

**Reação álcali-agregado - mapeamento de agregados reativos
do estado de São Paulo**

Laila Valduga

Campinas

2002

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

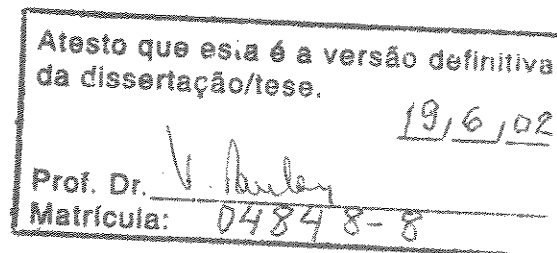
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**Reação álcali-agregado - mapeamento de agregados reativos
do Estado de São Paulo**

Laila Valduga

Orientador: Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon

Dissertação de mestrado apresentada à Comissão de pós-graduação da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil, na área de concentração de Edificações.



Campinas, SP

2002

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL

UNIDADE 80
Nº CHAMADA T/UNICAMP
V233r
V EX
TOMBO BC/ 60359
PROC 16-837/00
C DX
PREÇO R\$ 11,00
DATA 15/08/02
Nº CPD

CM00172632-1

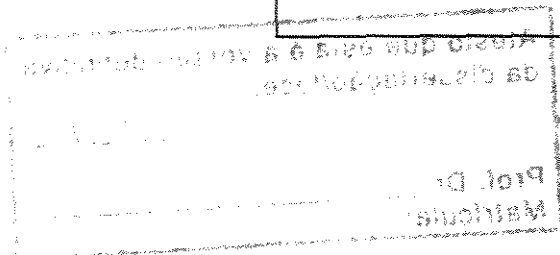
BIB ID 255813

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

V233r Valduga, Laila
Reação álcali-agregado – mapeamento de agregados
reativos do Estado de São Paulo / Laila Valduga.--
Campinas, SP: [s.n.], 2002.

Orientador: Vladimir Antonio Paulon.
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

1. Concreto. 2. Materiais de construção -
Durabilidade. 3. Agregados (Materiais de construção).
4. Patologia de construção. I. Paulon, Vladimir
Antonio. II. Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.



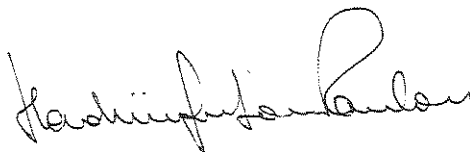
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**Reação álcali-agregado - mapeamento de agregados reativos
do Estado de São Paulo**

Laila Valduga

Dissertação de mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por :



Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon
Presidente e Orientador / FEC - Unicamp



Prof.ª Dr.ª Inês Joeques
IQ - Unicamp



Prof.ª Dr.ª Gládis Camarini
FEC - Unicamp

Campinas, 08 de março de 2002.

UNICAMP
BIBLIOTECA CENTRAL
SEÇÃO CIRCULANTE

023/143

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, meus pais e minha irmã, em primeiro lugar por serem as pessoas que mais amo, e por achar que um trabalho feito com tanto empenho deva ser oferecido somente à pessoas assim. E também por terem possibilitado a realização deste projeto, através do seu apoio nas mais diversas formas: sua companhia nas melhores horas, seu conselho nas piores, e seu carinho em todas elas.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Vladimir Antonio Paulon, do Departamento de Arquitetura e Construção da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, por ter aceito o meu projeto tão prontamente e por tê-lo lapidado, polido e o adequado até chegarmos nesta pesquisa. Sua competência e vasta experiência foram fundamentais para o desenvolvimento de todo o projeto. Também agradeço pelo carinho, que tornou tão fácil e agradável a nossa convivência.

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, pela concessão da bolsa de Mestrado e de Reserva Técnica para o financiamento da pesquisa (processo FAPESP 00/09161-7).

À Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp e ao corpo de professores do curso de Mestrado, área de Edificações, pelo conhecimento a mim transmitido neste dois anos. Também à equipe do Laboratório de Estruturas e Construção Civil da FEC, em especial aos técnicos Marçal, Marcelo, Luciano, Ademir, Rodolfo e Antônio Carlos, pela pronta disposição que me dedicaram. Dividiram comigo, sempre que puderam, as tarefas mais pesadas e sempre com muita gentileza.

Ao Laboratório de Materiais e Estruturas do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LAME-LACTEC, em Curitiba-PR, onde a grande maioria da parte experimental foi realizada. É difícil citar nomes, já que no LAME deixei muitos amigos queridos, conquistados em 3 anos de convivência no período que lá estagiei. Porém alguns deles merecem uma atenção especial. Ao Ruy Dikran Steffen, gerente da Área de Estruturas Cíveis (ACIV), Paulo Roberto Chamecki, líder da Unidade de Tecnologia de Geotecnia (UTGT), e José Ricardo Nogueira, líder de unidade na época de início dos ensaios, pela aprovação e consentimento da

realização dos ensaios. Ao professor José Marques Filho, que me encaminhou para o mestrado. Aos técnicos Rosane Carvalho Dias, da área de Ensaios Químicos, pela paciência e interesse despendidos à minha pesquisa, e Mariano Blaskievicz, técnico da área de Ensaios Físicos, que trabalhou na minha pesquisa com tanto entusiasmo quanto eu e me auxiliou incondicionalmente quando precisei. Aos demais amigos e profissionais do Lame: Eustáquio, Zorzi, João, Irene, Herlene e Marco, pelo carinho com que me receberam e me auxiliaram.

À Área de Materiais e Química (AMAT) também do LACTEC, onde foram realizados os ensaios de microscopia, nas pessoas do Dr. Kleber Franke Portella, químico da área, e do técnico Paulo Brixel, que me atenderam e encontraram lugar entre seus inúmeros afazeres para me orientar.

À geóloga Dr^a Sílvia Regina S. S. Vieira, da Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), pela extensa orientação prestada na área de geologia e por sugestões preciosas à esta pesquisa. Foi de grande valia o seu auxílio nesta área onde um grande salto nos conhecimentos necessitou ser dado.

Ao Instituto de Geociências da Unicamp, por ter tornado possível o uso de equipamentos e por serviços prestados, nas pessoas da professora Jacinta, técnicos Deivson e Maria Aparecida, e estagiário Hélio.

À Holdercim Brasil S.A., na pessoa do Eng. Francisco Mezzalira, pela doação do cimento empregado na pesquisa e pelos contatos realizados.

Aos amigos e colegas de mestrado Fernando Ernlund Freitas, Carlos Eduardo Biz, Celso Maas, Zuleika de Sá Resende e Roberto Falaschi, companheiros desta etapa de vida. Em especial à amiga Aline Rosa Martins, colega de mestrado com que dividi a casa, as alegrias e os problemas, e com quem os laços de afeto foram estreitados nestes anos em Campinas. Ao Rafael, que ouviu meus relatórios diários do progresso da pesquisa, com muita paciência e carinho.

Enfim, agradeço a Deus pelos erros e acertos, e por Ele estar sempre ao meu lado.

*"...A ciência não se aprende
a ciência apreende
a ciência em si...
...A ciência não se ensina
a ciência insemina
a ciência em si
Se o que se pode ver, ouvir, pegar, medir, pesar
do avião a jato ao jaboti
desperta o que ainda não, não se pôde pensar
Do sono eterno ao eterno devir
como a órbita da Terra abraça o vácuo devagar
Pra alcançar o que já estava aqui..."*

Gilberto Gil e Arnaldo Antunes, 1997. A ciência em si.

SUMÁRIO

RESUMO.....	x
1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO	1
2 A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO.....	3
2.1 Histórico e panorama de casos de reação.....	4
2.2 O mecanismo da reação.....	8
2.3 Tipos de reação.....	17
2.3.1 Reação álcali-sílica.....	17
2.3.2 Reação álcali-silicato.....	18
2.3.3 Reação álcali-carbonato.....	19
3 FATORES QUE INFLUENCIAM A REAÇÃO.....	21
3.1 Agregados.....	21
3.2 Umidade e temperatura.....	24
3.3 Relação água/ materiais cimentícios.....	27
3.4 Teor de ar incorporado.....	29
3.5 Adições minerais.....	30
4 METODOLOGIAS USADAS NA INVESTIGAÇÃO DE RAA.....	34

4.1 Análise petrográfica.....	35
4.2 Método Osipov.....	37
4.3 Método das barras.....	37
4.4 Método acelerado.....	38
4.5 Método químico.....	40
4.6 Método das rochas carbonáticas.....	42
4.7 Microscopia eletrônica de varredura.....	42
5 METODOLOGIA	44
5.1 Materiais	44
5.1.1 Cimento	44
5.1.2 Agregados	45
5.2 Métodos	51
5.2.1 Coleta das amostras	52
5.2.2 Análise petrográfica.....	52
5.2.2.1 Preparo das amostras.....	52
a) Agregados graúdos.....	52
b) Agregados miúdos.....	53
5.2.2.2 Análise.....	53
5.2.3 Determinação da reatividade potencial.....	54
5.2.3.1 Preparo das amostras.....	54
5.2.3.2 Método acelerado.....	56
5.2.3.3 Método químico.....	62

5.2.4 Microscopia eletrônica de varredura.....	64
6 RESULTADOS E ANÁLISE.....	65
6.1 Análise petrográfica	65
6.1.1 Agregados graúdos.....	66
6.1.2 Agregados miúdos.....	79
6.2 Determinação da reatividade potencial.....	88
6.2.1 Método acelerado.....	88
6.2.1.1 Resultados de expansão.....	88
6.2.1.2 Análise visual.....	108
6.2.2 Método químico.....	111
6.3 Microscopia eletrônica de varredura.....	131
6.4 Síntese dos resultados.....	148
7 CONCLUSÕES.....	155
ANEXOS.....	160
ANEXO A - Resumo da análise do cimento.....	161
ANEXO B - Caracterização dos agregados.....	163
ANEXO C - Planilhas de ensaio de reatividade potencial pelo método acelerado.....	200
ANEXO D - Planilhas de ensaio de reatividade potencial pelo método químico.....	204
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	207
ABSTRACT	213

RESUMO

Valduga, Laila. Reação álcali-agregado: mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 223 p. Dissertação de Mestrado.

A reação álcali-agregado é uma deterioração do concreto associada à reações químicas espontâneas, para a qual os procedimentos de reparo são apenas paliativos. Tendo em vista a prevenção da reação, esta pesquisa teve por objetivo fazer uma avaliação e caracterização frente ao critério de potencialidade reativa de agregados do estado de São Paulo. Também teve por proposta fazer um mapeamento de agregados reativos na região estudada. Foram empregados os métodos de análise petrográfica, determinação da reatividade potencial pelo método acelerado e pelo método químico, e ainda como auxiliar a microscopia eletrônica de varredura. Dos 26 locais de onde foram coletadas amostras para ensaio, em 16 deles foram encontrados agregados reativos, ou seja, aproximadamente 60% do total. A eficiência e confiabilidade de cada método puderam ser testadas. A análise petrográfica revelou-se uma técnica muito útil, assim como o método acelerado e a microscopia eletrônica de varredura. O método químico não foi considerado eficiente para os tipos de agregados amostrados. O mapeamento obtido neste trabalho apontou diversas áreas com material potencialmente reativo à álcalis no estado de São Paulo.

Palavras-chave : concreto, durabilidade, reação álcali-agregado.

1 INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Inúmeras características conferem ao concreto o título de material de construção mais usado na Engenharia, desde a facilidade com que elementos estruturais podem ser executados, numa variedade de formas e tamanhos, até seu baixo custo e maior disponibilidade no canteiro, comparativamente a outros materiais. O concreto é tão indubitavelmente versátil, que há muito tempo vem sendo chamado de "material universal".

Porém, esse material aparentemente tão durável também sofre interações ambientais e, conseqüentemente, surgem mudanças em sua microestrutura e em suas propriedades com o passar do tempo. A durabilidade do concreto passou, então, a ser questionada nestas últimas décadas, com a constatação de que, mesmo adequadamente projetado e executado, o concreto começava a dar sinais de deterioração após um determinado período: os sinais claros de que há uma vida útil também para este "material universal".

Os custos crescentes com reparos e substituição de materiais em estruturas de concreto fazem que sejam repensados aspectos de durabilidade. É estimado que aproximadamente 40 % do total dos recursos da indústria da construção sejam investidos em reparos e manutenção, em países industrialmente desenvolvidos (MEHTA & MONTEIRO 1994). Este fato, com toda certeza, faz com que cada vez mais sejam colocados na balança não somente os fatores econômicos, mas também de durabilidade, ambientais e energéticos.

O desconhecimento da estrutura do concreto aliado à falta de qualidade das construções no passado trazem à tona os problemas atuais de patologias do concreto. Outro grande problema é a não divulgação de erros nas construções, o que impede que estes sejam evitados futuramente.

Os processos de deterioração que interferem na durabilidade do concreto são vários e podem ser classificados como processos físicos e químicos. Entre os processos químicos mais importantes estão a corrosão, penetração de cloretos, carbonatação, ataque por sulfatos e reação álcali-agregado.

A reação álcali-agregado constitui uma deterioração associada a reações químicas espontâneas que, uma vez iniciadas em uma estrutura, não são possíveis de serem detidas, tornando os procedimentos de reparo até hoje empregados de efeito apenas paliativo. A prevenção é, segundo alguns autores (VIEIRA *et al*, 1996), a única maneira atualmente conhecida de evitar os danos a ela relacionados.

Tendo em vista a prevenção deste tipo de deterioração do concreto, esta pesquisa teve por objetivo fazer uma melhor avaliação dos agregados do Estado de São Paulo. Os agregados de determinadas regiões foram caracterizados e classificados segundo o critério de potencialidade reativa frente à álcalis. Buscou-se com isso delimitar áreas em que podem ser encontrados agregados reativos e agregados inócuos.

Os métodos empregados foram análise petrográfica, determinação da reatividade potencial pelos métodos acelerado e químico e microscopia eletrônica de varredura. Os agregados foram classificados segundo os três primeiros métodos e, para aqueles cujos resultados apresentaram discordância, realizaram-se ensaios de microscopia eletrônica de varredura. A repetição de cada ensaio para as 36 amostras coletadas possibilitou uma análise da eficiência e aplicabilidade dos métodos citados.

O presente estudo também teve por proposta fazer um mapeamento de agregados reativos na região estudada, estabelecendo correlações entre áreas contendo jazidas de material reativo à álcalis.

2 A REAÇÃO ÁLCALI-AGREGADO

A reação álcali-agregado pode ser definida como um tipo de degradação que afeta o concreto através de um fenômeno de expansão. Os efeitos decorrentes da natureza expansiva da reação álcali-agregado (RAA) são diversos, e a fissuração só ocorre se uma expansão se desenvolve.

A velocidade de desenvolvimento e magnitude das deformações vão depender de um grande número de fatores, primeiramente a natureza e quantidade disponível de agregados reativos, níveis de álcalis no cimento, temperatura ambiente, disponibilidade de umidade e de eventuais restrições físicas à expansão, que podem ser internas e externas.

Os principais sintomas decorrentes da RAA podem ser notados por (adaptado de ANDRIOLO, 1999):

- Microfissuras no concreto, principalmente na argamassa que preenche o espaço entre os agregados graúdos;
- Fissuras na proximidade da superfície dos agregados graúdos, podendo também ocorrer na interface;
- Descolamento (perda de aderência) da argamassa junto a superfície dos agregados graúdos;
- Possibilidade de ocorrência de bordas de reação ao redor dos agregados que reagiram com os álcalis;
- Presença de gel exsudando ou preenchendo vazios no concreto;

- Movimentação (abertura e/ou deslocamento relativo) de juntas de contração e de concretagem;
- Travamento e/ou deslocamento de equipamentos e peças móveis (comportas, turbinas, eixos, pistões, etc.);
- Fissuração característica na superfície, com panorama poligonal, havendo predominância na direção de maior dimensão. Em vários casos é confundida com o panorama de reação por sulfatos ou até mesmo retração por secagem (quando as fissuras são de pequena abertura), e com o panorama de fissuração por origem térmica (quando as fissuras são de grande abertura);
- Fissuras de grande abertura, transversais à maior dimensão da estrutura;
- Movimentação das superfícies livres (alteamento de cristas de barragens e soleiras de vertedouros, deflexões para montante nas estruturas de barragens).

Essa fissuração ocorrida pode levar à penetração de água com transporte de elementos agressivos e ainda à perda de estanqueidade.

2.1 Histórico e panorama de casos da reação

Os primeiros casos de deterioração foram descritos por Blanks & Kennedy (1955) (citados em METHA & MONTEIRO, 1994), nos Estados Unidos. De acordo com estes dois autores a primeira vez que se observou deterioração por reação álcali-agregado foi em 1922, na Usina Hidroelétrica de Buck no New River (Virgínia), apenas dez anos após a sua construção. Ao longo das décadas de 1920 e 1930 um grande número de fissuras foram observadas nas pontes, barragens e pavimentos ao longo da costa da Califórnia.

O reconhecimento da reação como um problema ocorreu por volta de 1940, na América do Norte. Daí em diante ela foi detectada em diversas regiões do mundo. Na Dinamarca nos anos

50, na Alemanha Ocidental nos anos 60, no Reino Unido em meados dos anos 70 e no Japão nos anos 80, segundo HOBBS (1988).

Stanton (citado em METHA & MONTEIRO, 1994), um engenheiro americano, publicou em 1940 um artigo relatando ocorrência de reação na Califórnia. A partir de então, evidências de deteriorações similares foram descobertas em diversos outros Estados. Já são mais de 60 anos de pesquisa a respeito, registrando-se casos históricos, avaliação do mecanismo do fenômeno e maneiras de minimizar seus efeitos. Ao longo destes anos, a reação tem provocado a desagregação seguida de recuperação ou desativação de estruturas de concreto em muitos países.

Um exemplo do efeito da reação álcali-agregado em estruturas pode ser visto na Figura 01. A imagem mostra o parapeito da barragem de Val-de-la-Mare (U.K.), onde é notável o desalinhamento causado pelo movimento diferencial de blocos adjacentes resultante da expansão devida à reação álcali-agregado.

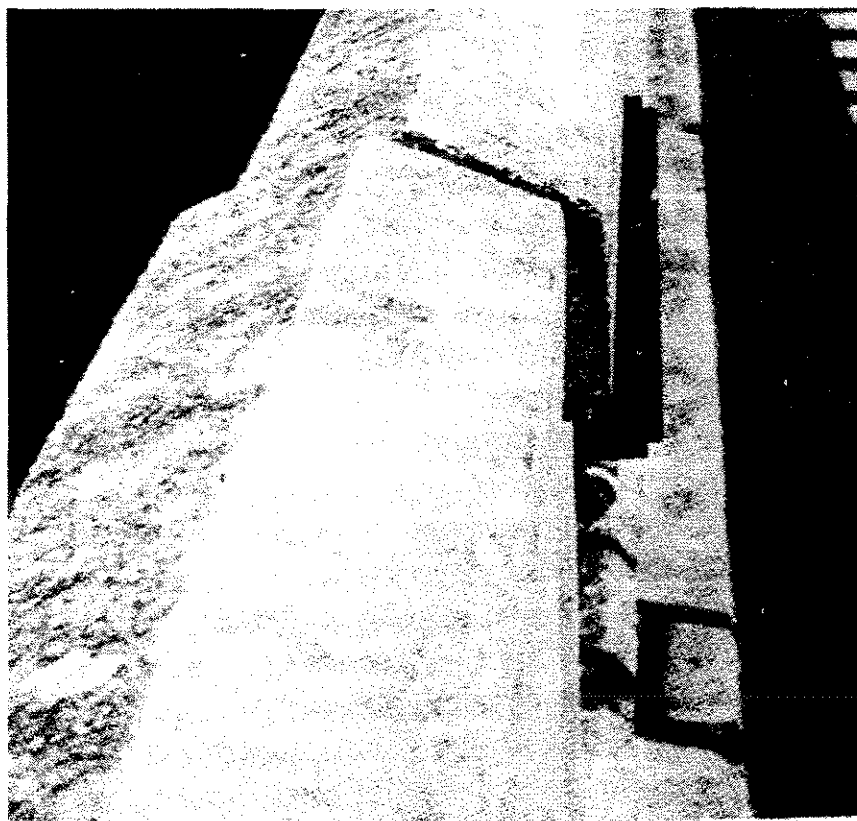


Figura 01 - Parapeito da barragem de Val-de-la-Mare: desalinhamento causado por RAA.

[Fonte : MEHTA & MONTEIRO, 1994]

A deterioração causada pela reação também pode ser vista nas Figuras 02 e 03. A Figura 02 mostra uma estrutura viária de concreto armado na África do Sul, com um quadro avançado de fissuração. Na foto da Figura 02 tinham se passado 19 anos da sua construção. Após mais 9 anos a estrutura foi demolida e reconstruída. A foto da Figura 03 é de um dos pilares de uma ponte localizada no Japão. Pode se observar a superfície bastante fissurada.

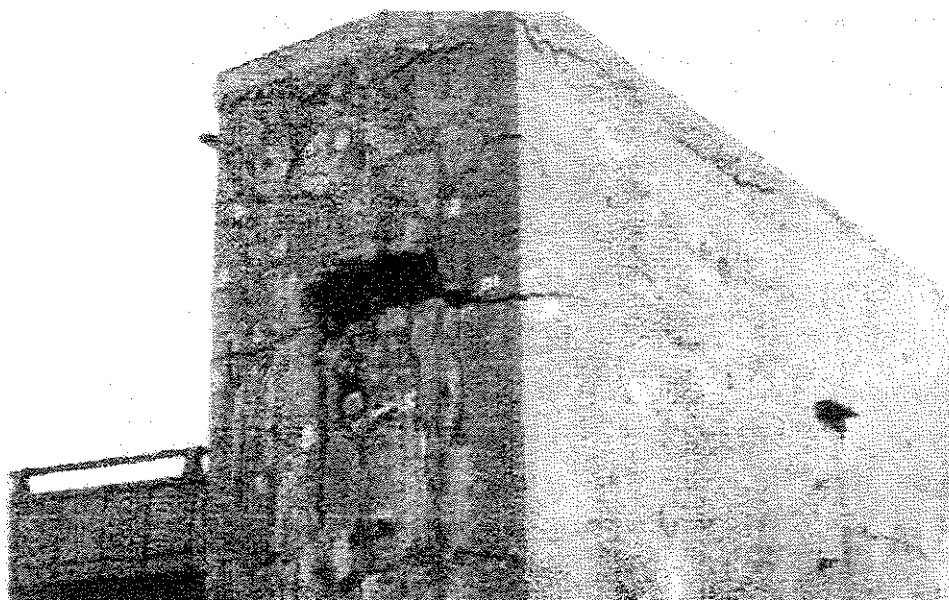


Figura 02 - Deterioração do concreto em uma estrutura viária na África do Sul, causada por RAA.
[Fonte: BLIGHT & BALLIM, 2000]

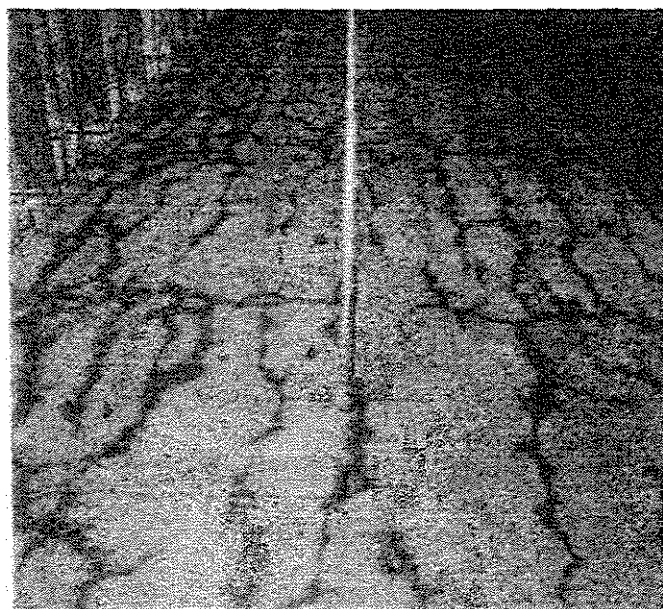


Figura 03 - Fissuras causadas por RAA no pilar de uma ponte no Japão. [Fonte: TOORII *et al*, 2000]

Considera-se hoje que vastos depósitos de agregados reativos estão localizados nos Estados Unidos, leste do Canadá, Austrália, Nova Zelândia, África do Sul, Alemanha, Inglaterra e Islândia. No Canadá, aproximadamente 30% dos problemas relacionados à durabilidade de barragens estão associados à reação álcali-agregado (VIEIRA *et al*, 1996). Há países como a África do Sul, que entre 1970 e 1996 gastou cerca de trezentos milhões de dólares em reparos e manutenção de estruturas afetadas por reação álcali-agregado e há outros em que aproximadamente 25% das estruturas de barragens está afetada pela reação (ANDRIOLO, 1999).

No Brasil este panorama não é muito diferente. Pesquisas desenvolvidas por PAULON (1981) apontam o Brasil como quarto país no mundo em ocorrência de reação álcali-agregado, um número calculado apenas a partir dos casos relatados. As primeiras pesquisas sobre o assunto começaram a surgir na década de 80 (PAULON, 1981) e, embora não haja números precisos, vários relatos indicam evidências de reação em barragens brasileiras em que aparecem movimentações e fissurações.

ANDRIOLO (2000), em estudo recente, relata os casos de barragens afetadas por reação álcali-agregado no Brasil. As 830 barragens brasileiras perfazem um total de aproximadamente 62 700 000 m³ de concreto, sendo que o primeiro caso de reação observado no Brasil foi nos estudos dos agregados utilizados na barragem de Jupia. O autor cita ao menos 19 casos de barragens afetadas por reação álcali-agregado, onde as estruturas atingidas não se limitam apenas às barragens em si: são também Tomadas d'Água, Casas de força e Vertedouros. Em estruturas onde são instalados equipamentos hidrodinâmicos e elétricos, como geradores e turbinas, as consequências são ainda maiores, no caso de eventuais danos. Desníveis milimétricos provocados por expansões nessas estruturas podem causar paralisação de máquinas em hidrelétricas.

Desde 1974, realizam-se seminários internacionais e publicam-se todos os anos diversos artigos no mundo todo a respeito desse assunto, dada a sua extrema importância, a partir do momento em que deteriora estruturas de vulto e valor.

Embora maior atenção seja dada a barragens afetadas pela reação, salienta-se que diversas outras estruturas também sofrem tal deterioração, tais como obras portuárias, blocos de fundação, pontes, viadutos, dormentes de concreto, pistas de aeroportos, túneis e estruturas rodoviárias.

2.2 O mecanismo da reação

A RAA é um processo químico que envolve íons alcalinos (Na e K, provenientes, principalmente, do cimento, mas também da água de amassamento do concreto, de pozolanas e de agentes externos), íons hidroxilas (OH^-) e certos constituintes mineralógicos do agregado.

Ao se hidratar o cimento produz silicato de cálcio hidratado, hidróxido de cálcio e sulfoaluminato de cálcio. Na hidratação do cimento os íons cálcio são incorporados nos produtos de hidratação, mas sódio e potássio permanecem na solução e eventualmente são parcialmente incorporados nos silicatos de cálcio hidratados (C-S-H) e monossulfatos (FERRARIS, 2000).

Com a continuação da hidratação e dissolução dos componentes alcalinos do cimento na água de amassamento, a solução vai se tornando alcalina ($\text{pH} \cong 13,5$). Os íons hidroxilas e os álcalis solúveis contribuem para o aumento do pH. Este fator, associado a agregados reativos e álcalis disponíveis, favorecem muito a ocorrência de reação.

Nesse meio (pH alto), algumas rochas (agregados compostos de sílica e minerais silicosos) não permanecem estáveis em longos períodos. Isto porque o pH alcalino aumenta muito a dissolução da sílica. Para exemplificar, a solubilidade da sílica aumenta mais de duas ordens de grandeza quando o pH passa de 10 para 11,5, conforme pesquisas de HELMUTH e STARK (1992).

A quantidade de álcalis presente na solução porosa é relacionada à quantidade de álcalis solúveis presentes no concreto. Os íons hidroxilas atacam a superfície da sílica. Segundo HELMUTH e STARK (1992), se a sílica é bem cristalizada, as falhas na estrutura cristalina são apenas na superfície externa do agregado, mas no caso da sílica fracamente cristalizada há muitas falhas na estrutura do agregado, levando à desintegração da rede inteira (Figuras 04 e 05).

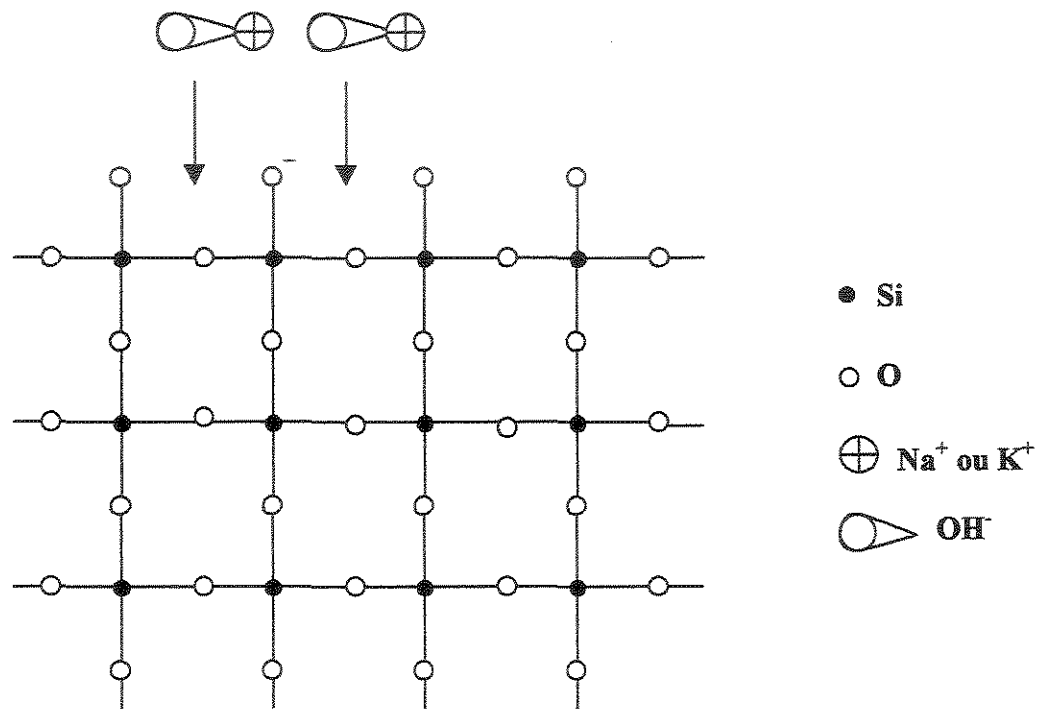


Figura 04 - Representação esquemática do ataque de soluções alcalinas na sílica bem cristalizada
[Fonte : Figg (1983), citado em FERRARIS, 2000].

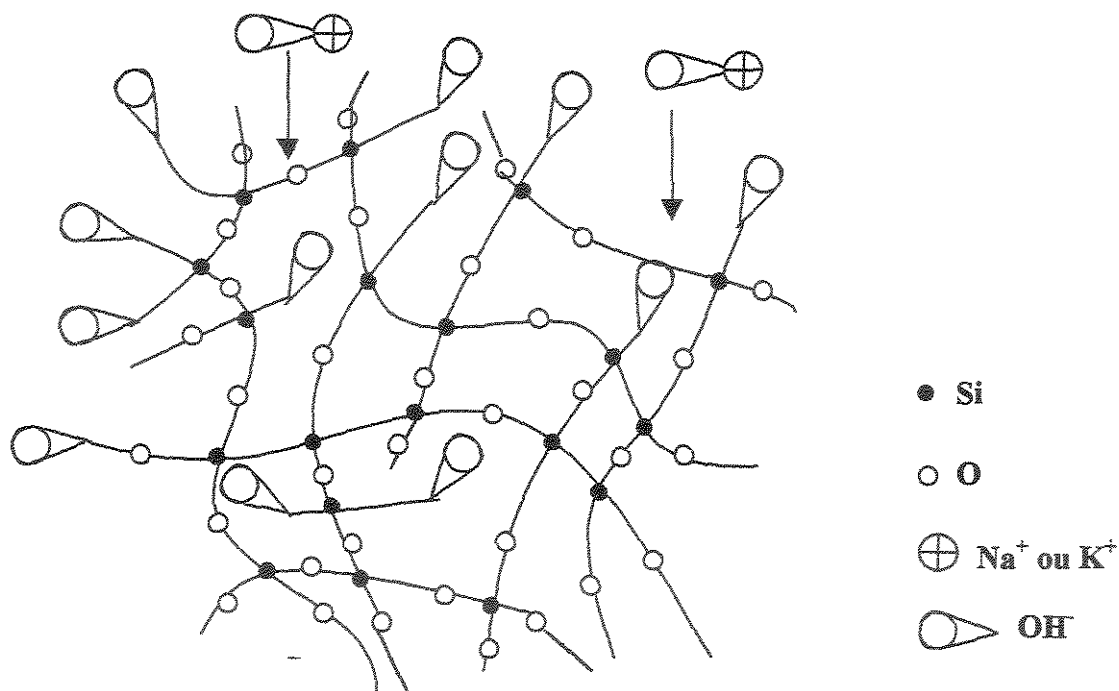


Figura 05 - Representação esquemática do ataque de soluções alcalinas na sílica fracamente cristalizada
 [Fonte : Figg (1983), citado em FERRARIS, 2000].

Para manter o equilíbrio, os cátions Na⁺ e K⁺ espalham-se sobre os íons hidroxila e a reação entre estes resulta na produção de gel. Porém, a migração de cátions de Na⁺ e K⁺ é lenta, consequentemente a migração de Ca⁺ começa a ocorrer. Estudos de DIAMOND (1983) mostram que há muito pouco cálcio na solução porosa (Figura 06), e isto é explicado pelo alto pH da solução que causa diminuição da solubilidade do Ca(OH)₂. Desse modo, tanto a ligação de Na⁺ e K⁺ como de Ca⁺ originam formação de gel; a diferença se dá na composição do gel formado.

Alguns pesquisadores como POWERS e STEINOUR (citados em HELMUTH e STARK, 1992) investigaram teorias acerca do mecanismo de expansão de géis expansivos e não-expansivos. Segundo estas teorias, se o gel possuir alto teor de cálcio então é menos expansivo quando exposto à água e, desse modo, não deve induzir fissuras no concreto. Apesar da maior parte dos trabalhos publicados não fazer distinção entre gel expansivo e não-expansivo, há conhecimento de que mais de um tipo de gel é produzido nas reações álcali-agregado.

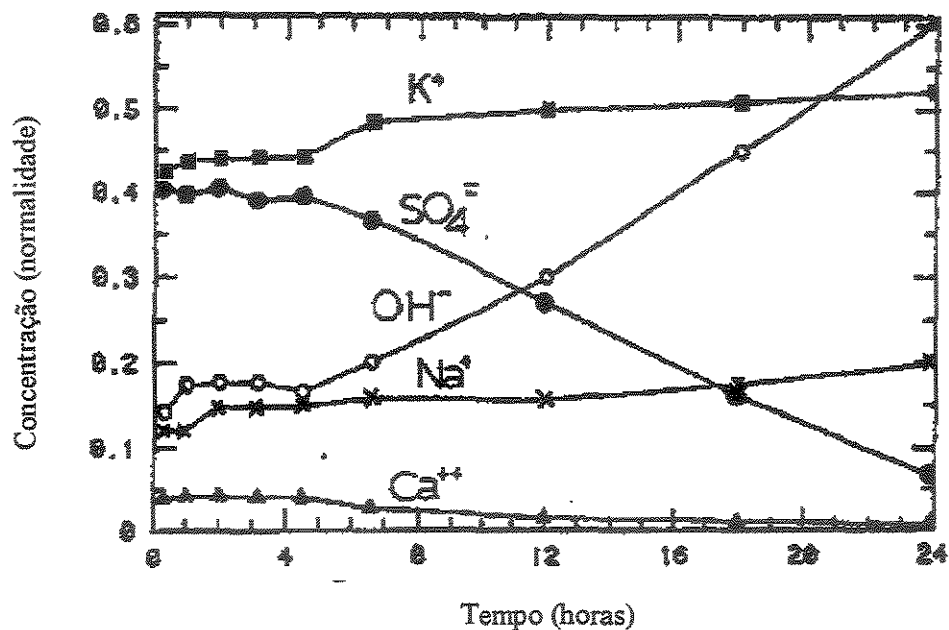


Figura 06 - Composição da solução porosa x tempo. Fonte : Diamond (1983).

MORANVILLE-REGOURD (citada em HELMUTH e STARK, 1992) pesquisou a respeito da composição de produtos de RAA e mostra que diferentes tipos de géis podem ser formados, variando de acordo com alguns fatores como o tipo do agregado usado e a proporção dos materiais.

De acordo com VEIGA *et al* (1997a), o gel é produto de uma reação instável e intermediária e suas características, tais como viscosidade, grau de inchamento e absorção de água dependem sobretudo de sua composição química e da presença de água. Segundo estes autores, as condições em que se encontra o concreto, as características de suas estruturas e as condições ambientais influenciam diretamente nas características do gel formado.

MONTEIRO *et al* (1997) também citam a existência de diferentes tipos de gel, cujas propriedades expansivas vão depender de alguns fatores como :

- ☐ estrutura interna do gel, ou seja, tamanho e distribuição dos poros do gel que influenciarão o comportamento expansão/retração quando sujeitos a ciclos secagem/molhagem;
- ☐ tamanho e forma das partículas do agregado;
- ☐ composição do gel;
- ☐ tipo e concentração dos íons nos fluidos dos poros.

-

VEIGA *et al* (1997a) demonstraram que a composição química do gel pode variar também conforme o local da sua formação (no interior do agregado, poros, pasta e regiões microfissuradas), já que este também é variável devido à mobilidade do gel dentro do concreto.

De acordo com THAULOW *et al* (1996), o teor de cálcio (Ca) aumenta à medida em que o gel se afasta do agregado, pois passa a ocorrer uma absorção dos íons de cálcio presentes na pasta de cimento. O teor de silício (Si) diminui nesta mesma ordem. O gel formado longe do agregado (rico em cálcio) possui maior viscosidade e menor capacidade de inchamento, e quando atinge o estado sólido ocorre coagulação e retração, com aparecimento de algumas fissuras na estrutura do próprio gel (VEIGA *et al*, 1997a). A figura 07 ilustra o processo.

A reação álcali-agregado é uma reação espontânea, ou seja, nas condições de pH e temperatura em que esta se desenvolve, os produtos formados pela reação são mais estáveis que os reagentes. É por esta razão que, depois de iniciado o processo de reação, não há como detê-lo.

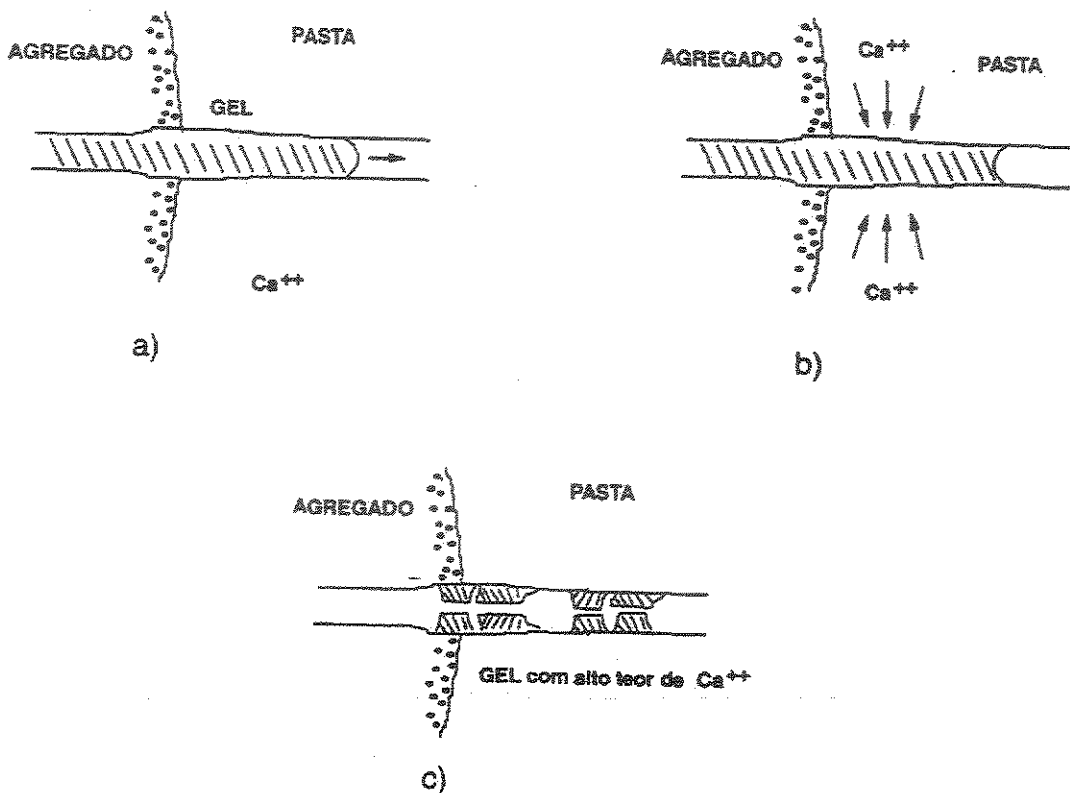


Figura 07 - Mecanismo de formação do gel proveniente de RAA : a) formação do gel próximo ao agregado; b) movimentação do gel ao longo da pasta de cimento com absorção de íons cálcio; c) gel no estado sólido, apresentando algumas fissuras devido à retração. Fonte : VEIGA *et al* (1997a).

A formação de gel por si só não é deletéria. Esse gel, por ser higroscópico, atrai as moléculas aquosas, as quais migram através da pasta de cimento. Este vai inchando e, envolto pela pasta de cimento, começa a exercer pressões hidráulicas que podem ultrapassar a resistência à tração do concreto, levando a fissurações. É, portanto, a absorção de água pelo gel um dos fatores que causa a deterioração. IDORN *et al* (1992) relatam que uma umidade relativa de 80% é necessária para expansão do gel, embora a formação deste possa se dar em umidades relativas mais baixas.

De acordo com Hobbs (1988) a expansão ocorre segundo o modelo geral mostrado a seguir (Figura 08). No estágio 1, o gel cresce induzindo tensões internas, mas não ocorrem microfissuras. No estágio 2, as fissuras induzidas são aumentadas o suficiente para causar

microfissuras ao redor das partículas reativas. No estágio 3, o gel migra para dentro de algumas microfissuras e há uma pequena redução das tensões internas. Já no estágio 4, as tensões internas surgidas nas microfissuras preenchidas com gel estão altas o suficiente para causar extensão das microfissuras, o que pode causar grandes expansões (HOBBS, 1988).

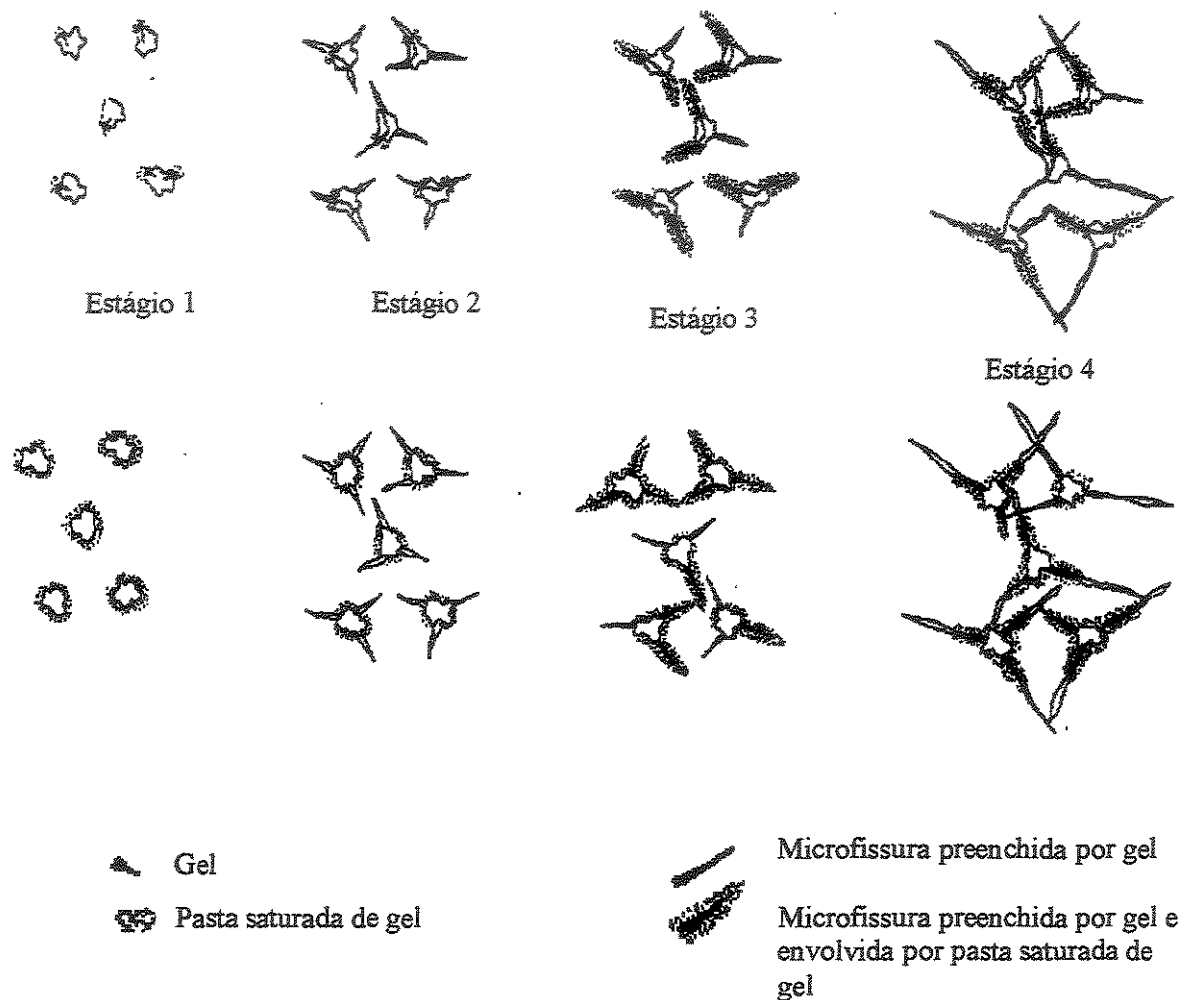


Figura 08 - Esquema de progressão e consequência da expansão da RAA. Fonte : HOBBS (1988).

A Figura 09 mostra o modelo de reação de alguns tipos de rochas reativas devido a RAA: onde começam as fissuras e qual o comportamento das partículas do agregado, segundo IDORN *et al* (1992).

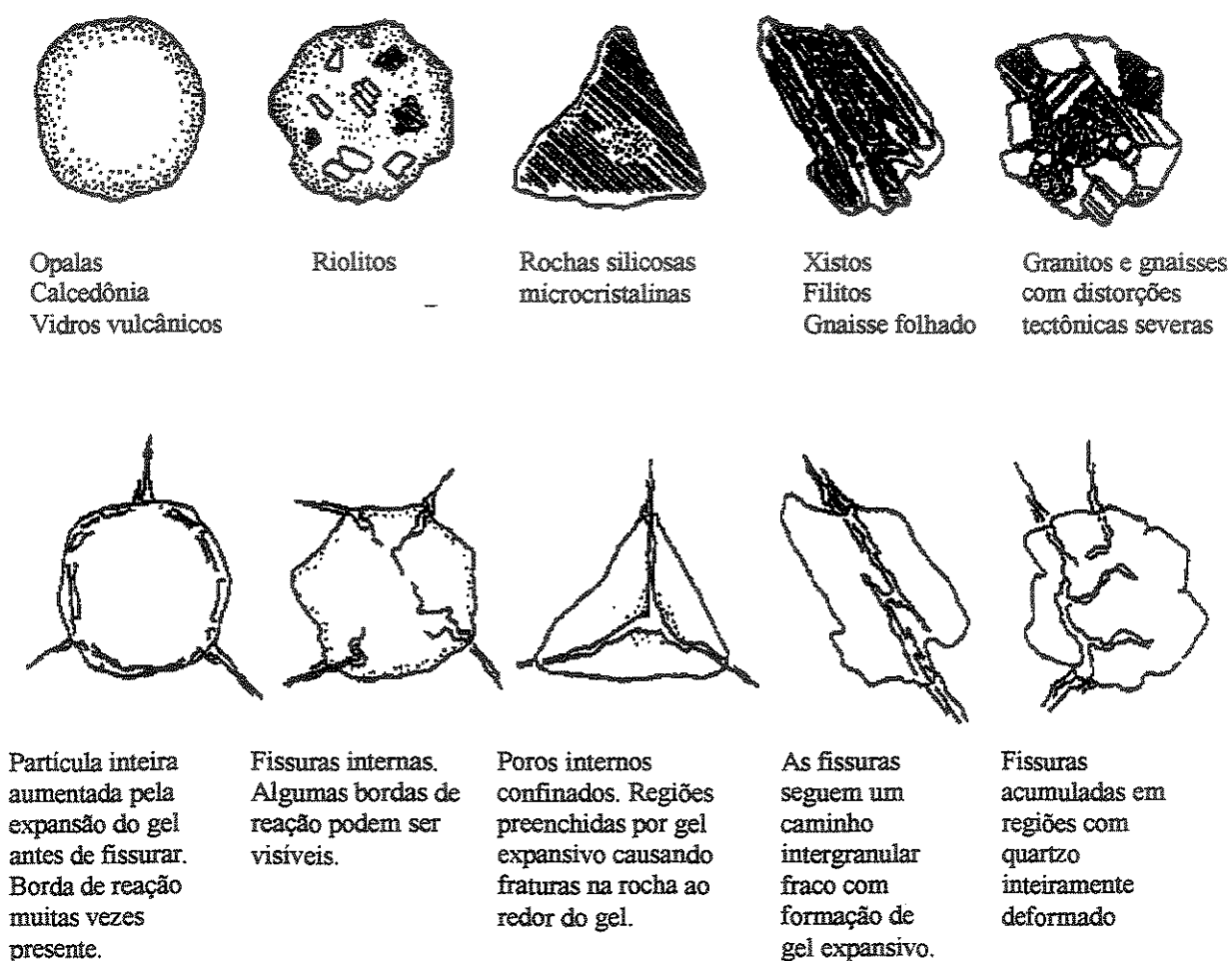


Figura 09 - Textura, morfologia e composição de algumas rochas susceptíveis a RAA e características modelo de desenvolvimento da reação. Fonte : IDORN *et al* (1992).

