIA
ESTADO: SANTA CATARINA

CP-VARI	CP-VARI					CP-IV	CP-IV					CP-VARI-1	CP-VARI-1					CP-III-Z	CP-III-Z										
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP		Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)		
CP-VARI	8/10/2004	3	1	2,316	0	0	12/2/2005	2	1	4,114	0	0	4/5/2005	2	1	1,487	0	0	6/7/2005	2	1	2,975	0	0	11/7/2005	7	1	3,585	0,211823943
			2	3,362	0				2	2,214	0				2	2,064	0				2	2,054	0				2	2,831	0,270680778
			3	4,439	0				3	3,228	0				3	1,704	0				3	3,208	0				3	3,93	0,250513518
	11/10/2004	6	1	3,356	0,361970792	0,33	17/2/2005	7	1	4,196	0,028362514	0,04	9/5/2005	7	1	2,318	0,290065518	0,32	14/7/2005	10	1	4,198	0,424689643	0,46	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624
			2	4,337	0,338116673				2	2,35	0,047351452				2	3,055	0,345219185				2	3,315	0,439290168				2	3,629	0,548677252
			3	5,287	0,292980559				3	3,343	0,039898969				3	2,612	0,316702941				3	4,667	0,506231611				3	4,994	0,619691334
	15/10/2004	10	1	4,113	0,625443762	0,60	22/2/2005	12	1	4,204	0,031129589	0,05	13/5/2005	11	1	3,031	0,53894243	0,44	14/7/2005	10	1	4,198	0,424689643	0,46	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624
			2	5,074	0,593698199				2	2,54	0,113504216				2	3,725	0,578616615				2	3,315	0,439290168				2	3,629	0,548677252
			3	6,163	0,595635004				3	3,248	0,006938951				3	2,322	0,215553323				3	4,667	0,506231611				3	4,994	0,619691334
	19/10/2004	14	1	4,127	0,630316446	0,61	26/2/2005	16	1	4,272	0,054649723	0,06	18/5/2005	16	1	3,692	0,769668432	0,78	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624	0,57	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624
			2	5,116	0,608263225				2	2,488	0,095399249				2	4,35	0,796338099				2	3,629	0,548677252				2	3,629	0,548677252
			3	6,113	0,578360207				3	3,305	0,026714962				3	3,885	0,760714884				3	4,994	0,619691334				3	4,994	0,619691334
21/10/2004	16	1	4,225	0,664425232	0,64	3/3/2005	21	1	4,447	0,115179479	0,11	10/3/2005	28	1	4,54	0,147346721	0,16	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624	0,57	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624	
		2	5,185	0,632191482				2	2,588	0,130216494				2	4,35	0,796338099				2	3,629	0,548677252				2	3,629	0,548677252	
		3	6,254	0,627075135				3	3,462	0,081185728				3	3,885	0,760714884				3	4,994	0,619691334				3	4,994	0,619691334	
21/10/2004	16	1	4,225	0,664425232	0,64	3/3/2005	21	1	4,447	0,115179479	0,11	10/3/2005	28	1	4,54	0,147346721	0,16	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624	0,57	20/7/2005	16	1	4,507	0,531990624	
		2	5,185	0,632191482				2	2,588	0,130216494				2	4,35	0,796338099				2	3,629	0,548677252				2	3,629	0,548677252	
		3	6,254	0,627075135				3	3,462	0,081185728				3	3,885	0,760714884				3	4,994	0,619691334				3	4,994	0,619691334	

AMOSTRA 22 – BASALTO
CIDADE: CAÇADOR
ESTADO: SANTA CATARINA

CP-VARI	CP-VARI					CP-IV	CP-IV					CP-VARI-1	CP-VARI-1					CP-III-Z	CP-III-Z										
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP		Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)		
CP-VARI	10/9/2004	3	1	2,937	0	0	17/2/2005	2	1	1,83	0	0	6/5/2005	2	1	0,152	0	0	6/7/2005	2	1	0,157	0	0	11/7/2005	7	1	0,672	0,1806022
			2	2,730	0				2	1,022	0				2	1,699	0				2	1,188	0,0849813				2	1,502	0,1947705
			3	3,649	0				3	1,574	0				3	3,548	0				3	3,893	0				3	4,19	0,1028080
	13/9/2004	6	1	3,470	0,18511	0,16	22/2/2005	7	1	1,827	-0,001045916	0,02	11/5/2005	7	1	0,625	0,165876445	0,16	14/7/2005	10	1	0,49	0,1167775	0,13	20/7/2005	16	1	0,46	0,1062255
			2	3,183	0,15744				2	1,156	0,046849543				2	2,3	0,209627519				2	1,502	0,1947705				2	1,502	0,1947705
			3	4,083	0,15036				3	1,645	0,024775451				3	3,813	0,091839139				3	4,19	0,1028080				3	4,289	0,1374972
	17/9/2004	10	1	3,845	0,31535	0,32	25/2/2005	10	1	1,9	0,0244047	0,03	16/5/2005	12	1	0,918	0,268628661	0,27	14/7/2005	10	1	0,49	0,1167775	0,13	20/7/2005	16	1	0,46	0,1062255
			2	3,665	0,32496				2	1,149	0,044402179				2	2,477	0,271364741				2								

AMOSTRA 23 – BASALTO
CIDADE: XANXERÉ
ESTADO: SANTA CATARINA

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP IIZ	CP IIZ														
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)							
CP VARI	3/9/2004	3	1	1,630	0	0	CP IV	5/3/2005	2	1	2,347	0	0	CP VARI RS	7/4/2005	2	1	1,690	0	0	CP IIZ	6/7/2005	2	1	3,889	0	0
			2	2,759	0					2	1,252	0					2	1,554	0								
			3	2,180	0					3	3,682	0					3	0,619	0								
	6/9/2004	6	1	1,877	0,086173813	0,09		10/3/2005	7	1	2,332	0,005220	0		12/4/2005	7	1	2,303	0,213819805	0,21		11/7/2005	7	1	4,327	0,151615326	0,10
			2	2,881	0,042396589					2	1,727	0,007324					2	1,798	0,190741025					2	1,711	0,054788975	
			3	2,487	0,140825688					3	3,743	0,021131					3	1,250	0,220923678					3	0	0	
	10/9/2004	10	1	2,677	0,36527928	0,40		15/3/2005	12	1	2,254	0,032365	-0,02		18/4/2005	13	1	2,521	0,289860128	0,32		14/7/2005	10	1	4,65	0,263422976	0,26
			2	3,660	0,313109234					2	1,608	0,048823					2	2,150	0,313709599					2	2,261	0,246724876	
			3	3,320	0,52293578					3	3,738	0,019399					3	1,649	0,360620267					3	0	0	
14/9/2004	14	1	3,258	0,567979625	0,58	18/3/2005	15	1	2,295	0,018097	0,02	21/4/2005	16	1	2,989	0,453102654	0,46	20/7/2005	16	1	4,833	0,326769105	0,33				
		2	4,137	0,478872946				2	1,68	0,023714				2	2,497	0,434931459				2	2,49	0,326640005					
		3	3,688	0,691743119				3	3,974	0,101149				3	1,989	0,479659967				3	0	0					
16/9/2004	16	1	3,090	0,509367477	0,55	24/3/2005	21	1	2,502	0,053942	0,06	31/3/2005	28	1	2,506	0,055334	0,08										
		2	4,099	0,465667451				2	1,837	0,031038				2	1,916	0,058588								2	0	0	
		3	3,661	0,679357798				3	3,971	0,100110				3	4,01	0,113620								3	0	0	

AMOSTRA 24 – BASALTO
CIDADE: POUSO REDONDO
ESTADO: SANTA CATARINA

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP IIZ	CP IIZ														
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)							
CP VARI	8/10/2004	2	1	4,511	0	0	CP IV	13/3/2005	2	1	3,511	0	0	CP VARI RS	6/5/2005	2	1	2,479	0	0	CP IIZ	6/7/2005	2	1	0,852	0	0
			2	4,257	0					2	1,962	0					2	1,892	0					2	3,561	0	
			3	3,962	0					3	0,991	0					3	2,509	0					3	3,845	0	
	11/10/2004	6	1	4,655	0,049739043	0,06		18/3/2005	7	1	3,552	0,014210897	0,01		11/5/2005	7	1	2,865	0,134270677	0,13		11/7/2005	7	1	1,027	0,061220492	0,07
			2	4,429	0,059462692					2	1,992	0,010454346					2	2,345	0,15789914					2	3,854	0,101538323	
			3	4,199	0,082017705					3	1,015	0,008391872					3	2,831	0,111996494					3	0,939	0,032884955	
	15/10/2004	10	1	4,843	0,114676126	0,15		23/3/2005	12	1	3,675	0,056843587	0,06		16/5/2005	12	1	3,037	0,194101134	0,19		14/7/2005	10	1	1,241	0,136084407	0,12
			2	4,728	0,162830977					2	1,165	0,060841075					2	2,45	0,194498278					2	3,88	0,11054855	
			3	4,463	0,173379199					3	1,165	0,060841075					3	3,056	0,190254914					3	1,176	0,115797023	
19/10/2004	14	1	4,910	0,137818598	0,18	28/3/2005	17	1	3,682	0,059269837	0,06	20/5/2005	16	1	3,195	0,249061671	0,23	20/7/2005	16	1	1,237	0,134685082	0,12				
		2	4,794	0,185648057				2	2,147	0,064468466				2	2,559	0,232491669				2	1,176	0,115797023					
		3	4,573	0,211446488				3	1,159	0,058743107				3	3,067	0,194080881				3	1,201	0,124543022					
21/10/2004	16	1	5,062	0,19032092	0,23	1/4/2005	21	1	3,686	0,060656266	0,06	8/4/2005	28	1	3,709	0,068628233	0,06	25/7/2005	21	1	1,525	0,23543652	0,25				
		2	4,878	0,214687976				2	2,126	0,057150424				2	2,144	0,063423032				2	4,414	0,295604742					
		3	4,750	0,272700217				3	1,154	0,056994801				3	1,154	0,056994801				3	1,436	0,206755409					
8/4/2005	28	1	3,709	0,068628233	0,06			1	3,709	0,068628233	0,06			1	3,709	0,068628233	0,06			1	1,442	0,206400515	0,19				
		2	2,144	0,063423032				2	2,144	0,063423032				2	2,144	0,063423032				2	4,088	0,182630362					
		3	1,168	0,061890059				3	1,168	0,061890059				3	1,168	0,061890059				3	1,385	0,188913572					

AMOSTRA 25 – GRANITO
CIDADE: JOINVILLE
ESTADO: SANTA CATARINA

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP IIZ	CP IIZ														
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)							
CP VARI	30/11/2004	2	1	4,313	0	0	CP IV	12/2/2005	2	1	3,64	0	0	CP VARI RS	11/5/2005	2	1	4,476	0	0	CP IIZ	6/7/2005	2	1	3,456	0	0
			2	5,332	0					2	4,878	0					2	4,412	0					2	2,809	0	
			3	4,121	0					3	3,662	0					3	2,256	0					3	2,863	0	
	6/12/2004	8	1	4,361	0,016591028	0,01		17/2/2005	7	1	3,552	0,030487805	0,01		16/5/2005	7	1	4,629	0,052854123	0,04		11/7/2005	7	1	3,429	0,009360	0,01
			2	5,284	0,01652797					2	5,009	0,045191425					2	4,643	0,079817008					2	2,81	0,0033474	
			3	4,217	0,033204091					3	3,744	0,028406926					3	2,255	0,00034812					3	2,975	0,0389073	
	8/12/2004	13	1	4,465	0,052538254	0,05		22/2/2005	12	1	3,432	0,072062084	-0,01		19/5/2005	10	1	4,753	0,095690144	0,08		14/7/2005	10	1	3,607	0,0523476	0,05
			2	5,38	0,016532797					2	4,947	0,023803117					2	4,651	0,082581234					2	2,82	0,0038219	
			3	4,322	0,069521066					3	3,695	0,011432055					3	2,451	0,0678837					3	3,133	0,0937946	
13/12/2004	15	1	4,564	0,086757249	0,08	26/2/2005	16	1	3,529	0,038456208	0,01	25/5/2005	16	1	5,082	0,20934378	0,18	20/7/2005	16	1	3,526	0,0242671	0,06				
		2	5,455	0,042365292				2	5,009	0,045191425				2	4,93	0,178983594				2	3,009	0,0694905					
		3	4,419	0,103071033				3	3,764	0,035335444				3	2,718	0,16083215				3	3,107	0,0847625					
17/12/2004	18	1	4,639	0,11268073	0,10	3/3/2005	21	1	3,526	0,039495565	0,02	6/6/2005	28	1	5,232	0,261161547	0,23	25/7/2005	21	1	2,937	0,0444739	0,10				
		2	5,515	0,063031288				2	5,01	0,045536398				2	5,053	0,22148356				2	3,318	0,1580613					
		3	4,487	0,126590597				3	3,831	0,058545981				3	2,834	0,201214248				3	3,671	0,0745347					
20/12/2004	21	1	4,695	0,132036929	0,12	10/3/2005	28	1	3,565	0,025983925	0,03			1	5,082	0,20934378			1	3,698	0,0838949						
		2	5,601	0,092652549				2	5,086	0,071754324				2	5,086	0,071754324			2	3,134	0,1129221						
		3	4,492	0,128319977				3	3,808	0,050578185				3	3,808	0,050578185			3	3,264	0,1393023						
24/12/2004	28	1	4,75	0,151047481	0,15			1	4,75	0,151047481	0,15			1	4,75	0,151047481	0,15			1	4,75	0,151047481	0,15				
		2	5,737	0,139495474				2	5,737	0,139495474				2	5,737	0,139495474				2	5,737	0,139495474					
		3	4,595	0,163945199				3	4,595	0,163945199				3	4,595	0,163945199				3	4,595	0,163945199					

AMOSTRA 29 – GRANITO
CIDADE: TUBARÃO
ESTADO: SANTA CATARINA

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP II Z												
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)				
CP VARI	30/11/2004	2	1	2,597	0	0	12/2/2005	2	1	3,677	0	0	11/5/2005	2	1	0,948	0	0	20/7/2005	2	1	5,062	0	0
			2	3,545	0				2	3,865	0				2	2,159	0				2	3,372	0	
			3	4,099	0				3	2,873	0				3	2,154	0				3	1,532	0	
	6/12/2004	8	1	2,725	0,04450672	0,04	17/2/2005	7	1	3,804	0,04399381	0,04	16/5/2005	7	1	1,011	0,02203198	0,04	25/7/2005	7	1	5,414	0,12135337	0,04
			2	3,649	0,0360429				2	3,971	0,03669534				2	2,312	0,05328059				2	3,675	0,10507261	
			3	4,25	0,05223124				3	3,007	0,0465483				3	2,307	0,05328151				3	2,18	0,10958636	
	8/12/2004	10	1	2,871	0,0952722	0,09	22/2/2005	12	1	3,7	0,00796738	0,02	19/5/2005	12	1	1,132	0,06434736	0,10	28/7/2005	10	1	5,444	0,13169598	0,07
			2	3,805	0,09010726				2	3,93	0,02250186				2	2,446	0,09994463				2	3,722	0,12137101	
			3	4,344	0,08474606				3	2,959	0,02987428				3	2,576	0,14695947				3	3,178	0,05374618	
	13/12/2004	15	1	2,92	0,11230993	0,12	26/2/2005	16	1	3,733	0,01939884	0,04	25/5/2005	16	1	1,54	0,20703065	0,22	3/8/2005	16	1	5,433	0,12790369	0,12
			2	3,863	0,11020811				2	3,983	0,04084953				2	2,733	0,19988926				2	3,711	0,11755649	
			3	4,528	0,14839207				3	3,031	0,05488531				3	2,909	0,26292512				3	1,863	0,11551938	
	17/12/2004	18	1	3,004	0,14151747	0,16	3/3/2005	21	1	3,714	0,01281709	0,03	10/3/2005	28	1	3,82	0,04953633	0,07	8/8/2005	21	1	5,55	0,16823989	0,16
			2	3,952	0,14105252				2	4,041	0,06092812				2	2,903	0,01042126				2	3,854	0,16714522	
			3	4,651	0,19093805				3	2,903	0,01042126				3	1,975	0,15460751							
20/12/2004	21	1	3,181	0,20306192	0,20	10/3/2005	28	1	3,82	0,04953633	0,07	15/8/2005	28	1	5,502	0,15169171	0,15	8/8/2005	21	1	5,502	0,15169171		
		2	4,098	0,19165122				2	4,075	0,07269832				2	3,79	0,14495122				2	3,79	0,14495122		
		3	4,664	0,19543478				3	3,118	0,08510697				3	1,943	0,14343948								
24/12/2004	28	1	3,168	0,19854171	0,21	10/3/2005	28	1	3,168	0,19854171	0,21	15/8/2005	28	1	3,168	0,19854171	0,21	8/8/2005	21	1	3,168	0,19854171		
		2	4,134	0,20412761				2	4,134	0,20412761				2	4,134	0,20412761				2	4,134	0,20412761		
		3	4,725	0,21653482				3	4,725	0,21653482				3	4,725	0,21653482				3	4,725	0,21653482		

AMOSTRA 30 – ÁREA DE RIO
CIDADE: SANTA MARIA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP II Z												
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)				
CP VARI	27/11/2004	2	1	3,777	0	0	12/1/2005	2	1	3,356	0	0	11/5/2005	2	1	3,531	0	0	20/7/2005	2	1	3,113	0	0
			2	2,583	0				2	3,736	0				2	2,878	0				2	2,53	0	
			3	3	0				3	0	3				2,55	0	3				1,439	0		
	1/12/2007	6	1	4,104	0,11323616	0,12	17/1/2005	7	1	3,495	0,0482043	0,04	16/5/2005	7	1	3,986	0,15769536	0,11	25/7/2005	7	1	3,471	0,1242568	0,15
			2	2,939	0,12379035				2	3,846	0,03809709				2	3,089	0,07329494				2	3,045	0,17911174	
			3	3	0				3	0	3				2,825	0,09563554	3				1,872	0,15116657		
	6/12/2004	10	1	4,478	0,24274786	0,27	20/1/2005	10	1	3,375	0,00658908	0,00	19/5/2005	10	1	3,942	0,1424457	0,16	28/7/2005	10	1	3,517	0,14022276	0,16
			2	3,428	0,29382822				2	3,721	0,00519506				2	3,309	0,1497162				2	3,009	0,16659131	
			3	3	0				3	0	3				3,065	0,17909929	3				1,948	0,17769927		
	8/12/2004	16	1	4,661	0,30611856	0,33	26/1/2005	16	1	3,459	0,03571974	-0,03	25/5/2005	16	1	4,439	0,31469755	0,32	3/8/2005	16	1	3,688	0,19957447	0,20
			2	3,606	0,35572339				2	3,436	-0,10390114				2	3,699	0,28519025				2	3,06	0,18432859	
			3	3	0				3	0	3				3,571	0,35506868	3				2,023	0,20388285		
	31/1/2005	21	1	3,547	0,06623757	0,05	31/1/2005	21	1	3,547	0,06623757	0,05	25/5/2005	16	1	3,571	0,35506868	0,32	8/8/2005	21	1	3,695	0,20200407	0,22
			2	3,862	0,04363848				2	3,862	0,04363848				2	3,196	0,231628				2	3,196	0,231628	
			3	3	0				3	0	3				0	3	0,096				0,22936821			
7/2/2005	28	1	3,582	0,07837534	0,07	7/2/2005	28	1	3,582	0,07837534	0,07	15/8/2005	28	1	3,741	0,21797003	0,24	8/8/2005	21	1	3,741	0,21797003		
		2	3,915	0,06199435				2	3,915	0,06199435				2	3,288	0,2632467				2	3,288	0,2632467		
		3	3	0				3	0	3				2,133	0,24228544									