Um breve resumo do processo da reação, desde a formação do gel até a fissuração, está na Figura 10.

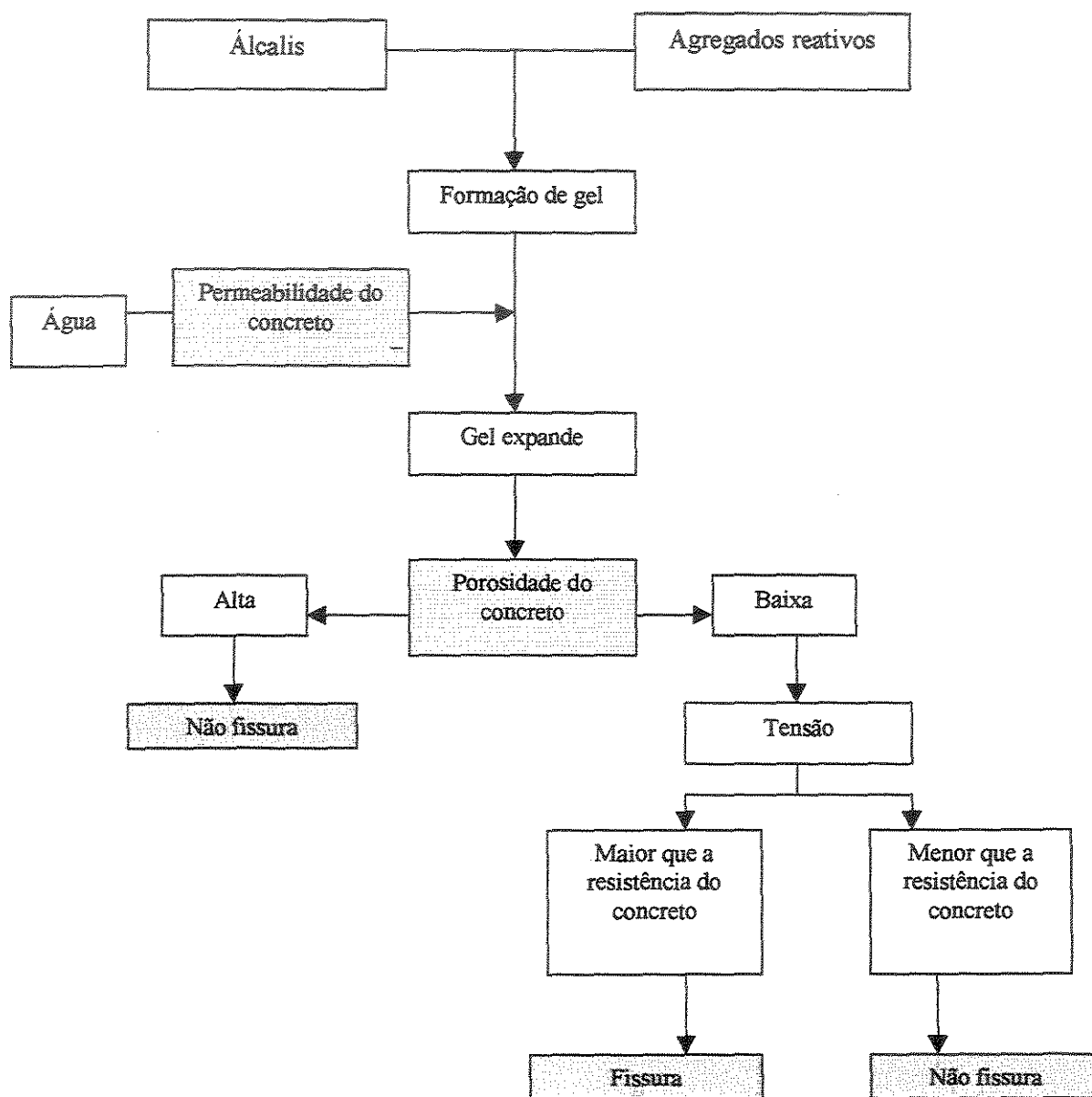


Figura 10 - Resumo do processo da reação álcali-agregado. Adaptado de FERRARIS (2000).

2.3 Tipos de reação

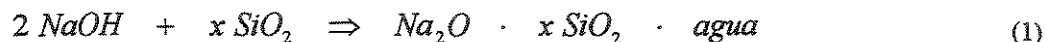
A reação álcali-agregado pode apresentar-se de três formas, conforme os tipos de agregados que participam da reação química.

2.3.1 Reação álcali-sílica

É o tipo de reação mais encontrada. Nela, as hidroxilas provenientes dos álcalis do cimento reagem com a sílica nas fases amorfa, vítrea, microcristalina ou criptocristalina presente em alguns tipos de agregados. Segundo CARMAN (citado em PAULON, 1981), nas formas cristalinas de sílica, os tetraedros que formam sua estrutura estão organizados numa rede tridimensional orientada. Já nas formas vítreas, é formada uma rede tridimensional sem nenhuma orientação.

A sílica amorfa constitui a forma mais desordenada e reativa de sílica e pode estar presente em calcedônias (uma variedade de quartzo criptocristalino) e em certos tipos de vidros naturais (vulcânicos) e artificiais (como o pyrex). Cristobalitas e tridimitas constituem formas cristalizadas metaestáveis de sílica, enquanto a opala possui sílica na forma microcristalina.

A reação álcali-sílica vai depender principalmente da cristalinidade da sílica, que poderá ser avaliada qualitativamente por microscópio óptico. Uma possível reação para explicar o fenômeno consta em estudos de TANG *et al* (2000) e segue abaixo :



O gel produzido por esse tipo de reação pode ser colorido ou branco, ceroso ou aquoso. Quando molhado e exposto à dióxido de carbono, carbonatará e, em seguida, quando seco, aparecerá esbranquiçado (HOBBS, 1988).

2.3.2 Reação álcali-silicato

É a reação entre as hidroxilas dos álcalis do cimento e silicatos presentes em :

- Algumas rochas sedimentares, como argilitos, siltitos, folhelhos argilosos e grauvacas;
- Algumas rochas metamórficas, como gnaisses e quartzitos ;
- Algumas rochas magmáticas, como os granitos.

A reação álcali-silicato é muito semelhante à reação álcali-sílica, sendo, porém, mais lenta. Isto devido ao fato dos minerais reativos estarem mais disseminados na matriz e à presença de quartzo deformado.

Alguns autores como TANG *et al* (2000), consideram a reação álcali-silicato como uma forma de reação álcali-sílica, subdividindo então os tipos de reação em apenas dois, devido à grande semelhança.

É o tipo de reação mais encontrada no Brasil. A maior parte das barragens que apresentam esse tipo de deterioração em nosso país, foram construídas com rochas do tipo quartzo-feldspáticas tais como quartzito, granito e gnaisses, com ocorrências distribuídas por vasta faixa territorial. Isto justifica a grande ocorrência de reação álcali-silicato.

Alguns exemplos de barragens afetadas por este tipo de reação são : Barragem Apolônio Sales (Moxotó), Joanes, Paulo Afonso, Barragem de Pedras e Barragem de Billings, citados em KIHARA (1986).

Apesar de ser um tipo de reação muito estudada até o presente momento, ainda não está completamente esclarecida, sendo portanto merecedora de mais estudos pela grande frequência em que ocorrem particularmente no Brasil. Será objeto de enfoque do presente estudo.

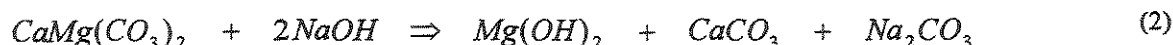
2.3.3 Reação álcali-carbonato

Ocorre quando agregados carbonáticos contendo calcário dolomítico e impurezas argilosas reagem com as hidroxilas dos álcalis. É o tipo de reação que mais vem sendo estudada nestes últimos anos, devido ao pouco conhecimento existente a seu respeito, à dificuldade em identificar agregados carbonáticos reativos e ao fato de que essa reação não pode ser tão facilmente inibida como a reação álcali-silica, cita XU (2000).

No Canadá, Estados Unidos e China muitos casos de reação álcali-carbonato têm sido relatados, principalmente neste último país, onde vêm surgindo muitas construções nestes últimos 20 anos e as jazidas são quase na totalidade de agregados dolomíticos e calcários. Estacas, trilhos ferroviários, aeroportos e pontes são as estruturas mais atingidas. Nos Estados Unidos, no Estado de Ontario, expansões da ordem de 1,0% foram registradas em pavimentos de concreto (HOBBS, 1988).

A expansibilidade deste tipo de processo, embora a cristalinidade e a taxa Ca/Mg da dolomita influenciem bastante na taxa de reação, tem como fatores decisivos o tamanho dos cristais dolomíticos, sua distribuição na matriz e o grau de compactação da matriz envolvente (TANG, 2000).

Essa reação química não apresenta formação de gel expansivo, mas a expansão é devida ao processo de desdolomitização, o que modifica o arranjo da textura do calcário e causa o aumento do volume. A reação dá lugar à formação de brucita ($Mg(OH)_2$). De acordo com TANG (2000), o processo de desdolomitização pode ser explicado pela reação a seguir :



Se, ao invés de hidróxido de sódio nos reagentes houver presença de hidróxido de potássio, haverá formação de carbonato de potássio no lugar de carbonato de sódio.

Estudos foram conduzidos por TANG e DENG (1993), provando que a reação de desdolomitização por si só já causa expansões. Ou seja, rochas carbonáticas sem sílica reativa podem causar expansão quando reagem com álcalis.

Apesar do processo de desdolomitização ser tão questionado, já existem dados mostrando a influência da reação na interface agregado/pasta, (BATIC & MILANESI, 2000). Tais estudos mostram que, apesar da formação de grandes cristais de calcita (CaCO_3) levar à um decréscimo na ligação da interface, a formação de minerais de estrutura laminar (brucita) significou uma melhora substancial da interface.

Todos esses aspectos têm levado diversos pesquisadores dos países afetados por tal tipo de reação a desenvolverem pesquisas nesse campo.

3 FATORES QUE INFLUENCIAM A REAÇÃO

3.1 Agregados

Um fator importante na atividade deletéria dos agregados é a graduação ou distribuição granulométrica. Há indícios de que quanto maior a dimensão da partícula do agregado reativo, menor é a expansão causada por ele. Resultados de Baronio *et al* (citados em FERRARIS, 2000) indicam que as maiores expansões aconteceram com as mais finas graduações usadas em seu estudo (Figura 11). HOBBS (1988) apresenta resultados similares aos de Baronio: aumento das expansões com o decréscimo do tamanho das partículas de agregado (Figura 12).

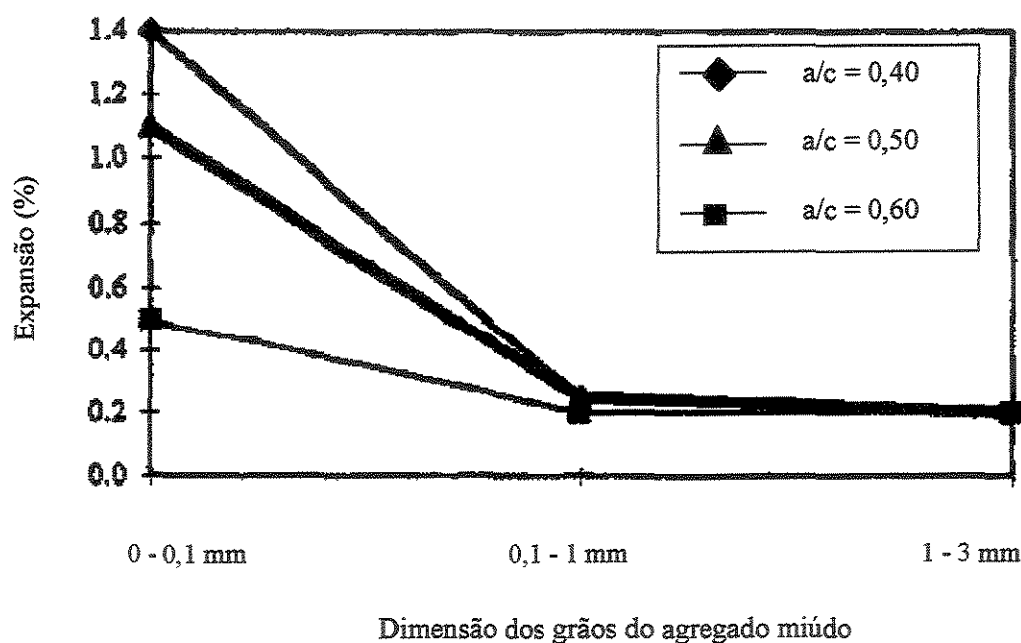


Figura 11 - Expansão versus dimensões do agregado. Fonte : Baronio *et al* (citado em FERRARIS 2000).

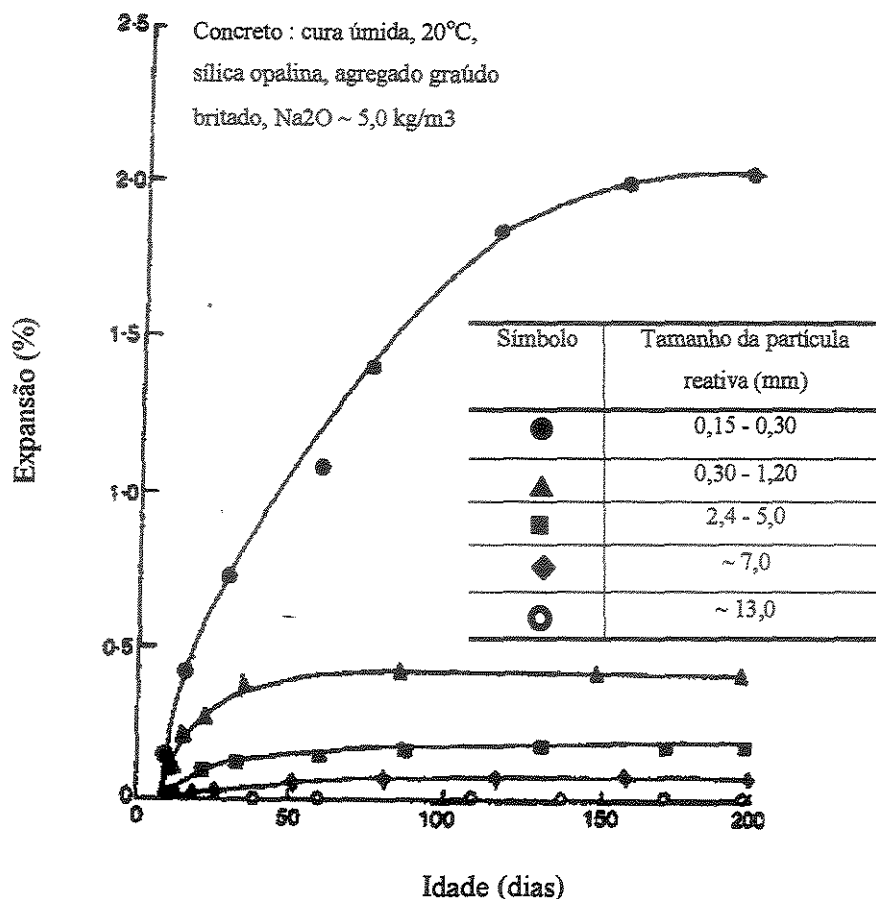


Figura 12 - Expansão versus dimensões do agregado; $a/c = 0,41$ e agregado/cimento = 3.

Fonte : HOBBS(1988).

Apesar disso, em dimensões muito pequenas (na ordem de microns), a redução da reação pode ocorrer com a diminuição do tamanho das partículas. Isto porque passa a existir um efeito pozolânico, ainda que processado de forma lenta. CASTRO *et al* (1997) realizaram pesquisas utilizando agregado pulverizado (fração passante na peneira ABNT # 200) em substituição parcial do cimento e do agregado. Quando a granulometria da areia artificial utilizada foi alterada em função da substituição parcial por agregado pulverizado, observou-se redução do níveis de expansão causadas por RAA Estes resultados podem ser visualizados na Figura 13.

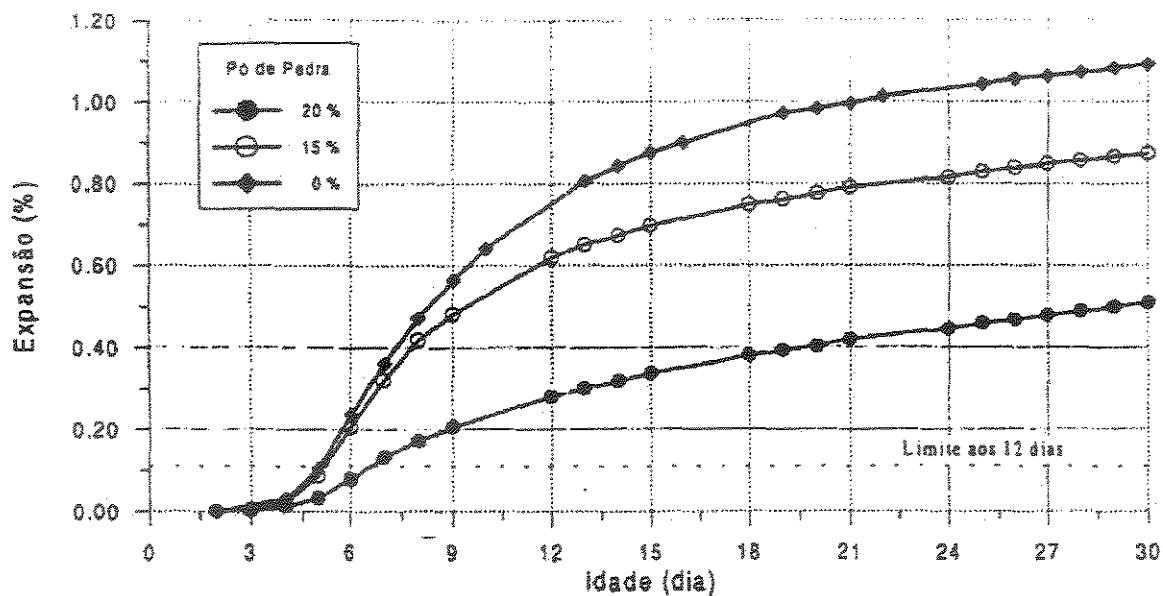


Figura 13 - Redução da expansão causada por RAA devido à substituição parcial de areia artificial de basalto por basalto pulverizado. Fonte : CASTRO *et al* (1997).

Não só o tamanho como também o teor de agregados reativos no concreto são fatores muito importantes na redução de expansões causadas por RAA. HOBBS (1988) mostra resultados de estudos em que uma quantidade péssima de agregados resulta em expansões mais altas, sendo que este "teor péssimo" varia de acordo com a relação água/cimento utilizada na mistura. (Figura 14).

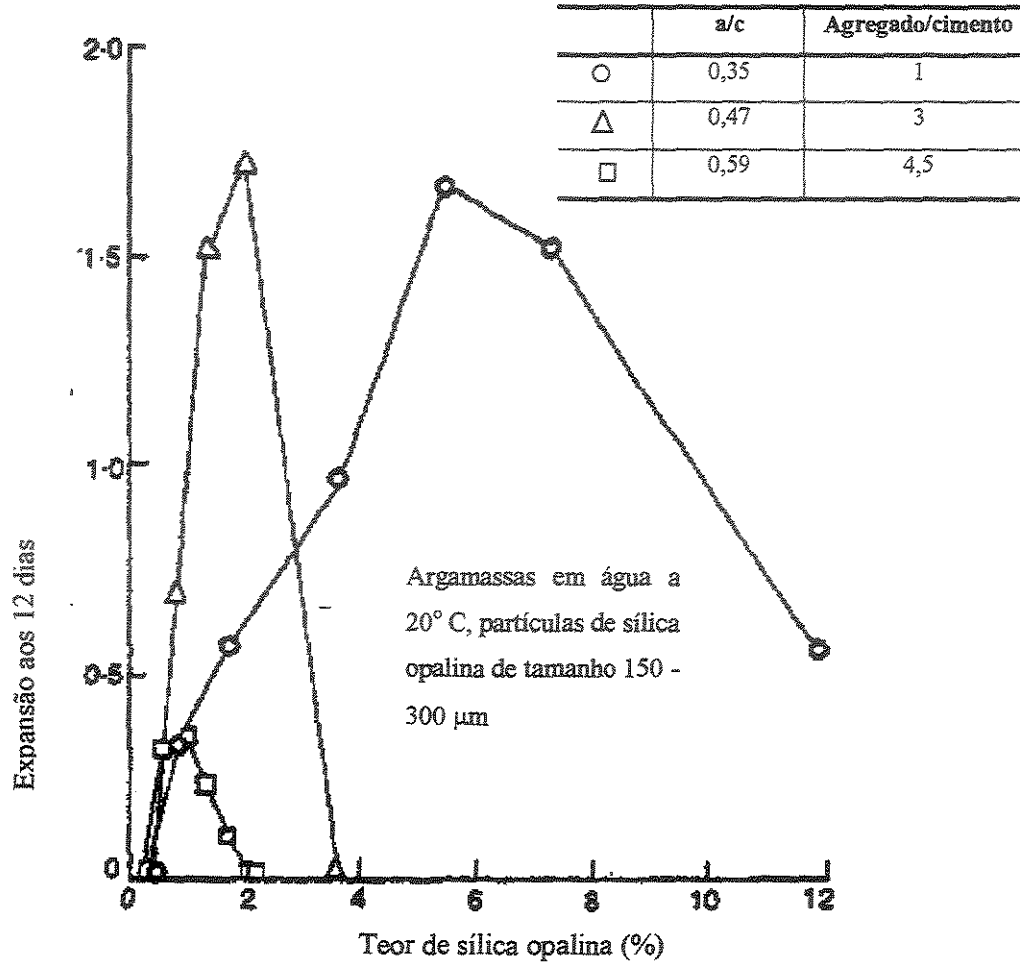


Figura 14 - Teor péssimo de agregado em expansões devido a RAA. Fonte : HOBBS (1988).

3.2 Umidade e temperatura

Já que o processo de expansão da RAA é desencadeado em função da presença de umidade ou não no concreto, esta se torna um fator muito importante no comportamento do concreto frente a esta reação.

Como o gel por si só não é deletério, a deterioração da estrutura de concreto se dá pela absorção de água pelo gel e então a expansão, como citado em FERRARIS (2000). Desse modo, estruturas com sistemas de drenagem deficientes, obras hidráulicas como barragens, concretos em contato com terrenos úmidos ou atmosferas úmidas e construções expostas constantemente à chuva são mais susceptíveis à RAA, segundo KIHARA (1986) e HASPARYK (1999).

IDORN (1992) relata que a umidade relativa deve ser acima de 80% para que o gel se expanda, embora este possa ser formado em umidades mais baixas.

A explicação para o fato, segundo KIHARA (1986), é que *"a exposição contínua ou cíclica à umidade (maior que 85%) favorece a solubilização e migração dos íons alcalinos na solução dos poros, aumentando a agressividade das soluções nos agregados"*. Este autor ainda afirma que os ciclos de secagem/molhagem são bastante prejudiciais às estruturas de concreto, pois esta exposição cíclica à umidade poderá propiciar concentrações de álcalis em determinadas regiões do concreto, intensificando as expansões nestas áreas, portanto.

HELMUTH & STARK (1992) acreditam que uma das maiores limitações na compreensão da RAA em estruturas de concreto em uso tem sido a obtenção de dados das reais condições de umidade relativa existente nestes concretos. Apesar disso, Stark (citado em HELMUTH e STARK, 1992) realizou medidas de umidade em pavimentos, em várias épocas do ano e em localizações geográficas dos Estados Unidos com diferentes climas, variando as profundidades de leitura. Alguns resultados deste estudo estão resumidos nas Figuras 15 e 16. Pode observar-se que há grandes variações de umidade conforme a profundidade do pavimento e também para uma mesma localidade conforme a época do ano. Os autores observam também as evidências de que há umidade o suficiente para que a reação se instale em concretos de muitos pavimentos e estruturas dos Estados Unidos (HELMUTH e STARK, 1992).

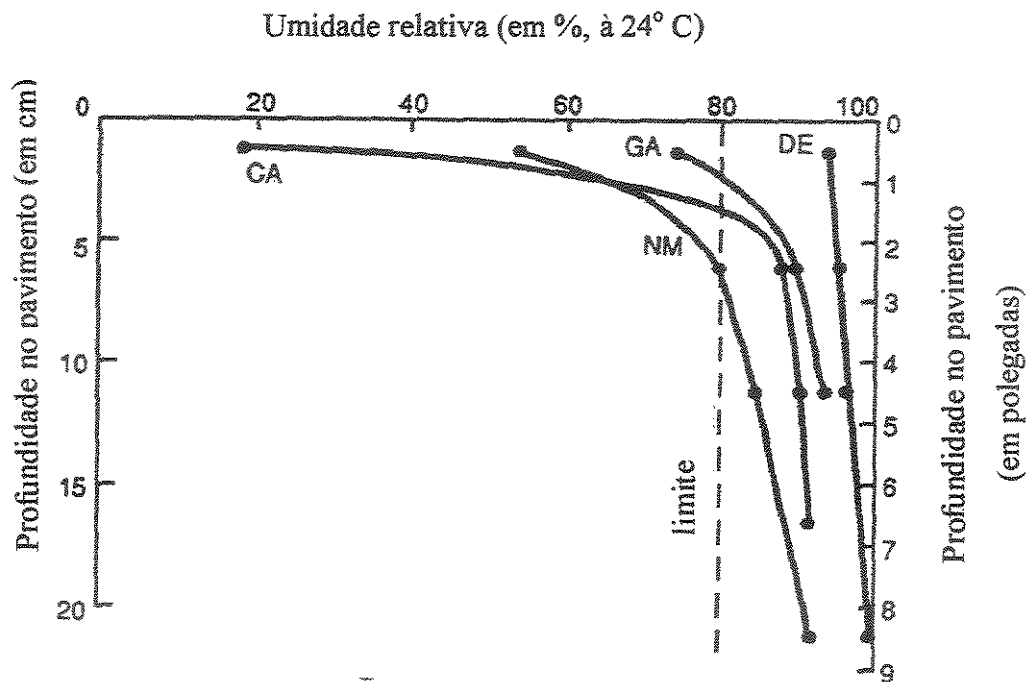


Figura 15 - Umidade relativa em pavimentos de concreto localizados em diferentes regiões climáticas : Califórnia (CA), New Mexico (NM), Georgia (GA) e Delaware (DE). Fonte : Stark (citado em HELMUTH e STARK, 1992)

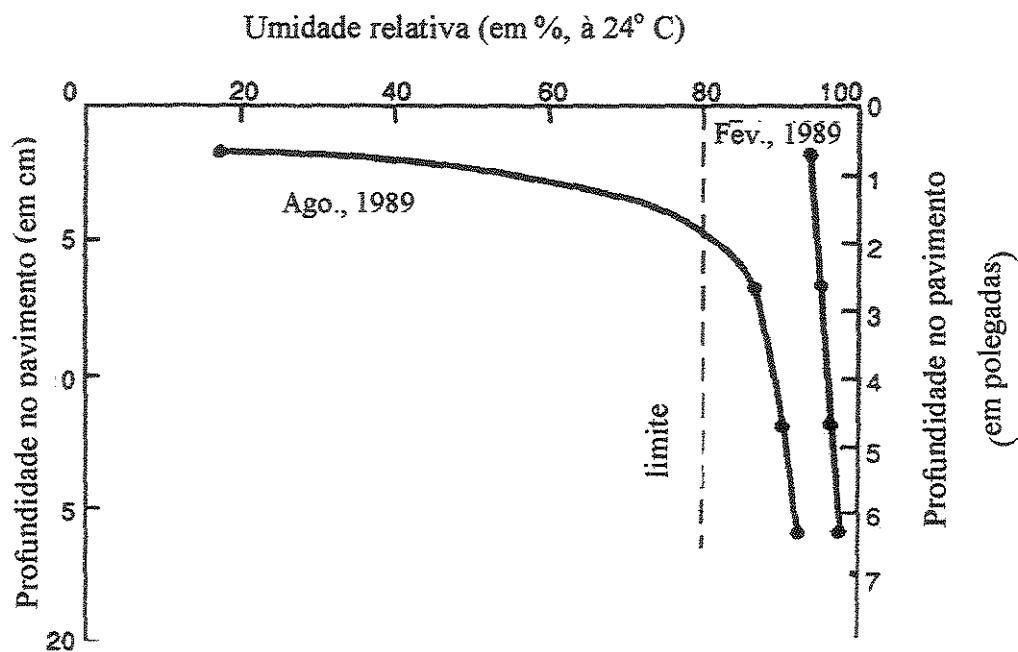


Figura 16 - Umidade relativa em pavimentos de concreto localizados em uma área quente do deserto da Califórnia. Fonte : Stark (citado em HELMUTH e STARK, 1992).

Quanto ao fator temperatura, este também funciona como um catalisador da reação álcali-agregado. Isto porque altas temperaturas, em geral, aceleram as reações químicas e isto se aplica também à reação álcali-agregado. KIHARA (1986) cita também que as altas temperaturas aceleram a hidratação do cimento e intensificam a agressividade das soluções alcalinas, tornando as reações álcali-agregado mais rápidas, portanto.

Um caso brasileiro sobre a influência da temperatura na RAA é citado por PAULON (1986) : o caso da barragem de Moxotó, onde a temperatura elevada (por volta dos 60° C) dentro do concreto foi um dos agentes aceleradores da reação.

RIGDEN *et al* (1995) realizaram estudos que confirmam a influência catalisadora de altas temperaturas. Dados destes autores mostram que amostras de concreto curadas à temperaturas maiores que 20° C apresentaram aumento não só na taxa como na magnitude das expansões devido à RAA.

3.3 Relação água/materiais cimentícios

A influência da relação água/materiais cimentícios na expansão causada por RAA ainda não está bem explicada.

Segundo FERRARIS (2000), uma relação a/c mais alta pode dar origem a expansões altas ou baixas, dependendo de outros fatores como idade e tamanho do agregado.

Pesquisadores como Baronio e Stark (citados em FERRARIS, 2000) sugerem que expansões mais altas resultem de relações água/cimento também mais altas (Figuras 17 e 18), porém este comportamento ainda não está assegurado, havendo casos em que o contrário ocorre (observar no gráfico da Figura 17 agregado de graduação B : a/c = 0,5 resultou em expansões maiores que a/c = 0,6).

3.4 Teor de ar incorporado

O uso de ar incorporado no concreto pode ser considerado benéfico em alguns casos. HOBBS (1988) relata que em concretos confeccionados com agregados reativos que não mostraram expansões deletérias, o gel pode ser encontrado preenchendo os vazios originados pelo ar incorporado. Isto sugere que o ar incorporado pode reduzir o risco de fissuração do concreto devido à RAA, embora não evite a formação do gel em si.

FERRARIS (2000) concorda com HOBBS (1988), explicando o processo de não fissuração do concreto pela expansão do gel dentro dos poros capilares vazios ou disponíveis, sem causar tensão na estrutura da matriz do concreto.

Resultados de ensaios de HOBBS (1988) na Figura 19 mostram reduções significativas na expansão devido à RAA de acordo com o aumento do teor de ar incorporado.

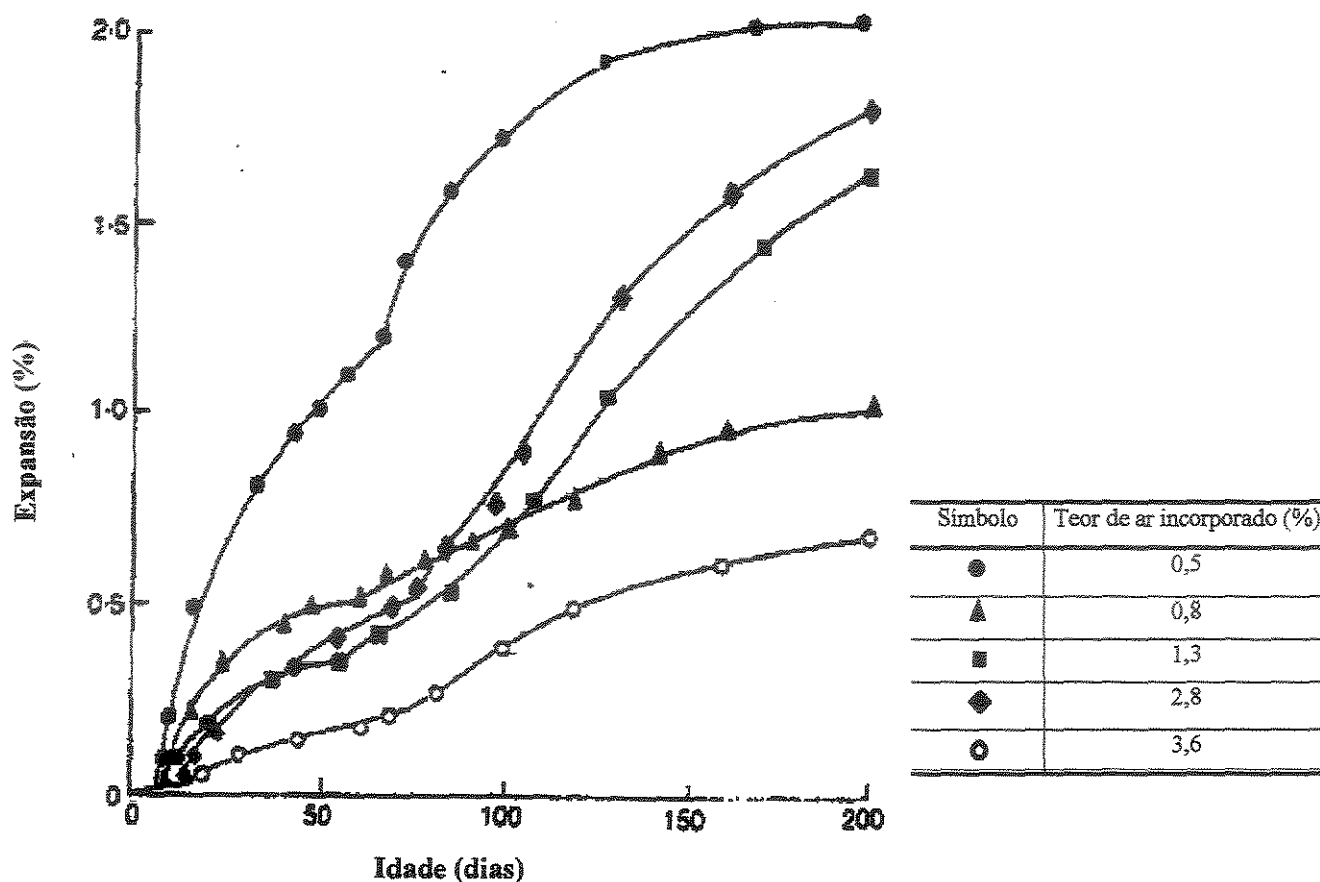


Figura 19 - Influência do teor de ar incorporado na relação expansão versus idade do concreto. Concreto: cura úmida a 20° C, tamanho das partículas de sílica opalina: 150 - 300 μm , a/c = 0,41. Fonte : HOBBS (1988).

3.5 Adições minerais

As adições minerais ao concreto a ser confeccionado com agregados reativos são, até o presente momento, ainda a única maneira de se evitar a RAA. A partir do conhecimento da potencialidade reativa de uma rocha, recomendam-se ensaios com uso de adições para verificação da inibição da reação através deste mecanismo.

Cabe salientar aqui neste item que este assunto é demasiadamente vasto, contendo inúmeros estudos acerca do desempenho de adições minerais variadas para inibição da RAA. Como o escopo deste trabalho é apenas a detecção desta patologia e não seu tratamento, as medidas de inibição da reação não serão abordadas profundamente.

Os tipos de adições minerais são bastante variados. Os mais conhecidos e usados na inibição da RAA são a cinza volante, a sílica ativa, a escória de alto-forno e cinza de casca de arroz. Estes são considerados aditivos minerais artificiais, que são geralmente subprodutos industriais secundários, podendo necessitar ou não de algum processamento (MEHTA & MONTEIRO, 1994).

Mas existem ainda as adições minerais naturais, materiais que tenham sido processados com o único propósito de produzir uma pozolana. Entre estes estão os vidros vulcânicos, tufos vulcânicos, argilas ou folhelhos calcinados e as argilas diatomáceas (MEHTA & MONTEIRO, 1994). Destes somente o vidro vulcânico e as argilas calcinadas são conhecidos pelo uso em inibições de RAA, ainda assim em pequena escala.

Estudos de PAULON *et al* (1982) apresentam o efeito de pozolanas brasileiras na inibição da RAA. O gráfico da Figura 20 mostra a redução na expansão devido à reação álcali-sílica, causada pela substituição de 30% do material cimentício por pozolana. Nas figuras 22 e 23 estão as fotos de dois blocos moldados com agregados reativos. O bloco em que não foi utilizada pozolana apresenta a superfície bastante fissurada (Figura 21). Um bloco confeccionado com o mesmo agregado, só que com 30% de pozolana utilizada em substituição ao cimento, pode ser visto na Figura 22.

FERRARIS (2000) resume o processo de inibição da reação da seguinte forma: a sílica contida nessas adições reage mais rápido com os íons hidroxila (OH^-) do que a sílica contida nos agregados. Consequentemente, os álcalis são mais rapidamente consumidos e o nível de hidroxilas reduzido a um nível em que os agregados reagem muito lentamente ou não reagem.

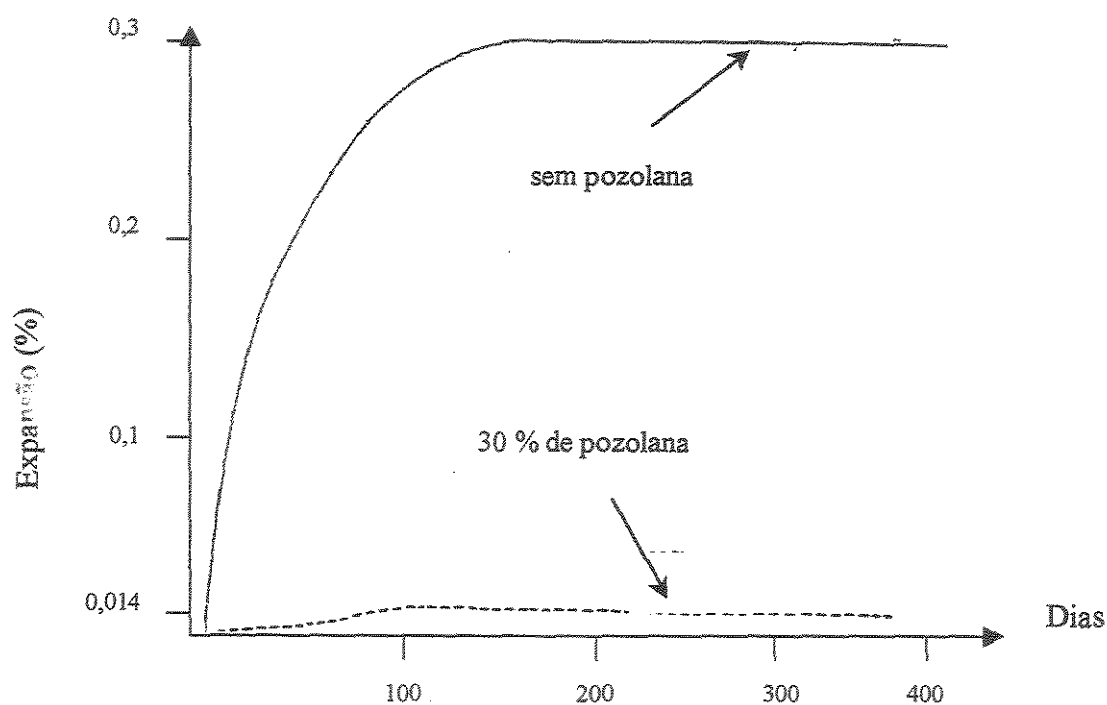


Figura 20 - Redução na expansão devido à reação álcali-silica por utilização de pozolana.
Fonte: PAULON *et al* (1982).

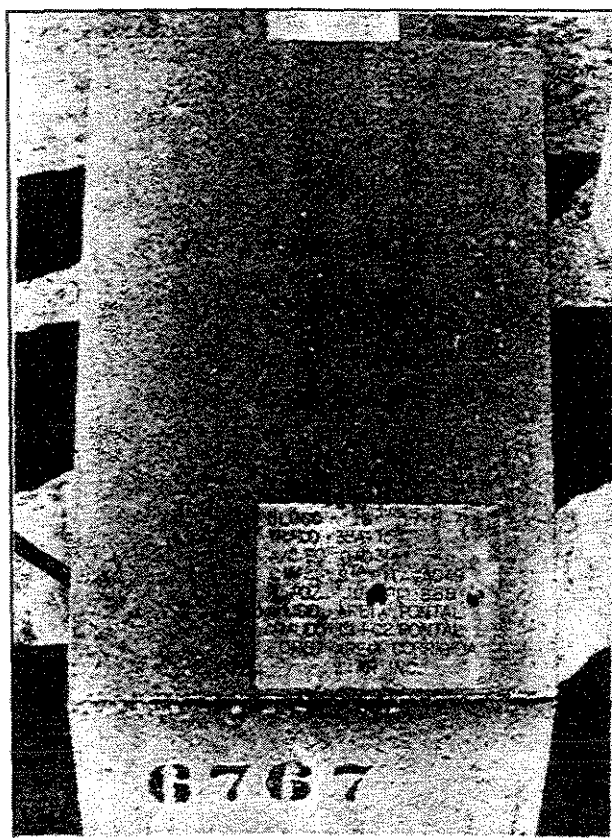


Figura 21 - Concreto com 30% de pozolana.
Fonte: PAULON *et al* (1982).

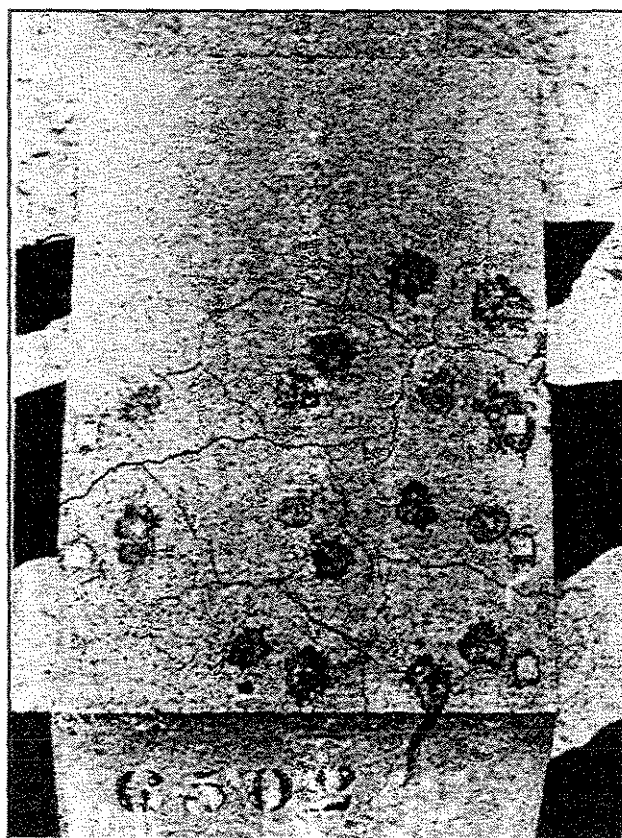


Figura 22 - O mesmo concreto, sem pozolana.
Fonte: PAULON *et al* (1982).

Por fim, deve ser observado que nem todas as adições são benéficas e que existem limites de teores para cada tipo de adição. Ultrapassados estes limites o efeito pode ser até reverso. URHAN (1987), por exemplo, afirma que para um determinado teor de álcalis presente no cimento, existe um consumo específico (determinado "teor péssimo") de material pozolânico capaz de produzir o gel da reação a um nível máximo. Deste modo, a incorporação de adições no concreto para inibição de RAA deve sempre ser precedida de estudos com diferentes teores do material a ser empregado, para que seja determinada a melhor porcentagem a ser usada.

-

4 METODOLOGIAS USADAS NA INVESTIGAÇÃO DE RAA

Já que a expansão devida à reação álcali-agregado causa vários danos e, até hoje, não se descobriu uma maneira de interromper o ciclo de reações depois de desencadeadas, considera-se lógico que a prevenção do problema seja almejada. Vários autores têm buscado descobrir meios eficientes de caracterizar os agregados e classificá-los em inócuos ou deletérios.

Estudos como o realizado por DECHICHI (1998), mostram a não influência da reação nas propriedades elásticas e mecânicas do concreto, deixando clara a importância de preocupar-se primordialmente com o caráter expansivo da reação álcali-agregado.

Vários tipos de ensaios são mencionados na bibliografia existente sobre o assunto. Alguns deles podem ser citados por serem internacionalmente conhecidos : análise petrográfica, método químico (NBR 9774/87), método das barras (ASTM C-227), método acelerado das barras (ASTM C-1260), método Osipov e método das rochas carbonáticas (FURNAS, 1997).

Os testes podem ser classificados em geral em três tipos : os métodos que avaliam os agregados, unicamente (análise petrográfica, métodos químico, Osipov e das rochas carbonáticas); os métodos que avaliam amostras de concreto e argamassa (métodos das barras e acelerado); e métodos para avaliar as combinações cimento/agregado (métodos das barras e acelerado).

Cabe ressaltar aqui que cada metodologia de ensaio tem vantagens e desvantagens, assim como suas limitações. Em alguns casos, um método pode mostrar-se mais rápido, devendo

porém ser utilizado com eficácia em apenas um tipo de reação. Deste modo, é importante observar o desempenho das metodologias em obras em que foram empregadas para avaliar seu uso em cada situação.

Neste capítulo serão citados apenas métodos de ensaio laboratoriais, já que o enfoque deste estudo é a caracterização dos agregados unicamente. As investigações de campo não serão comentadas, por se tratarem de avaliações de estruturas de concreto que já apresentam indícios de reação.

4.1 Análise petrográfica

A análise petrográfica é muito importante na detecção de agregados reativos. Através da petrografia pode-se estabelecer características composicionais e texturais dos agregados, indicativas de tensões latentes geradas pela atuação dos processos geológicos sobre a rocha (VIEIRA e OLIVEIRA, 1997). Busca-se com tal análise a identificação de fases reconhecidamente instáveis.

A composição mineral pode ser considerada um bom indicador do potencial reativo do agregado. Esta metodologia fornece resultados rápidos na previsão da potencialidade de agregados, embora não possa prever o comportamento de tal agregado no concreto ou argamassa.

A análise petrográfica pode ser realizada em amostras de rocha e de concreto e as normas para realização deste ensaios são a ASTM C-295 e a ASTM C-856, respectivamente. Abrange diferentes técnicas : observações macroscópicas e microscópicas, estas últimas envolvendo microscopia estereoscópica (luz refletida) e microscopia óptica (luz transmitida).

Além da análise da mineralogia da rocha, é importante buscar-se indícios de reatividade. VIEIRA e OLIVEIRA (1997), em uma revisão crítica sobre avaliação petrográfica da reatividade potencial de rochas, citam as duas correntes mais importantes desta metodologia : "...*Dolar-*

Mantuani (1981), que infere a reatividade potencial exclusivamente a partir do ângulo de extinção do quartzo, e Grattan-Bellew (1986) e French (1992) que avaliam a reatividade a partir de critérios mais amplos (granulação e textura da rocha)...". As autoras avaliam que para os agregados brasileiros são bastante comuns ângulos de extinção entre 15° e 25° , um intervalo sem classificação proposta segundo o método de Dolar-Mantuani (citada em VIEIRA e OLIVEIRA, 1997). Embora isto não invalide o critério, deve-se necessariamente aliá-lo à outras observações petrográficas.

Ainda neste mesmo estudo, VIEIRA e OLIVEIRA (1997) fizeram a descrição petrográfica de alguns agregados usados em concreto e compararam esses resultados com os obtidos pelo método acelerado da África do Sul (NBRI). O estudo considerou os dois métodos bastante concordantes, mas frisa que a análise petrográfica deve considerar todos os aspectos que possam denotar tensões latentes (como microfissurações, estiramento dos grãos e foliação), e não se basear somente em critérios particulares (como o ângulo de extinção do quartzo). De acordo com as autoras, as reações do tipo álcali-silicato ou álcali-sílica (as mais comuns no Brasil) podem ser identificadas a partir de algumas características gerais :

- ☐ presença de constituintes deletérios como por exemplo vidro vulcânico, clorofeita, opala e calcedônia;
- ☐ presença de quartzo com ângulo de extinção ondulante (o ângulo de extinção do quartzo é um dos parâmetros que exprime a deformação do seu retículo cristalino);
- ☐ presença de minerais silicáticos (argilo-minerais, quartzo) com granulação fina ou muito fina;
- ☐ minerais fortemente alinhados e estirados segundo direções preferenciais, em função de cisalhamento.

Outro estudo bastante interessante utilizando as técnicas de análise petrográfica na detecção de RAA que pode ser citado é o de ARMELIN e PAULON (1997). Neste trabalho, os

autores mostram a análise e diagnóstico da barragem de concreto da UHE de Jurupará, que já apresentava um quadro instalado de RAA, utilizando as técnicas de análise petrográfica e microscopia eletrônica, além da execução de ensaios acelerados.

4.2 Método Osipov

O ensaio pelo Método Térmico, como também é conhecido o Método Osipov, foi criado e desenvolvido pelo Eng. Albert Osipov do Institute Hydroproject de Moscou.

O método consiste em submeter o agregado, nas dimensões de 20 a 50mm, a uma alta temperatura (por volta dos 1000° C) por 60 segundos. Considera-se que o agregado, caso possua fase mineralógica reativa, venha a desagregar-se quando exposto à temperatura elevada. Havendo fragmentação do agregado, isto seria um indício da potencialidade reativa da rocha analisada (FURNAS, 1997).

Porém a não fragmentação do agregado não indica o contrário, isto é, que o agregado não seja reativo. Nestes casos, recomenda-se uma avaliação complementar através de outras metodologias. Além disso, o método não é aplicável a agregados miúdos, somente graúdos.

4.3 Método das barras

Estudos de Stanton (citado em Paulon, 1981) entre 1942 e 1947 teriam dado origem a este ensaio, sendo que foi estabelecido como método apenas em 1952.

O método se baseia na variação do comprimento de barras de argamassa confeccionadas com o agregado que se deseja analisar, em frações granulométricas específicas. A água utilizada

na mistura deve corresponder a um índice de consistência entre 105% e 120%. As barras são estocadas em recipiente hermeticamente fechado, com atmosfera saturada de vapor d'água a uma temperatura de 38° C. No Brasil este ensaio é realizado segundo a NBR 9773/87.

Apresenta como limites de expansão 0,05% aos 3 meses e 0,10% aos 6 meses, sendo que as barras ficam expostas às condições citadas acima por um período de aproximadamente um ano. As primeiras leituras são feitas em 24 horas e aos 14 dias de idade. Após seguem-se leituras em 1,2,3,4,6,9 e 12 meses, podendo estender o ensaio com leituras a cada 6 meses (HASPARYK, 1999).

Pesquisadores como ANDRADE *et al* (1997) questionam este método em determinados casos. Em seu estudo sobre RAA após longo período de armazenagem, barras de argamassa com idade de até 14 anos foram ensaiadas e o método das barras não foi considerado um bom instrumento de avaliação. Foi relatado que as condições de estocagem podem ter influenciado consideravelmente os resultados obtidos, por não serem severas o suficiente.

FONTOURA (1999) considera que *"a menos que materiais muito reativos estejam sendo testados, resultados significativos podem requerer um ano ou mais; e frequentemente é impraticável esperar um ano para se obter resultados de ensaios."*

4.4 Método acelerado

Os ensaios de expansão em geral são bastante discutidos, principalmente o ensaio de expansão acelerado em virtude das condições de ensaio.

As diretrizes básicas do ensaio são aproximadamente as mesmas do método das barras : submissão de amostras de argamassa à determinadas condições e medição de expansões. O que varia bastante nos dois métodos são a temperatura da solução de imersão, a natureza de tal solução e as idades de ensaio e referência para avaliação.

O método Sul Africano ou NBRI foi inicialmente desenvolvido por OBERHOLSTER e DAVIES (1986) em 1985-1986 e é um dos métodos mais difundidos e utilizados no mundo todo. Posteriormente foi normatizado como ASTM C-1260, com pequenas variações.

Pela ASTM C-1260, as barras de argamassa são moldadas com uma relação água/cimento fixa de 0,47 (a consistência não é fixa como no método das barras) e estocadas em imersão em uma solução alcalina de NaOH com concentração 1N e temperatura de 80° C. Isto com o objetivo de simular as "condições péssimas" para submissão do agregado.

É chamado método acelerado porque o tempo de ensaio é bastante reduzido em comparação com o método das barras. A leitura de referência para este método é aos 16 dias de idade, quando são observados os limites de expansão. Porém, com frequência recomenda-se que o ensaio seja levado até os 28 dias, para observar o comportamento de agregados frente à reações mais lentas, como a reação álcali-silicato.

Os limites de expansão segundo a ASTM C-1260 são os seguintes :

- ☐ expansões inferiores a 0,10% aos 16 dias indicam um comportamento inócuo na maior parte dos casos;
- ☐ expansões superiores a 0,20% aos 16 dias indicam expansão potencialmente deletéria;
- ☐ expansões entre 0,10% e 0,20% aos 16 dias indicam possibilidade do agregado possuir comportamento tanto inócuo como deletério.

Pesquisadores como BÉRUBÉ & FRENETTE (1994) já realizaram estudos variando alguns fatores, tais como soluções de KOH, NaCl e água e temperatura de 38° C, além das condições da ASTM C-1260 (solução de NaOH a 80° C). Estes pesquisadores chegaram a conclusão de que a solução de NaOH é realmente a mais indicada para o ensaio, mas questionam a temperatura de 80° C como muito severa.

Apesar disto, Moranville-Regourd (citada em HELMUTH e STARK, 1992) incluiu resultados de ensaios acelerados em suas pesquisas sobre produtos de RAA em concretos e argamassas, e seu trabalho foi considerado uma parte importante nos estudos para estabelecer a validade do método acelerado NBRI. Ela concluiu que produtos de reação encontrados em barras de argamassa submetidas à ensaios acelerados (solução de NaOH 1N à 80° C) possuem composição química e morfologia similares àqueles formados em estruturas de concreto de campo (HELMUTH e STARK, 1992).

4.5 Método químico

Este método de ensaio foi desenvolvido por Richard Mielenz (citado em PAULON, 1981) entre 1947 e 1952. Este pesquisador avaliou inicialmente 71 agregados através da verificação da sílica dissolvida (Sd) e da redução da alcalinidade (Rc) e plotou estes resultados num gráfico, adotando a curva correspondente à relação $Sd/Rc = 1$ como limite entre materiais deletérios e inócuos.

No Brasil este método é normatizado pela NBR 9774/87.

A vantagem do método químico é a rapidez do ensaio. O tempo de submissão às chamadas "condições péssimas" (alta temperatura e ambiente agressivo) é bem menor que em outros métodos. A amostra fica submetida à uma solução de NaOH 1N à 80° C por apenas 24 horas.

Utiliza pequenas quantidades de amostra (aproximadamente 75 g) de apenas uma faixa granulométrica (passante na peneira 0,3mm e retida na peneira 0,15mm). Após o tempo de exposição de 24 horas, a amostra é filtrada e são feitas análises para determinação da quantidade de sílica dissolvida no filtrado e da redução da alcalinidade da solução inicialmente com concentração de 1N.

Classifica o agregado em um gráfico, onde os eixos são a redução de alcalinidade e a quantidade de sílica dissolvida, em milimoles por litro. Tal gráfico consta na Figura 23.

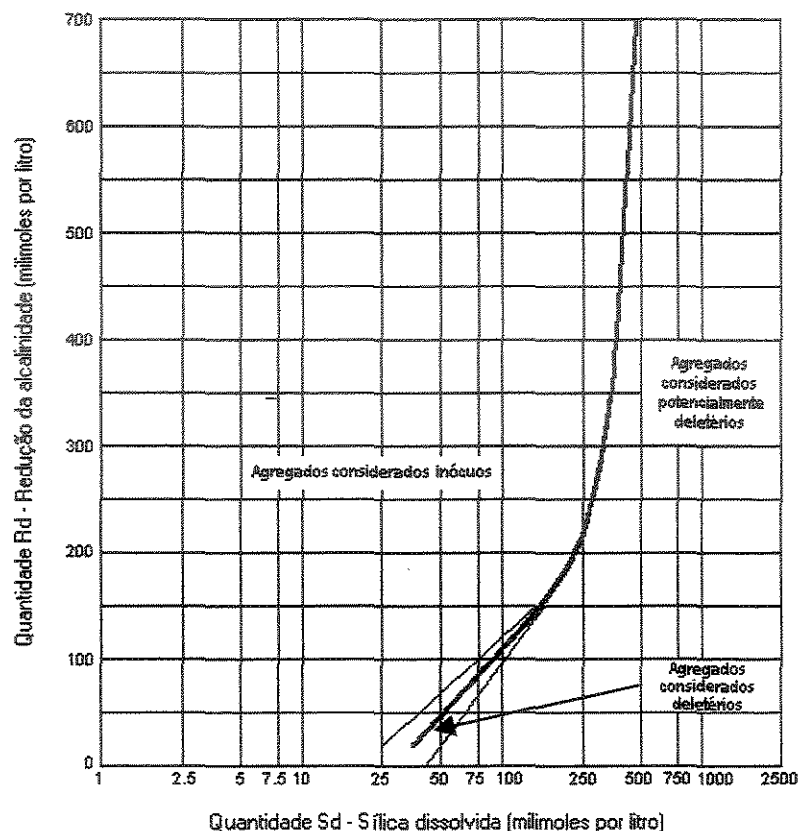


Figura 23 - Gráfico para análise dos resultados do método químico. Fonte : NBR 9774/87.

Este método é criticado por alguns pesquisadores. FONTOURA (1999) diz que o método é válido para identificação de agregados altamente reativos, porém falho na identificação de reações lentas. Apesar dos resultados deste método serem questionados por alguns autores, é um método bastante popular e prático.

4.6 Método das rochas carbonáticas

Este método é aplicável exclusivamente na verificação de características expansivas de rochas carbonáticas. É um método alternativo, já que a reação deste tipo de rocha não pode ser detectada por outros métodos por constituir um processo de expansão completamente diferente dos outros dois tipos de reação. É normatizado no Brasil como NBR 10340/88.

As amostras não são de argamassa e sim testemunhos cilíndricos de rocha de dimensões muito pequenas (9mm de diâmetro e 35mm de comprimento). A estocagem da amostra consiste em ambiente com solução de NaOH a 1N à temperatura de 23° C. As leituras de expansão são feitas nas idades de 7, 14, 21 e 28 dias, podendo o ensaio ser levado até 1 ano. A NBR 10340/88, porém, não fixa limites de expansão.

Possui algumas desvantagens, que são citadas por FONTOURA (1999) : a dificuldade de obtenção de um testemunho que seja bastante representativo da rocha analisada, e a duração do ensaio, que pode ser muito longa.

Este ensaio tem uso bastante restrito no Brasil pois as rochas carbonáticas (contendo proporções de dolomita, calcita e material insolúvel que conduzirão à desdolomitização) não compreendem a principal fonte de fornecimento de agregados no país (FONTOURA, 1999).

4.7 Microscopia eletrônica de varredura

A microscopia eletrônica de varredura é uma técnica que vem sendo largamente utilizada na análise da microestrutura de concretos e argamassas, dentre vários outros materiais utilizados na construção civil. É bastante utilizada para análise de produtos de hidratação do cimento e produtos de ataques de agentes agressivos, entre eles os produtos de reação álcali-agregado.

Cabe observar que não é um método de avaliação de RAA propriamente dito, pois não possibilita a análise dos agregados diretamente. Constitui um método de apoio para quando algum outro tipo de ensaio já foi realizado ou então para análise de produtos de RAA em estruturas com reação já desencadeada.

O MEV (Microscópio Eletrônico de Varredura) possui alta resolução e grande profundidade de foco. A amostra é alcançada por um feixe de elétrons e diversas informações podem ser fornecidas a partir dos sinais originados. Os elétrons secundários são os mais importantes na formação de imagens e fornecem informações topológicas da amostra. Já os elétrons retroespalhados fornecem informações sobre o número atômico e os raios X identificam e quantificam os elementos químicos presentes no material (VEIGA *et al* , 1997b).

Podem ser analisadas amostras de concreto ou argamassa que tenham sido ensaiadas através de outros métodos (como o método das barras ou o método acelerado) e exibam produtos de reação, ou mesmo fragmentos de testemunhos de concreto extraídos de obras suspeitas de apresentarem RAA.

De acordo com SILVA *et al* (1997), na análise de produtos de RAA é importante a observação de bordas preenchendo as interfaces da pasta/agregado em amostras polidas, bem como de superfícies de fratura. O gel pode estar concentrado nos poros da amostra, disperso na argamassa, interfaces e depositados nas fissuras dos agregados.

O reconhecimento dos produtos de reação é feito através da morfologia e composição química, esta última dada por um espectrômetro de raios X (EDX) acoplado que recupera a zona de raios X através da medição de sua energia, num processo chamado microanálise (HASPARYK, 1999).

Segundo HASPARYK (1999), é uma técnica muito útil pois permite grandes ampliações e com isso a identificação precisa dos produtos de RAA.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os materiais empregados, bem como detalhados os métodos de ensaio utilizados na pesquisa experimental.

5.1 Materiais

5.1.1 Cimento

Com o objetivo de uniformizar os resultados obtidos com os diferentes tipos de agregados que serão ensaiados, utilizou-se um só tipo de cimento. O cimento escolhido foi do tipo CP - V ARI PLUS, Cimento Portland de Alta Resistência Inicial.

O cimento CP - V é indicado para argamassas em que pretende-se observar o fenômeno da reação álcali-agregado por dois motivos. O primeiro é por apresentar evolução mais rápida dos processos de hidratação, fato este muito importante na realização de ensaios acelerados. O segundo é por conter porcentagens menores de adições que os outros tipos de cimento disponíveis no mercado. É essencial que as adições no cimento sejam pequenas, afim de que estas não inibam possíveis reações.

A quantidade de álcalis disponíveis para a ocorrência da reação também é um fator importante, motivo pelo qual é fixado o teor de equivalente alcalino dos cimentos em geral em 0,6%. Porém, apesar de importante, não é decisivo, pois os álcalis provêm de outras fontes além do cimento, como a água de amassamento, por exemplo. O cimento utilizado na pesquisa apresentou teor de equivalente alcalino de 0,7%, considerado satisfatório para o presente fim.

O resumo da análise da composição química e das propriedades físicas do cimento utilizado constam no Anexo A.

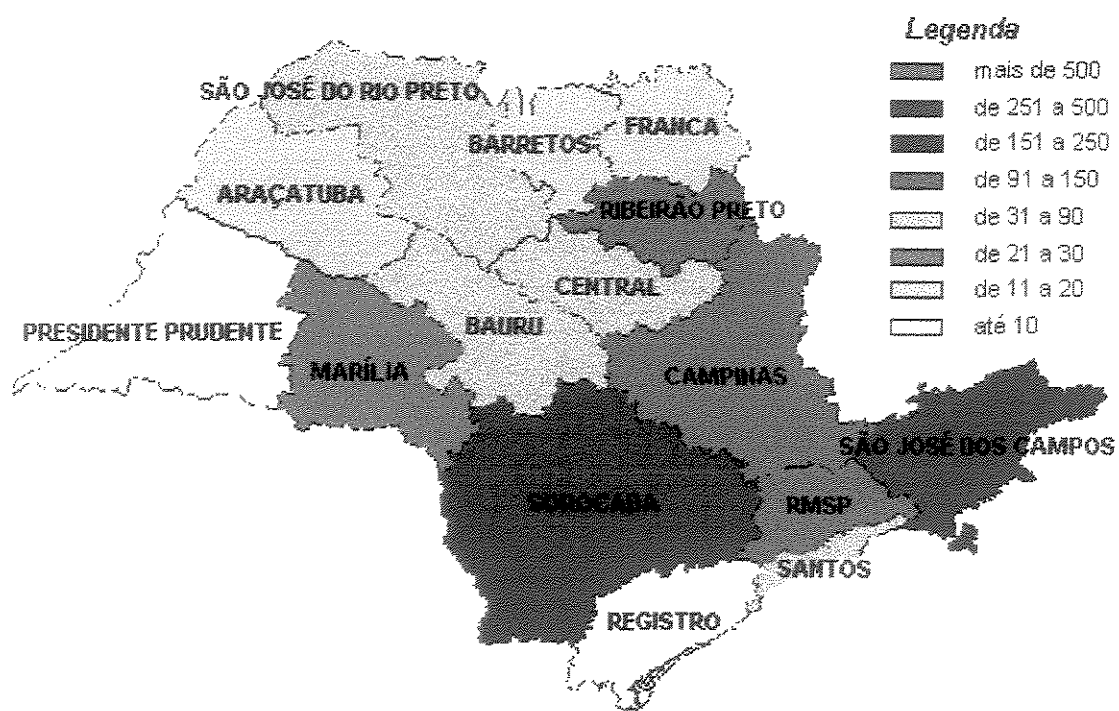
5.1.2 Agregados

Para a avaliação proposta, foram coletadas amostras de agregados graúdos e miúdos comerciais de determinadas regiões do Estado de São Paulo.

O critério de escolha dos locais de coleta foi o desenvolvimento sócio-econômico da região. O mapa da Figura 24 mostra o número de empresas de porte médio à grande existentes em cada região.

Desse modo, foram coletadas amostras das regiões :

- ☐ grande São Paulo e Campinas (região em azul no mapa da Figura 24);
- ☐ São José dos Campos (região em vermelho no mapa da Figura 24);
- ☐ Sorocaba (região em roxo no mapa da Figura 24);
- ☐ Ribeirão Preto (região em laranja no mapa da Figura 24);
- ☐ Central (região em rosa claro no mapa da Figura 24);
- ☐ Registro (região em amarelo no mapa da Figura 24).



Figuras 24 - Regiões econômicas do estado de São Paulo - número de empresas de médio e grande porte. Fonte : <http://www.saopaulo.sp.gov.br>, 26/03/01, 13:12 h.

Buscou-se, com a coleta de material das áreas citadas acima, abranger áreas de maior índice de construções de obras de vulto.

A Tabela 01 relaciona os locais de coleta ,o número de cadastro de cada amostra e o tipo do material (se agregado gráudo ou miúdo).

Tabela 01 - Cadastro das amostras de agregado.

Número	Região	Tipo
001	São Carlos	Areia
002	Campinas	Brita 01
003	Araçariguama	Brita 01
004	Arujá	Areia artificial
005	Barueri	Brita 01
006	Bofete	Areia
007	Bofete	Areia
008	Campinas	Brita 01
009	Guarulhos	Brita 01
010	Mogi das Cruzes (Itapeti)	Brita 02
011	Limeira	Brita 02
012	Limeira	Brita zero
013	Mairiporã	Brita 02
014	Mogi Mirim	Brita 02
015	Perus	Areia
016	Piracicaba	Brita 02
017	Porto Feliz	Brita 01
018	Registro	Brita 02
019	Salto de Pirapora	Brita 02
020	Salto de Pirapora	Brita 02
021	Jundiaí	Brita 01
022	Santa Isabel	Brita 02
023	Santa Isabel	Brita zero
024	São Carlos	Areia
025	São Pedro	Areia
026	Sorocaba	Brita zero
027	Sorocaba	Brita zero
028	Tatuí	Brita 02

Tabela 01 - Cadastro das amostras de agregado.
(conclusão)

Número	Região	Tipo
029	Taubaté	Brita zero
030	Taubaté	Areia
031	Tremenbé	Areia
032	Tremenbé	Areia
033	Caçapava (Vale do Paraíba)	Areia
034	Valinhos	Brita 01
035	Ribeirão Preto	Areia
036	Ribeirão Preto	Brita 01

No mapa da Figura 25 estão indicados os pontos de coleta das amostras, relacionados com os respectivos números de cadastro. Em alguns pontos foram coletadas duas amostras para correlacionar comportamentos, enquanto que em outros coletou-se apenas uma (mapa da figura 26).

Para facilitar a citação, as amostras serão analisadas conforme seu número de cadastro da Tabela 01.

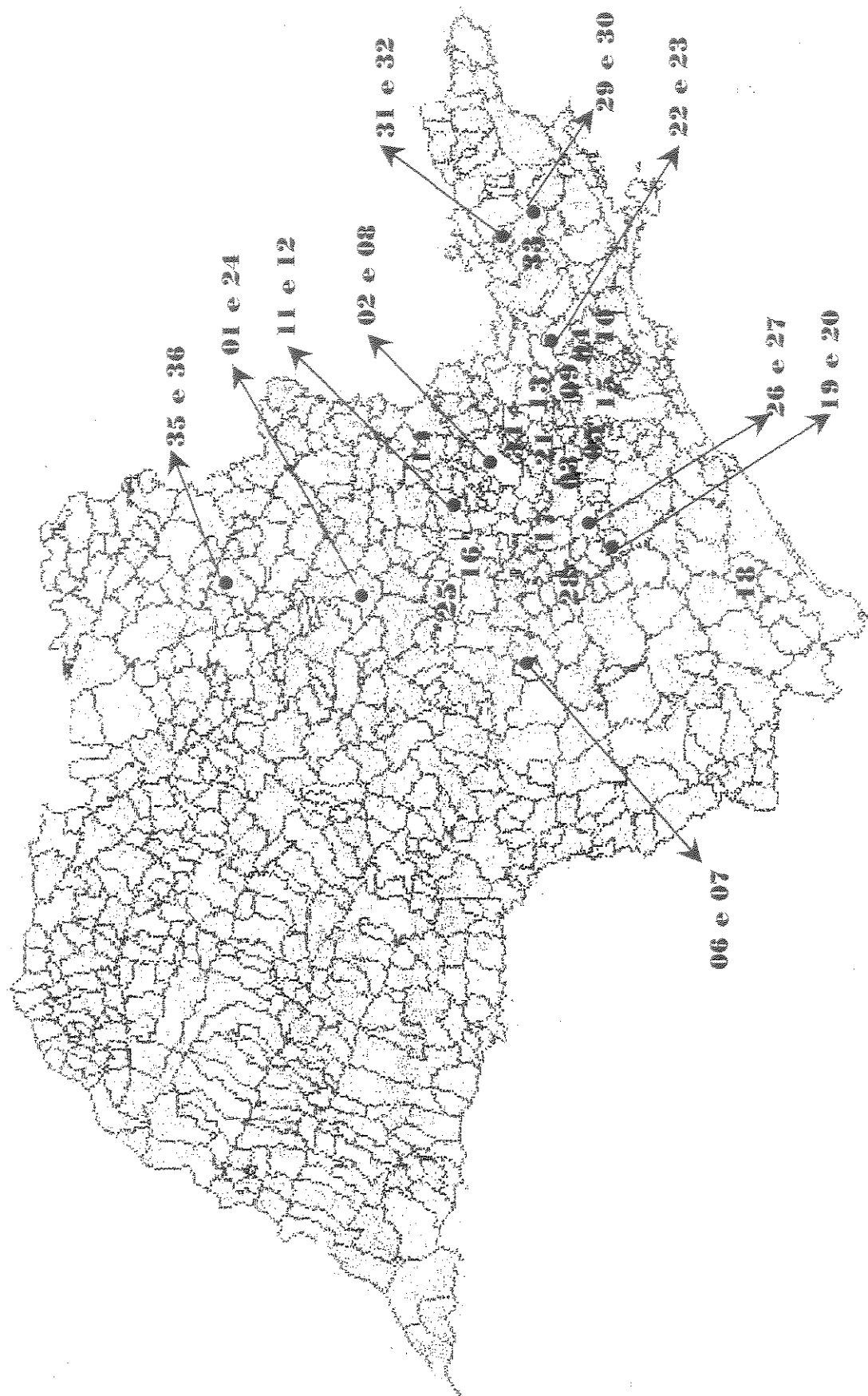


Figura 25- Mapa do Estado de São Paulo contendo a localização das amostras por número de cadastro.

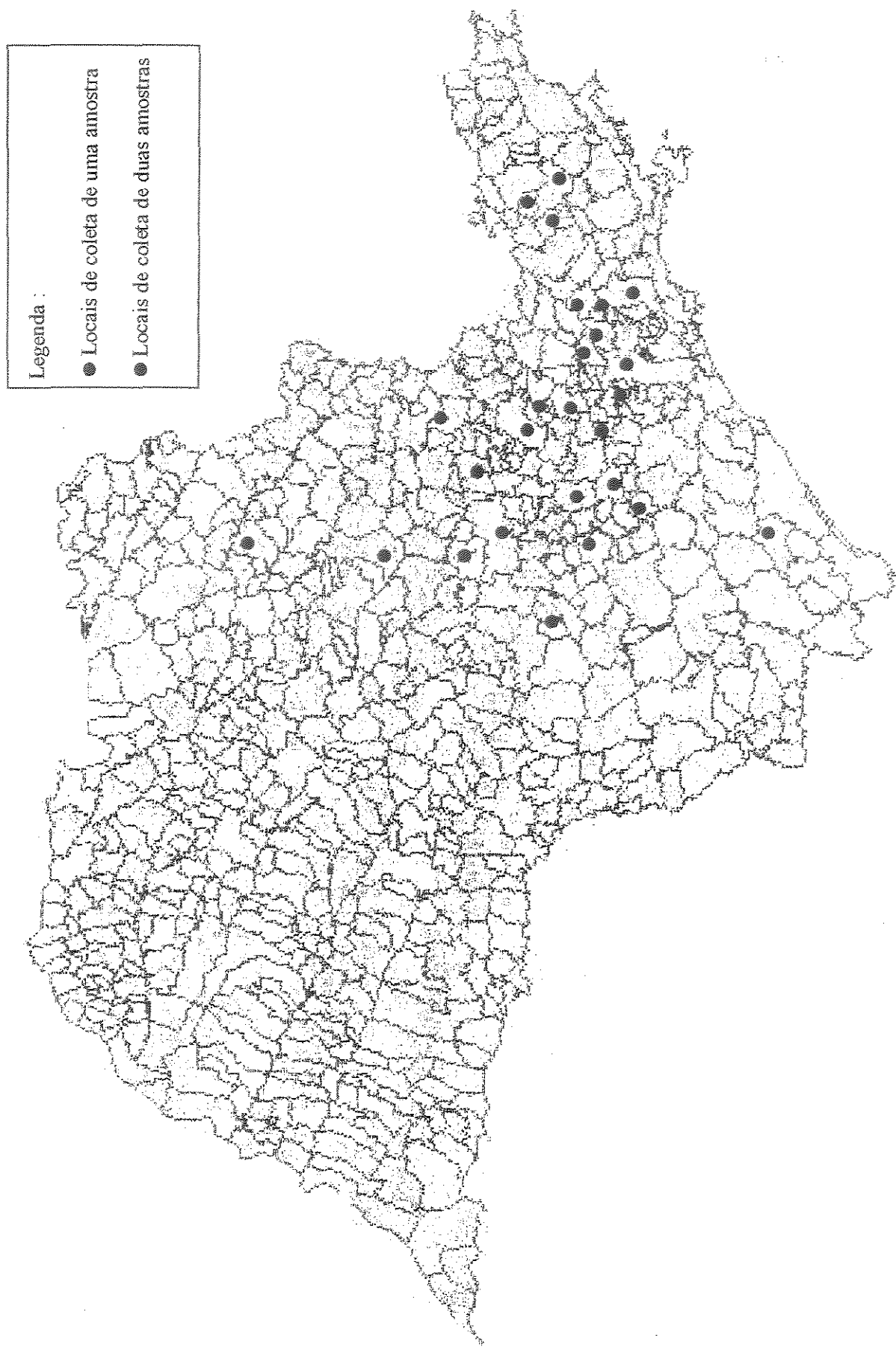


Figura 26 - Mapa de localização das amostras (geral).

A caracterização de cada material consta no Anexo B e é composta de ensaios de:

- ☐ composição granulométrica;
- ☐ módulo de finura;
- ☐ dimensão máxima característica;
- ☐ massa específica;
- ☐ massa unitária;
- ☐ material pulverulento;
- ☐ torrões de argila;
- ☐ impurezas orgânicas e
- ☐ absorção.

-

5.2 Métodos

Nesta seção, encontram-se descritos os métodos experimentais empregados na pesquisa. Alguns ensaios seguem as Normas Brasileiras (NBR) e outros seguem normas estrangeiras, tais como a ASTM (American Society for Testing and Materials), por não estarem ainda normatizados no Brasil.

Foram empregados neste estudo dois métodos de avaliação do agregado em si (análise petrográfica e método químico) e um método que analisa amostras de argamassa confeccionadas com o agregado em estudo (método acelerado). Ainda foram empregadas técnicas de microscopia eletrônica de varredura, como método auxiliar. Já que as combinações cimento/agregado são estudadas apenas quando se pretende inibir a reação, métodos deste tipo não foram empregados.

5.2.1 Coleta das amostras

As amostras foram coletadas de pátios de concreteiras para as quais os materiais são fornecidos. Algumas foram coletadas de baias e outras ainda de tambores nos quais os agregados estavam estocados. Para os dois casos buscou-se a uniformidade na coleta, a fim de homogeneizar satisfatoriamente as amostras.

Das amostras estocadas em baias, a quantidade coletada foi um tambor de 100 litros. Já das amostras estocadas em tambores, a quantidade foi um saco de aproximadamente 45 kg.

5.2.2 Análise Petrográfica

5.2.2.1 Preparo das amostras

As amostras receberam diferentes tipos de preparo conforme o tipo do ensaio a ser realizado.

a) Agregados graúdos :

Para o ensaio de análise petrográfica em agregados graúdos, inicialmente são coletadas algumas informações a respeito da rocha a ser analisada (uniformidade). Em seguida, procede-se o preparo de lâminas delgadas, com cerca de 30 μm de espessura, a fim de que o material esteja na espessura exata para observação em microscópio óptico de luz transmitida. O preparo das lâminas delgadas foi realizado no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas.

Lâminas delgadas foram preparadas para todas as amostras de agregado graúdo. O processo consiste na escolha de um fragmento representativo da rocha a ser estudada, de tamanho aproximado de 3 a 4 cm. Depois disso, a rocha é cortada de um dos lados de maneira a ficar plana e é colada com uma resina em uma lâmina de vidro. Segue-se a laminação da rocha até que ela esteja suficientemente fina para ser polida em politriz. Dois tipos de carbetos são utilizados na politriz: o primeiro polimento é feito com o carbeto de silício 320, que é mais grosso, e o segundo com o carbeto de silício 600, para um polimento mais fino. Durante todo este processo de polimento, o estágio em que se encontra a amostra é acompanhado através de microscópio de luz transmitida, para que seja possível o controle da espessura dos minerais.

Quando as lâminas com as amostras estiverem suficientemente delgadas (aproximadamente 30 μm de espessura), é colada uma laminula (outra placa de vidro bem mais fina que a anterior) por cima da rocha, com a finalidade de tornar a superfície de mais fácil visualização. A amostra está pronta para análise.

b) Agregados miúdos :

Para as amostras de agregado miúdo (areia e areia artificial) o processo de preparo é mais rápido que o preparo das lâminas delgadas. Uma pequena quantidade da amostra é colocada diretamente sobre a lâmina de vidro, e sobre ela são pingadas algumas gotas de álcool benzílico para a análise da amostra em meio líquido. Por cima ainda é colocada uma laminula, e ajustada de maneira a não permanecerem bolhas de ar entre a lâmina e a laminula. A amostra pode ser analisada logo em seguida.

5.2.2.2 Análise

Todos os materiais foram analisados ao microscópio óptico de luz transmitida, através de técnicas petrográficas usuais, baseando-se na ASTM - C 295. Esta etapa da pesquisa foi realizada nos laboratórios da ABCP (Associação Brasileira de Cimento Portland).

O ensaio tem por objetivo o conhecimento dos minerais e o comportamento do agregado quanto à reatividade álcali-agregado. Procede-se a classificação petrográfica de cada amostra, procurando identificar minerais deletérios, observando-se a textura, estrutura, dimensão, orientação e possível alteração. As imagens foram registradas e anexadas ao presente trabalho (seção 6.1).

5.2.3 Determinação da reatividade potencial

5.2.3.1 Preparo das amostras

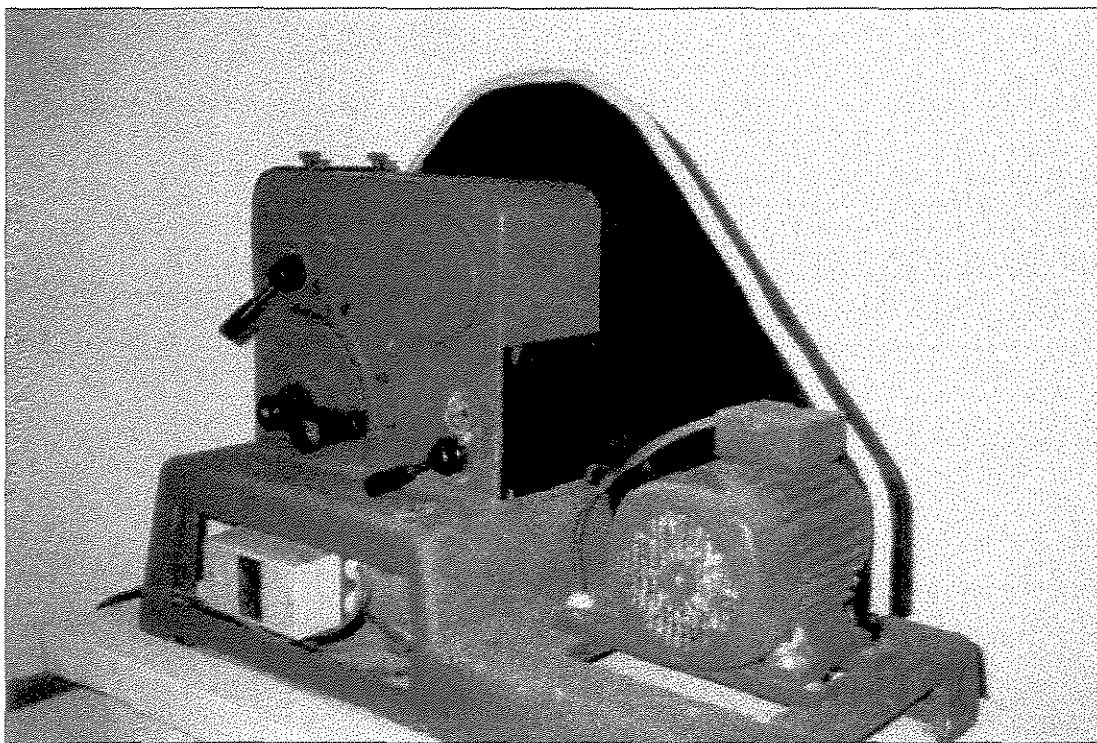
As amostras foram preparadas para os dois métodos de determinação de reatividade potencial : acelerado e químico. Tanto em um quanto em outro método as amostras precisam estar em uma determinada granulometria para posterior realização dos ensaios. O preparo das amostras seguiu as instruções das normas ASTM C-1260 para o ensaio acelerado e a NBR 9774/87 para o ensaio pelo método químico.

As amostras de agregado graúdo foram inicialmente britadas no Instituto de Geociências da Universidade Estadual de Campinas. O equipamento utilizado foi um britador de mandíbulas, empregado para redução de diâmetro de rochas (Figura 27).

As amostras de brita zero, brita 01 e brita 02 foram reduzidas à granulometria aproximada de agregado miúdo, ou seja, diâmetro menor que 4,8 mm. Após o processo de britagem, o material foi transportado ao Laboratório de Estruturas e Materiais de Construção da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp. Lá o material foi peneirado em peneirador mecânico, de maneira a separá-lo na granulometria especificada por norma (ASTM C-1260). As frações especificadas por norma constam na Tabela 02.

Tabela 02. Frações especificadas pela ASTM C-1260 para preparo do material.

Fração	Passante		Retida	
	Peneira N°	abertura nominal	Peneira N°	abertura nominal
Fração 01	4	4,8 mm	8	2,4 mm
Fração 02	8	2,4 mm	16	1,2 mm
Fração 03	16	1,2 mm	30	0,6 mm
Fração 04	30	0,6 mm	50	0,3 mm
Fração 05	50	0,3 mm	100	0,15 mm



Figuras 27 - Britador de mandíbulas utilizado para britagem dos materiais.

Depois de separadas as frações necessárias, o material foi lavado em água corrente, cada fração na peneira correspondente, para total eliminação dos finos (material passante na peneira n° 100, de abertura nominal de 0,15 mm). Cada fração foi lavada até que a água passante pela

peneira com o material ficasse límpida, para garantia da total eliminação dos finos. Durante o processo de britagem dos agregados graúdos há muita formação de pó, e este pó, se não for eliminado, pode mudar a granulometria do material, reduzindo as expansões reais. Daí a importância da lavagem do agregado.

O material depois de lavado foi seco em estufa e armazenado em sacos plásticos fechados para conservação.

As amostras de areia e areia artificial foram diretamente peneiradas, não necessitando moagem. O processo seguinte foi o mesmo dos agregados graúdos: lavagem, secagem em estufa e estocagem.

5.2.3.2 Método acelerado

O ensaio de expansão segundo o método acelerado foi executado segundo a ASTM C-1260, nas instalações do Lame- Lactec, em Curitiba-PR.

Depois de preparadas as amostras como citado em 5.2.3.1, foram confeccionadas barras de argamassa com uma composição de agregado utilizando as frações citadas na Tabela 02. As porcentagens de cada fração utilizadas nas argamassas estão especificadas em Norma e estão apresentadas na Tabela 03.

Tabela 03. Porcentagens de cada fração utilizadas na confecção das argamassas.

Fração	Porcentagem
Fração 01	10 %
Fração 02	25 %
Fração 03	25 %
Fração 04	25 %
Fração 05	15 %

Todas as argamassas foram confeccionadas com um traço definido de 1 : 2,25 em massa e uma relação água/cimento também fixa de 0,47. As condições da sala de moldagem (temperatura e umidade relativa do ar) bem como a temperatura da água de amassamento foram controladas, de acordo com o especificado em norma. A consistência de cada mistura foi verificada através de ensaio com mesa de flow. O traço e as quantidades de cada material estão na Tabela 04 e a sequência de fotos das Figuras 28 a 33 ilustram o processo de mistura e medição da consistência.

Tabela 04. Traço das argamassas (em massa).

	Cimento	Agregado	Água
Traço	1	2,25	a/c = 0,47
Massa (g)	440	990	206,8



Figura 28 - Argamassadeira utilizada.

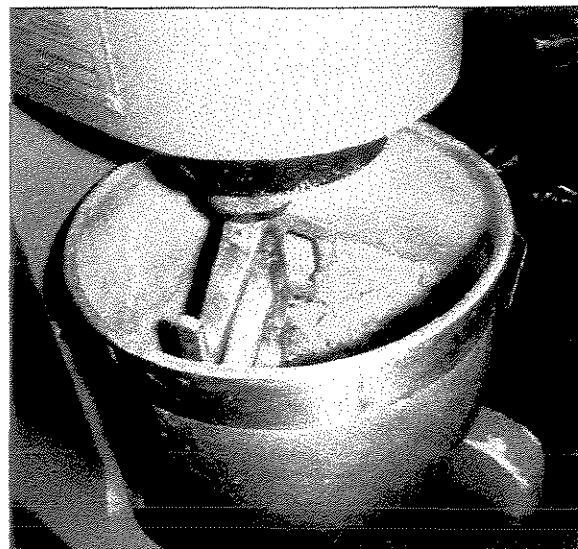


Figura 29 - Aspecto da argamassa.



Figura 30 - Aspecto da argamassa (fluida).

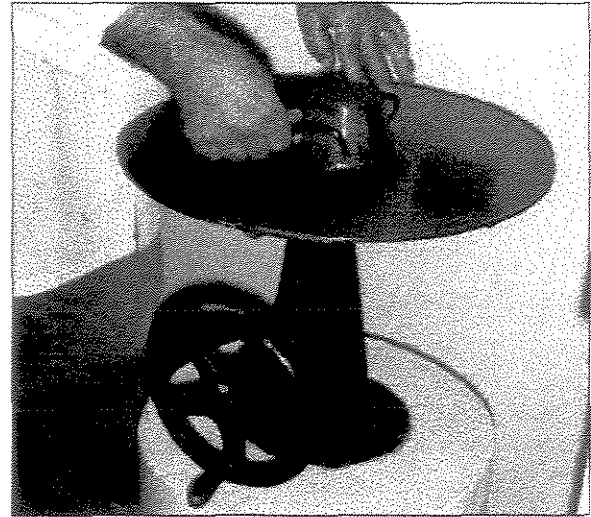


Figura 31 - Mesa de Flow.



Figura 32 - Medição da consistência.

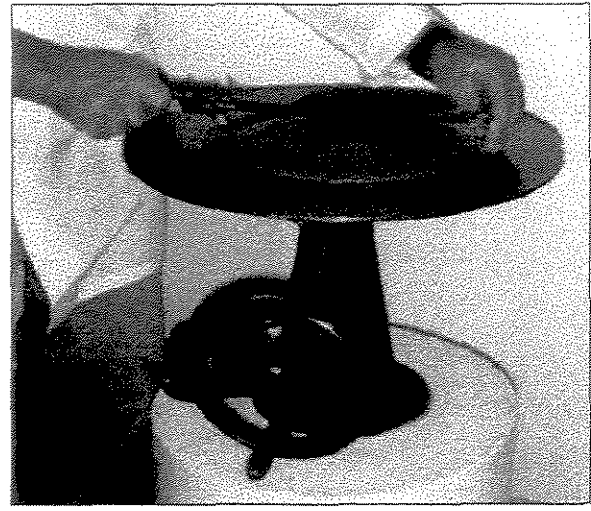


Figura 33 - Medição da consistência.

Após a medição da consistência, outra argamassa é misturada e então procede-se a moldagem dos corpos-de-prova. Os moldes são metálicos, com dimensões de aproximadamente 285 x 25 x 25 mm. Em suas extremidades há orifícios para encaixe de dois parafusos, que ficarão parcialmente engastados dentro da barra de argamassa após a desforma. O objetivo da colocação destes parafusos é criar um suporte para realização das leituras no relógio comparador. Os corpos-de-prova são moldados em duas camadas, com compactação uniforme. Para cada amostra de agregado são moldados 3 corpos-de-prova. As Figuras 34 a 37 ilustram o processo de moldagem e compactação.

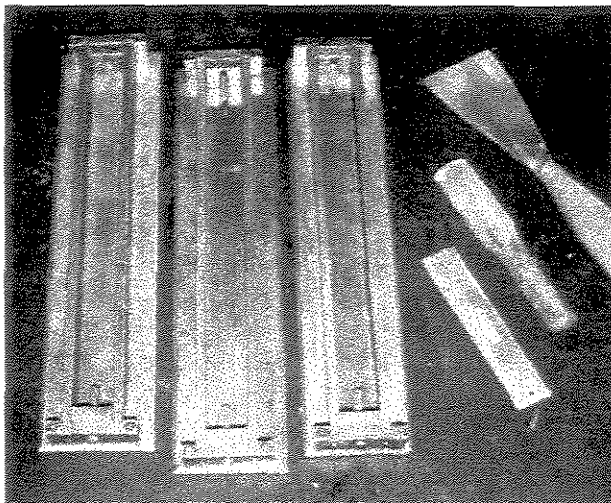


Figura 34 - Formas com os parafusos fixados.

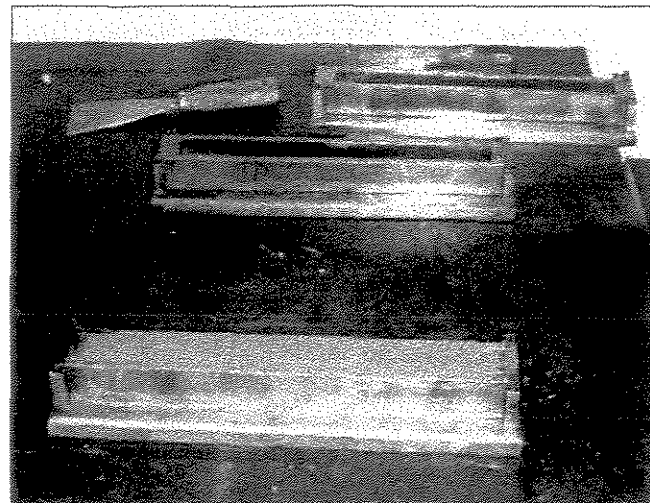


Figura 35 - Forma preenchida com argamassa.



Figura 36 - Compactação.



Figura 37 - Compactação.

Os corpos-de-prova ficam estocados em câmara úmida para cura durante 24 horas. Em seguida são desformados e é realizada a primeira medição de cada barra, em relógio comparador, com precisão de milésimo de milímetro. São então imersos em um tanque de água destilada à temperatura de $23 \pm 2^\circ \text{C}$. Essa temperatura aumenta gradativamente até alcançar $80 \pm 2^\circ \text{C}$. Os corpos-de-prova ficam imersos na água destilada por mais 24 horas, com o objetivo das expansões causadas pelo aumento da temperatura ocorrerem neste período.

Após as 24 horas em imersão em água, as amostras são retiradas do tanque, novamente medidas e estocadas em outro tanque contendo solução de NaOH na concentração de 1N, já na temperatura de $80 \pm 2^\circ \text{C}$. Nesta etapa, as expansões causadas pela temperatura já ocorreram na imersão em água destilada, de maneira que as próximas expansões medidas podem ser seguramente relacionadas às reações.

Procedem-se leituras diárias de expansão através de relógio comparador. Essas leituras devem ser executadas em um tempo máximo de até 10 segundos, para evitar que haja variações no comprimento dos corpos-de-prova por causa da diferença de temperatura entre a solução e o ambiente. A temperatura e a concentração da solução de NaOH também são controladas.

A leitura de referência, segundo a ASTM C-1260, é aos 16 dias de idade. Porém, é bastante recomendado que as leituras prossigam até os 28 dias, para que seja melhor delineado o comportamento do agregado. Isso é particularmente empregado para reações do tipo álcali-silicato, por serem mais lentas.

As leituras são expressas em porcentagens de expansão e inseridas em um gráfico expansão (%) x idade (dias).

As figuras 38 a 41 mostram os equipamentos utilizados para leitura e estocagem dos corpos-de-prova.

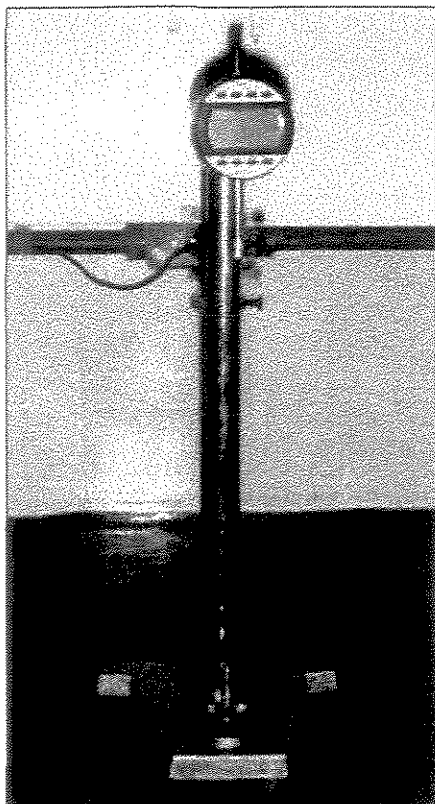


Figura 38 - Relógio comparador.

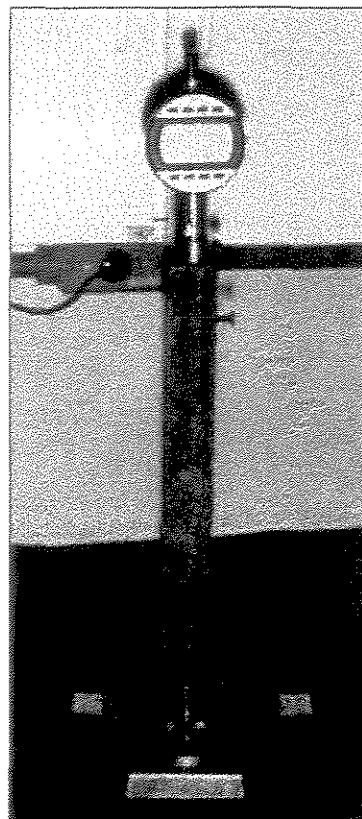


Figura 39 - Relógio comparador + corpo-de-prova.

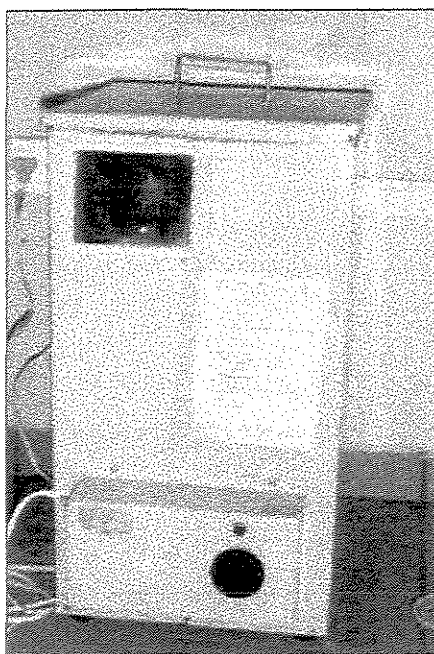


Figura 40 - Tanque de estocagem.

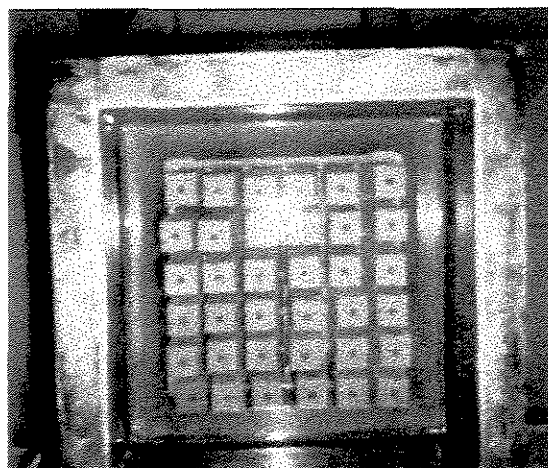


Figura 41 - Tanque de estocagem com amostras.

5.2.3.3 Método químico

Esta etapa experimental foi executada de acordo com a NBR 9774/87. A amostra necessária para realização deste ensaio é a fração do agregado correspondente à fração 5 da Tabela 03, ou seja, passante na peneira de abertura nominal 0,3 mm e retida na peneira 0,15 mm. Após preparar-se a amostra conforme 5.2.3.1, incluindo a etapa de lavagem do agregado, separou-se a fração necessária.

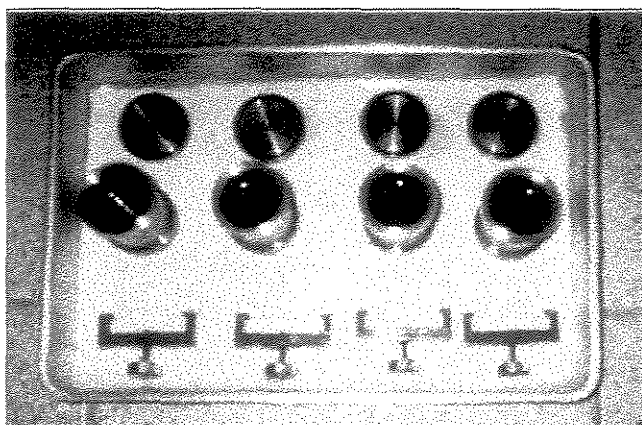
Para cada amostra realizam-se três ensaios e ainda um ensaio em branco para verificação. O agregado, na quantidade de 25 g, é colocado dentro de um reator juntamente com 25 ml de solução de NaOH na concentração 1N. O reator é fechado e conservado em banho hidrostático ou estufa por 24 horas, à temperatura de $80 \pm 1^\circ \text{C}$. Em seguida a amostra e a solução são filtradas a vácuo. A partir deste filtrado é que serão realizadas as análises.

As figuras 42 a 46 mostram as etapas de ensaio desde a amostra no reator até o filtrado final.