AMOSTRA 31 – ÁREA DE RIO
CIDADE: PORTO ALEGRE
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP II Z												
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)				
CP VARI	21/10/2004	2	1	2,055	0	0	12/1/2005	2	1	1,726	0	0	11/5/2005	2	1	2,151	0	0	20/7/2005	2	1	0,958	0	0
			2	2,448	0				2	5,245	0				2	3,958	0				2	1,826	0	
			3	3,368	0				3	5,093	0				3	2,608	0				3	2,07	0	
	25/10/2004	6	1	2,534	0,16686698	0,17	17/1/2005	7	1	1,823	0,03383021	0,03	16/5/2005	7	1	2,372	0,07696299	0,07	25/7/2005	7	1	1,414	0,15946398	0,14
			2	3,020	0,19899251				2	5,327	0,02825199				2	4,076	0,04083638				2	2,167	0,11888741	
			3	3,804	0,15119569				3	5,212	0,04102133				3	2,904	0,10291786				3	2,455	0,13411363	
	29/10/2004	10	1	2,648	0,20658062	0,23	20/1/2005	10	1	1,694	0,01116048	-0,01	19/5/2005	10	1	2,689	0,18735787	0,17	28/7/2005	10	1	1,481	0,18289399	0,17
			2	3,13	0,2372603				2	5,2	-0,01550414				2	4,339	0,13185307				2	2,314	0,17013799	
			3	4,121	0,26112467				3	5,069	-0,00827321				3	3,135	0,18323552				3	2,535	0,1619814	
	2/11/2004	14	1	2,84	0,27346676	0,26	26/1/2005	16	1	1,741	0,00523148	0,01	25/5/2005	16	1	3,259	0,3858597	0,36	3/8/2005	16	1	1,458	0,17485085	0,19
			2	3,215	0,26683087				2	5,281	0,01240331				2	4,801	0,2917379				2	2,452	0,21825079	
			3	4,093	0,25141486				3	5,145	0,01792529				3	3,734	0,3915051				3	2,594	0,18253388	
	4/11/2004	16	1	2,869	0,28356935	0,27	31/1/2005	21	1	1,855	0,04499069	0,05	25/5/2005	16	1	3,259	0,3858597	0,36	8/8/2005	21	1	1,709	0,26262598	0,26
			2	3,102	0,22751941				2	5,38	0,04651243				2	5,38	0,04651243				2	2,578	0,26217986	
			3	4,199	0,28817345				3	5,25	0,05412058				3	5,25	0,05412058				3	2,797	0,25324834	
7/5/2005	28	1	1,913	0,06521906	0,08	7/5/2005	28	1	1,913	0,06521906	0,08	15/8/2005	28	1	1,754	0,27836256	0,27	8/8/2005	21	1	1,754	0,27836256		
		2	5,559	0,10818446				2	5,559	0,10818446				2	2,616	0,27542831				2	2,616	0,27542831		
		3	5,315	0,07652718				3	5,315	0,07652718				3	2,777	0,24628139								

AMOSTRA 32 – BASALTO
CIDADE: ERECHIM
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP IIZ	CP IIZ										
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)			
16/9/2004	2	1	3,833	0	0	17/2/2005	2	1	3,962	0	0	25/5/2005	2	1	1,781	0	0	20/7/2005	2	1	4,423	0	0
		2	3,356	0				2	2,305	0				2	3,509	0				2	3,892	0	
		3	0	0				3	4,663	0				3	0,509	0				3	2,469	0	
21/9/2004	7	1	5,254	0,49197979	0,49	22/2/2005	7	1	3,977	0,00519099	-0,01	30/5/2005	7	1	2,209	0,1492428	0,17	25/7/2005	7	1	5,36	0,32374759	0,32
		2	4,789	0,49695515				2	2,246	-0,02053567				2	4,047	0,18647599				2	4,863	0,33611176	
		3	0	0				3	4,658	0				3	1,049	0,18913589				3	3,315	0,2942926	
24/9/2004	10	1	6,015	0,75545384	0,75	25/2/2005	10	1	4,05	0,03045383	0,01	2/6/2005	10	1	3,029	0,43517527	0,39	28/7/2005	10	1	5,673	0,4318938	0,43
		2	5,485	0,73832346				2	2,332	0,00939768				2	4,557	0,3632469				2	5,18	0,44584135	
		3	0	0				3	4,76	0				3	1,556	0,36671348				3	3,663	0,41534913	
28/9/2004	14	1	6,301	0,854473	0,75	3/3/2005	16	1	4,106	0,04983354	0,03	8/6/2005	16	1	3,253	0,51328366	0,56	3/8/2005	16	1	5,762	0,46264464	0,47
		2	6,663	1,14684626				2	2,382	0,02680079				2	5,144	0,56670676				2	5,293	0,48495632	
		3	0	0				3	4,822	0				3	2,205	0,59402681				3	3,786	0,45813636	
1/10/2004	16	1	6,247	0,83577708	0,77	8/3/2005	21	1	4,198	0,08167164	0,05	15/3/2005	28	1	4,351	0,13461978	0,08						
		2	5,393	0,70641845				2	2,534	0,07970624				2	2,634	0,11451245							
		3	0	0				3	4,981	0				3	5,08	0							

AMOSTRA 33 – BASALTO
CIDADE: MONTENEGRO
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP IIZ	CP IIZ															
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)								
16/9/2004	2	1	3,322	0	0	13/3/2005	2	1	3,431	0	0	25/5/2005	2	1	2,285	0	0	27/7/2005	2	1	1,153	0	0					
		2	4,464	0				2	1,679	0				2	4,047	0				2	3,655	0						
		3	5,129	0				3	3,255	0				3	1,59	0				3	4,126	0						
21/9/2004	7	1	3,74	0,144976797	0,02	18/3/2005	7	1	3,451	0,006934067	0,01	30/5/2005	7	1	2,479	0,067528761	0,07	1/8/2005	7	1	1,34	0,065349656	0,03					
		2	3,908	-0,19207915				2	1,818	0,048486286				2	4,252	0,070922722				2	3,657	0,000692869						
		3	5,482	0,121670016				3	3,191	-0,02220256				3	1,77	0,062807495				3	4,156	0,010376099						
24/9/2004	10	1	4,073	0,260472666	0,27	23/3/2005	12	1	3,634	0,070380784	0,07	2/6/2005	10	1	2,697	0,143411595	0,16	4/8/2005	10	1	1,495	0,119516482	0,08					
		2	5,339	0,30228284				2	1,956	0,09662375				2	4,578	0,183707148				2	3,852	0,068247562						
		3	5,879	0,258505699				3	3,367	0,038854486				3	2,064	0,16539307				3	4,285	0,054993325						
28/9/2004	14	1	4,262	0,326024376	0,34	28/3/2005	17	1	3,606	0,06067309	0,07	8/6/2005	16	1	3,089	0,279861462	0,29	10/8/2005	16	1	1,722	0,198844674	0,20					
		2	5,521	0,365157671				2	1,959	0,097670217				2	4,911	0,298913326				2	1,777	0,218065161						
		3	6,104	0,336057409				3	3,373	0,040935977				3	2,426	0,291705921				3	4,468	0,118287529						
1/10/2004	16	1	4,406	0,375968535	0,37	1/4/2005	21	1	3,555	0,042997218	0,04																	
		2	5,425	0,331992925				2	1,91	0,080577929													2	4,911	0,298913326	2	4,743	0,376920545
		3	6,283	0,397754102				3	3,283	0,009713622													3	2,426	0,291705921	3	4,883	0,261823565
8/3/2005	28	1	3,613	0,063100014	0,05			1	3,613	0,063100014																		
		2	1,876	0,068717974				2	1,876	0,068717974																		
		3	3,33	0,026018629				3	3,33	0,026018629																		