Do filtrado são feitos dois tipos de análise. Em um deles, procura-se quantificar a redução da alcalinidade da solução original. A concentração inicial da solução de NaOH é de 1N. Após o ensaio, caso o agregado seja reativo, este terá "consumido" uma parte dos álcalis da solução. Através da verificação da alcalinidade da solução de NaOH, pode-se quantificar este efeito.

O outro parâmetro fornecido é a sílica dissolvida. Caso haja reação, através desta análise é avaliada a quantidade de sílica do agregado que foi dissolvida e está presente no filtrado.

Com estes dois parâmetros, a redução de alcalinidade e a sílica dissolvida, é traçado um gráfico que expressa a reatividade do agregado conforme a região do gráfico situada.



Figuras 42 - Reatores contendo as amostras e a solução de NaOH.



Figura 43 - Reatores fechados, na estufa.

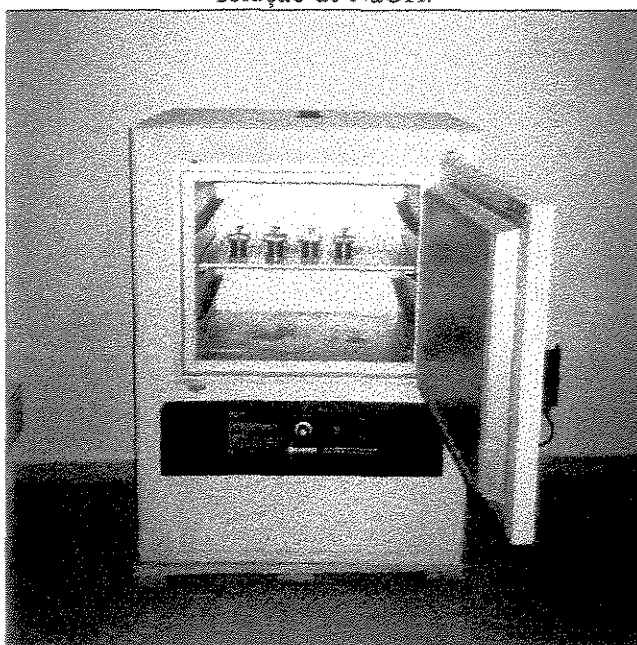


Figura 44 - Estufa com os reatores.



Figura 45 - Filtragem da amostra.



Figuras 46 - Filtrados nos tubos de ensaio.

5.2.4 Microscopia eletrônica de varredura

Após o término do ensaio de reatividade potencial pelo método acelerado, algumas amostras foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura. O critério de escolha foi a discordância de resultados entre os métodos químico, acelerado e análise petrográfica, ou seja, amostras que se apresentaram reativas por um método e não-reativas por outro. Também foram ensaiadas algumas amostras que apresentaram fortes indícios de reatividade no ensaio acelerado para observação da microestrutura desta argamassa.

Dentre as três barras ensaiadas para cada amostra, selecionou-se as áreas que mais possuíam indícios de reação, tais como fissuras e barras se apresentando vergadas. Essas amostras foram então conservadas para posterior análise através de imersão em acetona por 30 minutos, secagem ao ar e armazenagem em dessecador. A acetona promove a paralisação das reações de hidratação do cimento, enquanto que a sílica-gel contida no dessecador remove a umidade do ar, evitando alterações na amostra.

As barras foram então partidas e as áreas de influência do meio alcalino (solução de NaOH) foram retiradas, resultando em amostras de dimensões menores que 1 cm de diâmetro. As amostras de fratura receberam a metalização para então serem analisadas ao microscópio eletrônico de varredura.

Foram coletadas informações topológicas das amostras bem como informações a respeito do número atômico dos produtos analisados. Aliada e conjunta à técnica da microscopia eletrônica de varredura foi utilizada a espectrometria de raios X, que analisa a composição química elementar das microregiões de interesse.

6 RESULTADOS E ANÁLISE

São apresentados neste capítulo os resultados dos ensaios de análise petrográfica, determinação da reatividade potencial pelos métodos acelerado e químico e microscopia eletrônica de varredura, juntamente com uma análise dos dados obtidos.

6.1 Análise petrográfica

Para os fins de análise petrográfica, as amostras foram divididas inicialmente em dois grandes grupos : agregados graúdos e miúdos, a fim de reunir descrições semelhantes.

Cabe observar, ainda, que a mineralogia aqui descrita para cada tipo de rocha é apenas a mineralogia principal, sem considerar todos os minerais acessórios, em geral bem diversificados. A descrição dos minerais e da estrutura das rochas estudadas tem por objetivo a investigação frente à reação álcali-agregado e não a caracterização e classificação dos agregados, motivo pelo qual a análise foi simplificada.

Os agregados miúdos foram analisados *in natura* , o que dificultou um pouco a obtenção de imagens, porém possibilitou a identificação de todos os principais minerais.

6.1.1 Agregados graúdos

A análise das amostras de agregado graúdo consistiu na observação de características como o tipo de rocha, estrutura, granulação e mineralogia.

Entre as amostras de agregados graúdos ensaiadas, destacaram-se dois grandes grupos: os basaltos e os granitos. Porém ainda foram encontrados uma rocha sedimentar, dois prováveis carbonatos e um gnaiss. A estrutura das rochas apresentou-se, em geral, isotrópica, ou seja, não orientada, e a granulação variou de fina à grossa.

Nos basaltos o comportamento reativo foi deduzido a partir da presença de vidro vulcânico, em maiores ou menores quantidades, enquanto que para os granitos o quartzo deformado, exprimindo ângulo de extinção ondulante, é que foi considerado um indicativo da potencialidade reativa do material. Outros indícios, tais como deformação e evidências de cataclase, foram encontrados.

Estes dados encontram-se na Tabela 05, e em seguida as respectivas imagens obtidas.

Tabela 05. Análise petrográfica das amostras de agregado graúdo.

Amostra	Tipo de rocha	Estrutura	Granulação	Mineralogia	Reatividade potencial	Imagem
002	Basalto	Isótropa, não orientada	Fina a média	Feldspato em ripas curtas, opacos, piroxênio	Provável, em função da presença de vidro vulcânico	Figura 47
003	Sedimentar	Anisótropa, orientada	Fina a média	Apresenta duas bandas: uma de calcário impuro (apresentando quartzo, opacos e biotita) e outra de filito ou xisto fino (apresentando opacos, biotita, anfibólio e quartzo)	Calcário: provavelmente não reativo; Filito ou xisto fino: provável reatividade, em função de apresentar-se fino, estirado e deformado;	Figura 48
008	Granito	Isótropa, não orientada	Fina	Quartzo, feldspato e mica em maior quantidade	Indefinida, o quartzo possui pouca extinção ondulante	Figura 49
009	Granito	Isótropa, não orientada	Média a fina	Quartzo, feldspato e mica	Indefinida, quartzo com pouca extinção ondulante	Figura 50
010	Granito	Isótropa, não orientada	Média a grossa	Quartzo, feldspato, mica (biotita), hornblenda, opacos, apatita, titanita e epidoto. Textura granítica, contornos tendendo a retilíneos e contatos tendendo a poligonização	Provavelmente reativo, em função da presença de quartzo com extinção ondulante. A textura poligonal mostra tendência à recristalização	Figura 51
011	Basalto	Isótropa, não orientada	Fina a média	Feldspato em ripas curtas e largas, opacos e piroxênio	Indefinida, quartzo com pouca extinção ondulante	Figura 52
013	Granito	Isótropa, não orientada	Média a fina	Quartzo, feldspato e mica, principalmente	Provavelmente reativo, em função da presença de quartzo com ângulo de extinção bastante ondulante	Figura 53

Tabela 05. Análise petrográfica das amostras de agregado graúdo.
(continuação)

Amostra	Tipo de rocha	Estrutura	Granulação	Mineralogia	Reatividade potencial	Imagem
014	Basalto	Isótropa, não orientada	Fina a média	Feldspato, opacos e piroxênio. Presença de vidro vulcânico. Textura em feltro (ripas de feldspato entrelaçadas)	Provavelmente reativo, em função da presença de vidro vulcânico	Figura 54
016	Basalto	Isótropa, não orientada	Fina a média	Feldspato, opacos, piroxênio. Presença de bastante vidro vulcânico intersticial	Provavelmente reativo, em função da presença de vidro vulcânico	Figura 55
017	Basalto	Isótropa, não orientada	Fina a média	Feldspato em ripas curtas, opacos, piroxênio	Provavelmente reativo, em função da presença de vidro vulcânico	Figura 56
018	Granito	Isótropa, não orientada	Média a fina	Quartzo, feldspato e mica	Não, quartzo sem extinção ondulante	Figura 57
019	Carbonato (provável)	Isótropa, não orientada	Fina	Material fibroso, deformado e fino. Presença de quartzo	Sim, em função da granulação e deformação	Figura 58
020	Carbonato (provável)	Isótropa, não orientada	Fina	Rocha não homogênea. Material fibroso, deformado e fino. Uma parte quartzosa.	Sim, em função da granulação e deformação	Figura 59
021	Granito	Isótropa, não orientada	Média a grossa	Quartzo e feldspato, principalmente	Provavelmente reativo, em função da presença de quartzo com extinção ondulante	Figura 60

Tabela 05. Análise petrográfica das amostras de agregado graúdo.
(conclusão)

Amostra	Tipo de rocha	Estrutura	Granulação	Mineralogia	Reatividade potencial	Imagem
022	Gnaisse	Isótropa, não orientada	Fina	Feldspato, quartzo, hornblenda, biotita, titanita e opacos. Rocha metamórfica, com evidências de cataclase. Apresenta pequenos cristais de quartzo, deformados e com extinção ondulante, provavelmente afetados por cisalhamento	Provavelmente reativos, em função da presença destes pequenos cristais de quartzo	Figura 61
028	Basalto	Isótropa, não orientada	Fina a média	Feldspato, opacos, piroxênio em maior quantidade. Presença de vidro vulcânico	Provavelmente reativo, em função da presença de vidro vulcânico	Figura 62
034	Granito	Isótropa, não orientada	Grossa	Quartzo, feldspato e mica, principalmente	Indefinida, em função da presença de quartzo com muito pouca extinção ondulante	Figura 63
036	Basalto	Isótropa, não orientada	Muito fina	Feldspato, opacos, piroxênio. Presença de vidro vulcânico em bastante quantidade	Provavelmente reativo, em função da presença de vidro vulcânico	Figura 64

1. Número de amostras ensaiadas: 18.
2. Número de lâminas por amostra: 01.
3. Procedimento de amostragem: escolha de fragmento de rocha representativo do material estudado.

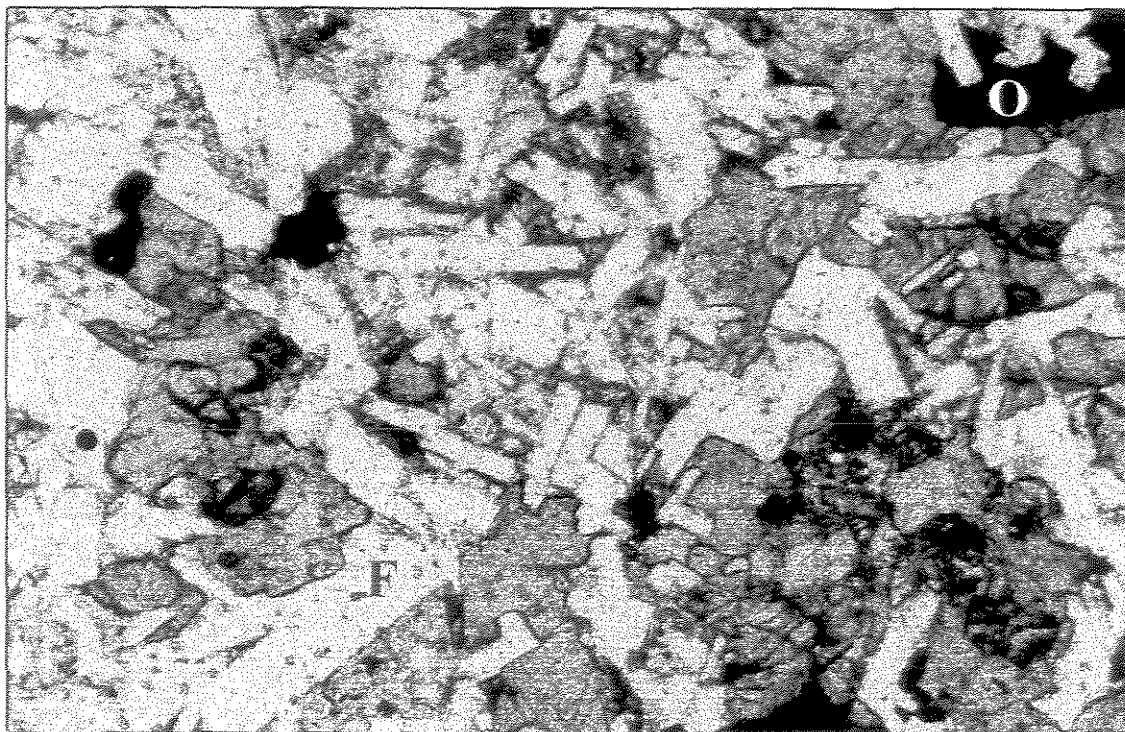


Figura 47 - Amostra 002. Notar a presença de feldspato (F), opacos (O) e vidro vulcânico (V).
Aumento: 50 x.

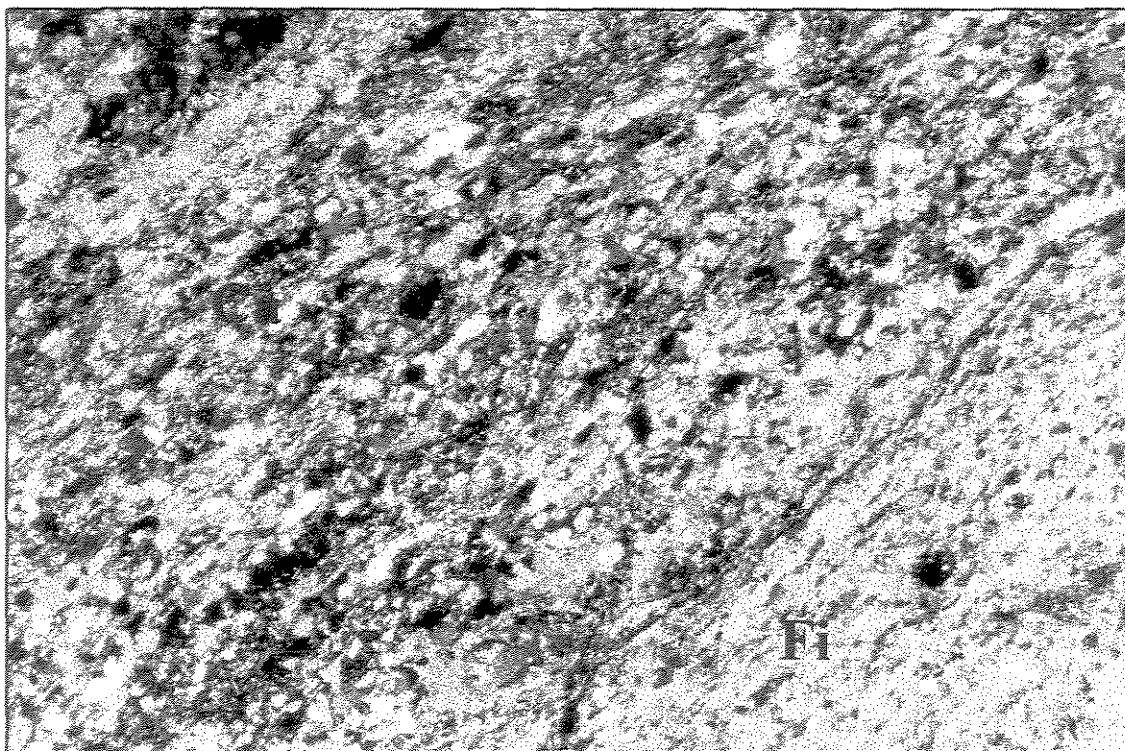


Figura 48 - Amostra 003. A banda da direita (inferior) é um filito (Fi) e a da esquerda é um calcário impuro (Ca). Aumento : 100 x.

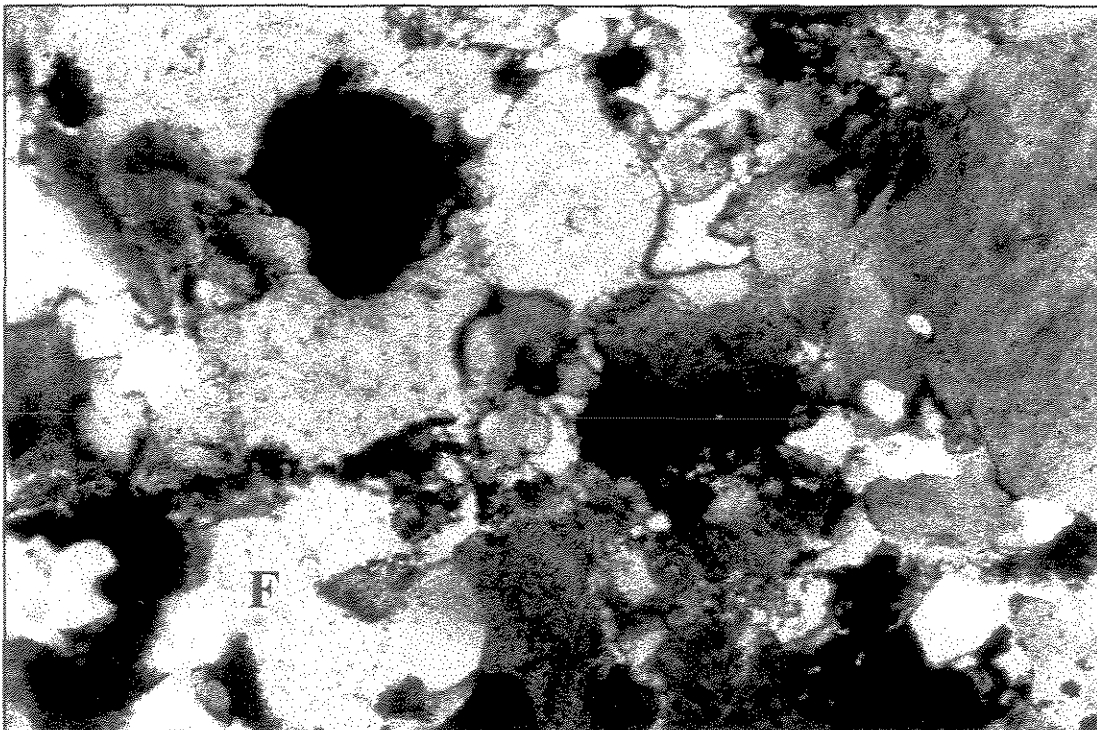


Figura 49 - Amostra 008. Notar a presença de feldspato (F), quartzo com pouca extinção ondulante (Q) e mica (M). Aumento :50 x.

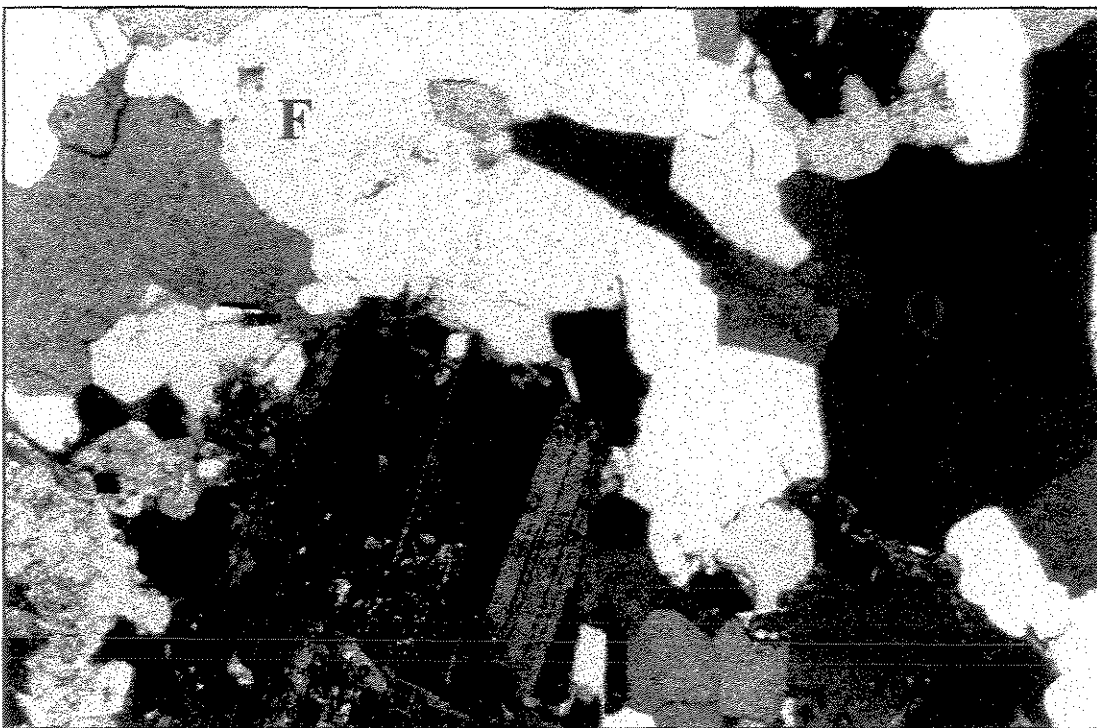


Figura 50 - Amostra 009. Notar a presença de feldspato (F) e quartzo com extinção ondulante (Q). Aumento :50 x.



Figura 51 - Amostra 010. Notar a presença de feldspato (F), quartzo (Q) e mica (M).
Aumento : 50x

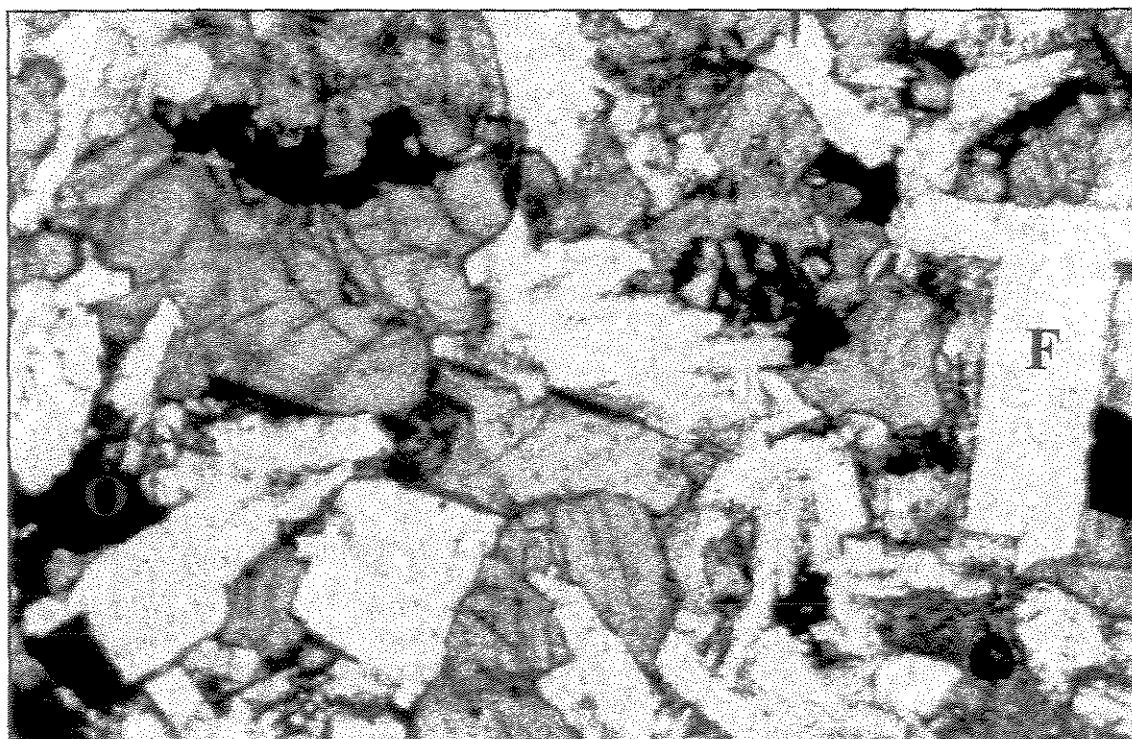


Figura 52 - Amostra 011. Notar a presença de feldspato (F), opacos (O) e vidro vulcânico (V).
Aumento: 50 x.

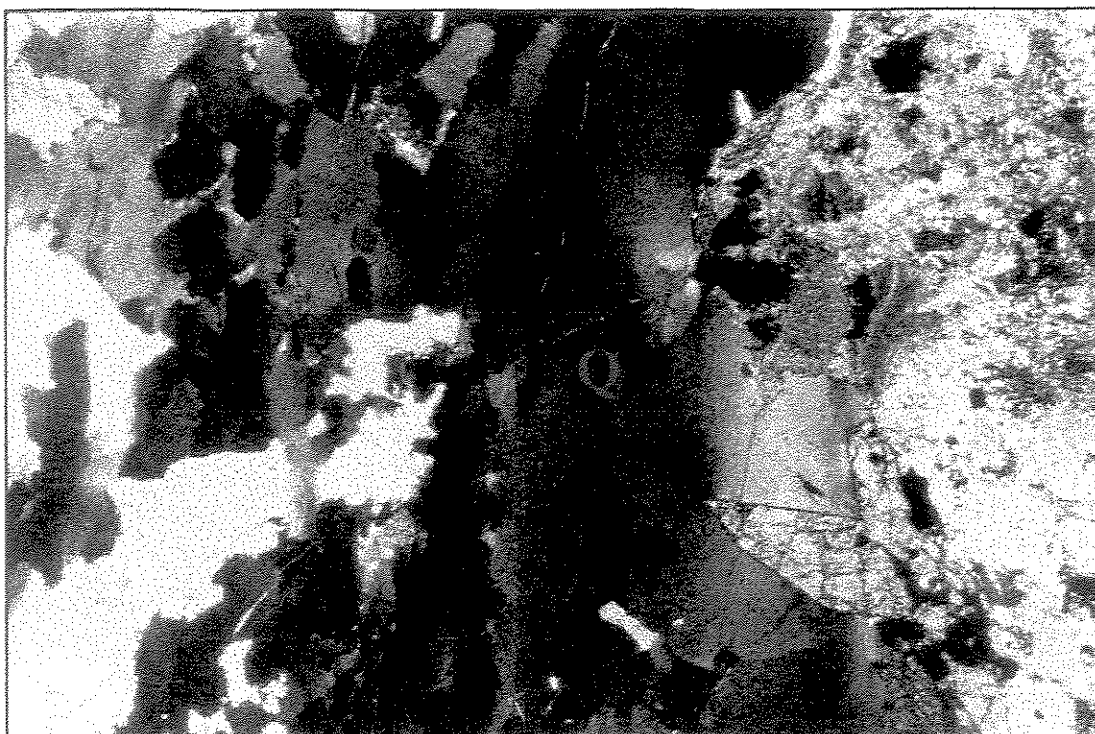


Figura 53 - Amostra 013. Notar a presença do quartzo deformado (Q). Aumento : 50 x.



Figura 54 - Amostra 014. Notar a presença de feldspato (F), opacos (O) e vidro vulcânico (V).
Aumento : 50 x.

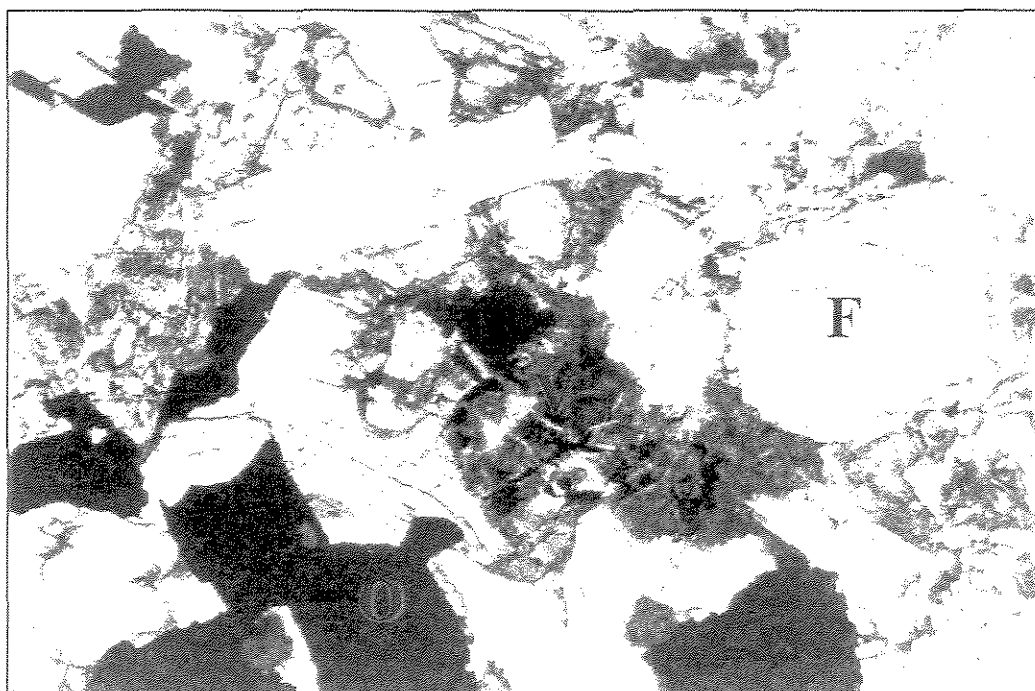


Figura 55 - Amostra 016. Notar a presença de feldspato (F), opacos (O) e vidro vulcânico (V).
Aumento : 100 x.

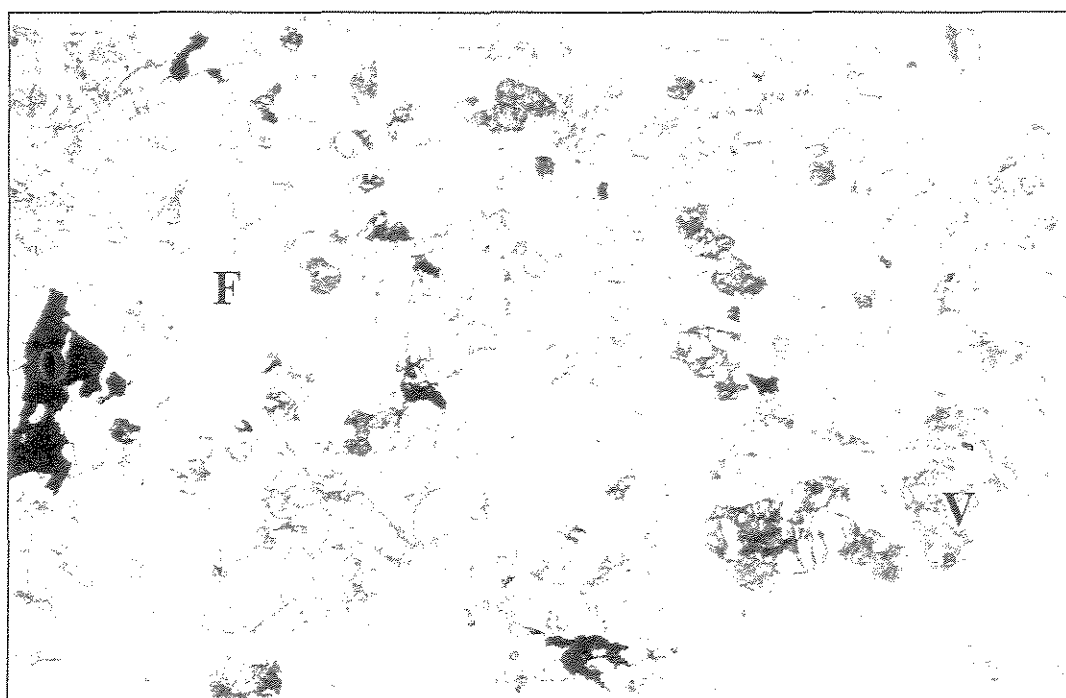


Figura 56 - Amostra 017. Notar a presença de feldspato (F), opacos (O) e vidro vulcânico (V).
Aumento : 50 x.

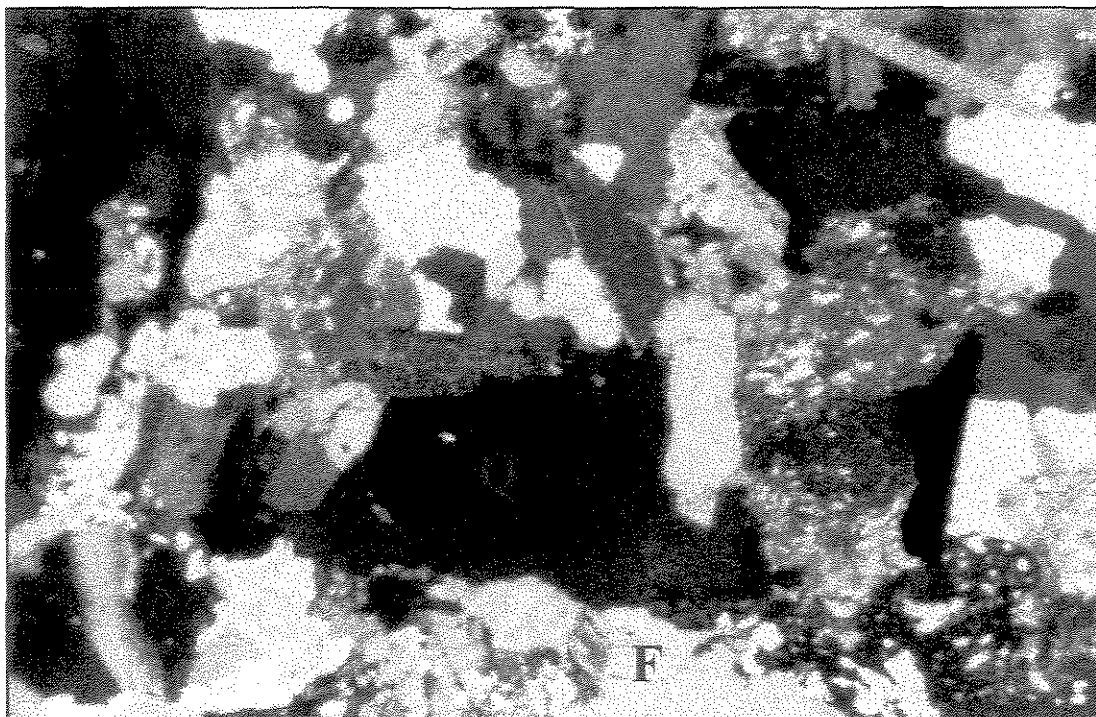


Figura 57 - Amostra 018. Notar a presença de feldspato (F), quartzo sem extinção ondulante (Q) e mica (M). Aumento :50 x.

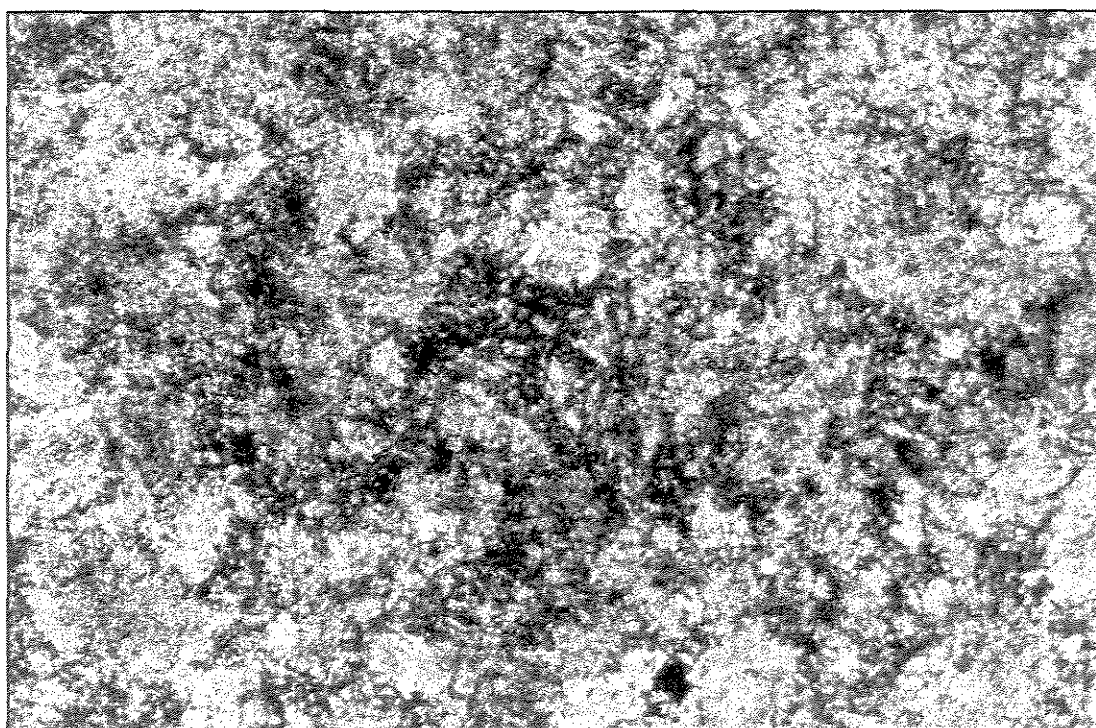


Figura 58 - Amostra 019. Presença de quartzo (grãos amarelos). Aumento : 100 x.

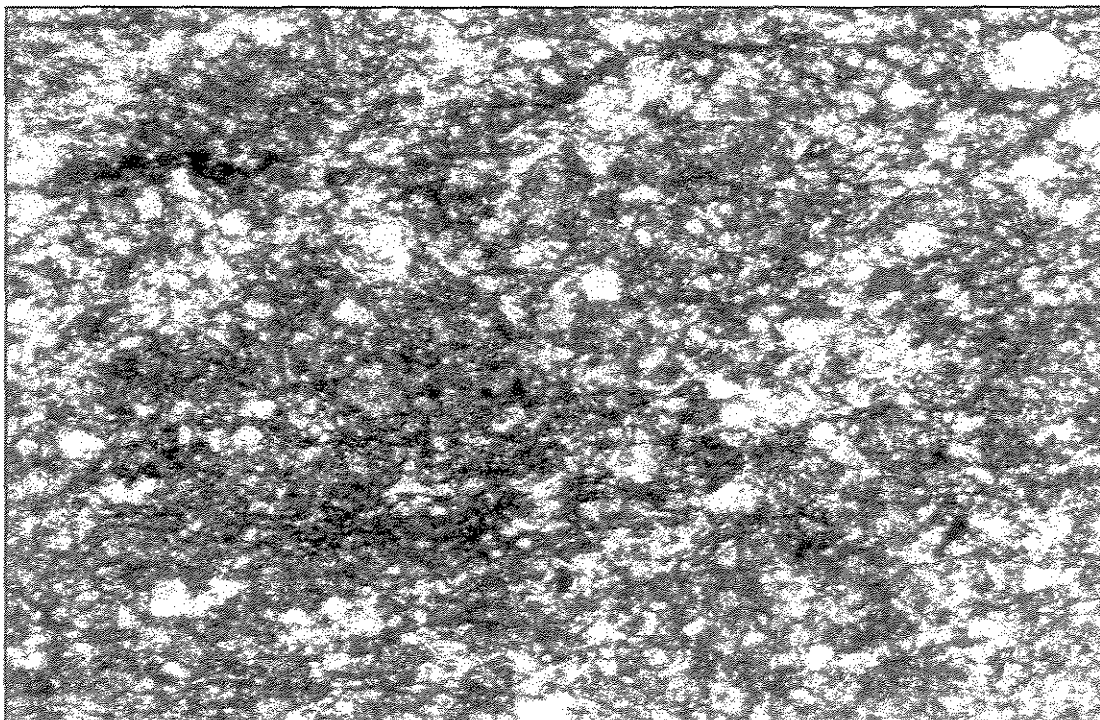


Figura 59 - Amostra 020. Presença de quartzo (grãos amarelos). Aumento : 100 x.

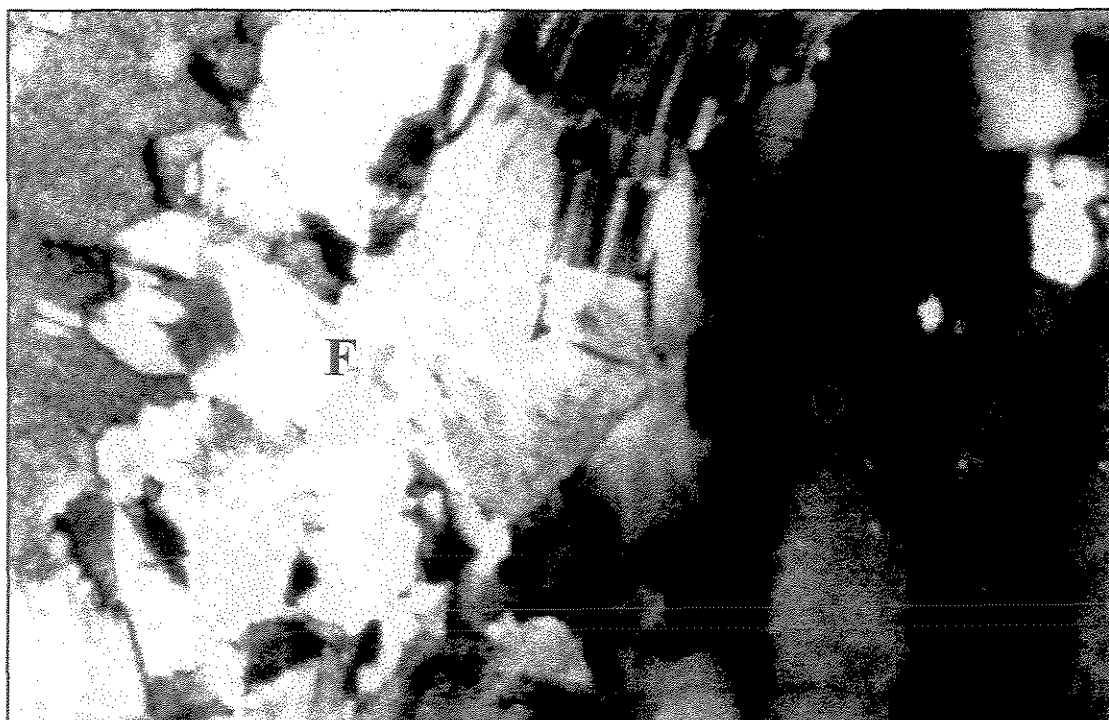


Figura 60 - Amostra 021. Notar a presença de quartzo deformado(Q) e feldspato (F).
Aumento : 50 x.

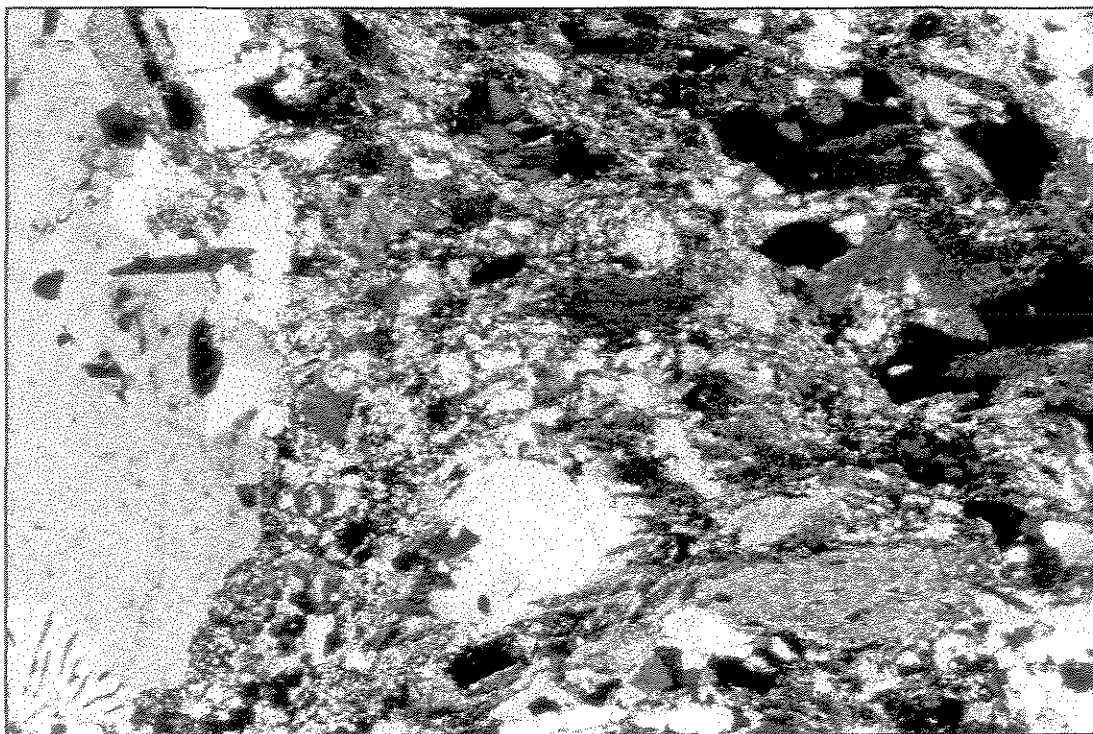


Figura 61 - Amostra 022. Observar os grãos pequenos e deformados de quartzo (Q).
Aumento : 50 x.

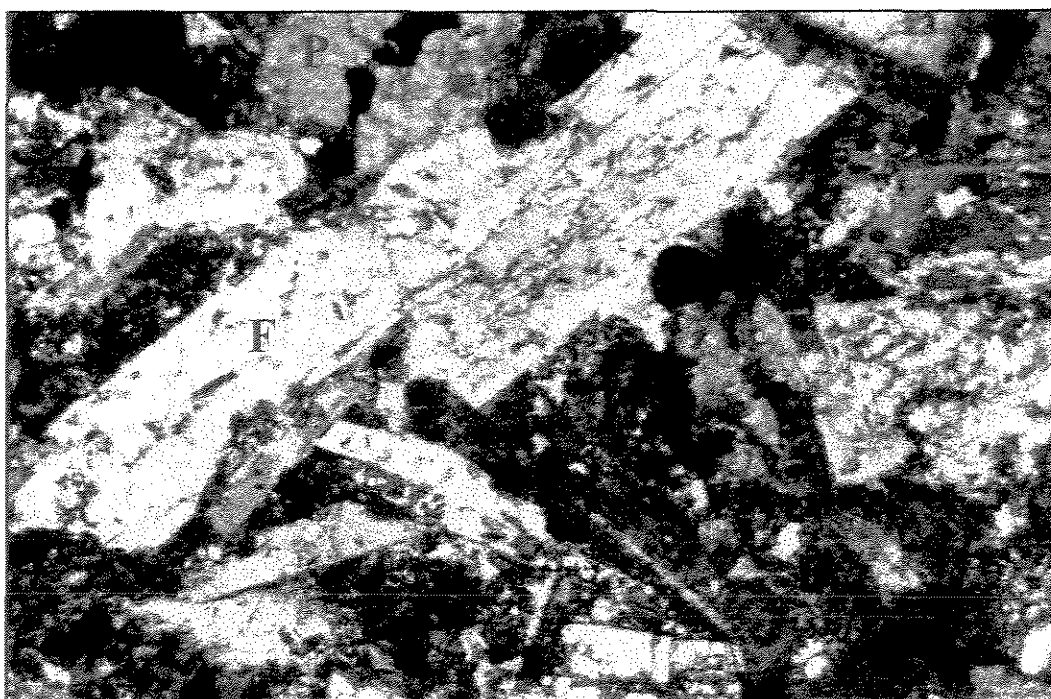


Figura 62 - Amostra 028. Notar a presença de feldspato (F), piroxênio (P) e vidro vulcânico (V).
Aumento : 50 x.

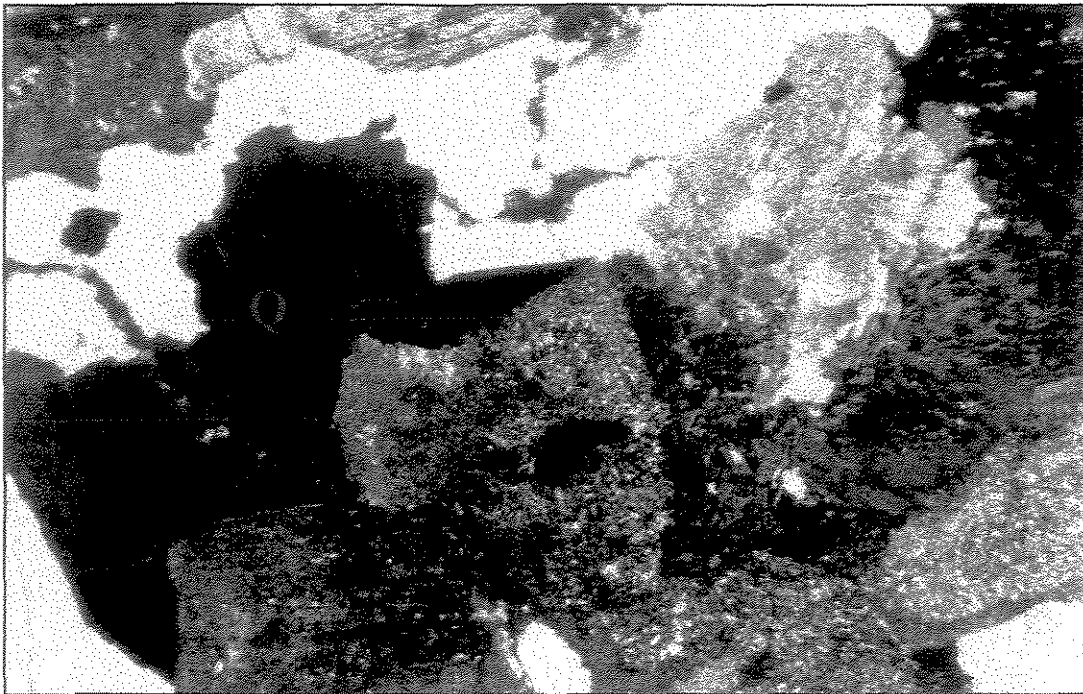


Figura 63 - Amostra 034. Notar o quartzo muito pouco deformado (Q). Aumento : 50 x.

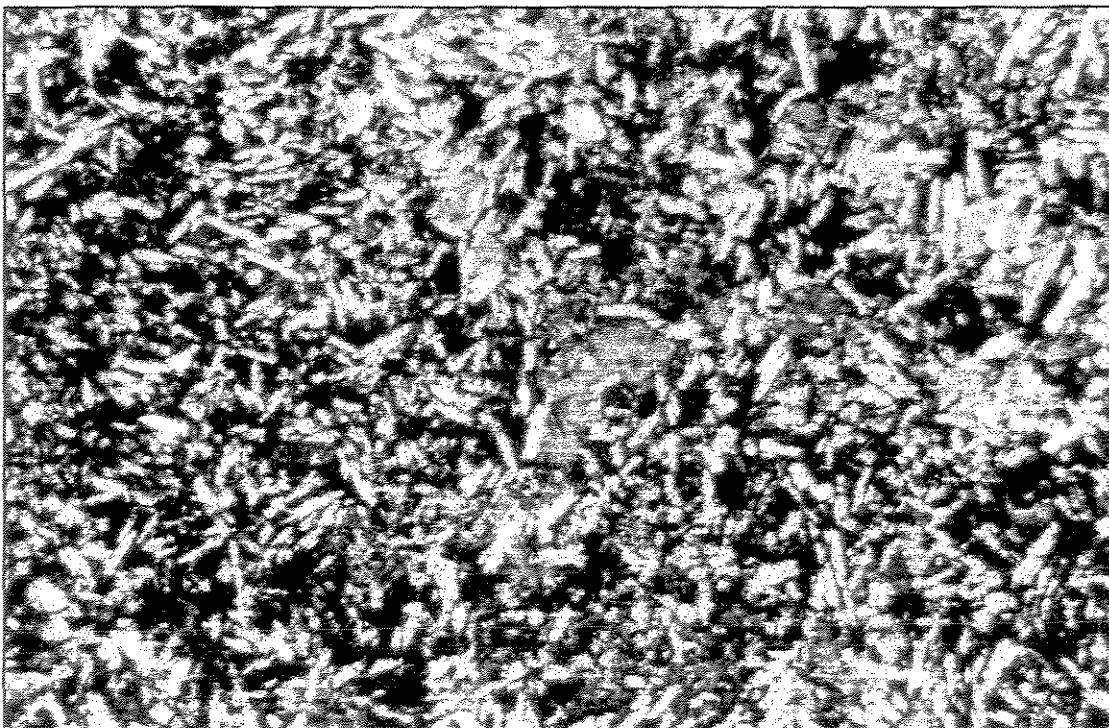


Figura 64 - Amostra 036. Notar a presença abundante de vidro vulcânico (em amarelo).
Aumento : 50 x.

6.1.2 Agregados miúdos

A análise das amostras de areias natural e artificial ensaiadas encontra-se na Tabela 06, sendo que para os agregados miúdos a análise se concentrou na mineralogia e granulação. As imagens obtidas também se encontram em seguida.

Uma diferença pode ser observada na análise de agregados miúdos naturais e artificiais. As areais naturais (as de rio, principalmente) possuem uma menor diversidade de minerais, em virtude do próprio processo de formação. A água vai lixiviando alguns minerais, sendo que o resultado são grãos arredondados_e de poucos tipos de minerais constituintes. Já as areias artificiais, têm, em geral, uma maior variedade de minerais, por serem originadas a partir de rocha bruta britada.

Tabela 06. Análise petrográfica das amostras de agregado miúdo.

Amostra	Tipo de areia	Granulação	Mineralogia	Reatividade potencial	Imagem
001	Natural	Fina com grãos arredondados	Feldspato, turmalina e quartzo	Indefinida	Figura 65
004	Artificial	Fina	Feldspato, mica, opacos e quartzo	Indefinida	Figura 66
005	Artificial	Fina	Feldspato, mica, opacos e quartzo	Indefinida	Figura 67
006	Natural	Fina com grãos arredondados	Feldspato, turmalina e quartzo	Indefinida	Figura 68
007	Natural	Fina com grãos arredondados	Feldspato, turmalina e quartzo	Indefinida	Semelhante à amostra 006
012	Artificial	Fina	Predominância de feldspato e opacos, provável piroxênio e pouco quartzo. Rocha básica.	Indefinida	Figura 69
015	Natural	Grossa. Bordas irregulares	Feldspato, quartzo, opacos e mica. Maior diversidade de minerais	Indefinida	Figura 70
023	Artificial	Grossa	Feldspato, opacos e quartzo com pouca extinção ondulante	Provavelmente reativo, em função da presença de quartzo com ângulo de extinção ondulante	Figura 71

Tabela 06. Análise petrográfica das amostras de agregado miúdo.
(continuação)

Amostra	Tipo de rocha	Granulação	Mineralogia	Reatividade potencial	Imagem
024	Natural	Fina com grãos ligeiramente arredondados	Feldspato, opacos e quartzo com pouca extinção ondulante	Provavelmente reativo, em função da presença de quartzo com ângulo de extinção ondulante	Figura 72
025	Natural	Fina com grãos ligeiramente arredondados	Feldspato, opacos e quartzo com pouca extinção ondulante	Provavelmente reativo, em função da presença de quartzo com ângulo de extinção ondulante	Semelhante à amostra 024
026	Artificial	Média a fina	Feldspato, opacos e quartzo	Indefinida	Semelhante à amostra 005
027	Artificial	Grossa	Feldspato e predominância de opacos. A rocha originária é provavelmente um calcário impuro	Indefinida	Figura 73
029	Artificial	Fina	Feldspato, mica, opacos e quartzo	Indefinida	Semelhante à amostra 005
030	Natural	Grossa. Bordas irregulares	Feldspato, quartzo, opacos e mica. Maior diversidade de minerais	Indefinida	Semelhante à amostra 015

Tabela 06. Análise petrográfica das amostras de agregado miúdo.
(conclusão)

Amostra	Tipo de rocha	Granulação	Mineralogia	Reatividade potencial	Imagem
031	Natural	Grossa, com bordas bastante irregulares	Feldspato, quartzo, mica e opacos	Indefinida	Figura 74
032	Natural	Grossa, com bordas bastante irregulares	Feldspato, quartzo, mica e opacos	Indefinida	Semelhante à amostra 031
033	Natural	Grossa, com bordas bastante irregulares	Feldspato, quartzo, mica e opacos	Indefinida	Semelhante à amostra 031
035	Natural	Grossa, com bordas bastante irregulares	Feldspato, quartzo, mica e opacos	Indefinida	Semelhante à amostra 031

1. Número de amostras ensaiadas: 18.
2. Número de lâminas por amostra: 01.
3. Procedimento de amostragem: escolha de fragmento de rocha representativo do material estudado.

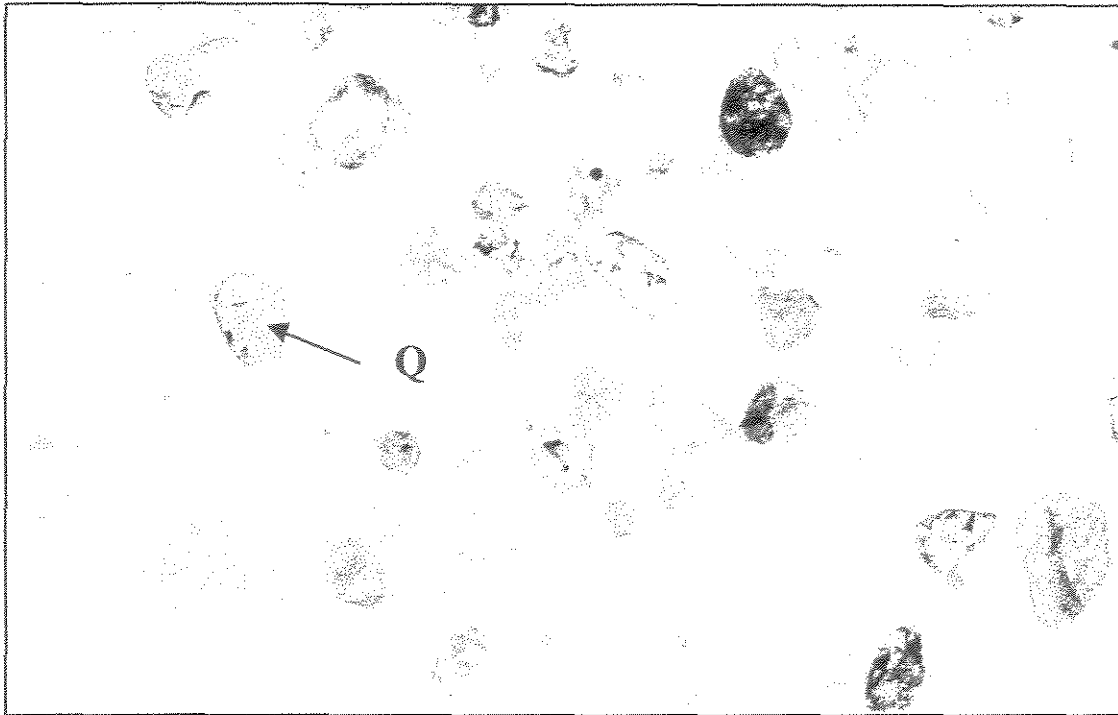


Figura 65 - Amostra 001. Notar a presença de quartzo (Q) e os grãos arredondados. Aumento : 50 x.

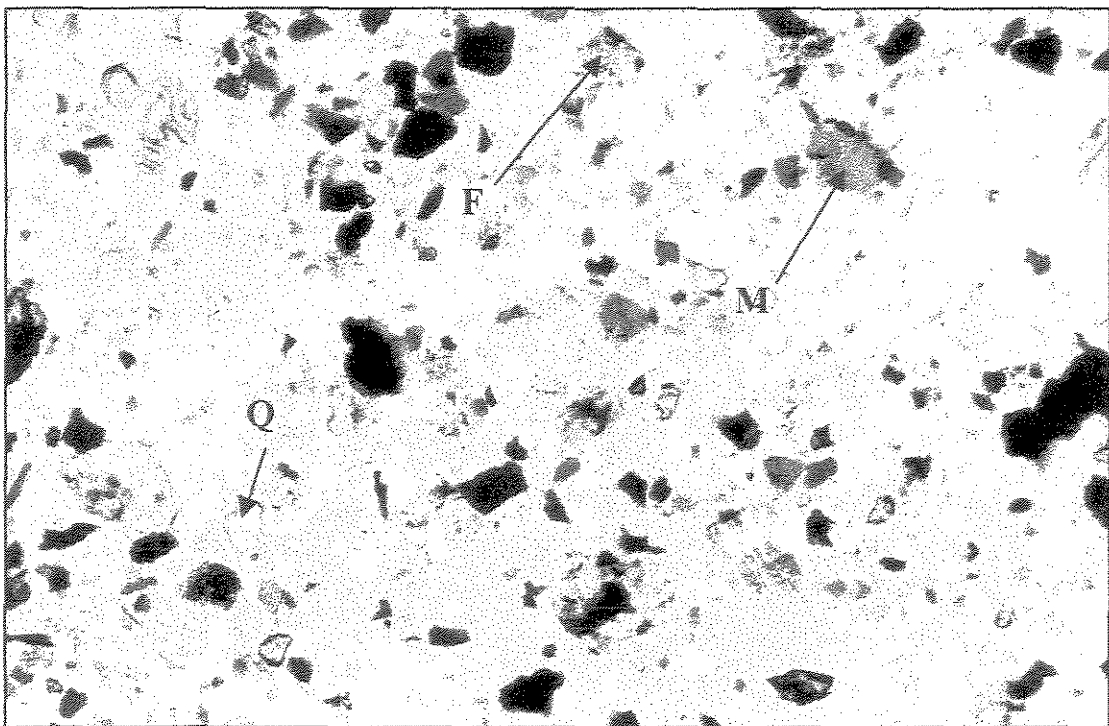


Figura 66 - Amostra 004. Notar a presença de quartzo (Q), feldspato (F) e mica (M). Aumento : 50 x.

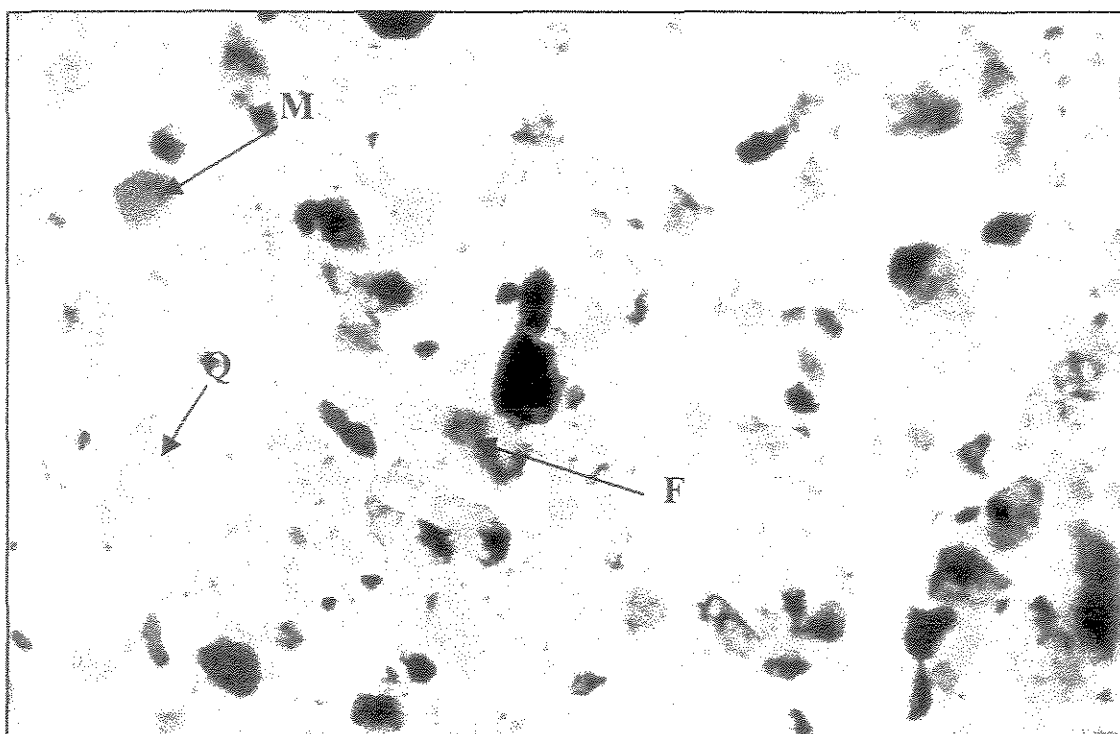


Figura 67 - Amostra 005. Notar a presença de quartzo (Q), feldspato (F) e mica (M). Aumento : 50 x.

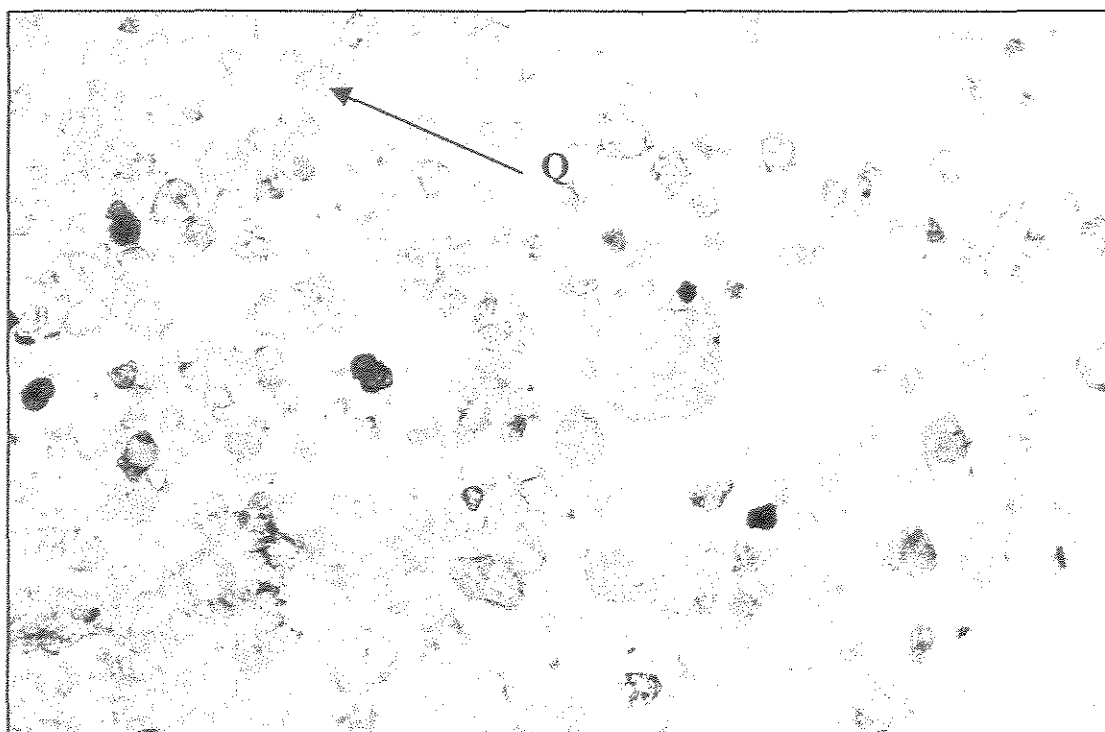


Figura 68 - Amostra 006. Notar a presença de quartzo (Q) e os grãos arredondados. Aumento : 50 x.

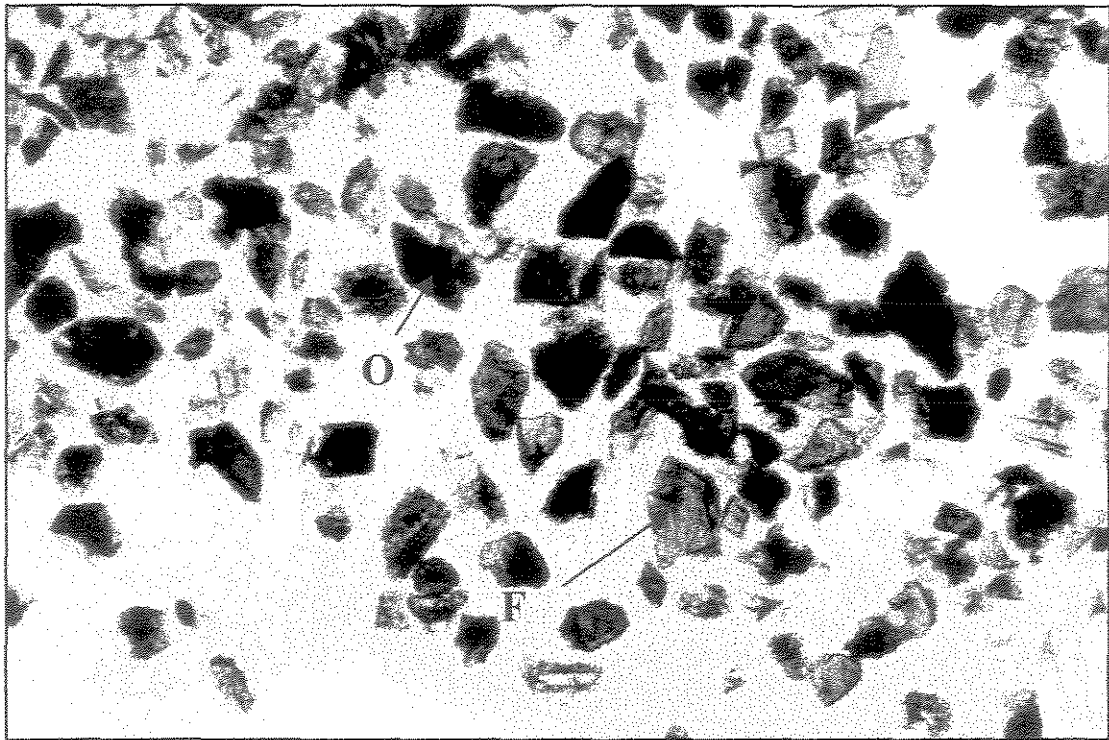


Figura 69 - Amostra 012. Notar a presença abundante de opacos (O) e feldspato (F). Aumento : 50 x

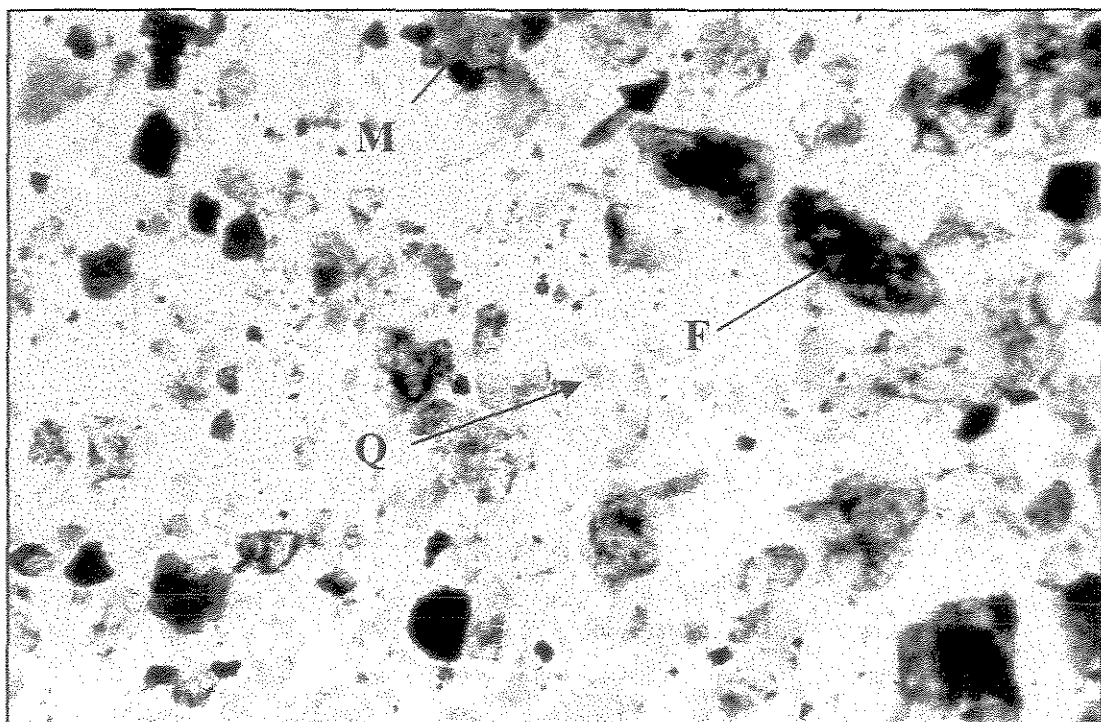


Figura 70 - Amostra 015. Notar a presença de feldspato (F) e quartzo (Q) e mica (M). Aumento : 50 x.

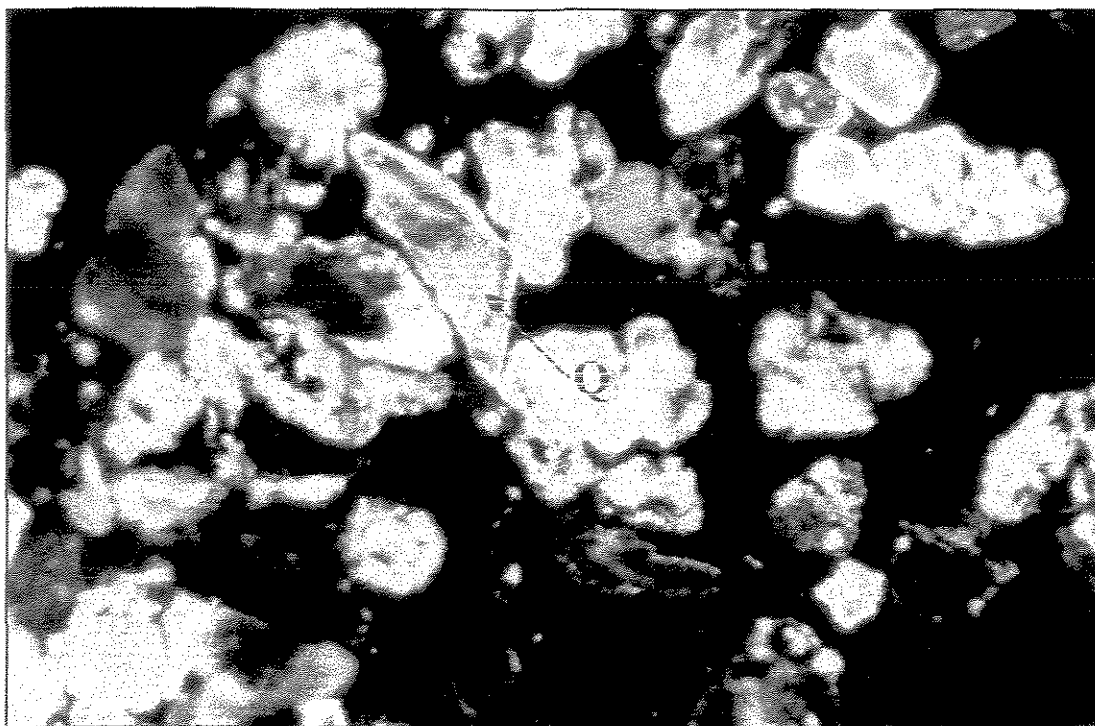


Figura 71 - Amostra 023. Notar a presença de quartzo com extinção ondulante (Q). Aumento : 50 x.

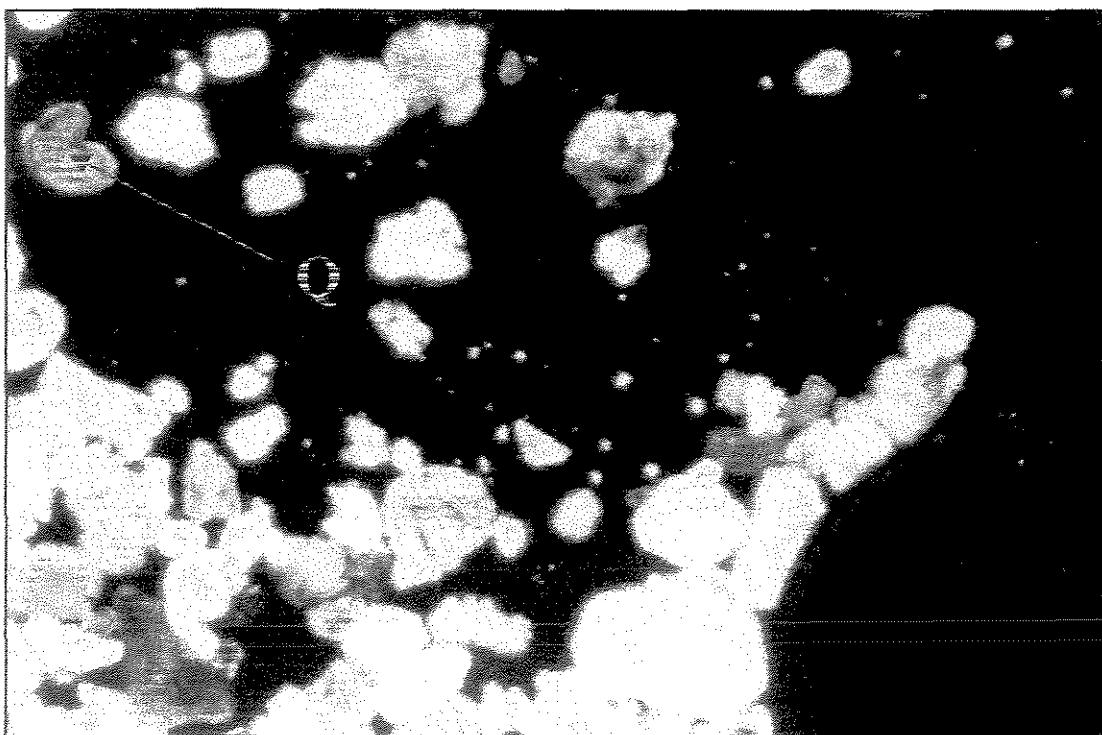


Figura 72 - Amostra 024. Notar a presença de quartzo com extinção ondulante (Q). Aumento : 50 x.

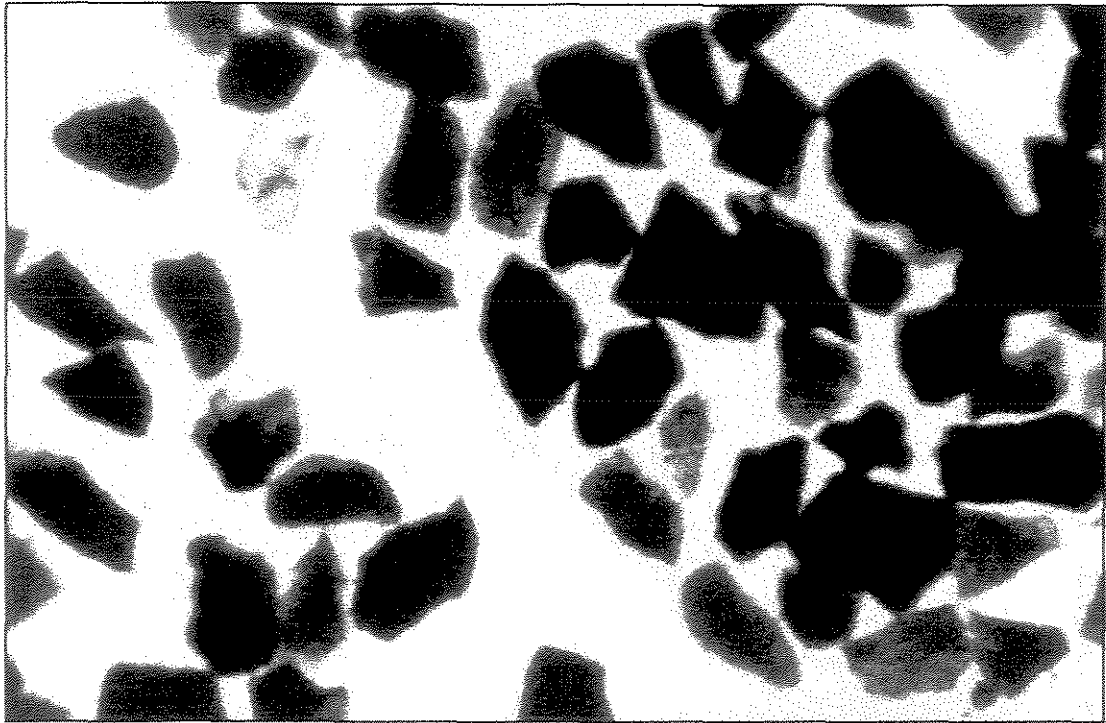


Figura 73 - Amostra 027. Notar a predominância de opacos (em preto). Aumento : 50 x.

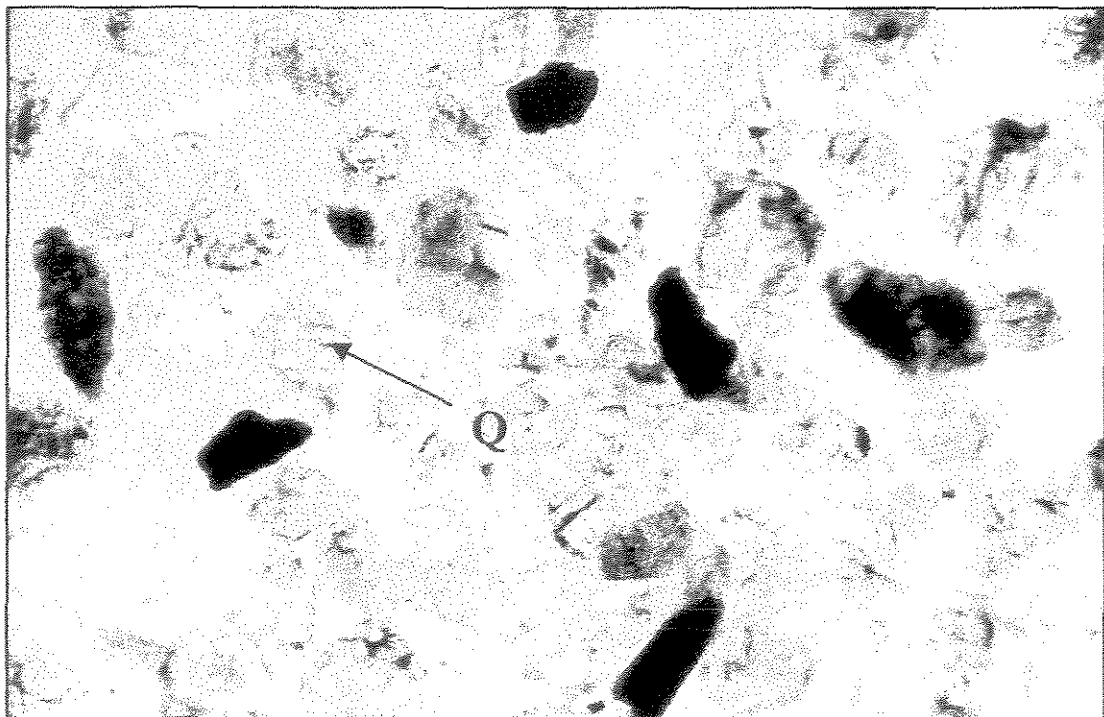


Figura 74 - Amostra 031. Notar a irregularidade das bordas dos grãos de quartzo (Q). Aumento : 50 x.

6.2 Determinação da reatividade potencial

A reatividade potencial foi determinada por dois métodos: o método acelerado e o método químico, os quais se apresentam a seguir.

6.2.1 Método acelerado

6.2.1.1 Resultados de expansão

A tabela 07 apresenta, para cada amostra ensaiada, o valor da expansão aos 16 dias e aos 28 dias (média dos resultados de três corpos-de-prova), em porcentagem (%). O modelo da planilha de ensaio consta no Anexo C.

A seguir estão apresentados os gráficos de expansão (%) x idade (dias), nas Figuras 75 a 110. Os resultados de expansão estão expressos como a média das três barras confeccionadas para cada amostra.

Tabela 07. Expansões aos 16 e 28 dias (em %) para cada amostra.

Amostra	Expansão aos 16 dias (%)	Expansão aos 28 dias (%)
001	0,004	0,040
002	0,195	0,334
003	0,071	0,112
004	0,059	0,095
005	0,060	0,110
006	0,026	0,069
007	0,024	0,052
008	0,176	0,278

Tabela 07. Expansões aos 16 e 28 dias (em %) para cada amostra.
(conclusão)

Amostra	Expansão aos 16 dias (%)	Expansão aos 28 dias (%)
009	0,073	0,131
010	0,052	0,076
011	0,127	0,326
012	0,204	0,304
013	0,071	0,126
014	0,307	0,424
015	0,048	0,072
016	0,250	0,404
017	0,179	0,300
018	- 0,051	0,115
019	0,380	0,589
020	0,218	0,331
021	0,042	0,088
022	0,069	0,132
023	0,094	0,177
024	0,094	0,210
025	0,098	0,199
026	0,077	0,144
027	0,176	0,306
028	0,281	0,440
029	0,020	0,044
030	0,006	0,015
031	0,025	0,064
032	0,023	0,044
033	0,002	0,022
034	0,044	0,123
035	0,142	0,267
036	0,251	0,555

1. Número de corpos de prova por amostra: 03.

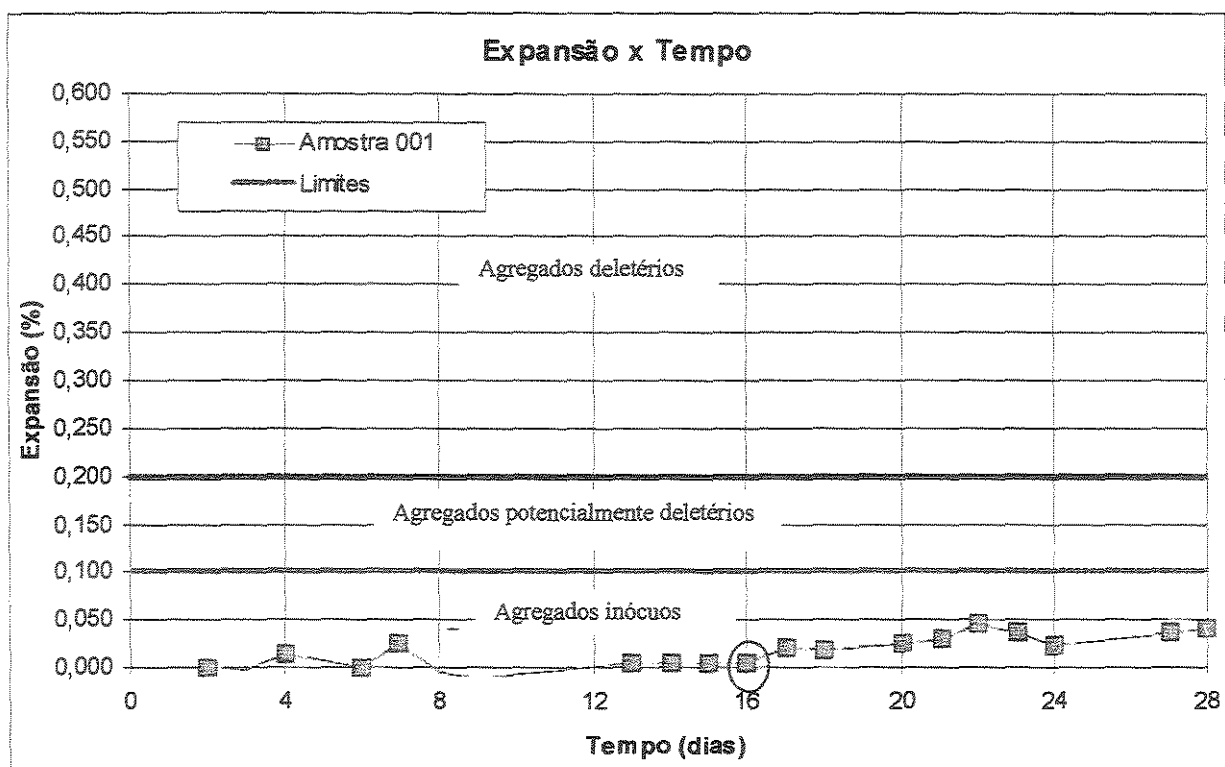


Figura 75 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 001.

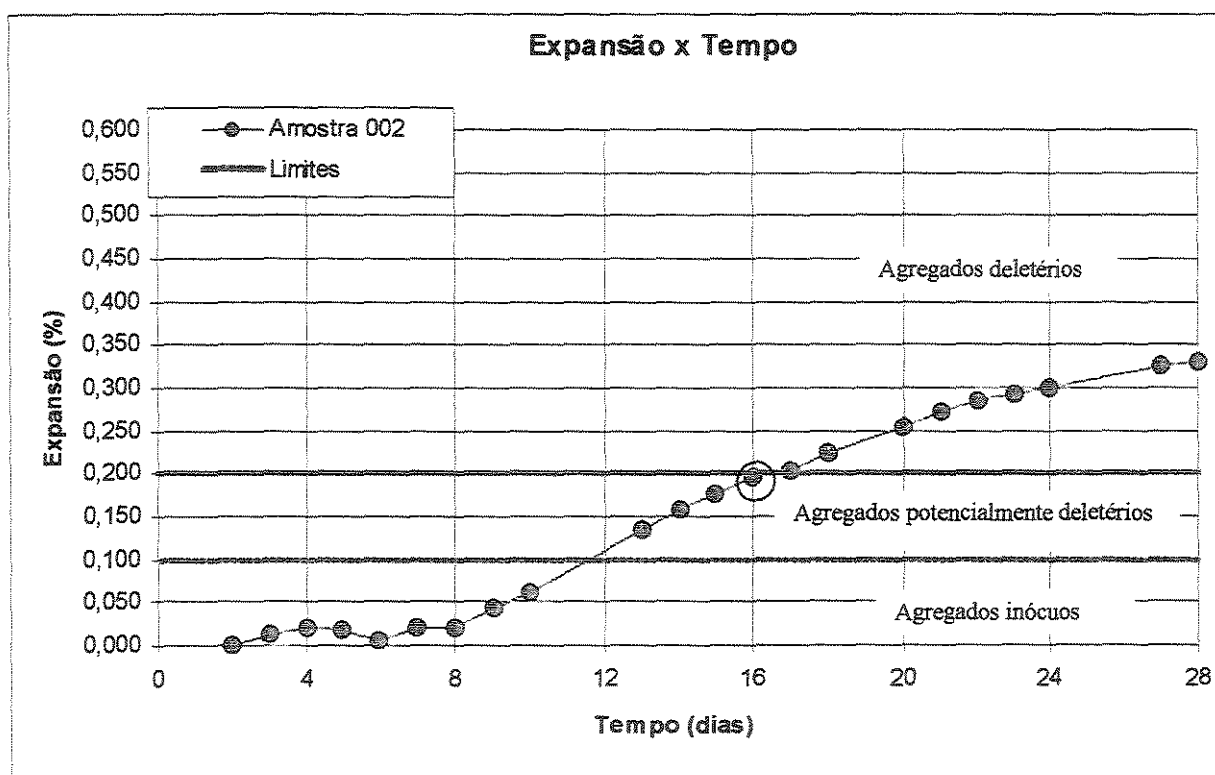


Figura 76 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 002.

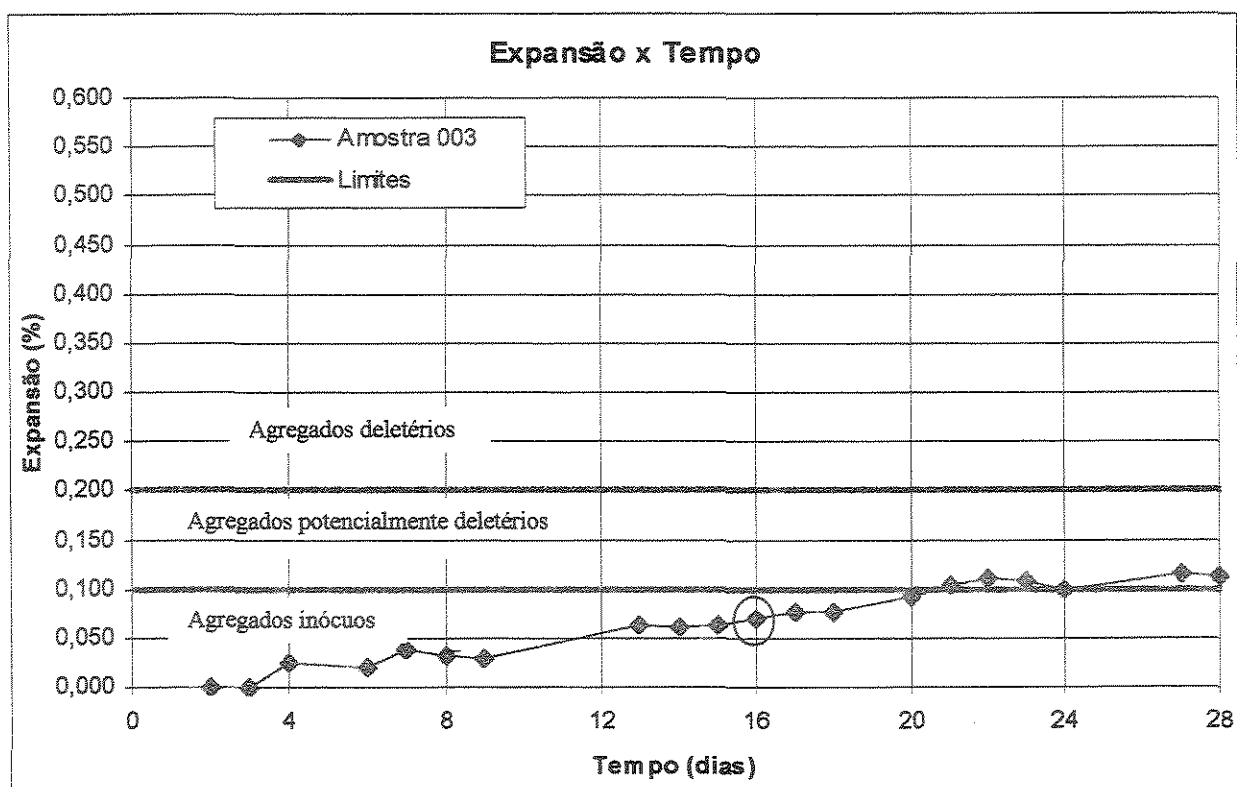


Figura 77 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 003.

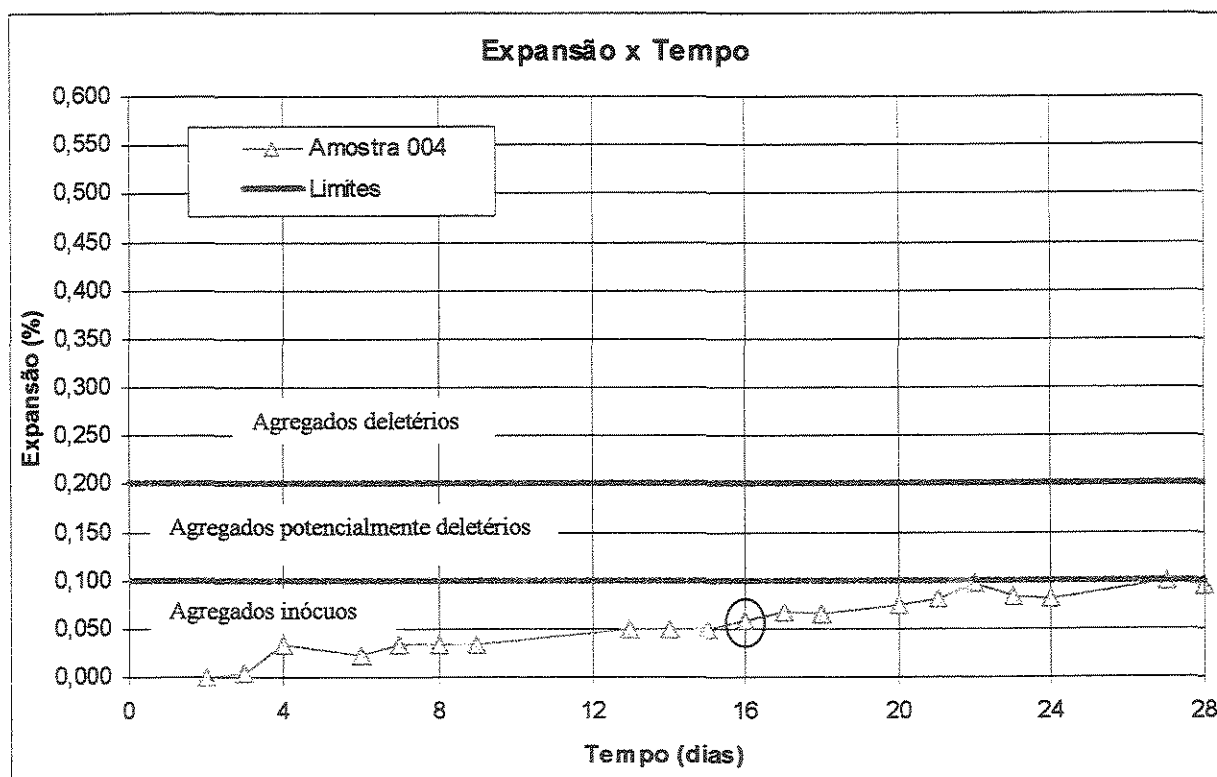


Figura 78 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 004.

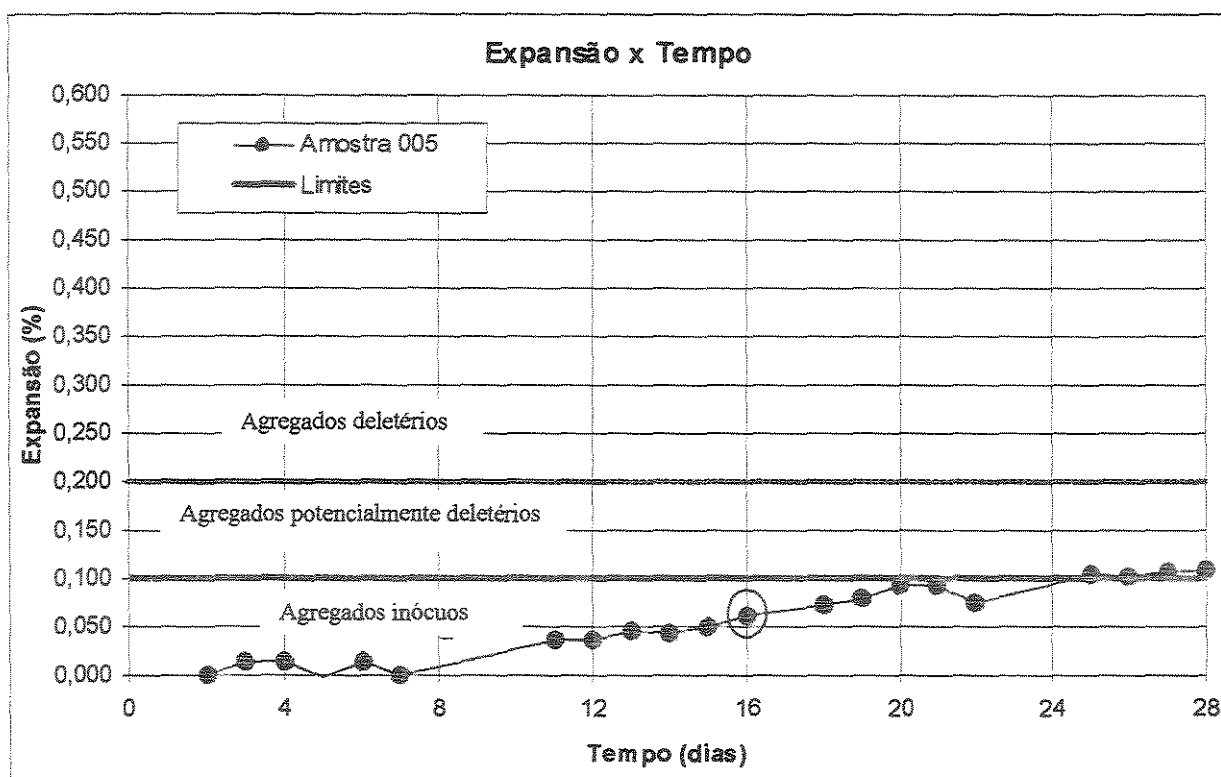


Figura 79 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 005.