AMOSTRA 34 – RIOLITO
CIDADE: PASSO FUNDO
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP VARI					CP IV	CP VARI RS					CP IIZ	CP IIZ															
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)		Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)								
1/10/2004	2	1	3,666	0	0	5/3/2005	2	1	2,081	0	0	25/5/2005	2	1	1,186	0	0	27/7/2005	2	1	3,085	0	0					
		2	3,345	0				2	4,012	0				2	0,901	0				2	1,236	0						
		3	3,700	0				3	2,311	0				3	2,769	0				3	2,168	0						
4/10/2004	6	1	4,095	0,14861466	0,17	10/3/2005	7	1	2,201	0,04180005	-0,01	30/5/2005	7	1	1,36	0,06079962	0,06	1/8/2005	7	1	3,132	0,01631463	0,01					
		2	3,856	0,17721826				2	3,835	0,06124313				2	1,106	0,07170314				2	1,334	0,03423748						
		3	4,227	0,18254243				3	2,29	0,00730915				3	2,926	0,05455765				3	2,148	0,00696456						
8/10/2004	10	1	4,108	0,15311814	0,18	15/3/2005	12	1	2,12	0,01358502	-0,02	2/6/2005	10	1	1,244	0,02026654	0,06	4/8/2005	10	1	3,298	0,07393651	0,07					
		2	3,919	0,19906709				2	3,84	-0,0595131				2	1,286	0,134662				2	1,483	0,08629243						
		3	4,268	0,19674402				3	2,277	0,01183387				3	2,877	0,0375301				3	2,285	0,0407427						
12/10/2004	14	1	4,424	0,26258721	0,28	18/3/2005	15	1	2,083	0,00069667	-0,01	8/6/2005	16	1	1,875	0,24075252	0,23	10/8/2005	16	1	3,566	0,16696461	0,17					
		2	4,200	0,29651979				2	3,919	0,03217859				2	1,549	0,22665188				2	1,750	0,1795721						
		3	4,529	0,28714929				3	2,333	0,00765721				3	3,438	0,23247813				3	2,597	0,1493899						
15/10/2004	17	1	4,763	0,38002397	0,39	24/3/2005	21	1	2,296	0,07489176	0,05																	
		2	4,489	0,39674695				2	4,04	0,00968818													2	1,847	0,21346022	2	1,847	0,21346022
		3	4,868	0,40457222				3	2,459	0,05151212													3	2,79	0,21659795	3	2,79	0,21659795
31/3/2005	28	1	2,427	0,12052348	0,09			1	2,427	0,12052348																		
		2	4,227	0,07439137				2	4,227	0,07439137																		
		3	2,565	0,08840594				3	2,565	0,08840594																		

AMOSTRA 35 – RIOLITO
CIDADE: BENTO GONÇALVES
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP I					CP IV	CP VARI RS					CP II Z								
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)			
1/10/2004	2	1	4,304	0	0	17/2/2005	2	1	1,1168	0	25/5/2005	2	1	2,777	0	27/7/2005	2	1	1,804	0
		2	3,545	0				2	1,745	0			2	1,14	0			2	2,599	0
		3	4,007	0				3	1,086	0			3	1,084	0			3	1,54	0
4/10/2004	6	1	4,595	0,10058623	0,08	22/2/2005	7	1	1,227	0,03851574	30/5/2005	7	1	2,965	0,06532836	1/8/2005	7	1	1,739	0,02266356
		2	3,822	0,09599889				2	1,747	0,00069748			2	1,272	0,04613126			2	2,702	0,03581375
		3	4,168	0,05570799				3	1,191	0,03670225			3	1,265	0,06326813			3	1,495	0,01570461
8/10/2004	10	1	4,579	0,09505572	0,08	25/2/2005	10	1	1,208	0,03187509	2/6/2005	10	1	3,112	0,11640958	4/8/2005	10	1	1,905	0,03521569
		2	3,841	0,10258365				2	1,829	0,02929432			2	1,315	0,06115887			2	2,8	0,0698898
		3	4,157	0,05190186				3	1,168	0,02866271			3	1,441	0,12478852			3	1,56	0,00697983
12/10/2004	14	1	4,772	0,16176755	0,17	3/3/2005	16	1	1,217	0,03502066	8/6/2005	16	1	3,285	0,17652557	10/8/2005	16	1	2,139	0,11680451
		2	4,036	0,1701641				2	1,837	0,03208426			2	1,569	0,14992661			2	2,956	0,12413117
		3	4,481	0,16400987				3	1,039	0,01642863			3	1,626	0,18945485			3	1,728	0,06561039
15/10/2004	17	1	5,069	0,26442773	0,25	8/3/2005	21	1	1,294	0,06193275	13/6/2005	21	1	3,269	0,17096571	15/8/2005	21	1	2,213	0,1426061
		2	4,264	0,24918124				2	1,852	0,03731538			2	1,433	0,10239743			2	3,039	0,1529908
		3	4,658	0,22525406				3	1,125	0,01363226			3	1,598	0,17966751			3	2,235	0,24254903
15/3/2005	28	1	3,376	0,09059237	0,07	15/3/2005	28	1	1,376	0,09059237	20/6/2005	28	1	3,566	0,20471063	22/8/2005	28	1	2,49	0,23918774
		2	1,913	0,05858864				2	1,718	0,20199902			2	3,301	0,24408986					
		3	1,239	0,05348042				3	1,873	0,27579312			3	2,069	0,18461646					

AMOSTRA 36 – BASALTO
CIDADE: ESTRELA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP I					CP IV	CP VARI RS					CP II Z								
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)			
1/10/2004	2	1	5,032	0	0	5/3/2005	2	1	1,423	0	1/6/2005	2	1	1,549	0	27/7/2005	2	1	5,023	0
		2	5,334	0				2	2,43	0			2	1,424	0			2	4,813	0
		3	4,256	0				3	1,018	0			3	3,826	0			3	3,61	0
4/10/2004	6	1	5,476	0,15308656	0,14	10/3/2005	7	1	1,705	0,09845578	6/6/2005	7	1	1,804	0,08899002	1/8/2005	7	1	4,824	0,06861525
		2	5,762	0,14741642				2	2,737	0,10680861			2	1,643	0,07646007			2	4,811	0,0006901
		3	4,559	0,1047515				3	1,237	0,07656861			3	4,098	0,09417435			3	3,931	0,11122276
8/10/2004	10	1	5,562	0,18273846	0,17	15/3/2005	12	1	1,452	0,01012489	9/6/2005	10	1	2,037	0,17030246	4/8/2005	10	1	4,9	0,04241043
		2	5,803	0,16153809				2	2,684	0,08836934			2	1,879	0,1588554			2	5	0,06452437
		3	4,701	0,15384296				3	1,235	0,07586935			3	4,285	0,15891921			3	4,074	0,16077059
12/10/2004	14	1	5,808	0,26755668	0,26	18/3/2005	15	1	1,255	0,05865451	15/6/2005	16	1	2,37	0,28651295	10/8/2005	15	1	5,333	0,10688807
		2	6,151	0,28140004				2	2,508	0,02713704			2	2,163	0,25800911			2	5,235	0,14561114
		3	4,913	0,22713444				3	0,899	0,04160577			3	4,587	0,26348043			3	4,178	0,19680538
15/10/2004	17	1	6,249	0,41960887	0,35	24/3/2005	21	1	1,492	0,02409024	31/3/2005	28	1	1,522	0,03456426	15/8/2005	21	1	5,455	0,1489537
		2	6,265	0,32066516				2	2,61	0,06262394			2	2,632	0,07027798			2	5,422	0,2101355
		3	5,123	0,29973449				3	1,156	0,04824871			3	1,156	0,04824871			3	4,212	0,20858598
15/3/2005	28	1	5,522	0,18481293	0,26	31/3/2005	28	1	1,522	0,03456426	22/8/2005	28	1	5,559	0,18481293	22/8/2005	28	1	5,559	0,18481293
		2	5,662	0,29294752				2	2,632	0,07027798			2	5,662	0,29294752			2	5,662	0,29294752
		3	4,523	0,31634386				3	1,047	0,01013922			3	4,523	0,31634386					

AMOSTRA 37 – RIOLITO
CIDADE: ITAARA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP I					CP IV	CP VARI RS					CP II Z								
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)		Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)			
10/9/2004	2	1	4,368	0	0	12/1/2005	2	1	3,645	0	7/4/2005	2	1	1,643	0	27/7/2005	2	1	1,348	0
		2	4,224	0				2	4,339	0			2	2,182	0			2	2,863	0
		3	5,570	0				3	4,446	0			3	3,116	0			3	2,905	0
13/9/2004	6	1	4,573	0,07084405	0,05	17/1/2005	7	1	3,774	0,04469158	12/4/2005	7	1	2,05	0,14198847	1/8/2005	7	1	1,425	0,02689036
		2	4,300	0,02627721				2	4,472	0,04596684			2	2,226	0,01532129			2	3,119	0,08893119
		3	5,698	0,04405135				3	4,574	0,04422241			3	3,513	0,13779172			3	2,834	0,02466091
17/9/2004	10	1	4,823	0,15723922	0,13	20/1/2005	10	1	3,753	0,0374162	18/4/2005	13	1	1,902	0,0903563	4/8/2005	10	1	1,576	0,0796234
		2	4,582	0,12377949				2	4,493	0,05222476			2	2,423	0,08391891			2	3,233	0,12853336
		3	5,924	0,12182951				3	4,582	0,04698631			3	3,439	0,11210762			3	3,071	0,05765791
21/9/2004	14	1	4,925	0,19248846	0,18	26/1/2005	16	1	3,675	0,01039339	21/4/2005	16	1	1,966	0,11268372	10/8/2005	16	1	1,74	0,13689636
		2	4,793	0,19673333				2	4,422	0,02868607			2	2,139	0,01497308			2	3,268	0,14069193
		3	6,002	0,1486733				3	4,571	0,04318595			3	3,593	0,16555832			3	3,215	0,10767441
23/9/2004	16	1	4,927	0,19317962	0,18	31/1/2005	21	1	3,799	0,05335273	26/4/2005	21	1	2,475	0,29025652	15/8/2005	21	1	1,831	0,16867588
		2	4,677	0,15662601				2	4,549	0,07257922			2	2,724	0,18873049			2	3,323	0,15979824
		3	6,088	0,1782703				3	4,668	0,07669824			3	3,98	0,29987922			3	3,24	0,11635783
24/9/2004	17	1	5,069	0,24225208	0,22	7/1/2005	28	1	3,852	0,07171439	5/5/2005	28	1	2,614	0,3387489	22/8/2005	28	1	2,055	0,24690237
		2	4,869	0,22301054				2	4,596	0,08882315			2	3,113	0,32418466			2	3,648	0,27269917
		3	6,121	0,18962728				3	4,709	0,09086324			3	4,106	0,3436116			3	3,25	0,11983119