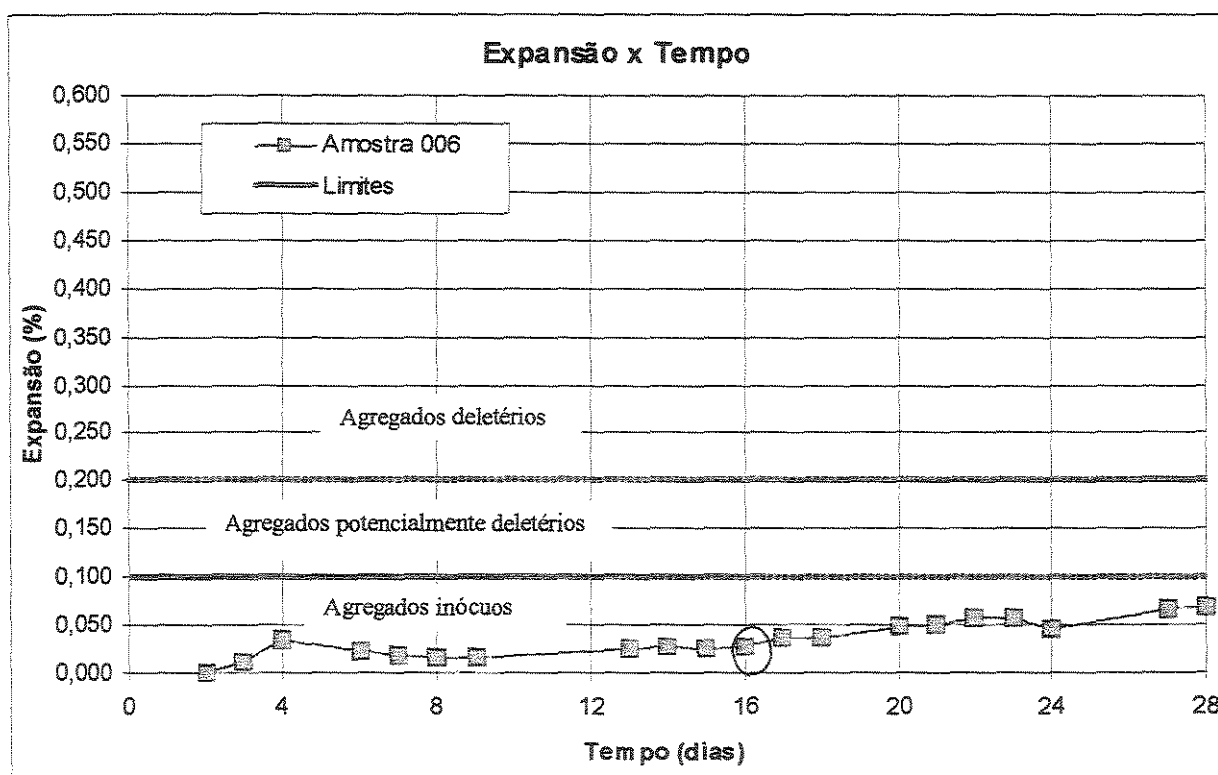


Figura 80 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 006.

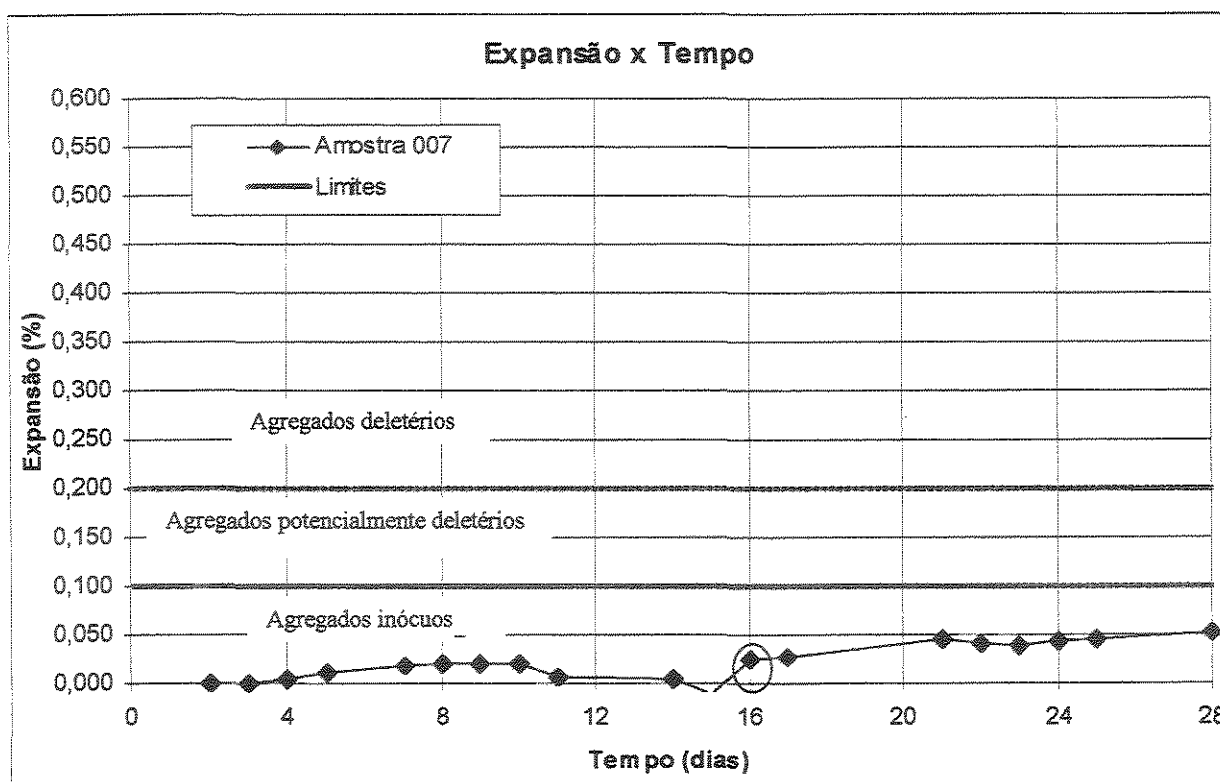


Figura 81 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 007.

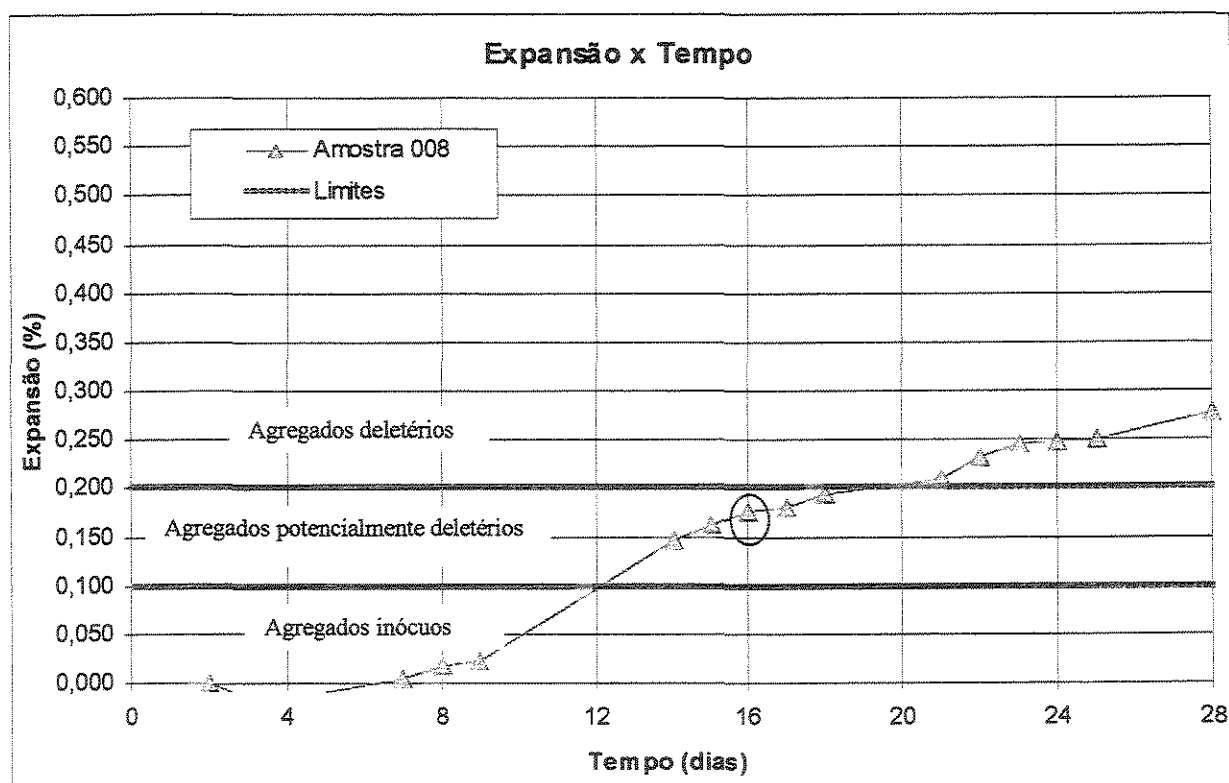


Figura 82 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 008.

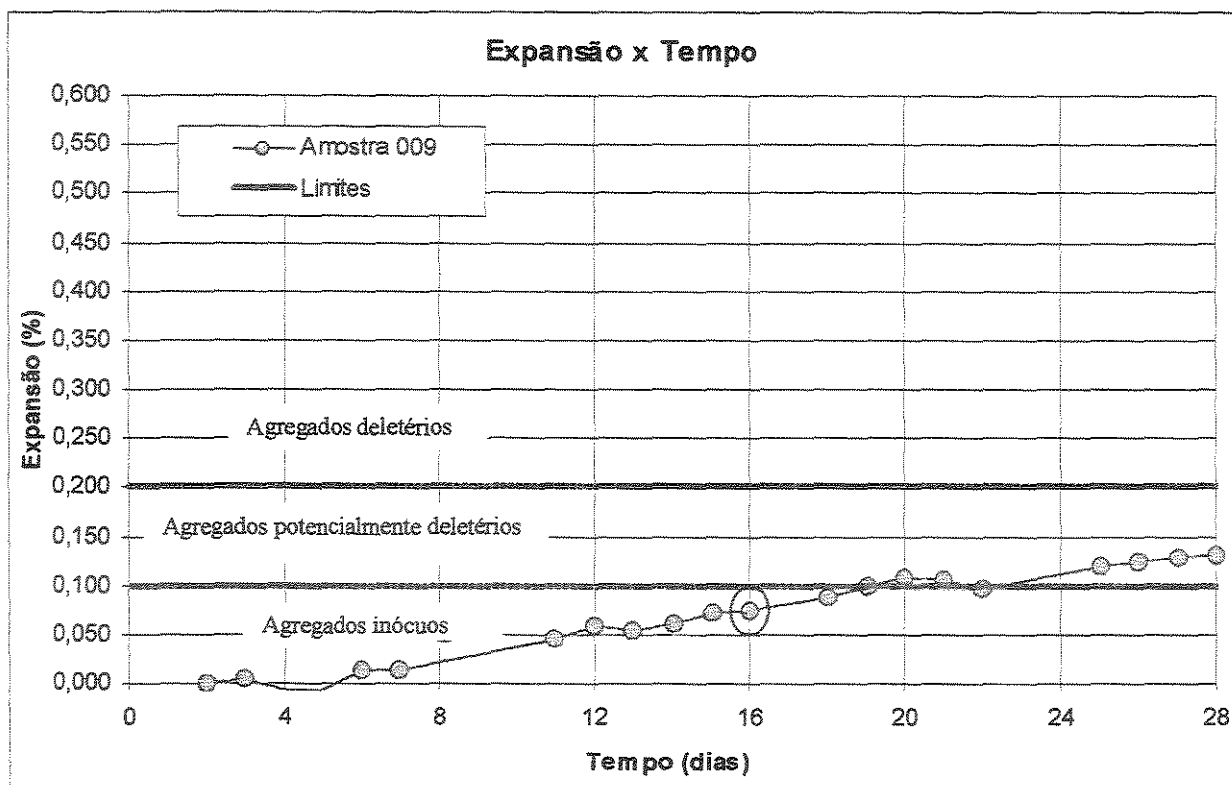


Figura 83 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 009.

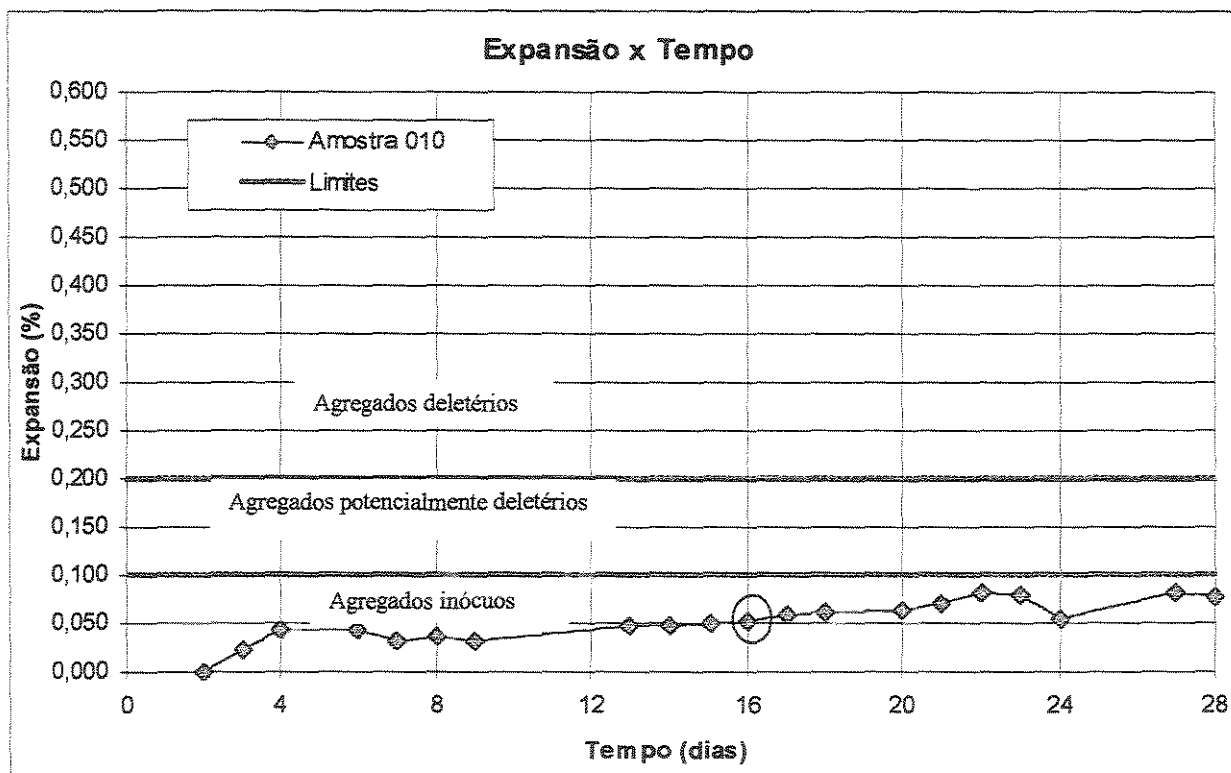


Figura 84 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 010.

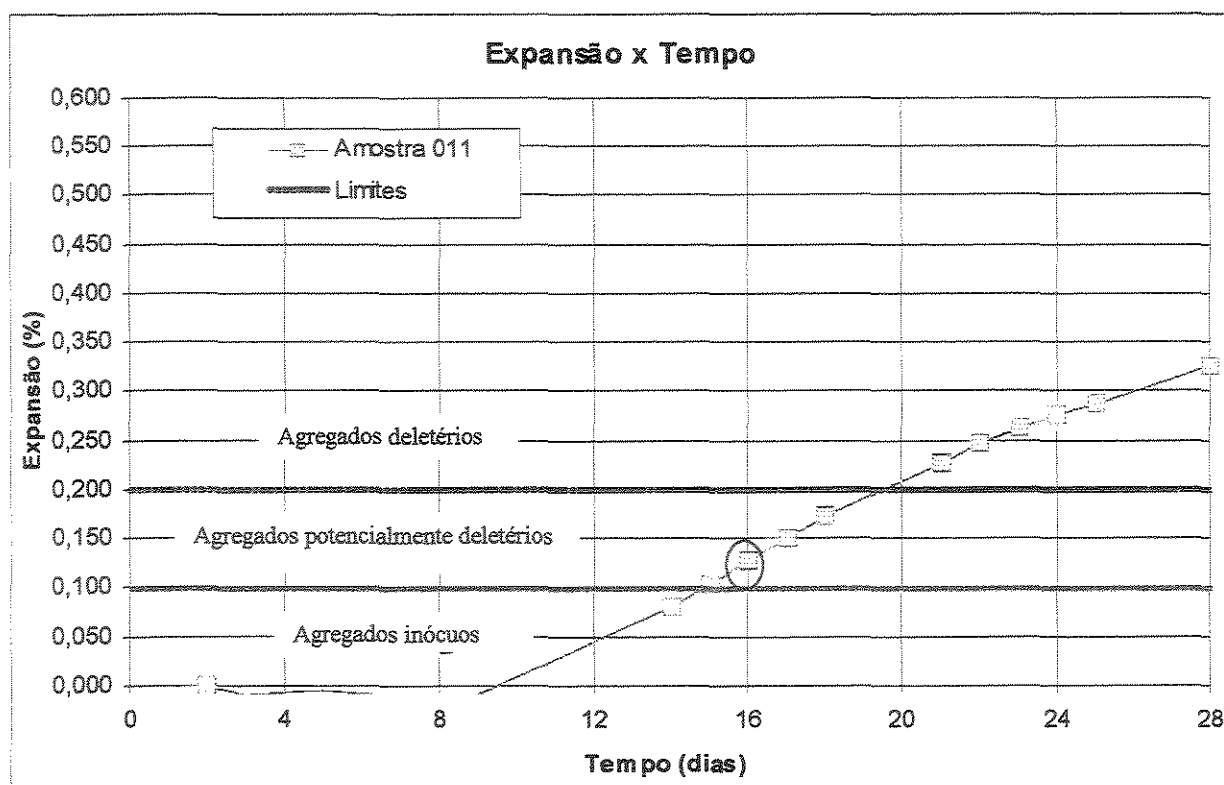


Figura 85 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 011.

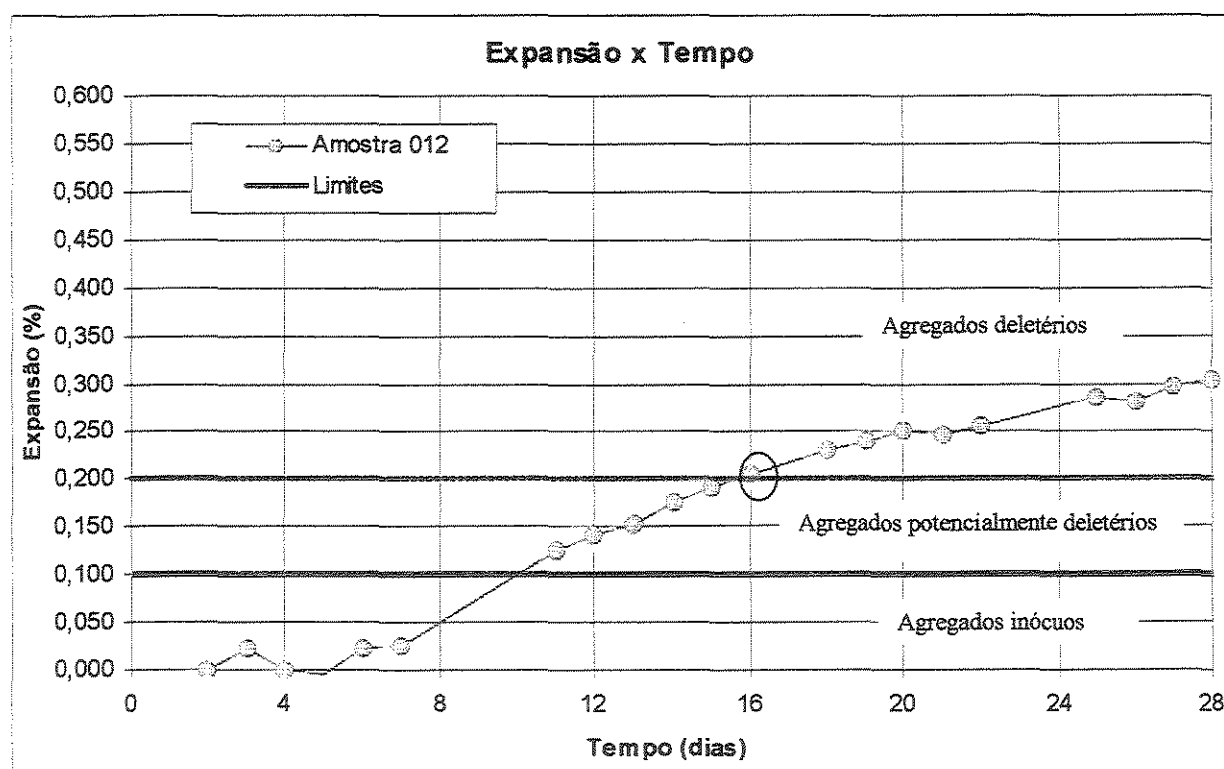


Figura 86 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 012.

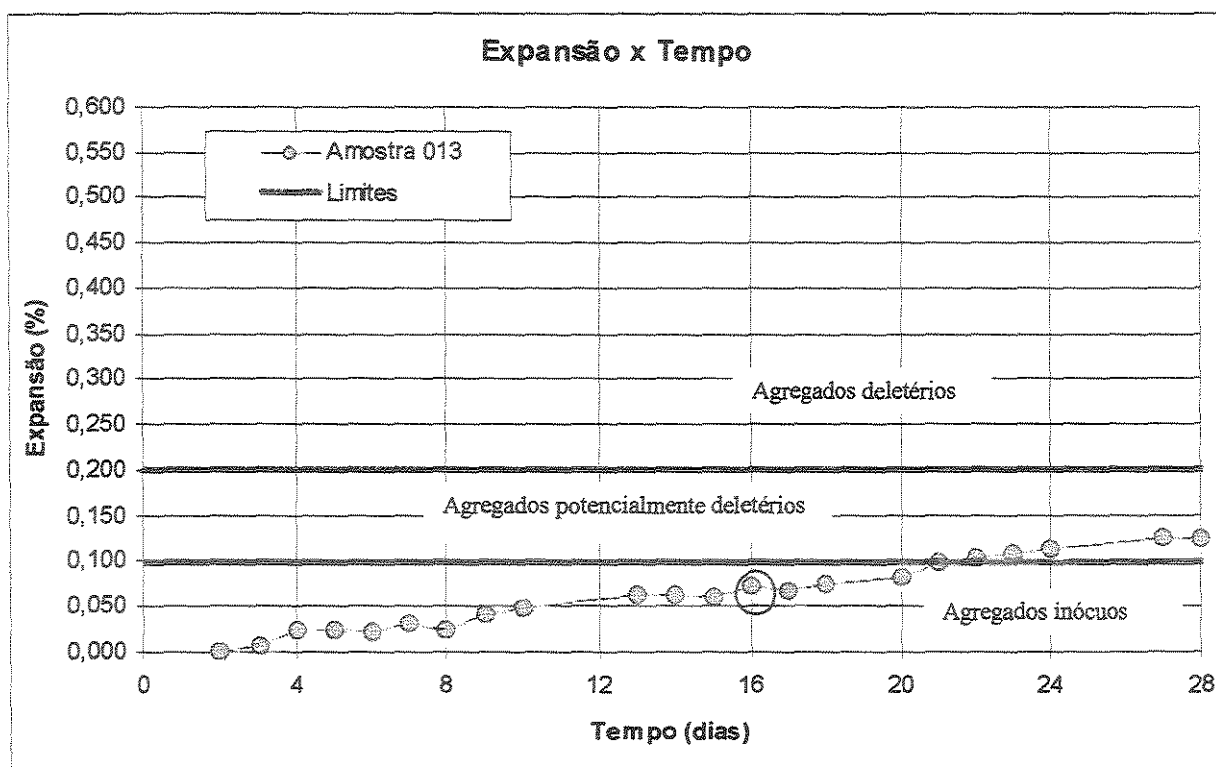


Figura 87 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 013.

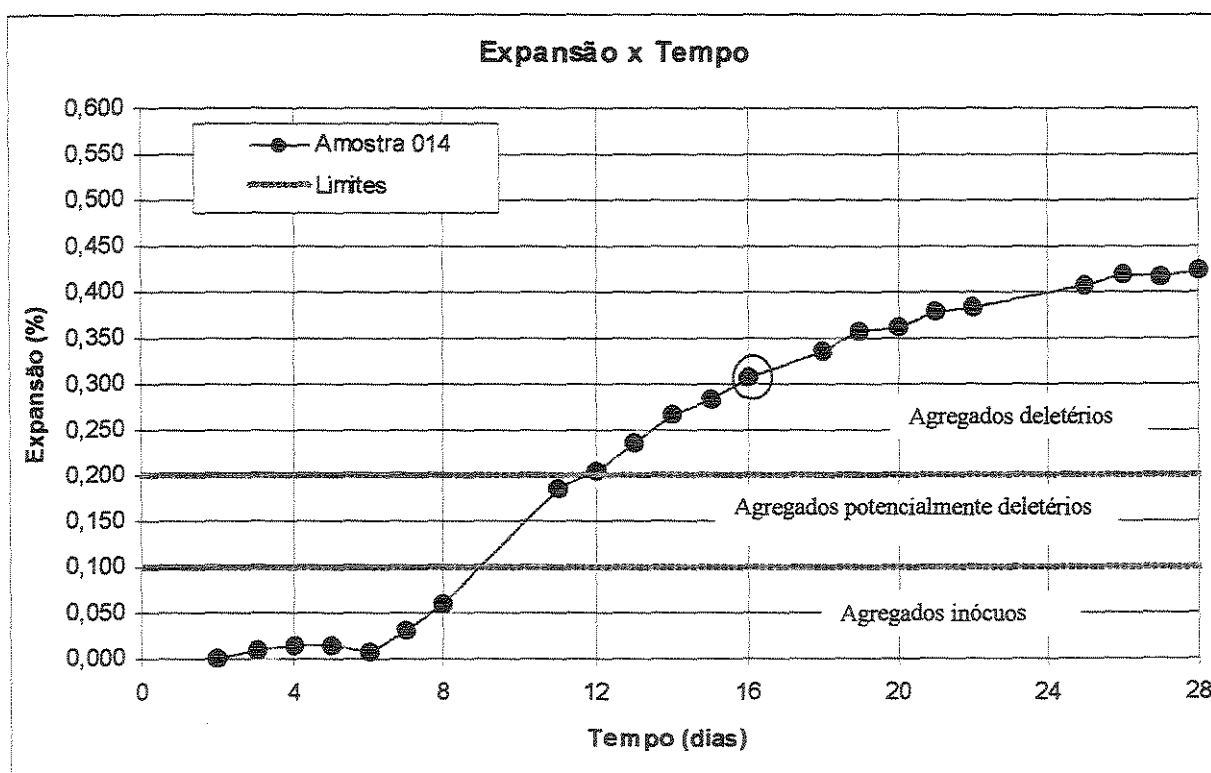


Figura 88 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 014.

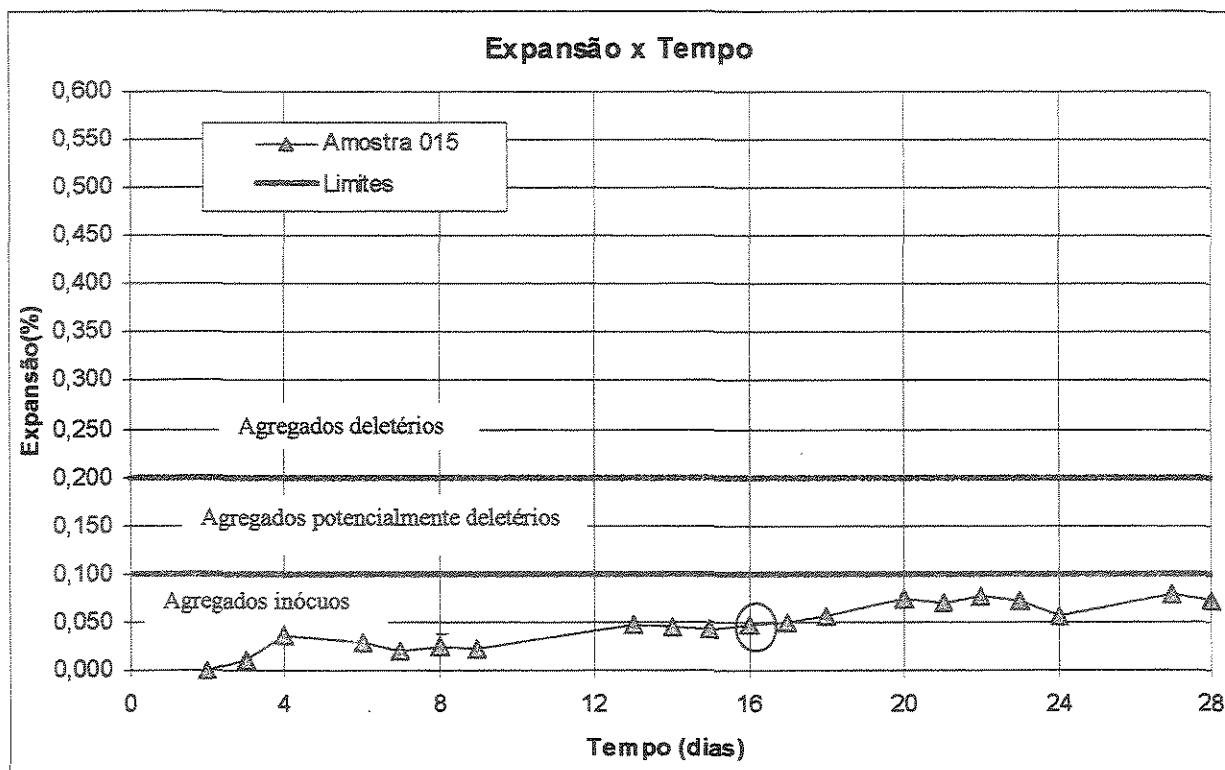


Figura 89 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 015.

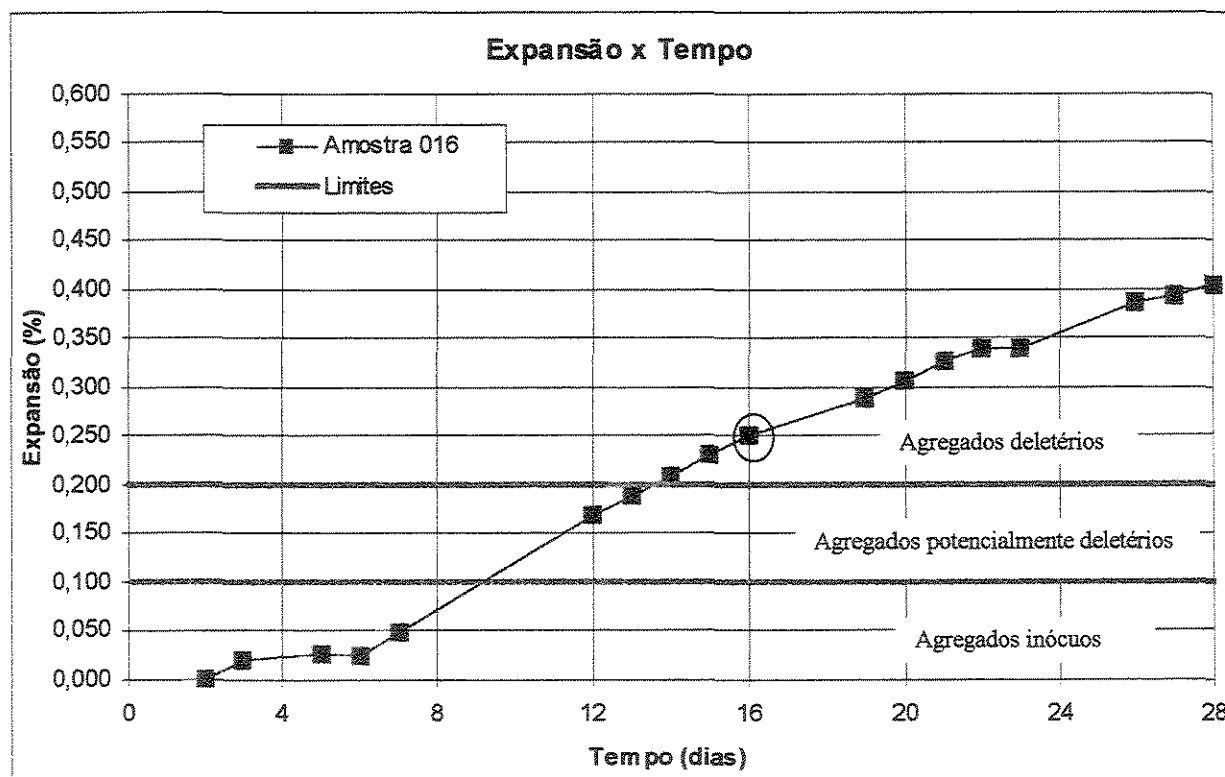


Figura 90 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 016.

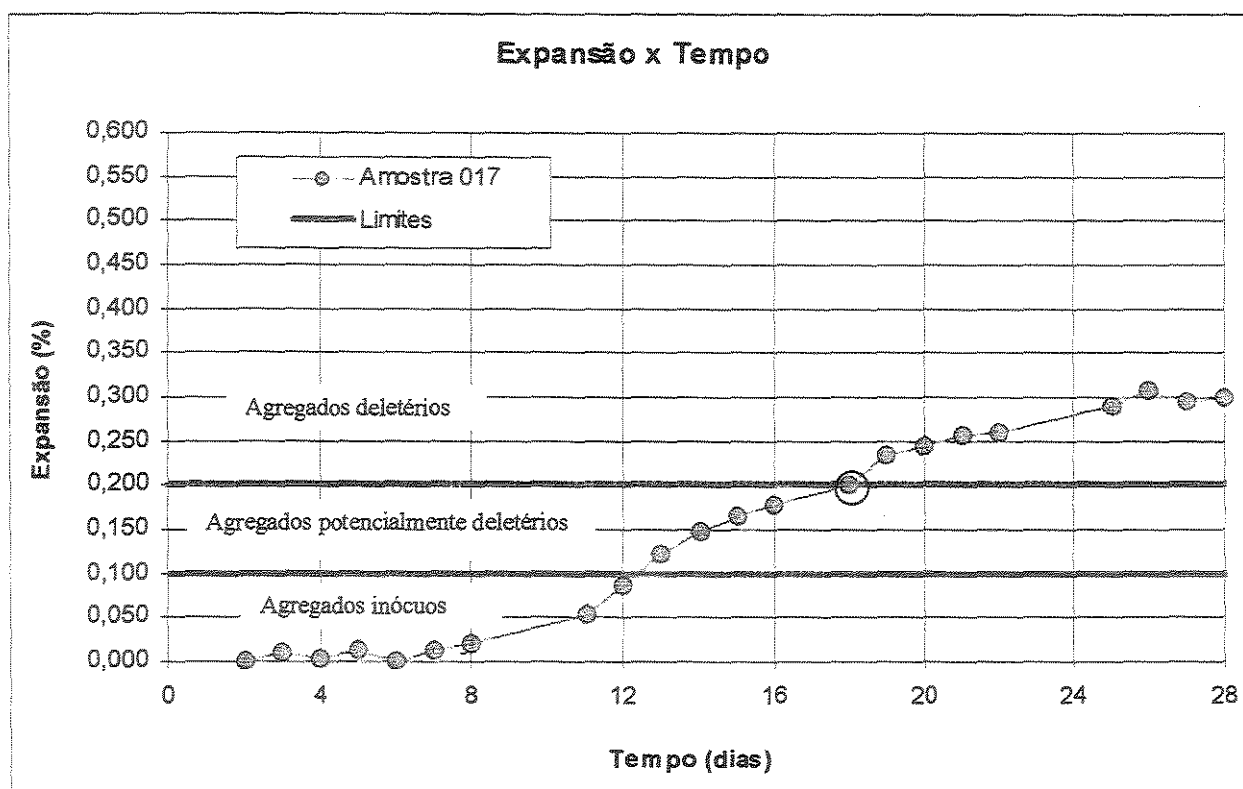


Figura 91 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 017.

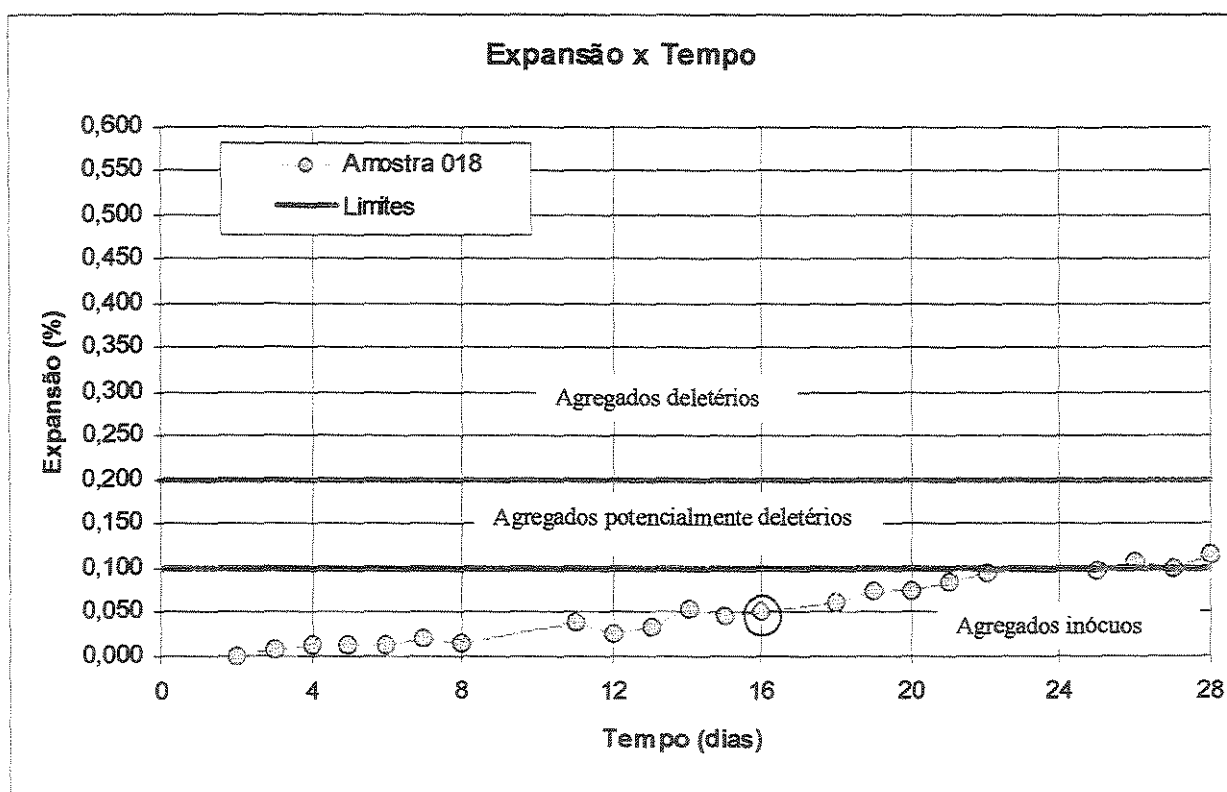


Figura 92 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 018.

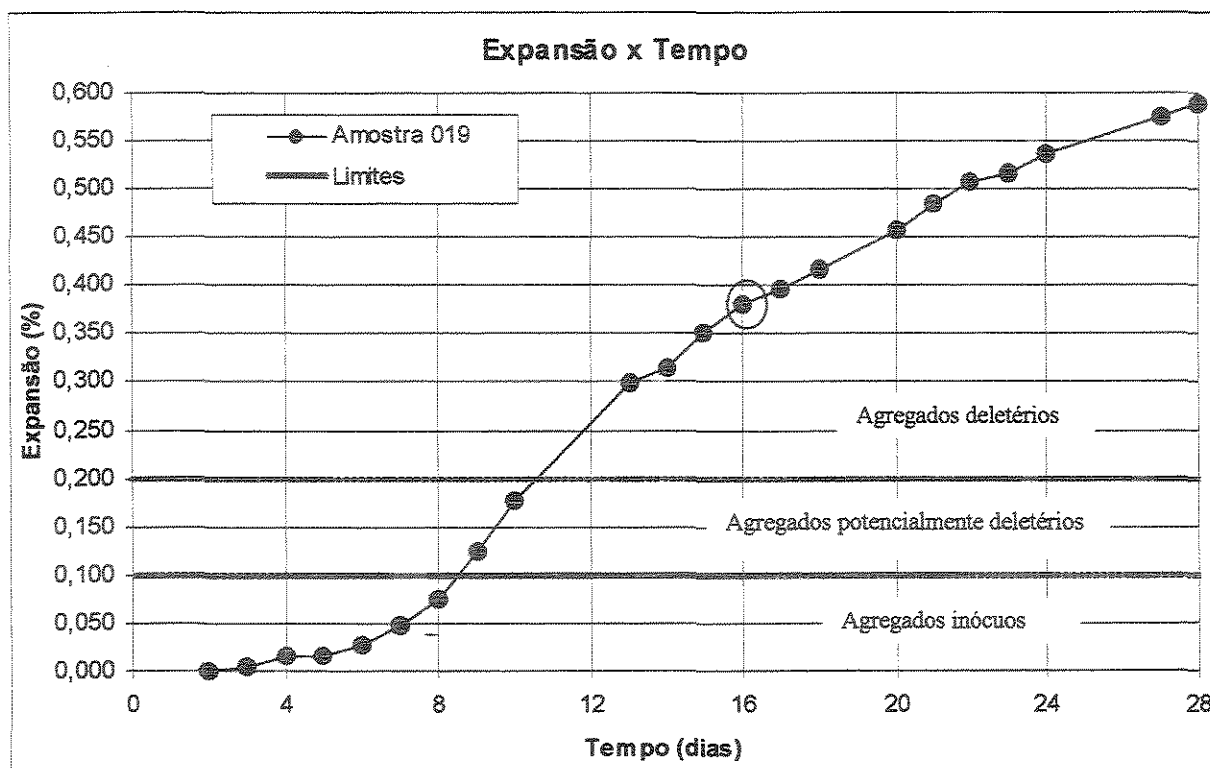


Figura 93 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 019.

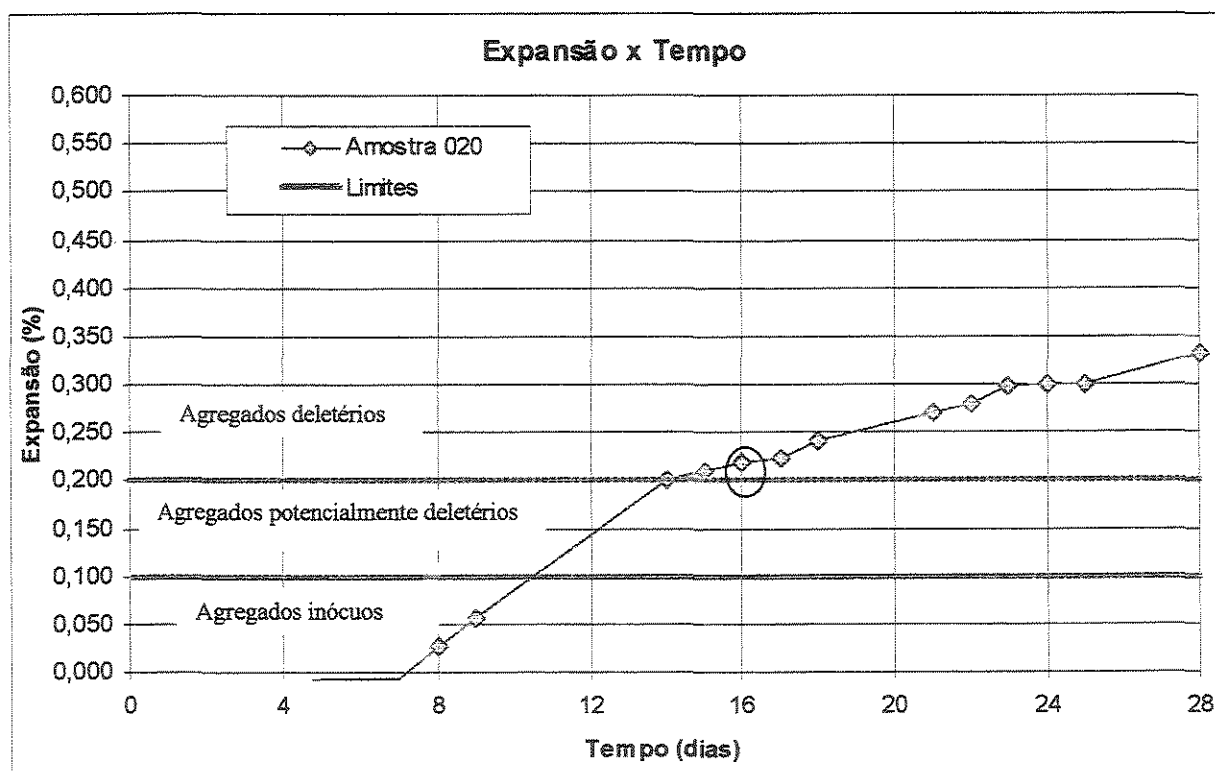


Figura 94 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 020.

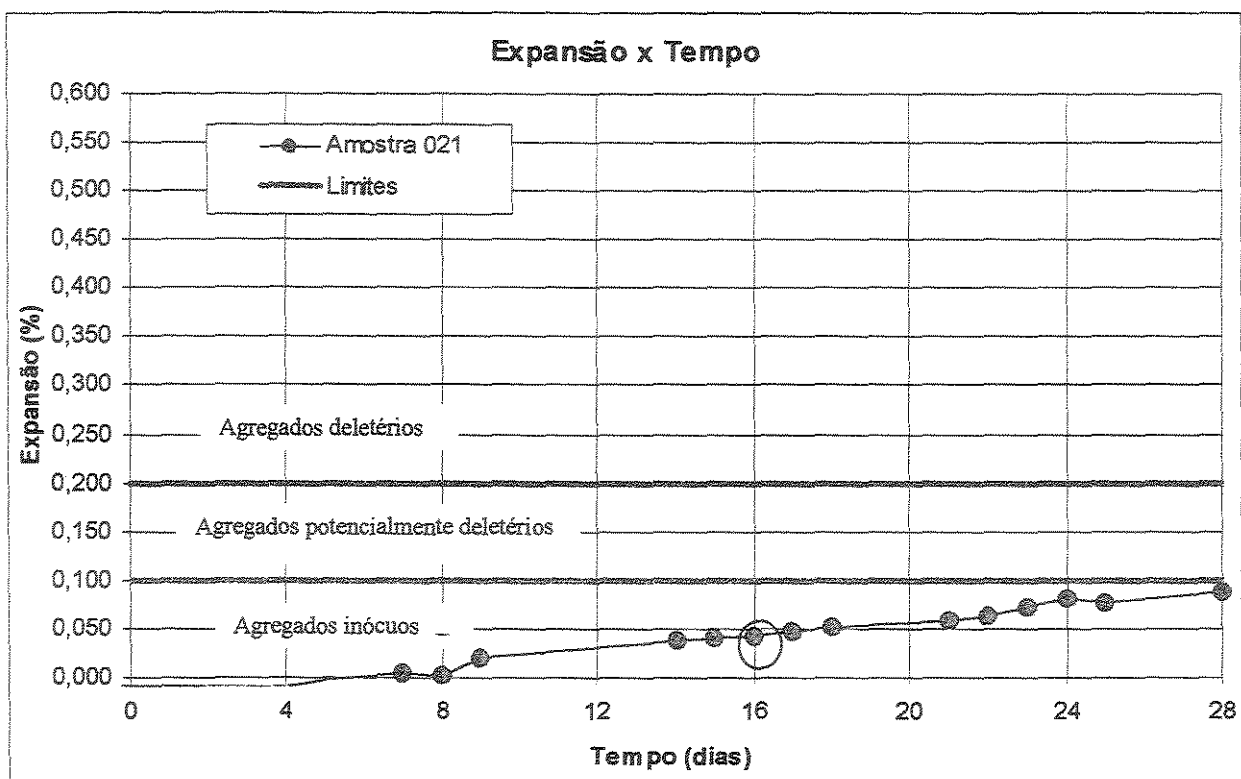


Figura 95 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 021.

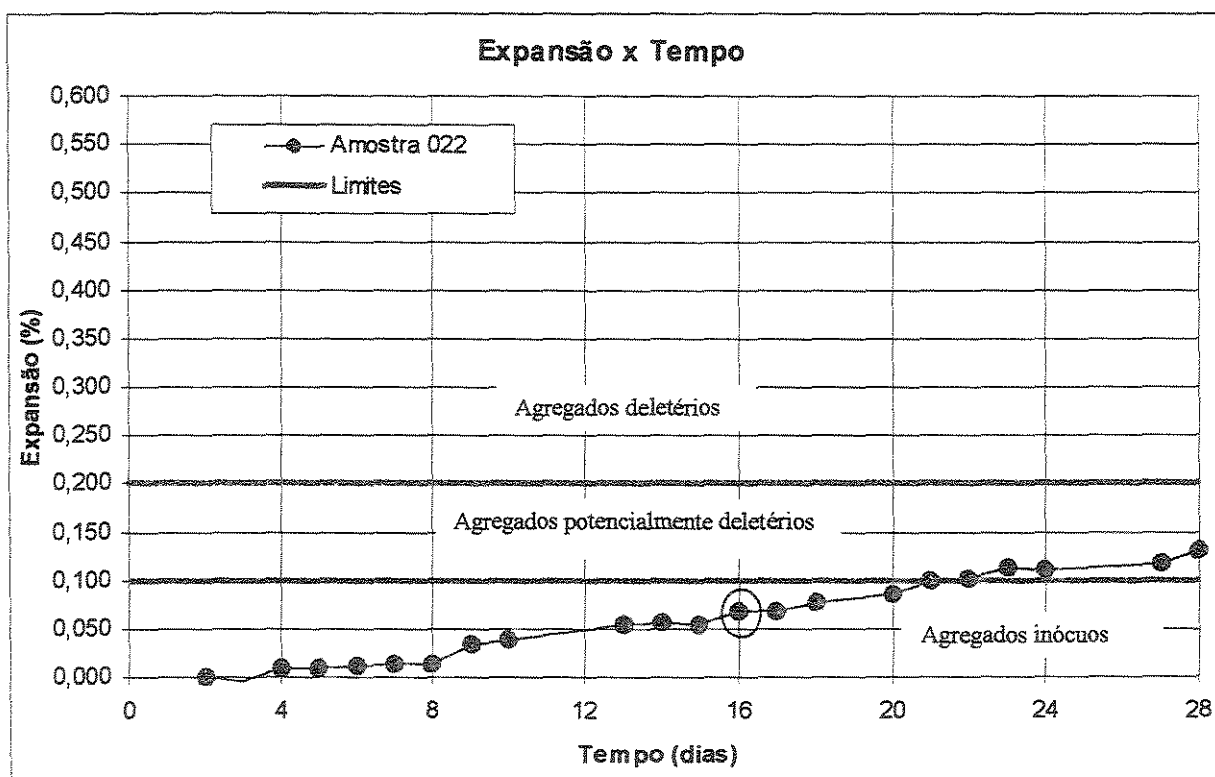


Figura 96 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 022.

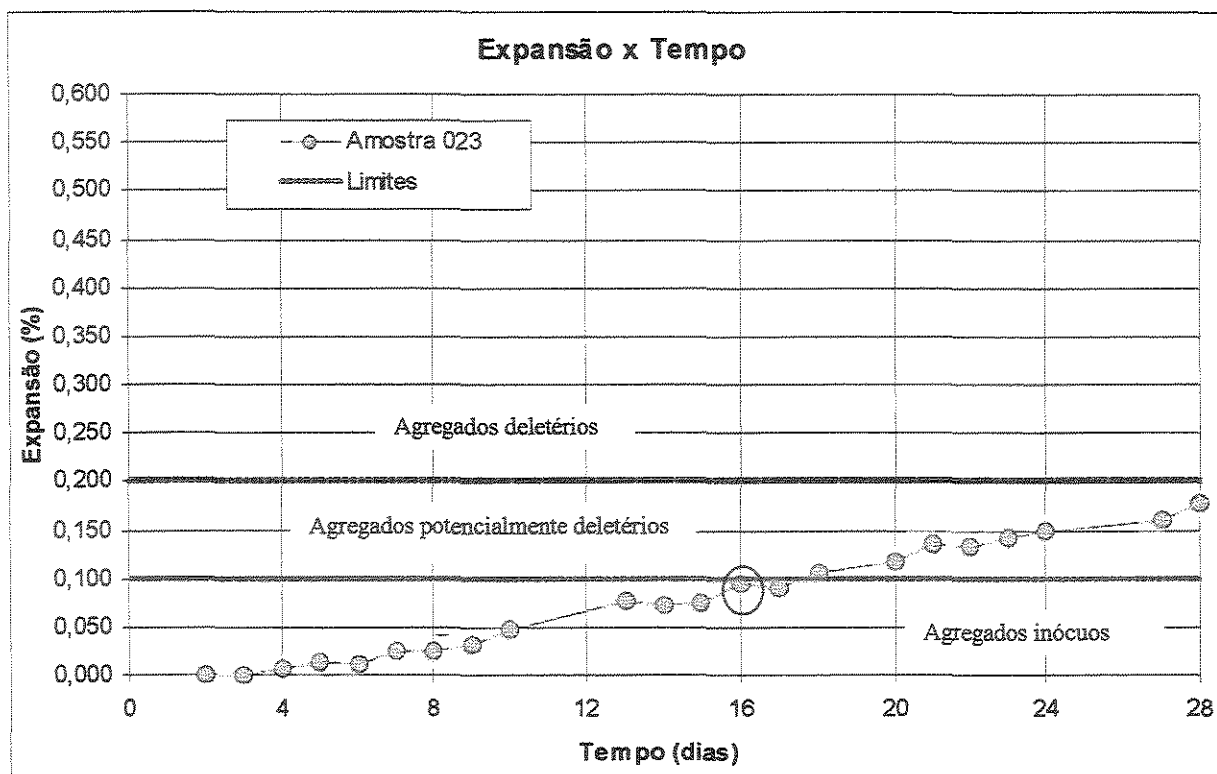


Figura 97 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 023.

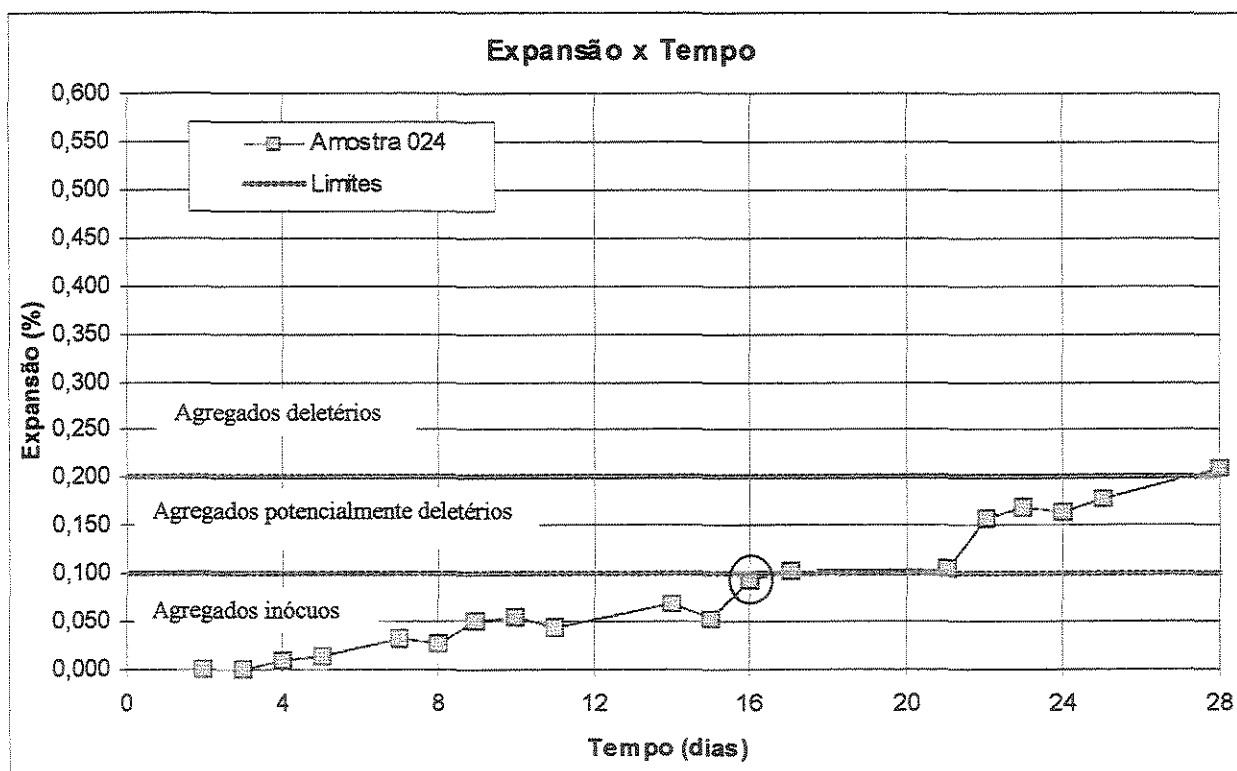


Figura 98 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 024.

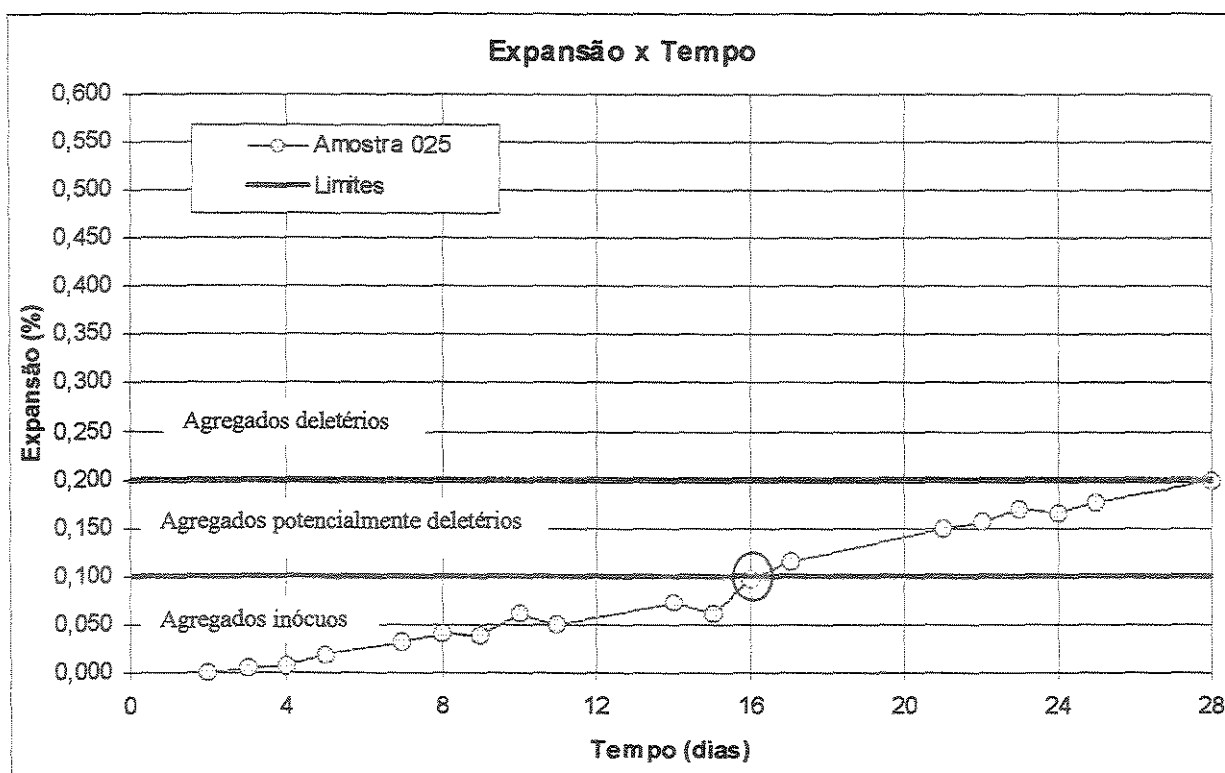


Figura 99 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 025.

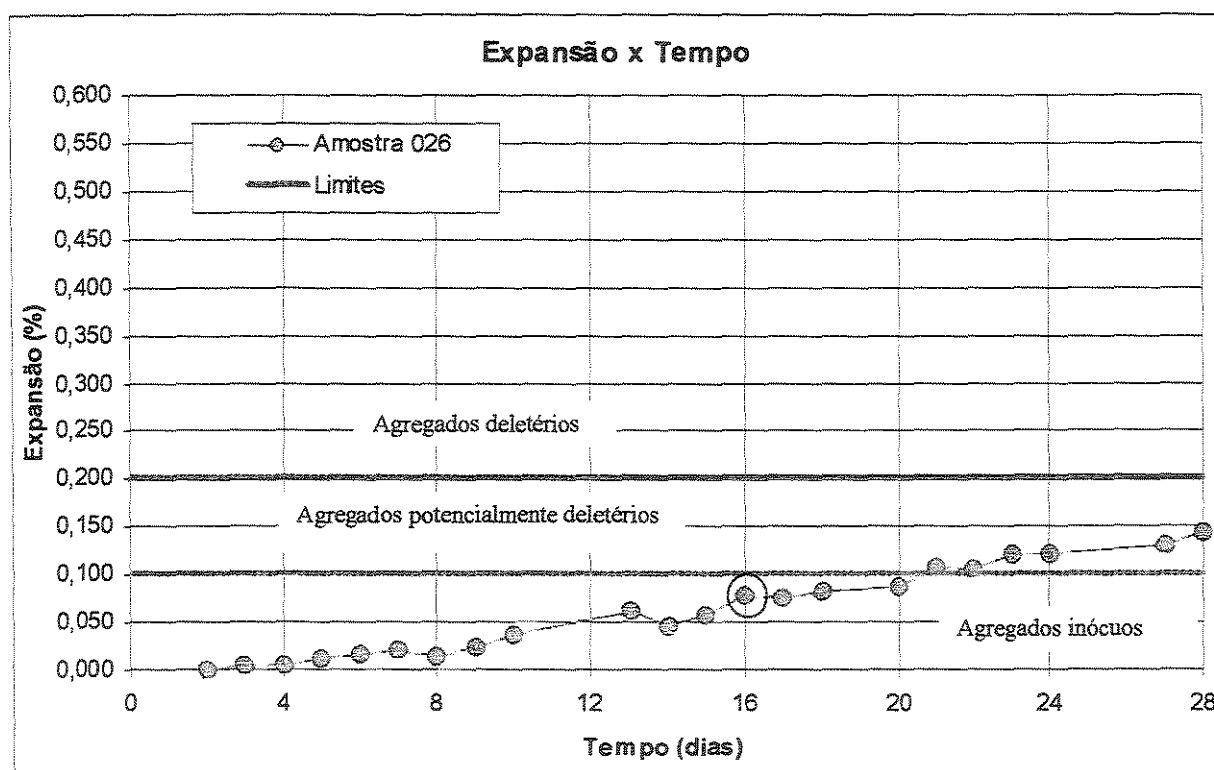


Figura 100 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 026.

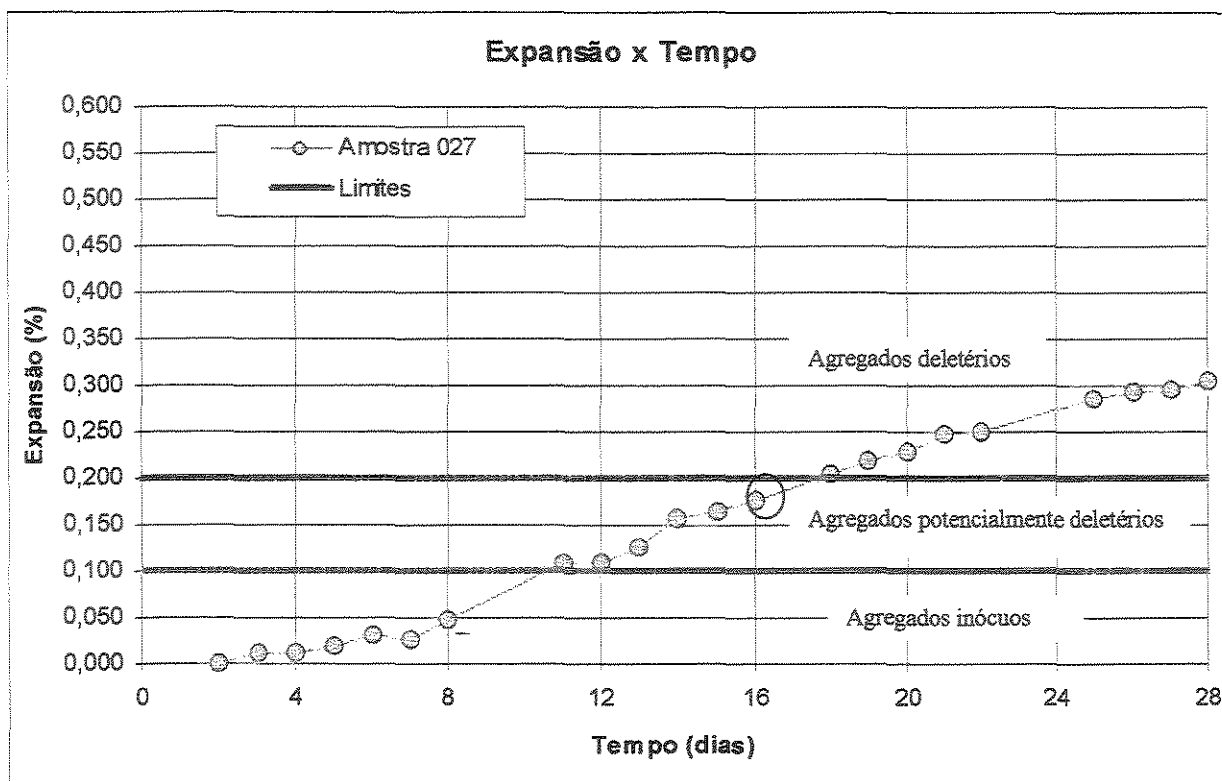


Figura 101 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 027.

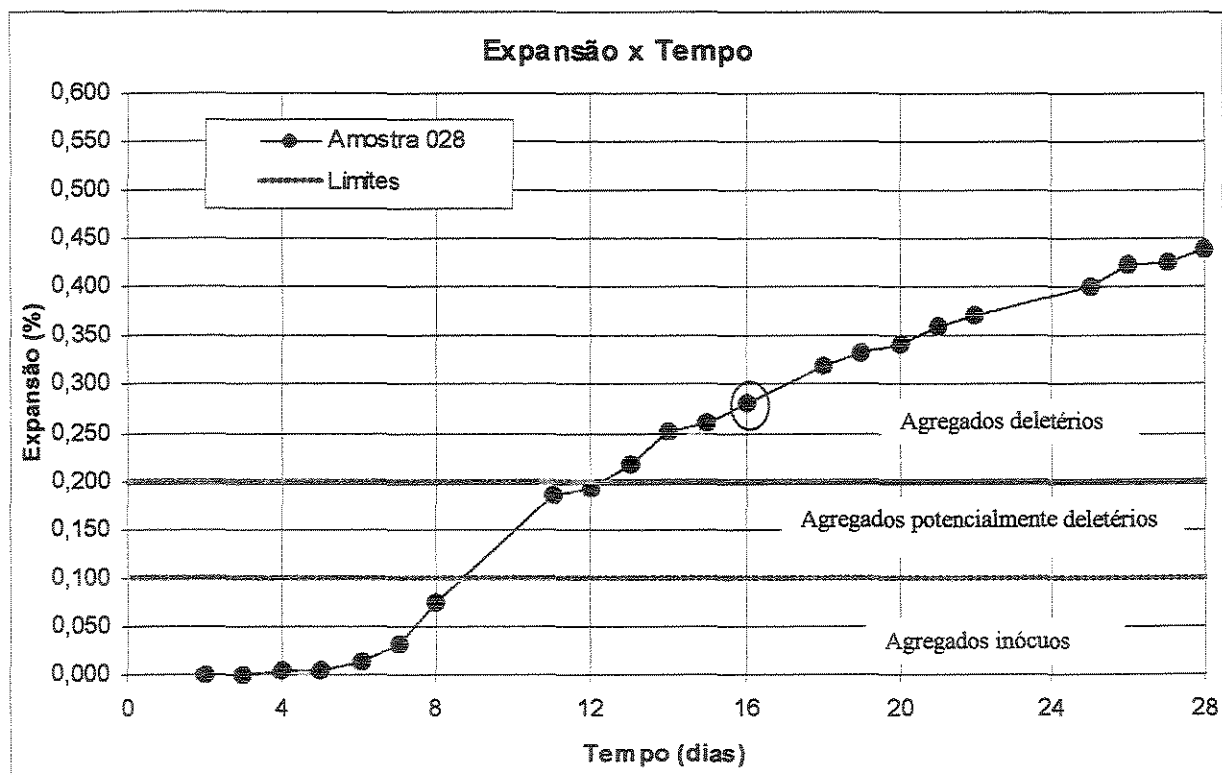


Figura 102 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 028.

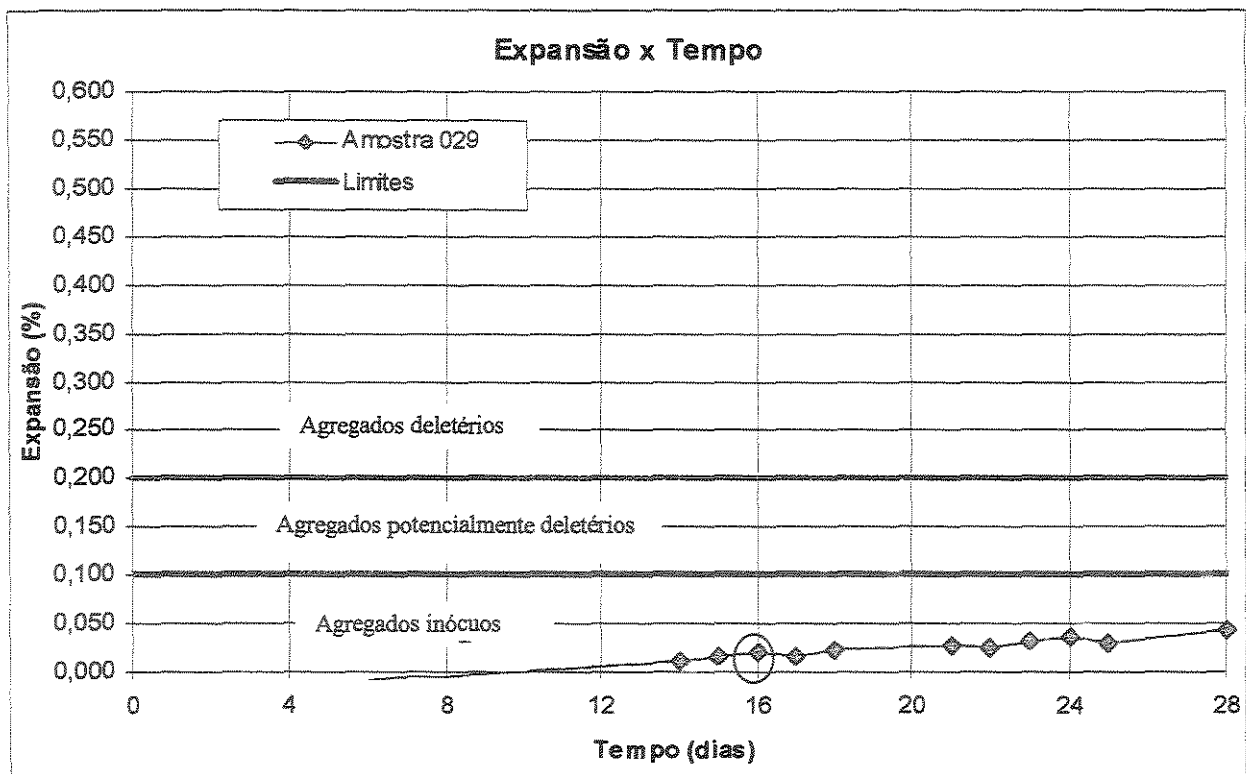


Figura 103 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 029.

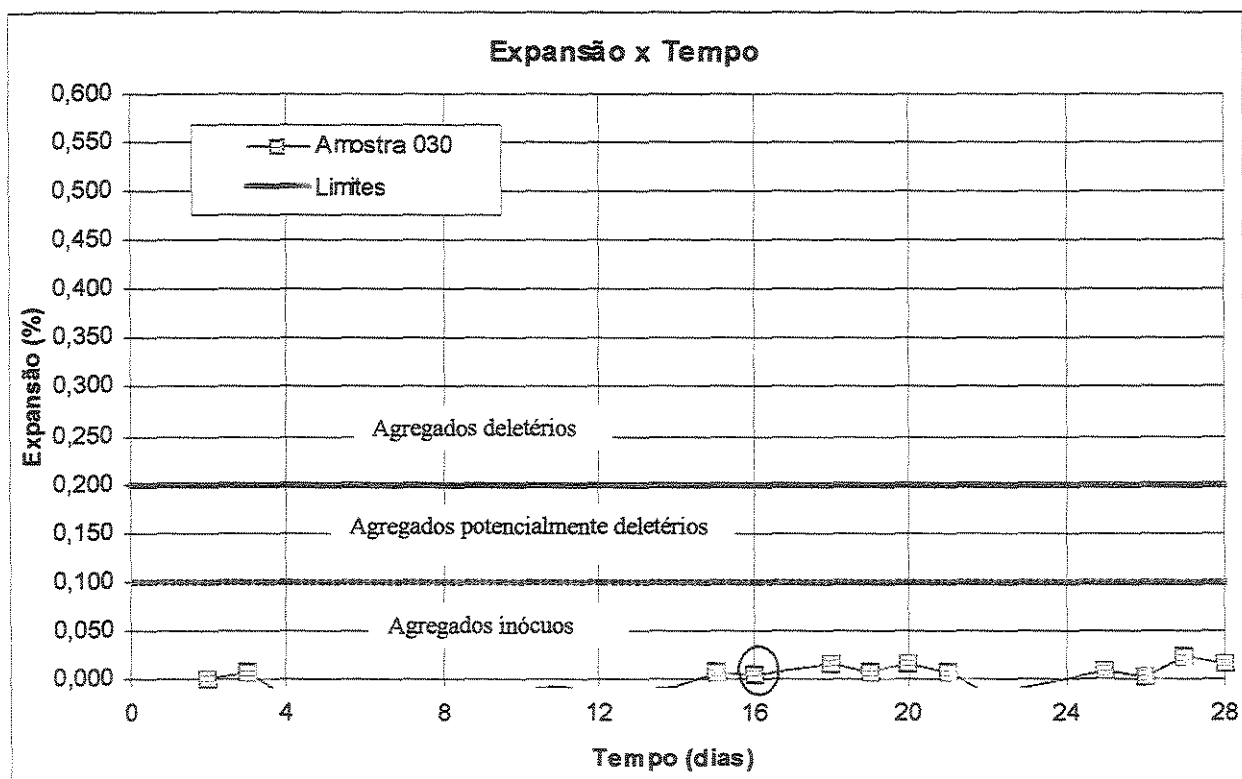


Figura 104 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 030.

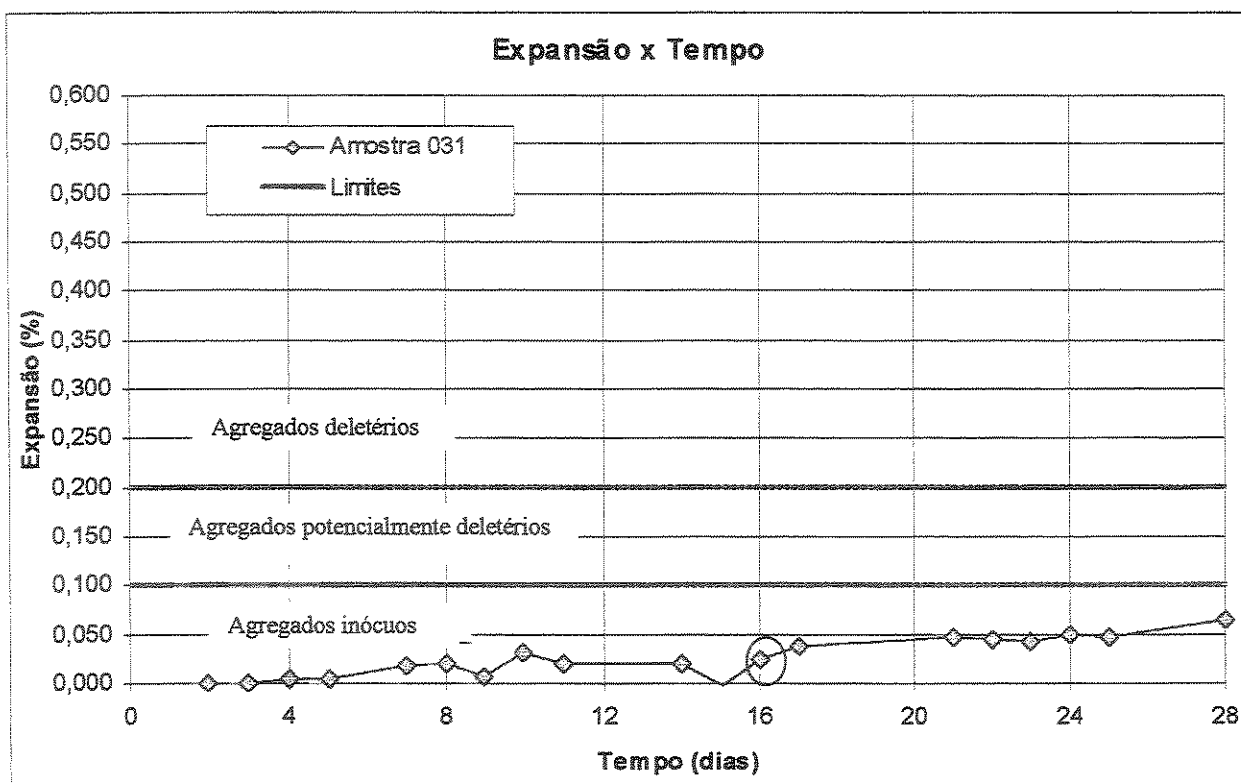


Figura 105 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 031.

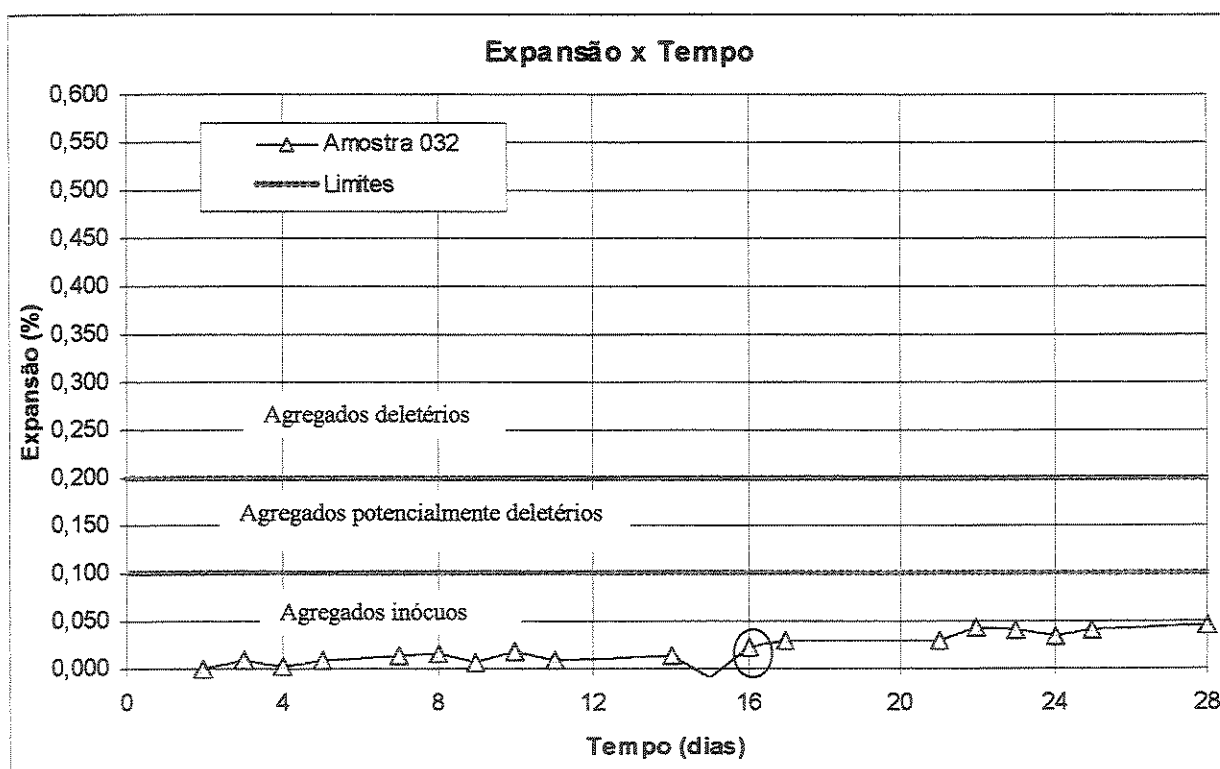


Figura 106 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 032.

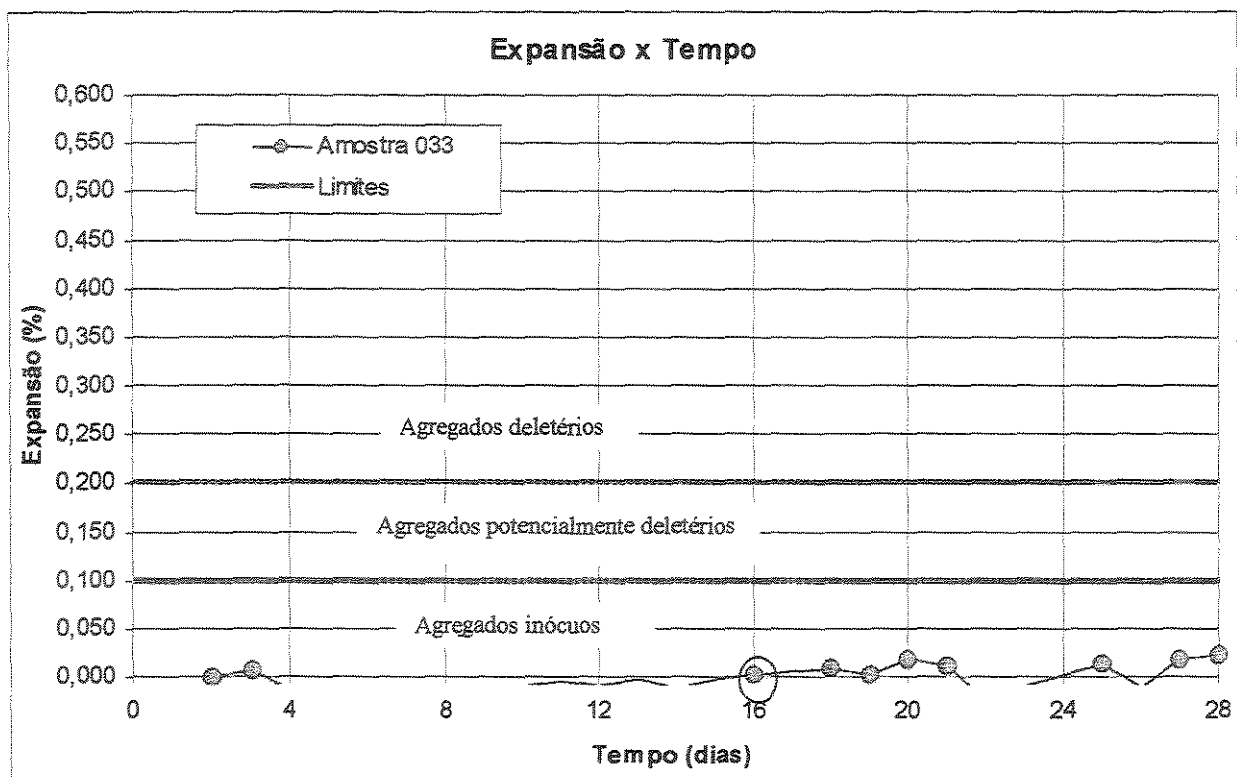


Figura 107 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 033.

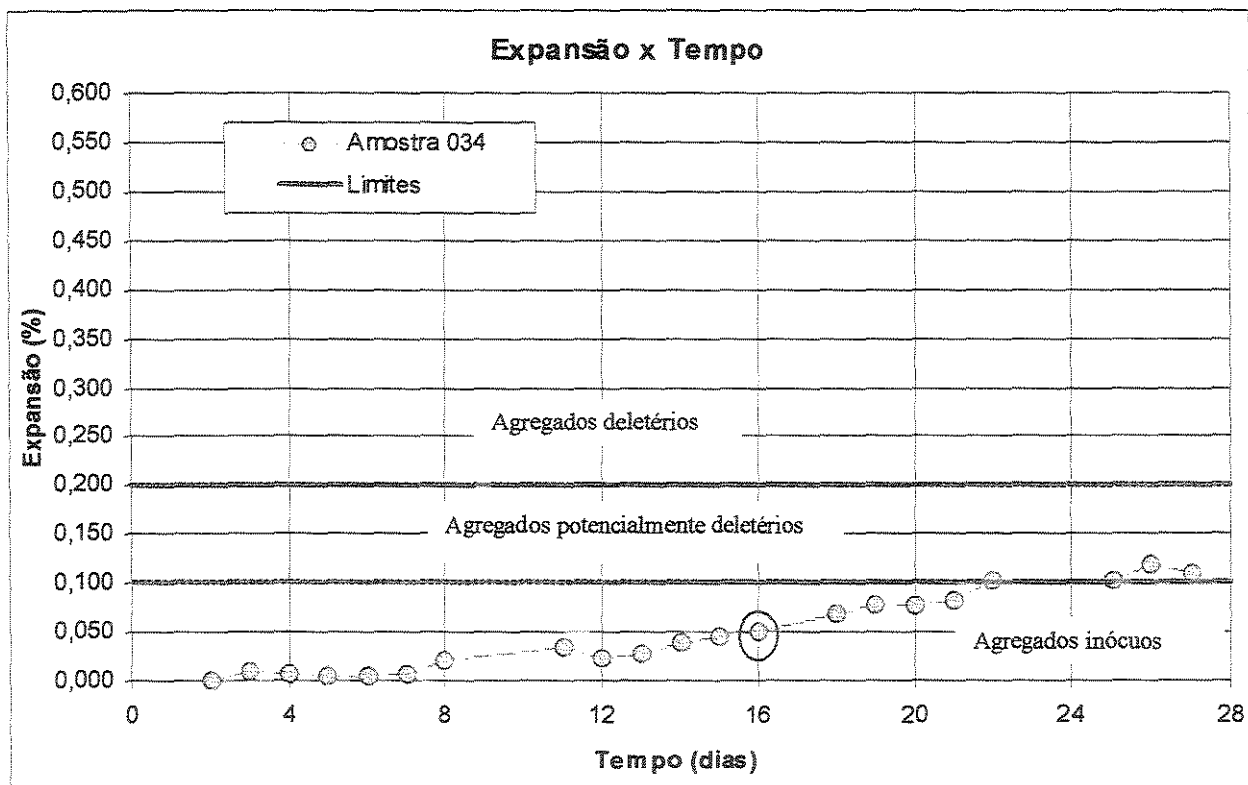


Figura 108 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 034.

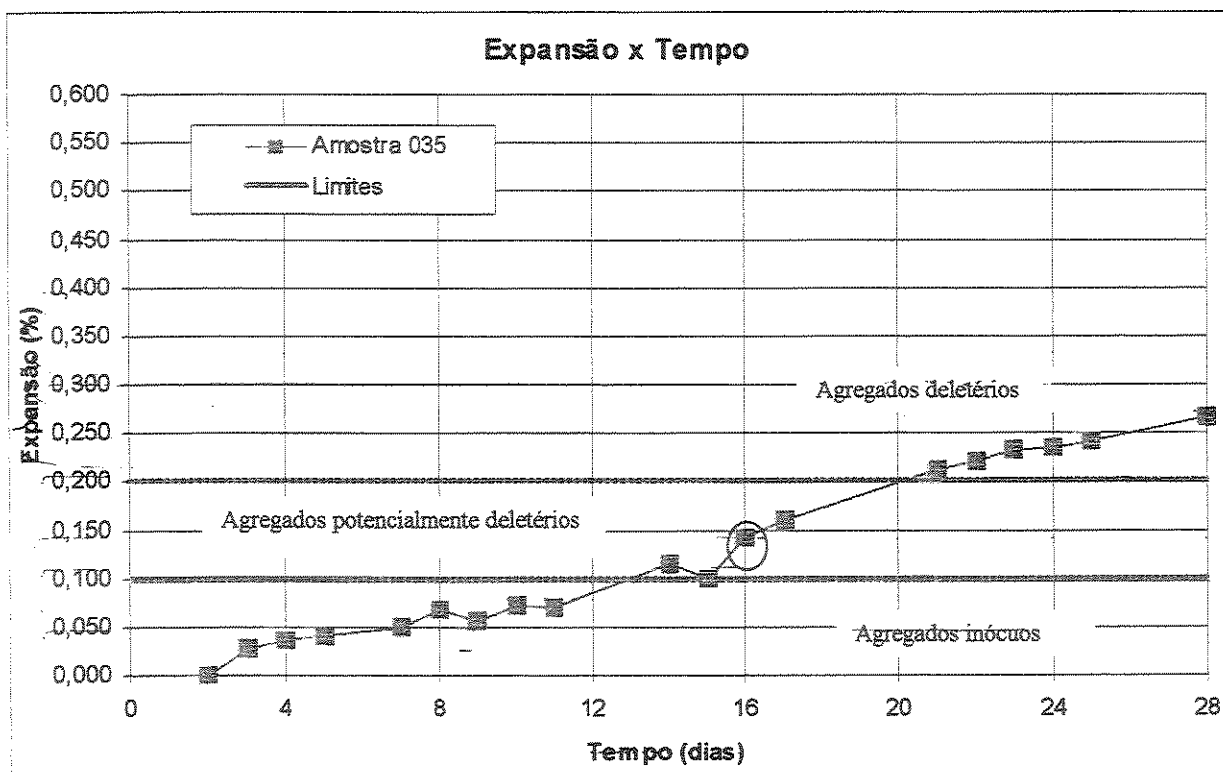


Figura 109 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 035.

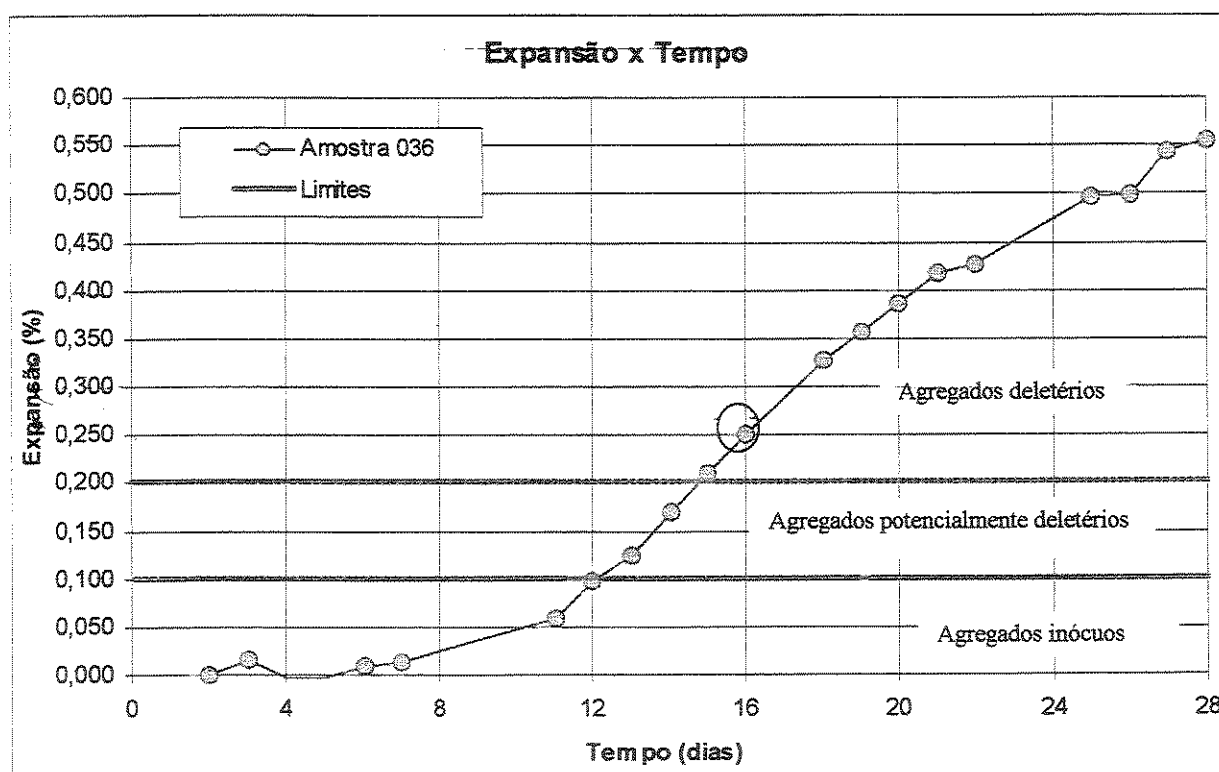


Figura 110 - Gráfico de expansão (%) x idade (dias) da amostra 036.

6.2.1.2 Análise visual

Após o ensaio de determinação da reatividade potencial pelo método acelerado e retirada das barras de argamassa do tanque de estocagem com solução de NaOH, procedeu-se uma análise visual para constatação do aspecto das barras.

A principal característica que pôde ser notada foi a presença de poros contendo um material esbranquiçado, porém algumas amostras apresentaram-se vergadas e bastante fissuradas. As barras, quando encostadas uma de suas extremidades em uma régua metálica, apresentaram afastamento da outra extremidade da ordem de 3 a 6mm. A seguir estão as imagens de algumas das amostras (002, 014, 019 e 028) que apresentaram este quadro após o término do ensaio acelerado.

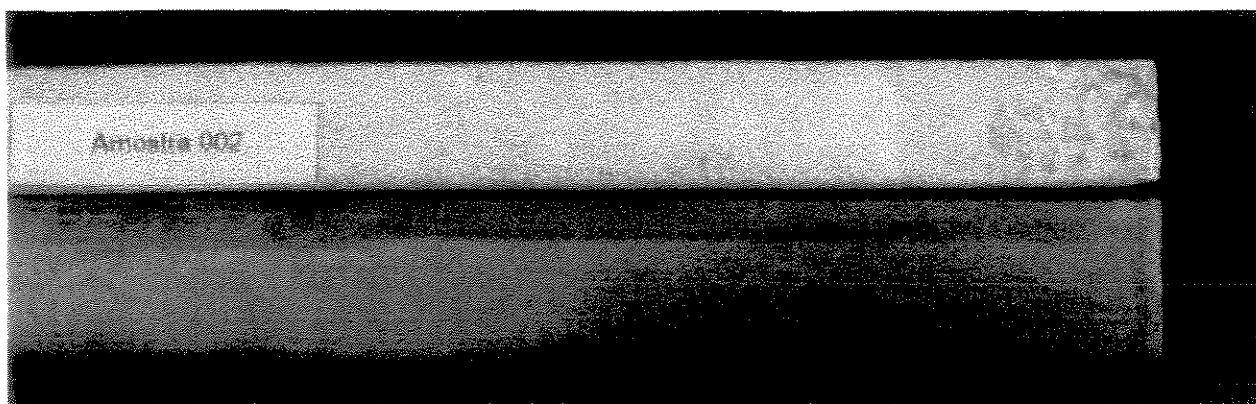


Figura 111 - Aspecto de um corpo de prova da amostra 002. Observar o afastamento do lado direito da barra (aprox. 3 mm), comparativamente com a régua metálica

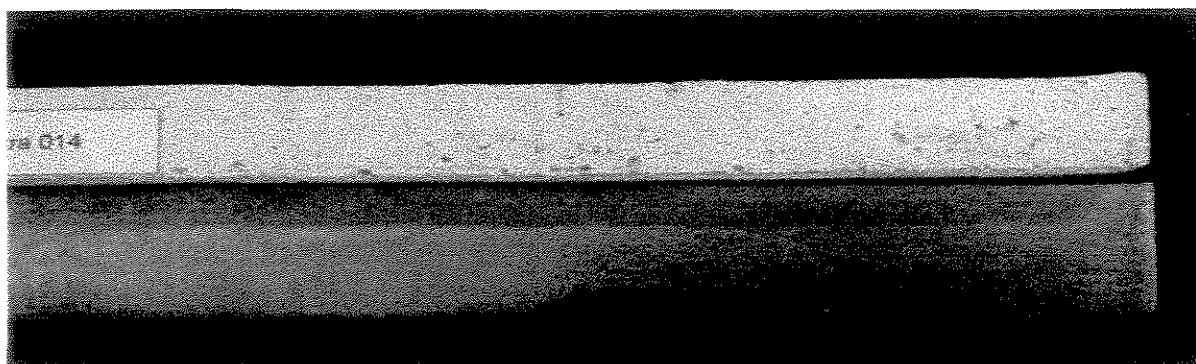


Figura 112 - Aspecto de um corpo de prova da amostra 014. Observar o afastamento do lado direito da barra (aprox. 4 mm), comparativamente com a régua metálica

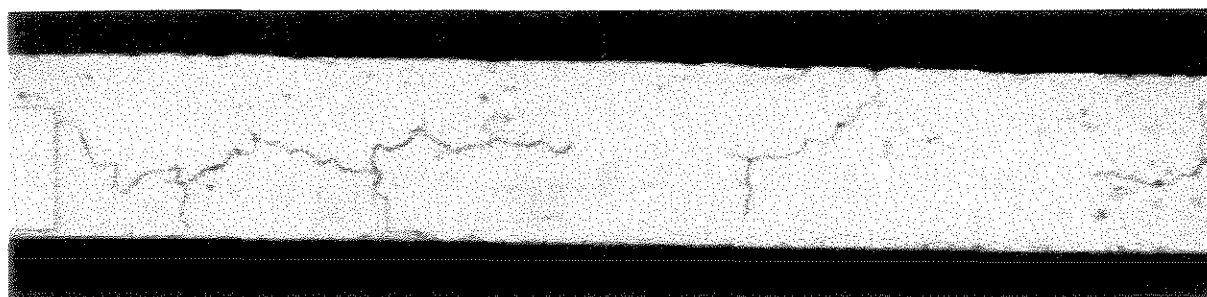


Figura 113 - Aspecto de um corpo de prova da amostra 014. Observar a fissuração da barra.

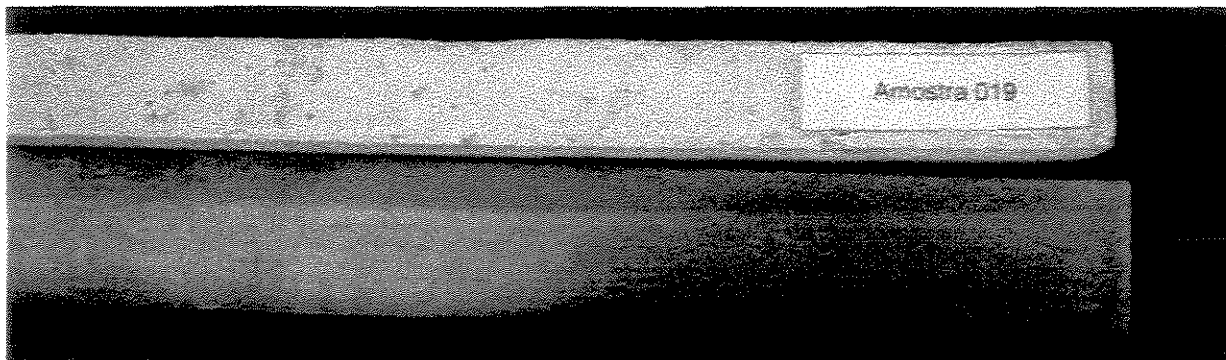


Figura 114 - Aspecto de um corpo de prova da amostra 019. Observar o afastamento do lado direito da barra (aprox. 6 mm), comparativamente com a régua metálica.