AMOSTRA 38 – RIOLITO
CIDADE: FLORES DA CUNHA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP IV					CP VARI RS					CP II Z												
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)					
10/9/2004	2	1	3,358	0	0	13/3/2005	2	1	2,8	0	0	1/6/2005	2	1	3,335	0	0	4/8/2005	2	1	3,164	0	0
		2	2,233	0				2	1,224	0				2	2,89	0				2	1,04	0	
		3	2,458	0				3	2,538	0				3	2,849	0				3	2,415	0	
13/9/2004	6	1	3,705	0,120336526	0,10	18/3/2005	7	1	2,89	0,031271716	0,03	6/6/2005	7	1	3,383	0,016647303	0,16	9/8/2005	7	1	3,457	0,101678211	0,12
		2	2,483	0,087037353				2	1,282	0,020263849				2	3,79	0,312619403				2	1,489	0,156971053	
		3	2,715	0,089404365				3	2,677	0,048341437				3	3,288	0,152510518				3	2,729	0,109249691	
17/9/2004	10	1	4,208	0,29477247	0,30	23/3/2005	12	1	3,041	0,083738707	0,08	9/6/2005	10	1	4,16	0,286125514	0,28	12/8/2005	10	1	3,813	0,225218973	0,22
		2	3,103	0,302889988				2	1,422	0,069176589				2	3,636	0,259126755				2	1,809	0,268843518	
		3	3,331	0,30369654				3	2,814	0,095987313				3	3,709	0,298767757				3	2,905	0,170485187	
23/9/2004	16	1	5,217	0,644684732	0,65	28/3/2005	17	1	3,13	0,11466296	0,11	15/6/2005	16	1	4,913	0,547280074	0,50	18/8/2005	16	1	4,08	0,317874544	0,31
		2	4,066	0,638157872				2	1,476	0,088042931				2	4,316	0,495328077				2	2,061	0,356943085	
		3	4,346	0,656791601				3	2,895	0,124157503				3	4,136	0,447109422				3	3,16	0,25920707	
1/3/2005	21	1	3,337	0,186587908	0,18	8/3/2005	28	1	3,332	0,184850591	0,19												
		2	1,702	0,167002068				2	1,815	0,206481637													
		3	3,08	0,188496825				3	3,092	0,192670186													

AMOSTRA 39 – GRANITO
CIDADE: PORTO ALEGRE
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP IV					CP VARI RS					CP II Z												
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)					
30/11/2004	2	1	4,16	0	0	5/3/2005	2	1	2,466	0	0	19/3/2005	2	1	2,693	0	0	4/8/2005	2	1	0,557	0	0
		2	5,443	0				2	1,735	0				2	3,088	0				2	0,891	0	
		3	4,714	0				3	1,963	0				3	1,804	0				3	0,603	0	
6/12/2004	8	1	4,152	-0,00276663	0,00	10/3/2005	7	1	2,294	-0,05983316	-0,04	24/3/2005	7	1	2,838	0,050400948	0,07	9/8/2005	7	1	0,753	0,068637785	0,07
		2	5,44	-0,0010329				2	1,549	-0,06486826				2	3,453	0,126697398				2	1,06	0,059113438	
		3	4,658	-0,01932941				3	1,995	0,011151263				3	1,883	0,027544944				3	0,834	0,080881503	
8/12/2004	10	1	4,327	0,057753493	0,08	15/3/2005	12	1	2,315	0,05252795	-0,04	29/3/2005	12	1	3,174	0,167192111	0,17	12/8/2005	10	1	0,847	0,101555907	0,11
		2	5,733	0,099847474				2	1,553	-0,06347324				2	3,664	0,199938908				2	1,222	0,115778391	
		3	4,658	0,045217007				3	1,96	-0,00104543				3	2,192	0,135284027				3	0,909	0,107141732	
13/12/2014	15	1	4,508	0,120348596	0,11	18/3/2005	15	1	2,131	-0,11653552	-0,06	4/4/2005	16	1	3,399	0,245400479	0,15	18/8/2005	16	1	0,848	0,101906099	0,09
		2	5,707	0,090895632				2	1,587	-0,0516156				2	3,137	0,017008692				2	1,341	0,157402646	
		3	4,715	0,000345168				3	1,935	-0,00975736				3	2,356	0,192465935				3	0,605	0,000700273	
17/12/2004	18	1	4,606	0,154239867	0,15	24/3/2005	21	1	2,279	-0,06505117	-0,01	7/4/2005	21	1	3,265	0,198823051	0,20	23/8/2005	21	1	0,943	0,135174414	0,16
		2	5,868	0,146328195				2	1,725	-0,00348754				2	3,789	0,243328427				2	1,379	0,170694425	
		3	4,821	0,036932975				3	2,078	0,040074853				3	2,28	0,165967002				3	1,079	0,16664916	
20/12/2004	21	1	4,754	0,205422603	0,21	28/3/2005	28	1	2,254	0,07374785	0,00	14/4/2005	28	1	3,552	0,298582169	0,30	30/8/2005	28	1	1,089	0,18630256	0,19
		2	6,083	0,220353047				2	1,798	0,021971507				2	4,084	0,345727694				2	1,5	0,213018248	
		3	5,223	0,175690509				3	2,15	0,065165196				3	2,556	0,262199969				3	1,085	0,168765734	
24/12/2004	28	1	4,708	0,189514456	0,19																		
		2	5,986	0,186955788																			
		3	4,965	0,086637166																			

AMOSTRA 40 – BASALTOS
CIDADE: VACARIA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

CP VARI	CP IV					CP VARI RS					CP II Z												
	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)	Data	Idade	CDP	Leitura (mm)	Expansão (%)	Expansão média (%)					
25/11/2004	2	1	3,227	0	0	17/2/2005	2	1	3,51	0	0	1/6/2005	2	1	1,244	0	0	4/8/2005	2	1	0,73	0	0
		2	3,822	0				2	2,464	0				2	2,404	0				2	0,04	0	
		3	2,485	0				3	3,283	0				3	3,359	0				3	1,446	0	
29/11/2004	6	1	3,694	0,16202507	0,12	22/2/2005	7	1	3,545	0,0121313	0,01	6/6/2005	7	1	1,585	0,11912913	0,11	9/8/2005	7	1	0,959	0,08014559	0,13
		2	4,047	0,07790265				2	2,494	0,01043609				2	2,638	0,08141849				2	0,493	0,15892506	
		3	2,87	0,13392003				3	3,306	0,00797827				3	3,726	0,12727191				3	1,921	0,16582532	
2/12/2004	10	1	4,035	0,2803346	0,25	25/2/2005	10	1	3,615	0,03639389	0,03	9/6/2005	10	1	1,816	0,19982952	0,17	12/8/2005	10	1	1,309	0,20263885	0,18
		2	4,443	0,21501132				2	2,573	0,03791779				2	2,697	0,10194708				2	0,357	0,11121246	
		3	3,242	0,26331809				3	3,342	0,020466				3	3,931	0,19836385				3	2,103	0,2293626	
7/12/2007	14	1	4,223	0,34556096	0,33	3/3/2005	16	1	3,644	0,04644553	0,05	15/6/2005	16	1	2,051	0,28192731	0,25	18/8/2005	16	1	1,413	0,23903685	0,23
		2	4,641	0,28356566				2	2,599	0,0469624				2	2,971	0,19728327				2	0,452	0,14454112	
		3	3,524	0,36141016				3	3,413	0,04509458				3	4,151	0,27465763				3	2,285	0,29289988	
9/12/2004	16	1	4,286	0,36741874	0,36	8/3/2005	21	1	3,755	0,08491907	0,06												
		2	4,73	0,31438048				2	2,693	0,07966215													
		3	3,624	0,39619458				3	3,3	0,00589698													
15/3/2005	28	1	3,824	0,10883505	0,10																		
		2	2,759	0,10262155																			
		3	3,511	0,07908895																			

**APÊNDICE D – Composições químicas obtidas através de análise por EDS
dos produtos da reação álcali-agregado**

AMOSTRA 11 – BASALTO
CIDADE: PONTA GROSSA
ESTADO: PARANÁ

	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq
	7.36	0.00	1.74	57.30	0.35	0.07	32.50	0.68	0.57	7.41	10.75	0.00	1.59	50.63	0.00	0.64	36.34	0.04	0.72	11.17	7.74	0.73	16.72	61.52	0.00	7.17	4.79	1.33	0.08	12.46	11.76	0.00	1.12	68.65	0.00	0.43	17.77	0.27	0.26	12.04
PONTO 02	4.52	0.00	1.80	60.05	0.00	0.41	32.79	0.43	0.55	4.79	11.41	0.00	2.32	56.09	0.00	1.19	28.59	0.40	0.51	12.19	12.99	1.13	18.76	58.25	0.00	5.57	2.33	0.97	0.04	16.66	11.45	0.00	1.68	69.50	0.00	0.23	16.55	0.59	0.24	11.60
PONTO 03	9.63	0.00	2.87	55.82	0.00	0.00	30.44	1.24	0.55	9.63	9.85	0.00	2.02	51.72	0.00	1.33	35.07	0.00	0.68	10.73	14.75	0.00	18.59	54.23	0.00	7.09	5.09	0.25	0.09	19.42	11.50	0.00	1.35	69.75	0.00	0.15	17.25	0.00	0.25	11.60
PONTO 04	11.85	0.00	2.35	57.37	0.00	0.17	28.26	0.00	0.49	11.96	10.56	0.00	5.00	44.37	0.00	0.86	36.42	2.79	0.82	11.13	13.33	0.00	19.76	58.16	0.00	6.14	2.19	0.42	0.04	17.37	12.09	0.00	1.92	67.23	0.00	0.34	17.60	0.81	0.26	12.31
PONTO 05	12.43	0.00	2.44	57.08	0.00	0.22	27.83	0.00	0.49	12.57	9.89	0.00	3.29	43.55	0.00	0.77	41.73	0.77	0.96	10.40	12.67	0.00	18.86	59.26	0.00	6.09	2.15	0.97	0.04	16.68	10.26	0.00	0.95	68.99	0.00	0.00	19.67	0.13	0.29	10.26
PONTO 06	7.14	0.00	1.00	40.14	0.00	0.42	24.93	0.07	0.62	7.42	9.94	3.28	2.01	51.05	0.00	0.77	21.43	11.53	0.42	10.45	12.70	0.50	18.16	59.18	0.00	7.00	1.92	0.53	0.03	17.31	11.80	0.00	1.21	67.74	0.00	0.51	18.46	0.28	0.27	12.14
PONTO 07	8.82	0.00	2.50	59.53	0.00	1.76	12.65	0.38	0.21	9.98	14.03	0.00	3.60	44.54	0.00	0.39	36.01	1.43	0.81	14.29	14.18	0.00	19.34	57.91	0.00	6.01	2.12	0.44	0.04	18.13	11.81	0.00	1.75	67.75	0.00	0.37	18.12	0.20	0.27	12.05
PONTO 08	12.95	0.00	2.61	56.62	0.00	0.00	27.63	0.19	0.49	12.95	11.06	0.00	3.45	48.06	0.00	0.66	36.29	0.47	0.76	11.49	16.14	0.00	17.49	56.59	0.00	5.59	3.66	0.53	0.06	19.82	12.34	0.00	1.76	67.51	0.00	0.42	17.79	0.18	0.26	12.62
PONTO 09	13.05	0.00	2.17	58.47	0.00	0.00	26.31	0.00	0.45	13.05	11.39	0.00	2.41	46.95	0.00	0.92	38.33	0.00	0.82	12.00	15.28	0.27	18.77	56.53	0.00	6.44	2.18	0.53	0.04	19.52	12.74	0.00	1.45	67.91	0.00	0.40	17.09	0.41	0.25	13.00
PONTO 10	12.32	0.00	3.56	56.44	0.00	0.19	27.29	0.20	0.48	12.45	11.73	0.52	5.46	39.57	0.00	0.73	41.48	0.51	1.05	12.21	14.45	0.08	19.61	58.10	0.00	4.76	1.87	1.13	0.03	17.58	9.73	0.00	1.28	68.55	0.00	0.40	19.77	0.26	0.29	9.99
PONTO 11	6.95	0.00	2.22	50.00	0.00	0.00	40.57	0.27	0.81	6.95	10.94	0.00	3.92	42.77	0.00	0.83	40.68	0.86	0.95	11.49	18.15	0.00	18.21	53.35	0.00	5.89	4.39	0.01	0.08	22.03	12.43	0.00	1.92	68.58	0.00	0.40	16.65	0.03	0.24	12.69
PONTO 12	2.68	0.00	1.05	57.90	0.00	0.30	37.34	0.73	0.64	2.88	7.26	0.00	3.55	49.04	0.00	0.75	39.23	0.18	0.80	7.75	19.28	0.00	16.94	54.91	0.00	4.13	3.13	1.60	0.06	22.00	10.74	0.83	8.26	65.05	0.00	0.10	14.55	0.47	0.22	10.81
PONTO 13	3.16	0.00	1.79	58.81	0.00	0.16	35.67	0.41	0.61	3.27	9.70	0.00	2.30	49.20	0.00	0.91	37.31	0.58	0.76	10.30	11.20	0.44	16.47	53.23	0.00	7.00	11.50	0.17	0.22	15.81	3.96	0.00	1.21	56.34	0.00	0.46	35.81	2.22	0.64	4.26
PONTO 14	12.35	0.00	2.79	56.26	0.00	0.19	28.23	0.18	0.50	12.48	12.28	0.34	4.26	53.59	0.00	1.14	28.03	0.36	0.52	13.03	18.43	0.00	16.26	53.07	0.00	4.35	7.01	0.88	0.13	21.29	12.03	0.00	1.69	68.10	0.00	0.38	16.69	1.11	0.25	12.28
PONTO 15	13.45	0.00	2.75	56.57	0.00	0.03	26.46	0.74	0.47	13.47	9.37	0.31	3.47	47.69	0.19	0.57	37.07	1.33	0.78	9.75	26.04	0.00	9.69	48.02	0.00	4.60	10.91	0.74	0.23	29.07	8.78	0.00	1.34	68.73	0.00	0.59	20.56	0.00	0.30	9.17
PONTO 16	12.07	0.00	1.86	57.18	0.00	0.41	28.01	0.46	0.49	12.34	13.31	0.00	3.85	49.55	0.00	0.55	32.17	0.57	0.65	13.67	17.40	0.00	16.86	55.60	0.00	5.79	4.03	0.31	0.07	21.21	7.21	0.05	0.86	69.26	0.00	0.34	21.90	0.39	0.32	7.43
MÉDIA:	9.42	0.00	2.22	55.97	0.02	0.27	29.18	0.37	0.52	9.60	10.84	0.28	3.28	48.02	0.01	0.81	35.39	1.36	0.74	11.38	15.30	0.20	17.53	56.12	0.00	5.85	4.33	0.68	0.08	19.15	10.66	0.06	1.86	67.48	0.00	0.35	19.14	0.46	0.28	10.89

AMOSTRA 13 – GNAISSE
CIDADE: SÃO JOSÉ DOS PINHAIS
ESTADO: PARANÁ

	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq	Na2O	MgO	Al2O3	SiO2	SO3	K2O	CaO	Fe2O3	CaO/SiO2	Na2Oeq
	0.00	0.71	8.12	86.53	0.00	0.24	3.87	0.53	0.04	0.16	3.94	2.98	8.56	58.03	0.00	1.25	24.00	1.25	0.41	4.76	12.49	0.00	5.63	56.57	0.00	3.09	22.22	0.00	0.39	14.52	1.21	1.89	7.28	55.88	0.00	0.00	33.46	0.27	0.60	1.21
PONTO 02	0.00	1.11	7.45	73.53	0.00	0.00	16.92	0.99	0.23	0.00	4.16	1.77	5.44	66.01	0.00	1.28	17.37	3.95	0.26	5.00	19.13	0.00	3.93	60.83	0.00	1.64	13.78	0.69	0.23	20.21	0.91	1.39	7.09	56.06	0.00	0.08	33.49	0.98	0.60	0.96
PONTO 03	1.38	1.84	19.01	58.19	0.00	3.54	12.81	3.24	0.22	3.71	2.53	0.94	7.53	69.35	12.24	1.18	6.08	0.15	0.09	3.31	19.58	0.00	4.43	64.18	0.00	1.67	9.97	0.17	0.16	20.68	0.73	1.85	11.88	49.72	0.00	0.01	34.81	1.00	0.70	0.74
PONTO 04	1.59	1.47	3.80	44.23	0.00	0.00	45.13	3.77	1.02	1.59	3.81	1.06	9.98	78.65	0.00	0.73	5.78	0.00	0.07	4.29	12.66	0.00	3.57	60.20	0.00	2.97	18.95	1.65	0.31	14.61	0.99	1.36	10.60	45.58	0.00	0.00	40.84	0.63	0.90	0.99
PONTO 05	0.00	0.38	1.43	63.61	0.00	0.00	33.77	0.80	0.53	0.00	0.00	2.03	7.20	60.21	0.00	1.16	22.49	6.92	0.37	0.76	20.87	0.00	3.76	60.23	0.00	1.95	12.35	0.84	0.21	22.15	0.85	1.34	7.91	52.10	0.00	0.00	36.92	0.88	0.71	0.85
PONTO 06	1.43	2.08	10.86	62.04	0.00	0.00	22.17	1.42	0.36	1.43	2.48	2.32	12.96	73.80	0.00	0.86	7.41	0.16	0.10	3.05	20.56	0.00	3.85	61.06	0.00	1.94	12.60	0.00	0.21	21.84	0.70	1.31	7.91	57.32	0.00	0.03	32.30	0.43	0.56	0.72
PONTO 07	0.28	0.87	8.19	67.10	0.00	0.00	22.72	0.83	0.34	0.28	2.02	1.20	10.54	81.18	0.00	0.97	3.69	0.39	0.05	2.66	15.23	0.00	4.38	63.87	0.00	1.85	14.66	0.00	0.23	16.45	0.14	1.15	6.36	61.72	0.00	0.00	29.43	1.21	0.48	0.14
PONTO 08	1.14	1.80	9.94	50.13	0.00	0.00	36.00	0.98	0.72	1.14	3.78	1.71	11.95	78.00	0.00	0.47	3.54	0.54	0.05	4.09	17.43	0.00	5.52	59.98	0.00	1.82	14.26	1.00	0.24	18.63	0.00	0.13	1.68	67.54	0.00	0.00	29.60	1.06	0.44	0.00
PONTO 09	1.18	1.20	12.72	60.94	0.00	0.00	23.77	0.19	0.39	1.18	2.66	2.04	14.05	74.18	0.00	0.44	4.61	2.03	0.06	2.95	20.09	0.00	4.44	62.58	0.00	2.16	10.29	0.43	0.16	21.51	0.31	0.78	5.80	71.61	0.00	0.03	21.01	0.47	0.29	0.33
PONTO 10	1.85	1.74	9.65	38.01	0.00	0.00	48.25	0.51	1.27	1.85	3.37	0.97	10.71	80.47	0.00	1.17	3.08	0.24	0.04	4.14	22.21	0.00	2.14	57.37	0.00	1.34	15.91	1.02	0.28	23.09	0.92	1.24	8.32	64.18	0.00	0.00	24.48	0.87	0.38	0.92
PONTO 11	1.17	1.11	8.06	88.10	0.00	0.12	1.44	0.00	0.02	1.25	3.25	2.16	11.45	78.84	0.00	0.65	3.21	0.44	0.04	3.68	18.54	0.04	3.69	57.44	0.00	1.78	17.15	1.37	0.30	19.71	0.88	1.40	8.32	69.16	0.00	0.00	19.63	0.60	0.28	0.88
PONTO 12	1.32	1.83	9.65	82.45	0.00	0.01	4.74	0.00	0.06	1.33	5.32	0.00	0.53	86.61	0.00	0.88	6.66	0.00	0.08	5.90	20.09	0.00	2.50	56.01	0.00	1.83	17.95	1.62	0.32	21.29	0.14	0.26	1.47	77.92	0.00	0.20	19.34</			

AMOSTRA 27 – GRANITO
CIDADE: GASPAR
ESTADO: SANTA CATARINA

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq
PONTO 01	3,49	0,00	1,65	48,84	0,00	0,21	45,48	0,34	0,93	3,63	7,28	0,00	1,50	48,16	0,00	0,98	41,82	0,26	0,87	7,92	18,12	0,00	3,30	58,88	0,00	0,85	18,59	0,26	0,32	18,68	7,17	0,00	5,52	42,99	0,00	0,61	43,20	0,51	1,00	7,57
PONTO 02	3,61	0,51	1,64	56,58	0,00	0,26	37,39	0,00	0,66	3,78	5,67	0,00	1,71	53,23	0,00	1,52	37,46	0,41	0,70	6,67	18,00	0,00	2,32	60,14	0,00	0,71	18,83	0,00	0,31	18,47	5,60	0,43	4,35	40,23	0,29	0,07	47,13	1,89	1,17	5,65
PONTO 03	2,16	0,64	1,92	44,57	0,00	0,41	50,28	0,02	1,13	2,43	8,75	0,81	9,30	49,73	0,00	0,55	30,17	0,69	0,61	9,11	13,67	0,00	2,61	60,05	0,00	0,84	22,52	0,30	0,38	14,22	8,32	0,48	10,90	41,32	0,00	0,17	38,09	0,71	0,92	8,43
PONTO 04	4,94	0,00	1,28	52,32	0,00	0,24	41,21	0,00	0,79	5,10	3,71	0,00	4,17	37,30	0,00	0,17	53,48	1,17	1,43	3,82	20,28	0,00	3,79	56,67	0,00	1,15	17,63	0,49	0,31	21,04	6,73	0,00	6,34	44,59	0,00	0,00	42,01	0,34	0,94	6,73
PONTO 05	2,98	0,11	1,21	38,69	0,00	0,00	56,36	0,64	1,46	2,98	4,58	0,00	1,91	46,23	0,00	0,50	46,54	0,23	1,01	4,91	17,35	0,00	2,54	58,23	0,00	1,07	20,80	0,01	0,36	18,05	9,22	0,66	10,48	42,68	0,00	0,00	36,45	0,52	0,85	9,22
PONTO 06	3,04	0,00	0,69	39,34	0,25	0,07	38,57	0,26	0,98	3,09	5,76	0,00	1,81	51,97	0,00	0,56	39,49	0,40	0,76	6,13	18,93	0,00	2,85	57,27	0,00	0,93	19,77	0,25	0,35	19,54	7,46	0,00	6,47	44,12	0,00	0,05	41,56	0,34	0,94	7,49
PONTO 07	6,71	0,23	1,54	57,46	0,00	0,36	33,69	0,00	0,59	6,95	4,70	0,00	1,76	53,55	0,00	1,04	38,37	0,58	0,72	5,38	27,22	0,00	4,25	54,12	0,00	0,63	13,79	0,00	0,25	27,63	8,69	0,54	11,26	42,89	0,00	0,00	35,83	0,79	0,84	8,69
PONTO 08	4,51	0,00	1,51	50,43	0,00	0,31	43,20	0,04	0,86	4,71	6,87	0,00	2,24	51,70	0,00	1,33	37,67	0,20	0,73	7,75	17,74	0,00	2,65	58,81	0,00	0,99	19,24	0,56	0,33	18,39	4,03	0,00	10,33	40,55	0,00	0,00	44,23	0,87	1,09	4,03
PONTO 09	5,59	0,00	1,50	50,15	0,00	0,40	42,35	0,00	0,84	5,85	5,01	0,23	2,49	53,24	0,00	1,42	36,90	0,71	0,69	5,94	16,27	0,17	1,84	59,80	0,00	0,77	20,98	0,16	0,35	16,78	4,56	0,00	4,47	42,32	0,00	0,00	47,96	0,70	1,13	4,56
PONTO 10	3,89	0,00	0,76	42,05	0,00	0,00	53,30	0,00	1,27	3,89	8,76	0,00	1,39	56,44	0,00	1,22	32,02	0,17	0,57	9,56	16,67	0,00	2,48	60,65	0,00	0,40	19,70	0,10	0,32	16,93	5,37	0,00	4,45	41,70	0,00	0,00	47,62	0,85	1,14	5,37
PONTO 11	4,11	0,23	1,86	50,98	0,00	0,02	42,19	0,61	0,83	4,12	9,67	1,29	9,54	49,40	0,00	0,85	28,23	1,01	0,57	10,23	21,03	0,00	3,49	56,14	0,00	0,51	18,82	0,01	0,34	21,37	6,97	0,00	3,94	41,41	0,00	0,12	47,03	0,52	1,14	7,05
PONTO 12	3,59	0,03	1,41	51,61	0,00	0,16	42,90	0,30	0,83	3,70	2,51	0,00	2,19	45,27	0,00	1,19	47,07	1,76	1,04	3,29	13,67	0,00	2,32	56,67	0,00	0,99	18,83	0,20	0,33	14,32	8,23	0,00	5,05	43,07	0,00	0,00	43,38	0,28	1,01	8,23
PONTO 13	6,42	0,12	1,33	45,20	0,00	0,05	46,69	0,20	1,03	6,45	2,64	0,00	1,89	45,31	0,00	1,23	48,48	0,45	1,07	3,45	20,97	0,00	3,43	57,06	0,00	0,89	17,20	0,46	0,30	21,56	6,87	0,00	4,84	43,32	0,00	0,02	44,25	0,70	1,02	6,88
PONTO 14	4,46	0,16	1,22	45,17	0,00	0,27	48,50	0,23	1,07	4,64	7,00	1,42	8,08	38,19	0,00	0,49	40,32	4,49	1,06	7,32	24,14	0,00	3,76	53,62	0,00	0,73	17,47	0,28	0,33	24,62	5,46	0,00	4,84	43,29	0,00	0,00	45,05	1,36	1,04	5,46
PONTO 15	2,93	0,00	1,50	54,58	0,00	0,57	40,42	0,00	0,74	3,31	6,69	0,16	1,31	48,70	0,00	1,51	40,74	0,89	0,84	7,68	19,07	0,00	4,47	57,32	0,00	1,34	17,65	0,15	0,31	19,95	3,88	9,22	3,99	46,89	0,00	0,00	21,12	14,90	0,45	3,88
PONTO 16	2,08	0,21	1,57	43,30	0,00	0,00	52,42	0,43	1,21	2,08	6,04	0,03	1,76	52,22	0,00	1,69	38,26	0,00	0,73	7,15	26,68	0,00	4,03	51,93	0,00	0,54	16,58	0,24	0,32	27,04	7,54	0,00	5,65	44,21	0,00	0,00	41,70	0,89	0,94	7,54
MÉDIA:	4,03	0,14	1,41	48,20	0,02	0,21	44,68	0,19	0,95	4,17	5,98	0,25	3,32	48,79	0,00	1,02	39,81	0,84	0,84	6,65	19,36	0,01	3,13	57,34	0,00	0,83	18,65	0,22	0,32	19,91	6,63	0,71	6,43	42,85	0,02	0,07	41,66	1,64	0,98	6,67

AMOSTRA 30 – AREIA DE RIO
CIDADE: SANTA MARIA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq
PONTO 01	0,78	1,73	6,94	43,06	0,00	0,51	46,43	0,55	1,08	1,12	13,56	0,00	3,17	63,14	0,00	0,90	19,23	0,00	0,30	14,15	2,35	0,00	1,62	57,45	0,00	2,08	36,51	0,00	0,64	3,72	1,64	1,07	11,80	46,27	0,00	0,97	37,53	0,71	0,81	2,28
PONTO 02	0,49	0,68	5,60	70,69	0,00	0,21	21,69	0,64	0,31	0,63	13,88	0,00	3,12	62,34	0,00	0,94	17,00	2,73	0,27	14,50	1,44	0,00	0,91	52,02	0,00	2,34	43,29	0,00	0,83	2,98	1,14	0,83	10,15	47,52	0,00	1,19	38,19	0,97	0,80	1,92
PONTO 03	0,94	1,02	6,36	69,59	0,00	0,24	21,68	0,17	0,31	1,10	12,32	0,00	3,12	63,32	0,00	0,93	18,71	1,60	0,30	12,93	3,08	0,13	2,08	59,10	0,00	1,86	33,47	0,27	0,57	4,30	0,53	0,48	2,46	76,68	0,00	0,63	18,95	0,27	0,25	0,94
PONTO 04	0,68	0,65	5,72	66,40	0,00	0,34	26,11	0,11	0,39	0,90	17,75	0,00	3,60	64,01	0,00	0,49	13,76	0,39	0,21	18,07	3,89	0,34	1,72	61,14	0,00	2,33	30,36	0,22	0,50	5,42	2,14	1,69	10,82	49,16	0,00	1,00	32,18	3,01	0,65	2,80
PONTO 05	1,39	2,11	8,58	43,40	0,00	0,86	43,68	0,00	1,01	1,96	12,58	0,00	2,92	58,68	0,00	0,72	21,39	3,70	0,36	13,05	12,29	0,00	1,99	64,13	0,00	2,04	18,46	1,09	0,29	13,63	0,90	0,22	1,31	80,30	0,00	0,20	15,72	1,36	0,20	1,03
PONTO 06	1,07	1,51	6,68	46,53	0,00	0,18	43,55	0,48	0,94	1,19	16,37	0,00	2,09	62,22	0,00	0,39	18,92	0,00	0,30	16,63	13,40	0,02	1,59	61,13	0,00	0,00	22,75	1,10	0,37	13,40	0,54	0,55	3,96	47,69	0,00	1,90	43,83	1,53	0,92	1,79
PONTO 07	0,77	1,04	2,86	47,37	0,00	0,00	47,00	0,95	0,99	0,77	18,18	0,00	1,50	65,16	0,00	0,72	14,44	0,00	0,22	18,65	7,28	0,59	2,35	59,48	0,00	3,00	27,26	0,05	0,46	9,25	0,47	0,31	3,57	40,50	0,00	2,15	51,57	1,42	1,27	1,88
PONTO 08	1,02	1,35	7,25	52,21	0,00	0,63	36,98	0,55	0,71	1,43	17,67	0,00	1,90	60,41	0,00	0,92	17,37	1,73	0,29	18,28	26,85	0,00	2,92	62,85	0,00	1,44	5,19	0,76	0,08	27,80	0,00	0,07	3,58	51,90	0,00	1,66	41,48	1,30	0,80	1,09
PONTO 09	1,16	1,49	7,42	56,77	0,00	0,57	31,79	0,78	0,56	1,54	16,96	0,00	1,95	63,79	0,00	0,94	16,10	0,27	0,25	17,58	24,35	0,00	4,07	61,42	0,00	1,21														

AMOSTRA 38 - RIOLITO
CIDADE: FLORES DA CUNHA
ESTADO: RIO GRANDE DO SUL

	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	K ₂ O	CaO	Fe ₂ O ₃	CaO/SiO ₂	Na ₂ Oeq
PONTO 01	8,74	0,53	5,51	39,33	0,00	0,00	44,17	1,72	1,12	8,74	3,84	2,54	14,41	54,66	0,00	0,22	23,92	0,41	0,44	3,98	8,92	0,00	3,29	39,07	0,00	0,00	43,94	4,77	1,12	8,92	9,51	0,00	1,20	73,72	0,00	1,30	13,58	0,70	0,18	10,37
PONTO 02	8,14	0,00	6,33	42,82	0,00	0,06	42,65	0,00	1,00	8,18	3,30	2,71	14,71	55,37	0,00	0,45	22,61	0,86	0,41	3,60	9,18	0,00	0,00	31,54	0,00	0,00	55,62	3,66	1,76	9,18	6,22	1,32	8,72	67,00	0,00	1,38	14,80	0,55	0,22	7,13
PONTO 03	13,41	0,00	3,52	40,43	0,00	0,00	41,45	1,18	1,03	13,41	7,07	3,18	14,74	55,15	0,00	0,31	19,56	0,00	0,35	7,27	9,83	0,00	1,69	36,55	0,00	0,30	45,63	6,00	1,25	10,03	4,23	0,00	2,81	61,50	0,00	2,62	26,78	2,07	0,44	5,95
PONTO 04	18,31	0,00	5,37	40,72	0,00	0,24	34,92	0,46	0,86	18,47	6,74	3,14	15,30	58,56	0,00	0,26	16,00	0,00	0,27	6,91	9,65	2,52	13,63	42,18	0,00	0,48	28,58	2,97	0,68	9,97	3,24	0,00	2,48	59,81	0,00	1,94	28,67	3,85	0,48	4,52
PONTO 05	20,16	0,00	4,94	40,14	0,00	0,00	34,06	0,70	0,85	20,16	7,02	1,91	12,93	62,57	0,00	0,15	15,44	0,00	0,25	7,12	10,63	0,00	1,38	31,07	0,00	0,00	54,82	2,10	1,76	10,63	6,10	3,04	13,75	67,98	0,00	1,08	6,61	1,43	0,10	6,81
PONTO 06	20,12	0,00	5,89	40,10	0,00	0,02	32,65	1,22	0,81	20,13	10,02	0,00	3,72	67,80	0,00	0,07	17,72	0,67	0,26	10,07	10,50	1,94	14,36	38,86	0,00	0,27	33,43	0,63	0,86	10,68	7,11	0,59	6,98	71,76	0,00	1,02	12,31	0,23	0,17	7,78
PONTO 07	20,49	0,00	4,88	37,55	0,00	0,00	36,53	0,55	0,97	20,49	3,65	2,61	13,75	56,71	0,00	0,29	22,94	0,05	0,40	3,84	9,48	2,86	16,04	42,50	0,00	0,25	26,03	2,84	0,61	9,64	8,05	0,71	8,86	70,63	0,00	1,05	10,39	0,32	0,15	8,74
PONTO 08	3,22	1,84	34,53	53,11	0,00	0,42	5,82	1,06	0,11	3,50	3,03	1,21	12,57	59,12	0,00	0,32	23,61	0,15	0,40	3,24	13,95	2,36	27,05	44,71	0,00	0,20	10,98	0,75	0,25	14,08	8,34	0,00	6,70	74,89	0,00	1,20	8,48	0,39	0,11	9,13
PONTO 09	2,23	1,01	25,66	63,77	0,00	1,23	5,50	0,60	0,09	3,04	3,80	1,62	12,53	59,81	0,00	0,41	21,60	0,23	0,36	4,07	7,92	0,00	4,20	36,71	0,00	0,00	47,16	4,02	1,28	7,92	9,64	0,13	7,44	76,55	0,00	0,86	5,38	0,00	0,07	10,21
PONTO 10	7,71	0,34	3,50	37,61	0,00	0,00	49,41	1,43	1,31	7,71	7,54	2,32	14,04	58,12	0,00	0,64	16,82	0,52	0,29	7,96	9,64	0,16	2,31	32,38	0,00	0,28	52,42	2,82	1,62	9,82	9,23	0,00	2,98	67,37	0,00	1,19	18,18	1,05	0,27	10,01
PONTO 11	16,98	0,00	3,31	47,79	0,00	0,00	27,88	4,04	0,58	16,98	3,88	1,50	12,38	62,43	0,00	0,00	18,91	0,90	0,30	3,88	6,37	2,49	15,53	38,20	0,00	0,01	36,42	0,99	0,95	6,38	4,08	0,49	7,33	62,09	0,00	2,25	21,95	1,81	0,35	5,56
PONTO 12	17,23	0,00	3,88	45,57	0,00	0,00	30,10	3,22	0,66	17,23	13,92	0,00	1,85	69,02	0,00	0,03	14,99	0,18	0,22	13,94	4,79	0,64	3,38	33,28	0,00	0,00	55,54	2,38	1,67	4,79	8,75	0,69	7,48	71,38	0,00	1,11	10,00	0,59	0,14	9,48
PONTO 13	16,86	0,71	3,45	46,29	0,00	0,00	29,75	2,93	0,64	16,86	10,67	3,29	17,20	58,53	0,00	0,25	9,53	0,53	0,16	10,83	7,37	2,13	14,75	35,09	0,00	0,13	37,73	2,79	1,08	7,46	8,27	1,18	14,90	66,01	0,00	1,86	6,62	1,16	0,10	9,49
PONTO 14	6,68	0,00	2,87	40,93	0,00	0,00	46,28	3,24	1,13	6,68	9,19	2,59	13,60	62,07	0,00	0,21	11,45	0,88	0,18	9,33	11,55	1,89	16,37	41,43	0,00	0,00	26,48	2,27	0,64	11,55	9,41	0,50	7,57	69,52	0,00	0,92	11,46	0,62	0,16	10,02
PONTO 15	19,57	0,00	4,76	40,04	0,00	0,00	34,49	1,14	0,86	19,57	12,55	0,00	2,38	70,32	0,00	0,51	14,24	0,00	0,20	12,89	7,81	0,77	3,40	31,57	0,00	0,00	54,55	1,89	1,73	7,81	8,17	0,95	13,28	65,17	0,00	1,21	10,36	0,86	0,16	8,97
PONTO 16	20,19	0,00	6,16	42,17	0,00	0,00	30,48	1,00	0,72	20,19	14,06	0,00	4,09	66,09	0,00	0,01	15,37	0,37	0,23	14,07	9,96	0,00	2,84	33,49	0,00	0,45	51,56	1,70	1,54	10,26	10,17	0,00	7,41	69,79	0,00	1,10	11,11	0,42	0,16	10,89
MÉDIA:	13,75	0,28	7,79	43,65	0,00	0,12	32,88	1,53	0,75	13,83	7,52	1,79	11,26	61,02	0,00	0,26	17,79	0,36	0,29	7,69	9,22	1,11	8,76	36,79	0,00	0,15	41,31	2,66	1,12	9,32	7,53	0,60	7,49	68,45	0,00	1,38	13,54	1,00	0,20	8,44

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)