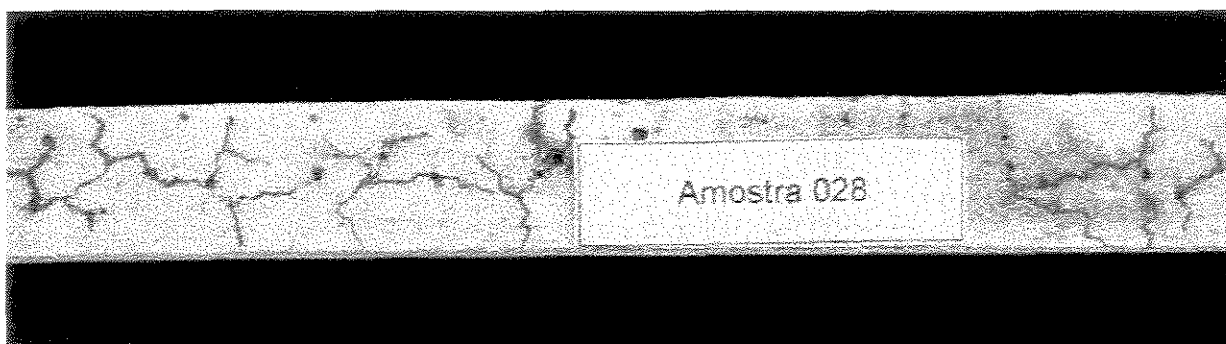


Figura 115 - Aspecto de um corpo de prova da amostra 028. Observar o estado de fissuração.

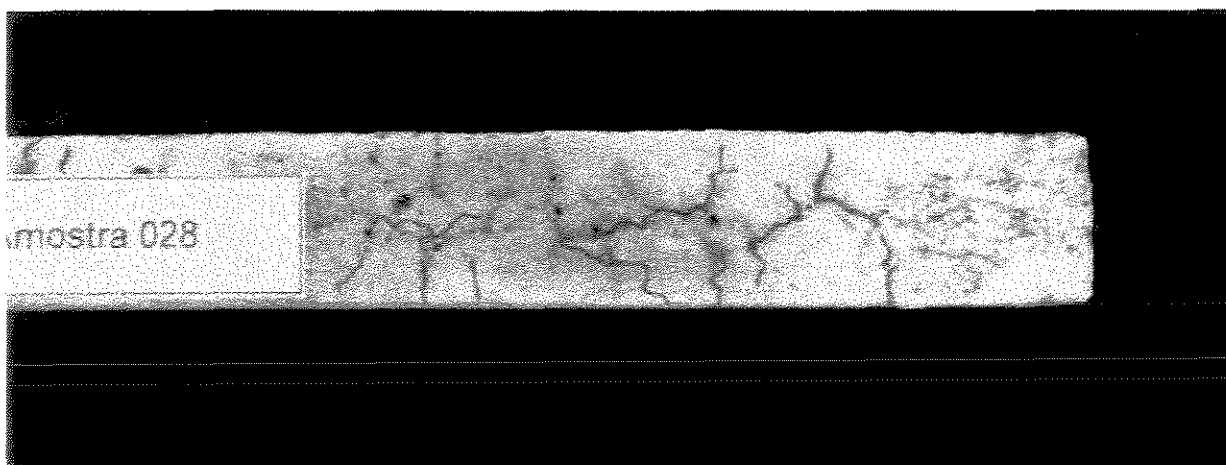


Figura 116 - Aspecto de um corpo de prova da amostra 028. Observar o estado de fissuração.

6.2.2 Método químico

Na Tabela 08 constam, para cada amostra ensaiada, os valores de sílica dissolvida (concentração de SiO_2 em mmol/l no filtrado original) e de redução da alcalinidade (também expressa em mmol/l). Os dois valores correspondem à média de três determinações, já descontado o resultado do ensaio em branco.

Para todas as amostras ensaiadas foi encontrado o mesmo resultado: os agregados foram considerados inócuos. Uma provável explicação para o fato é o tipo de reação desenvolvida: tipo álcali-silicato, uma reação lenta, portanto não detectável por este método.

Os modelos das planilhas de ensaio estão no Anexo D, para os dois ensaios (redução de alcalinidade e sílica dissolvida). Nas Figuras 117 a 152 estão apresentados os gráficos correspondentes aos resultados da Tabela 08.

Tabela 08. Valores de sílica dissolvida (em mmol/l) e redução da alcalinidade (em mmol/l) para cada amostra.

Amostra	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
001	9,32	26,74
002	6,77	116,01
003	2,33	127,53
004	6,16	45,67
005	8,49	62,80
006	5,00	70,41
007	11,75	26,31
008	2,66	24,34
009	5,66	0,00
010	16,82	135,76
011	13,15	138,58
012	6,66	84,27

Tabela 08. Valores de sílica dissolvida (em mmol/l) e redução da alcalinidade (em mmol/l) para cada amostra.
(conclusão)

Amostra	Sílica dissolvida (mmol/l)	Redução da alcalinidade (mmol/l)
013	1,67	83,59
014	17,54	133,07
015	15,32	302,38
016	23,48	245,32
017	11,43	84,68
018	4,00	68,24
019	9,44	47,77
020	1,67	159,18
021	1,76	3,75
022	8,44	61,42
023	8,88	63,12
024	9,16	32,35
025	7,33	9,51
026	9,88	58,00
027	1,22	177,42
028	0,00	185,95
029	14,15	34,25
030	10,99	203,62
031	6,66	74,22
032	7,33	245,49
033	9,28	59,62
034	8,99	69,95
035	7,33	121,79
036	145,19	226,46

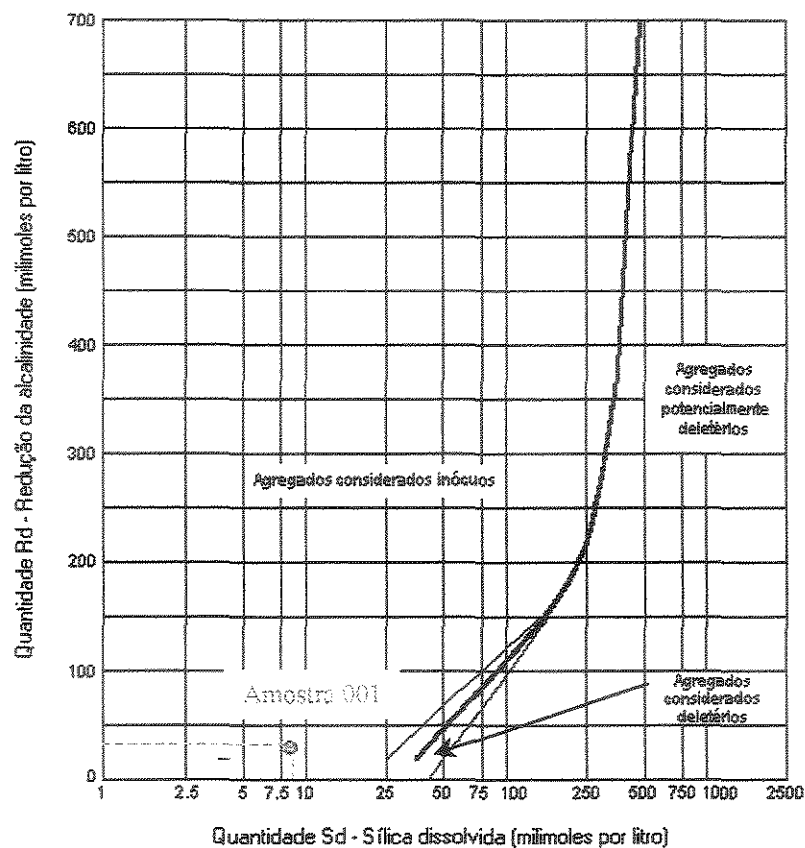


Figura 117 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 001.

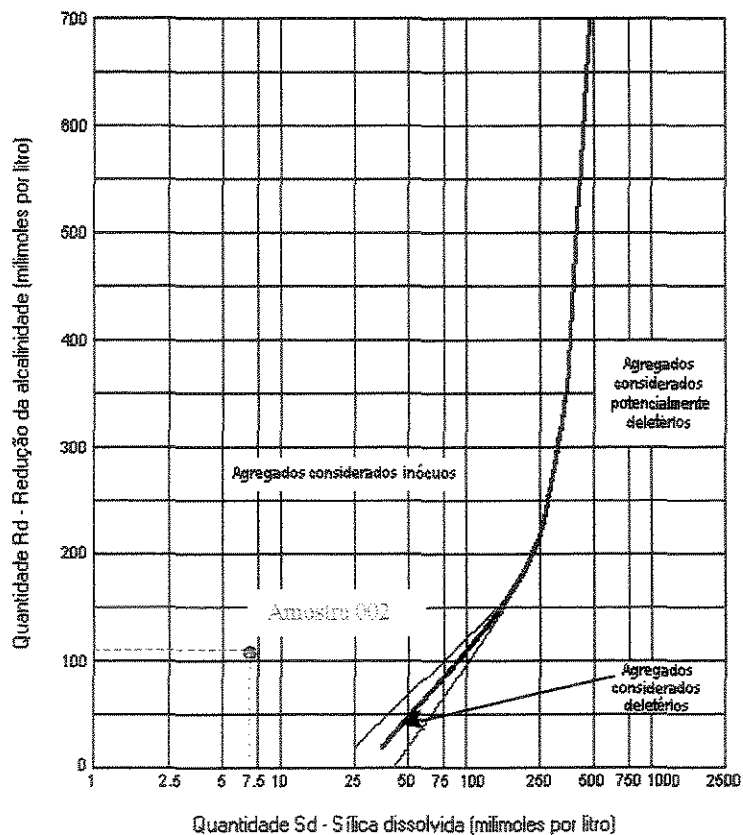


Figura 118 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 002.

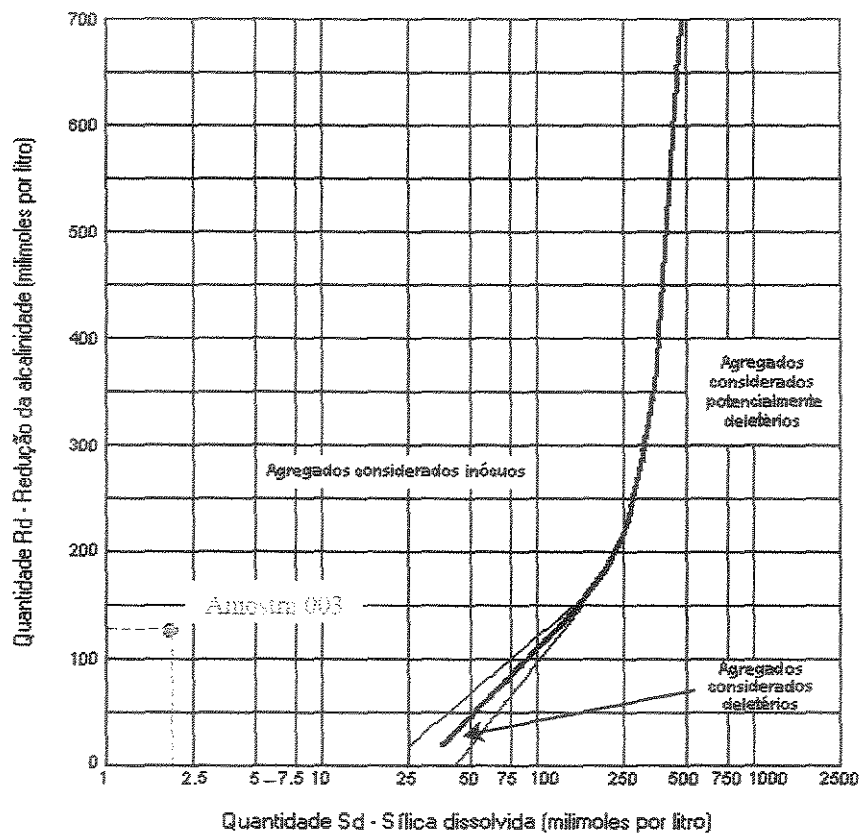


Figura 119 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 003.

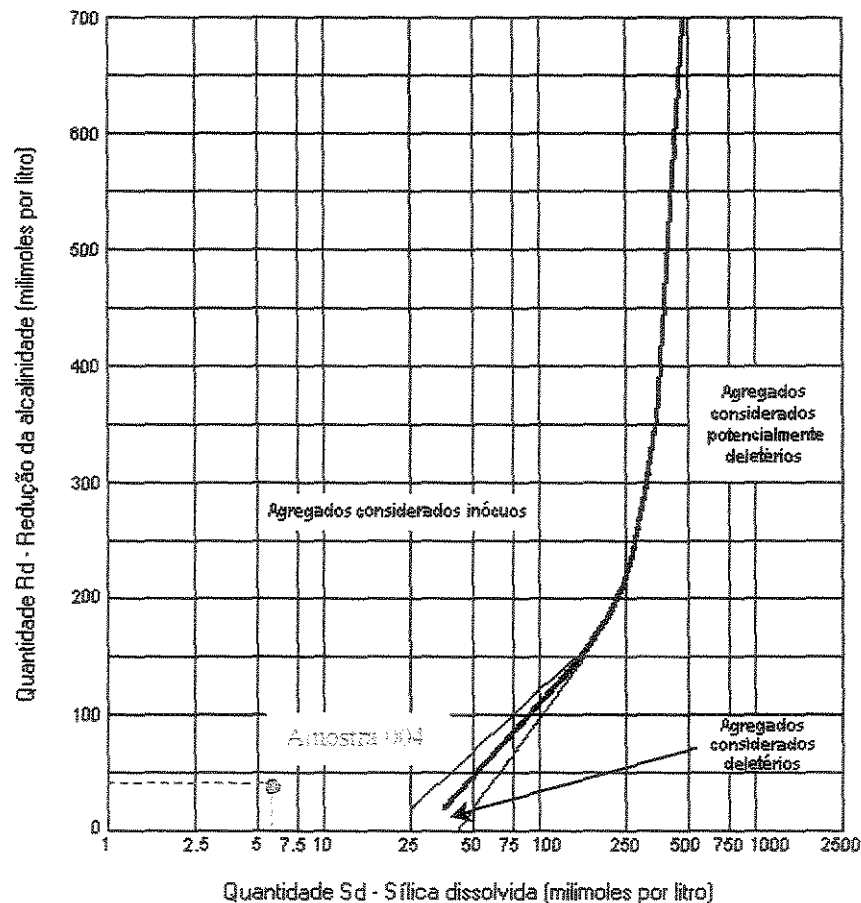


Figura 120 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 004.

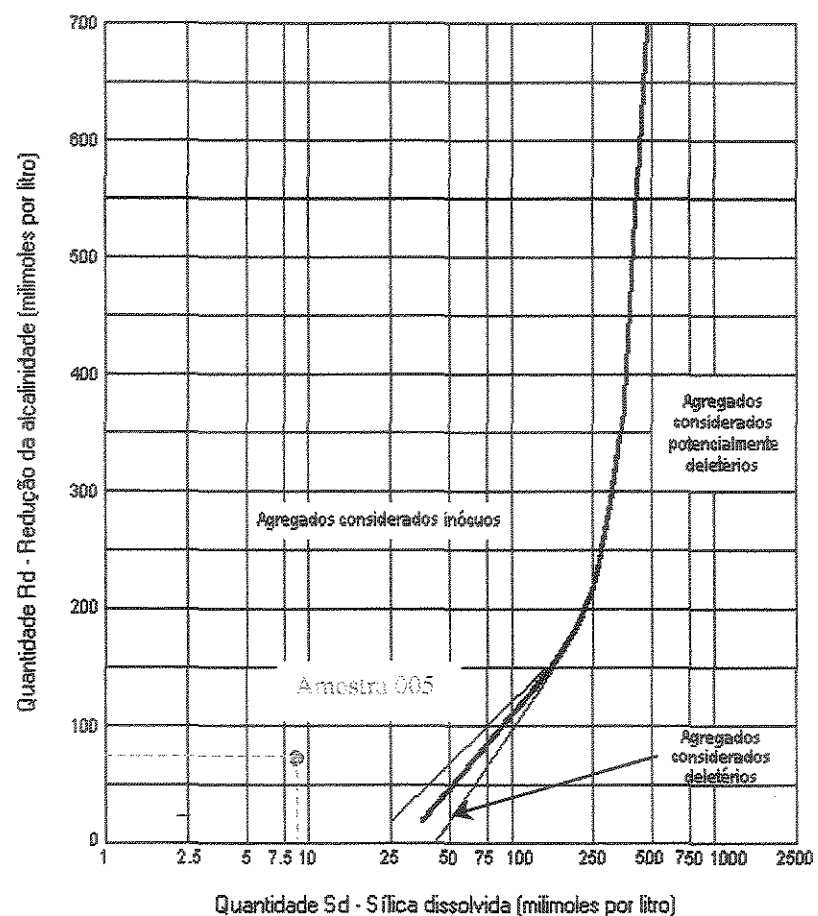


Figura 121 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 005.

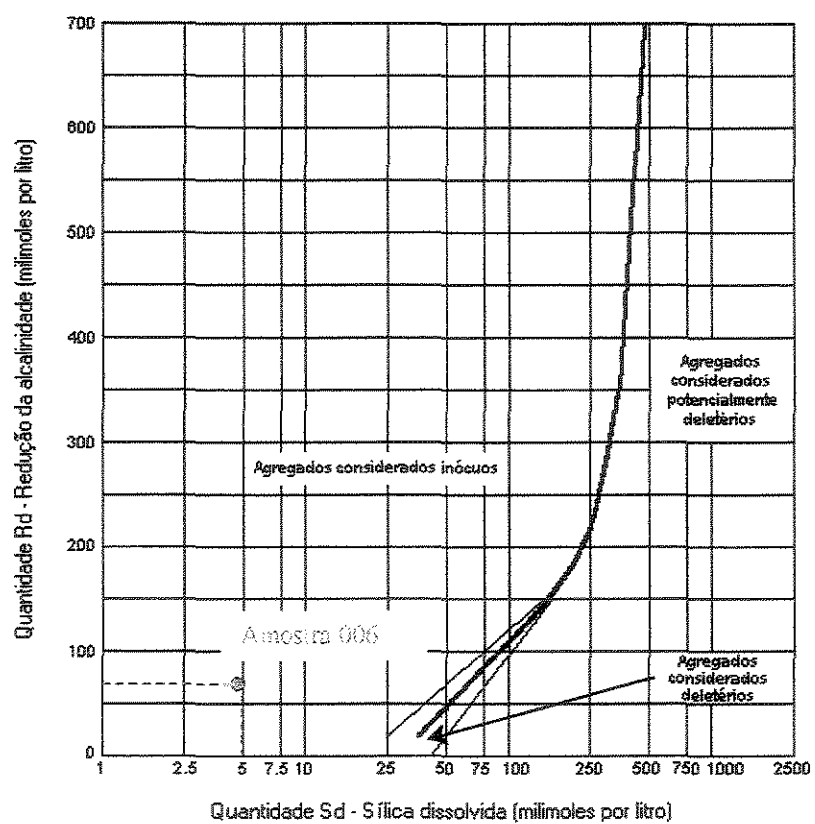


Figura 122 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 006.

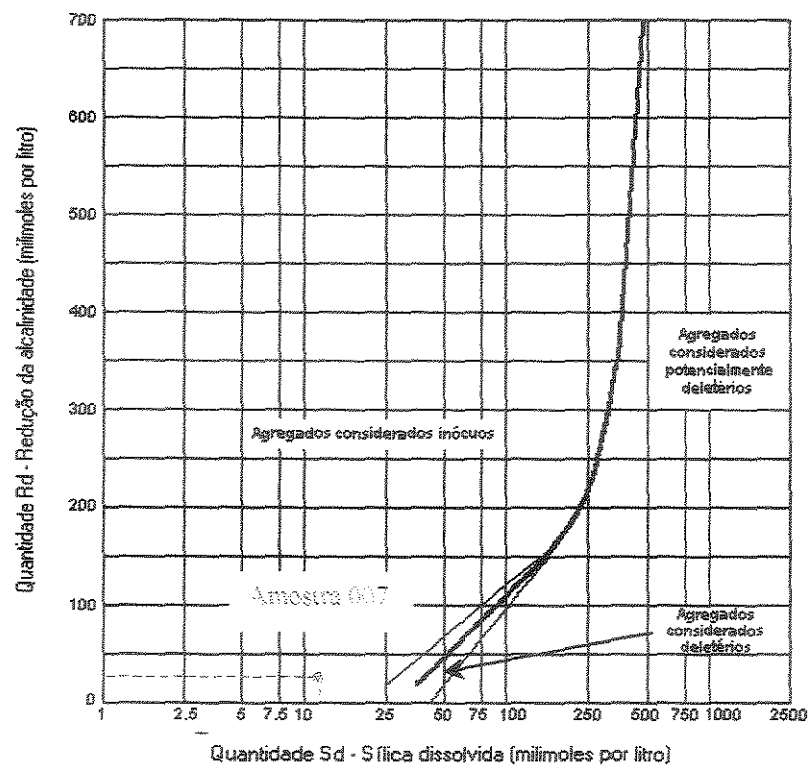


Figura 123 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 007.

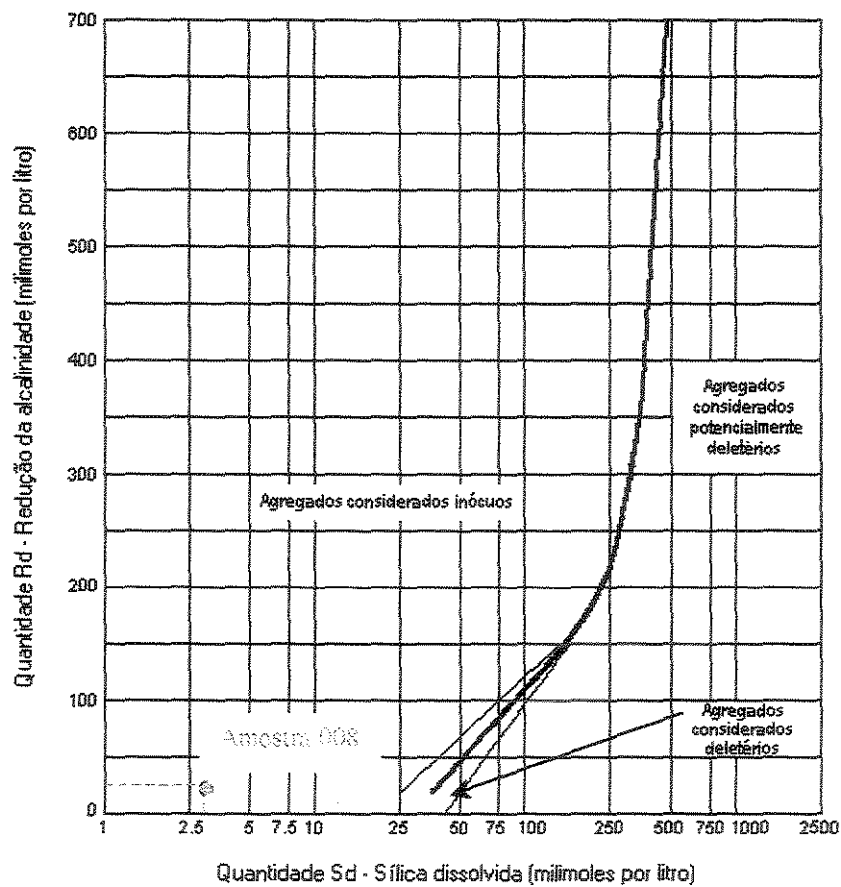


Figura 124 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 008.

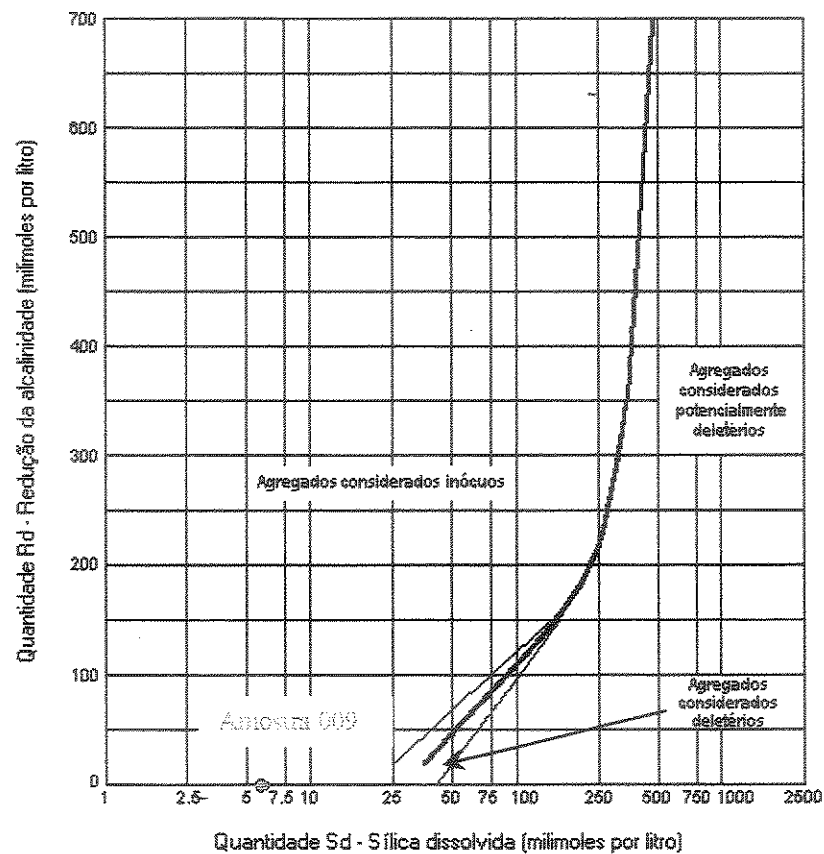


Figura 125 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 009.

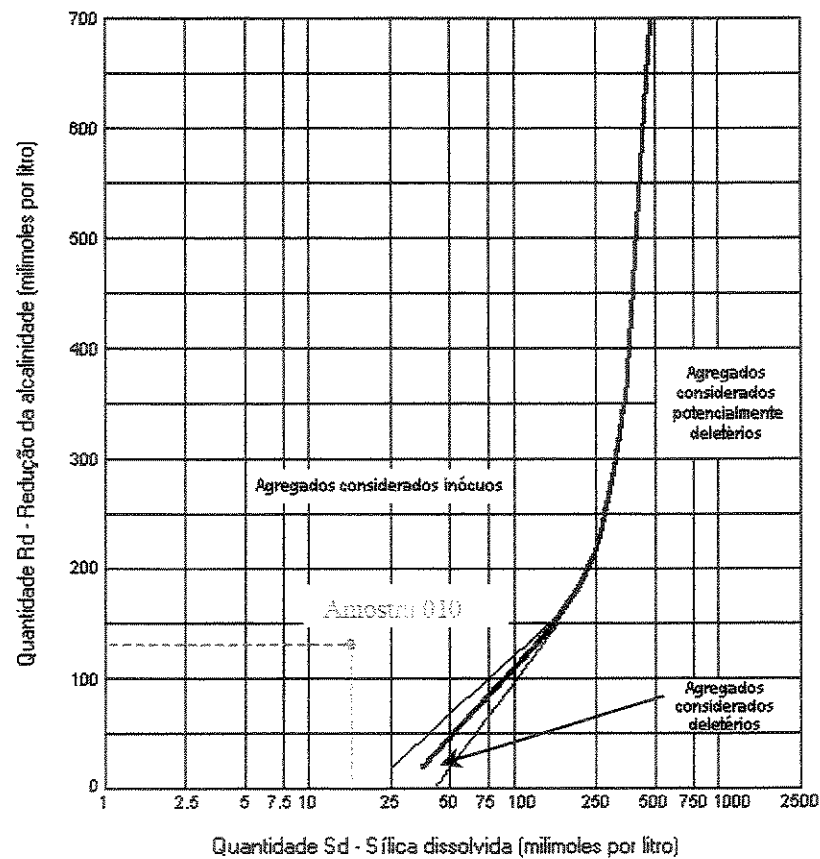


Figura 126 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 010.

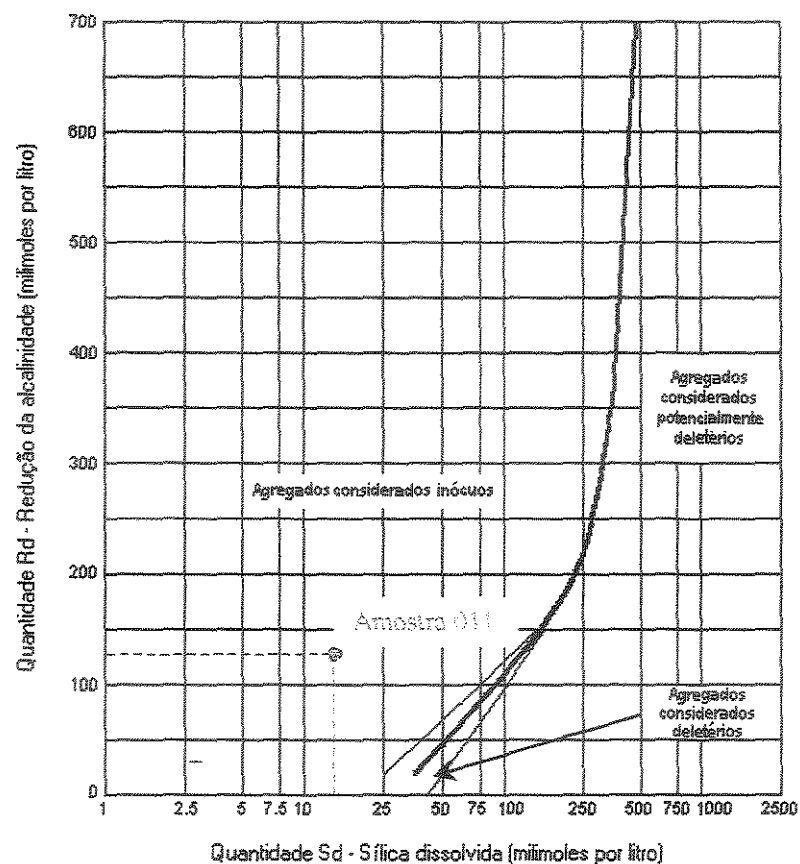


Figura 127 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 011.

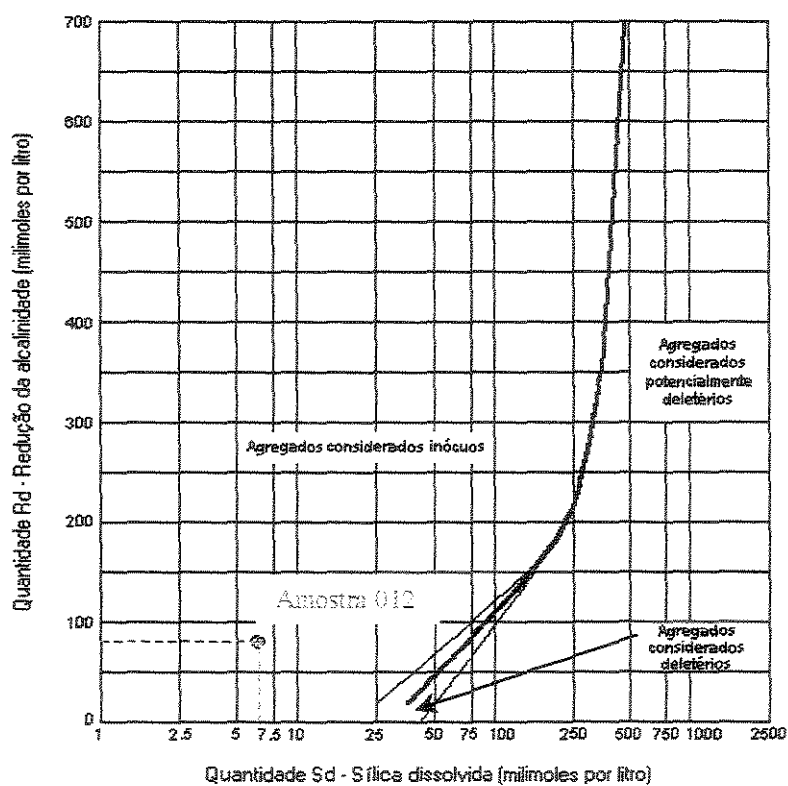


Figura 128 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 012.

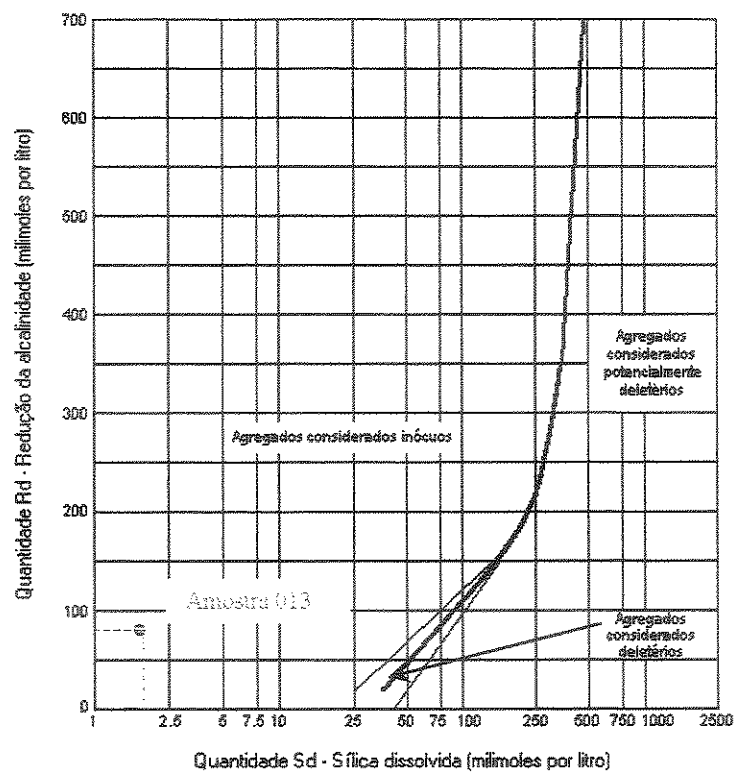


Figura 129 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 013.

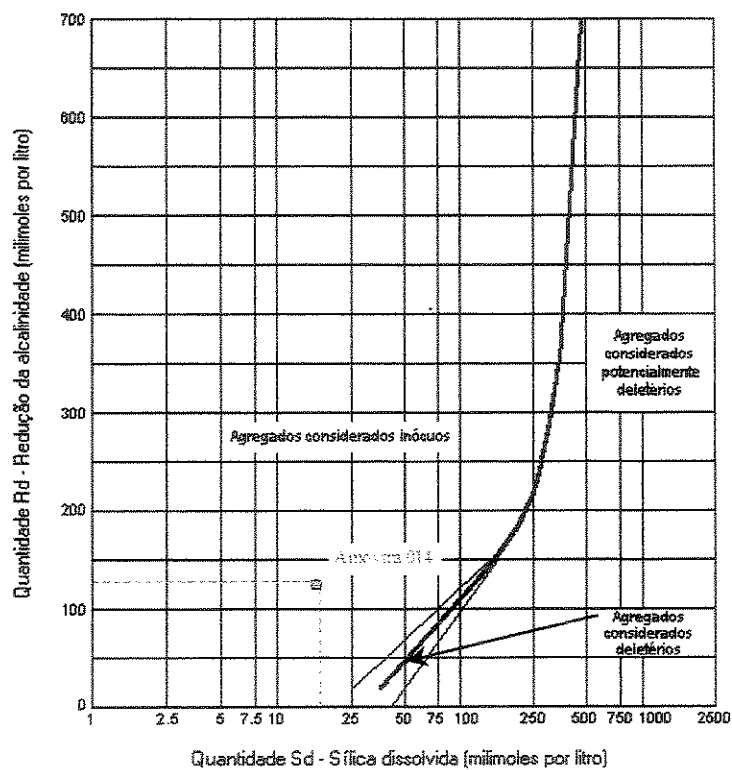


Figura 130 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 014.

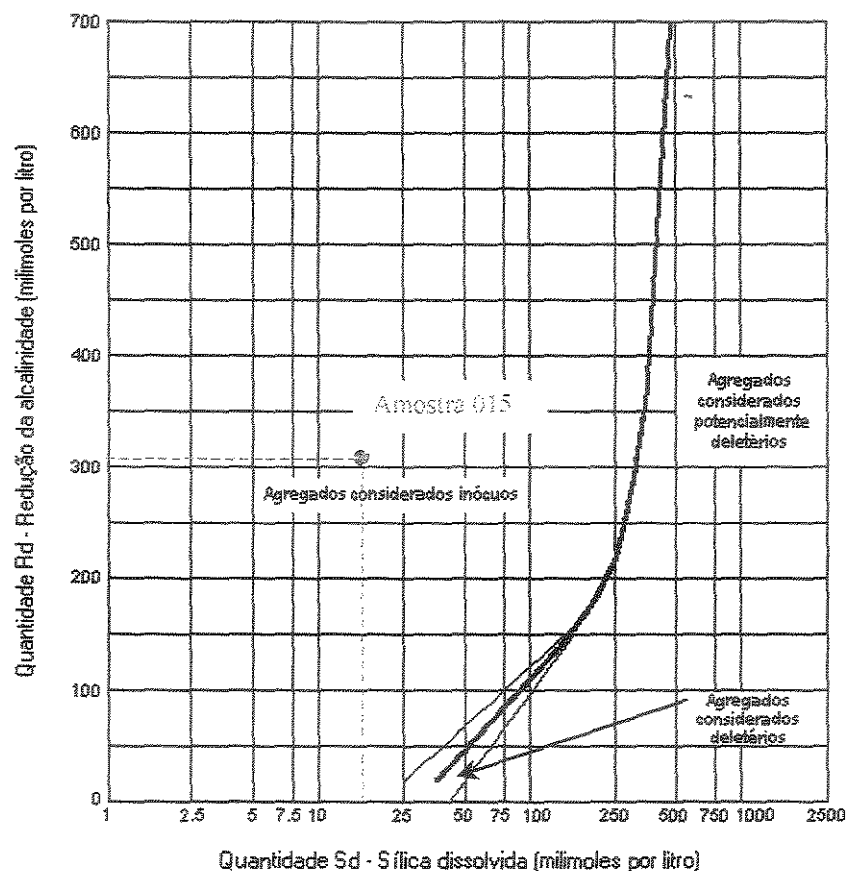


Figura 131 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 015.

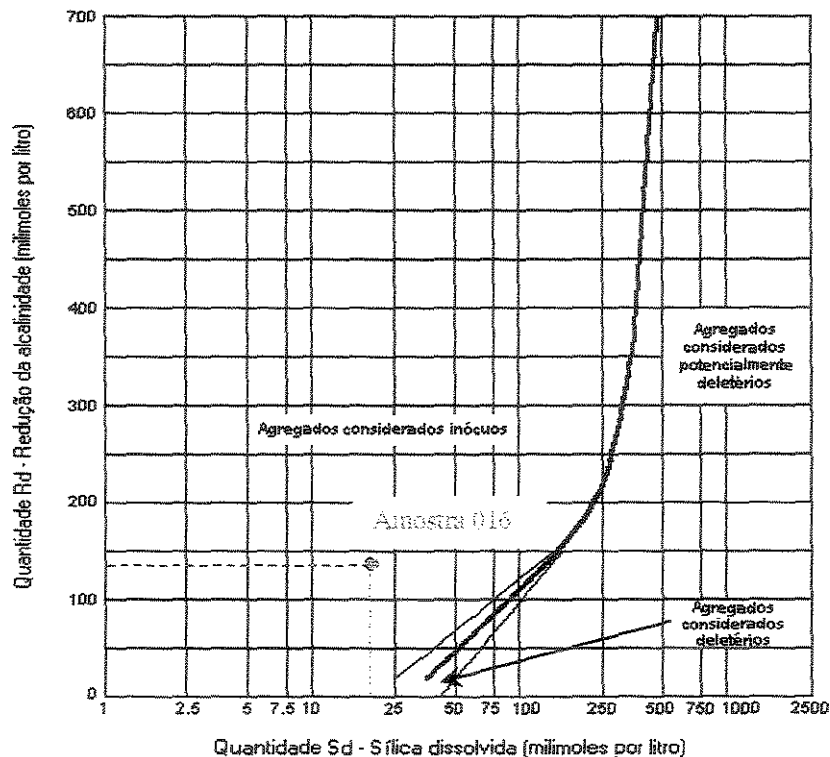


Figura 132 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 016.

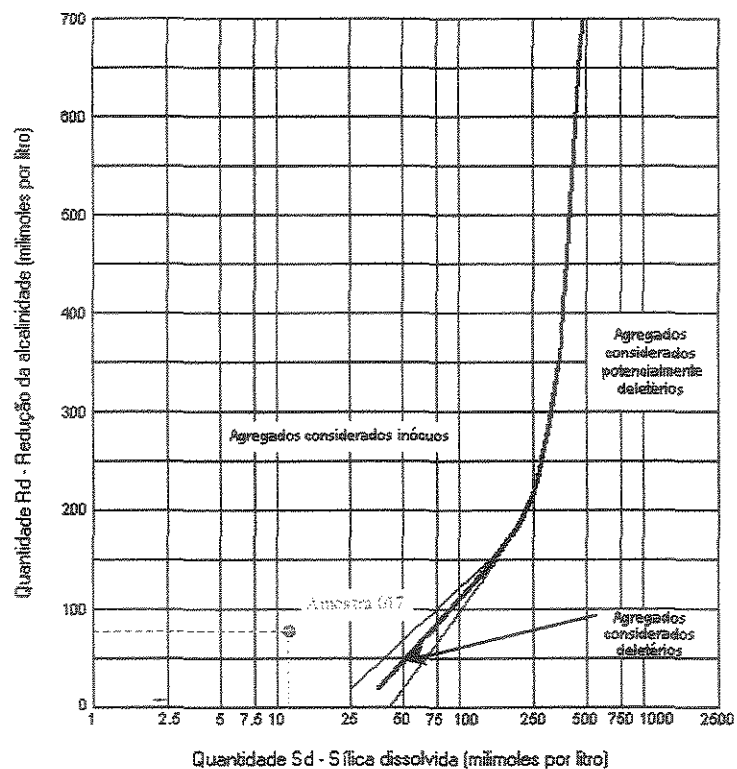


Figura 133 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 017.

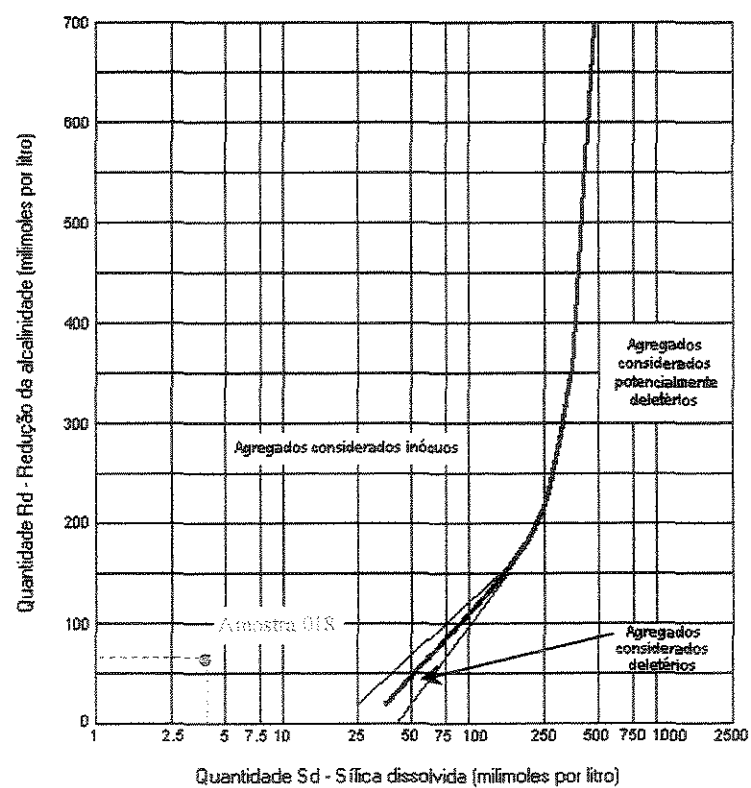


Figura 134 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 018.

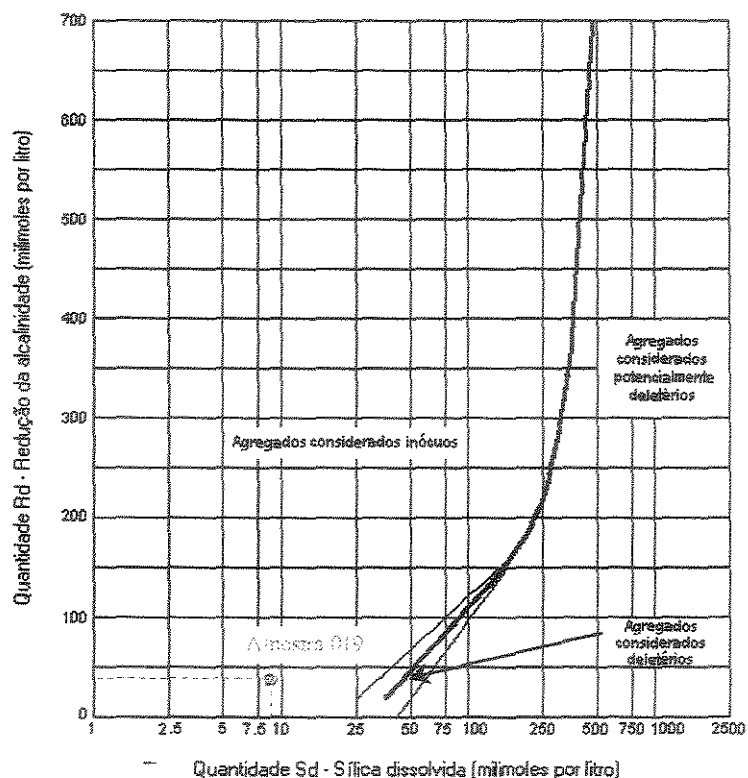


Figura 135 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 019.

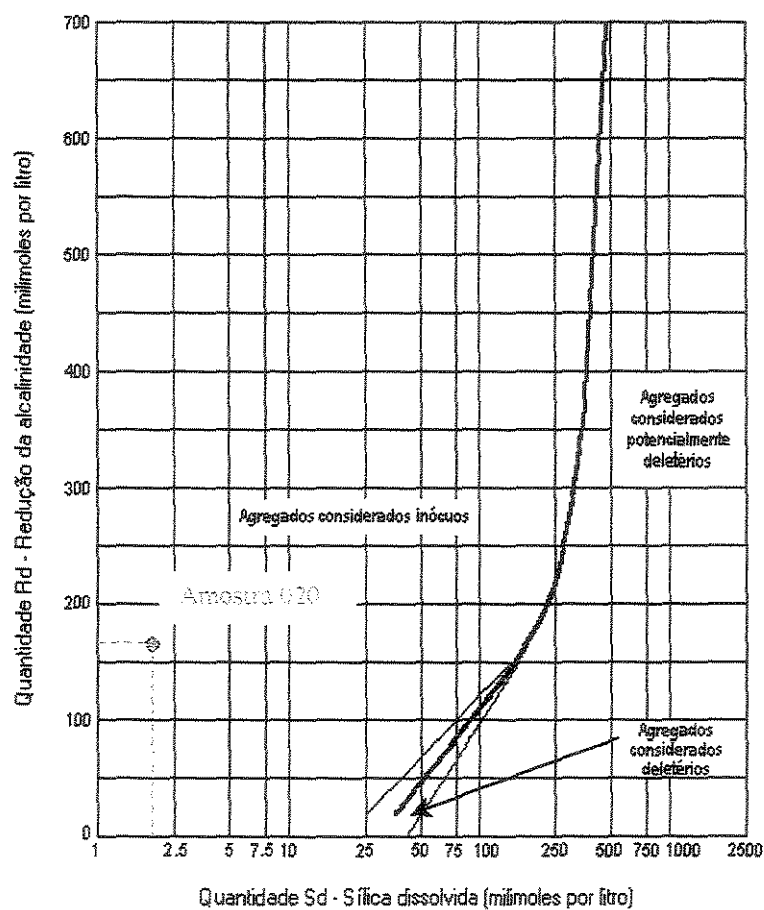


Figura 136 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 020.

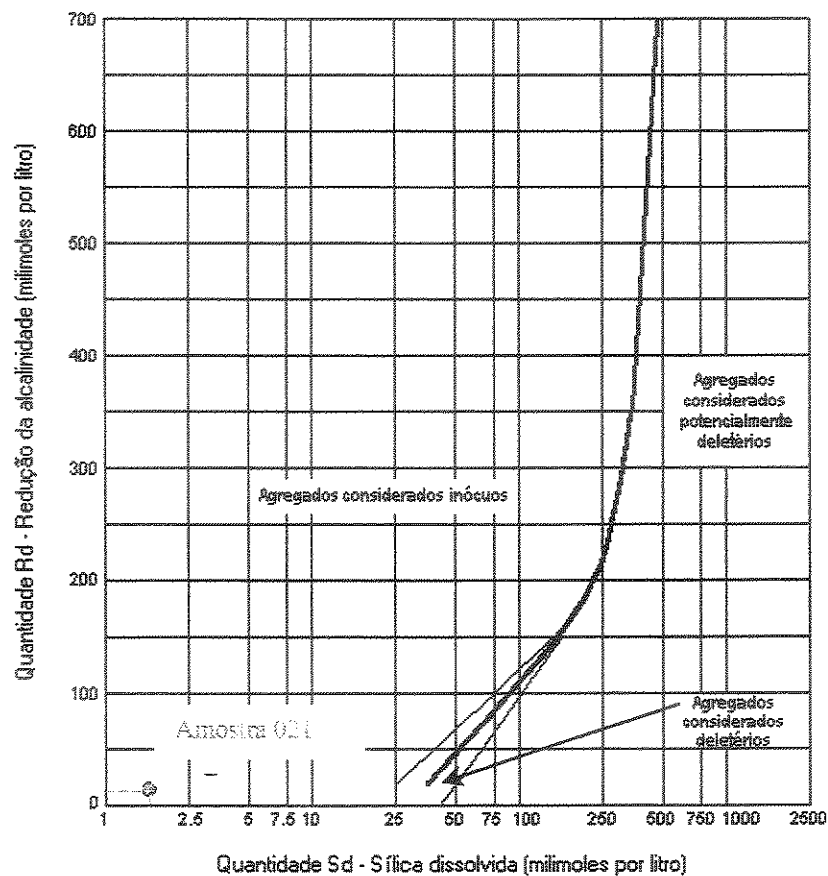


Figura 137 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 021.

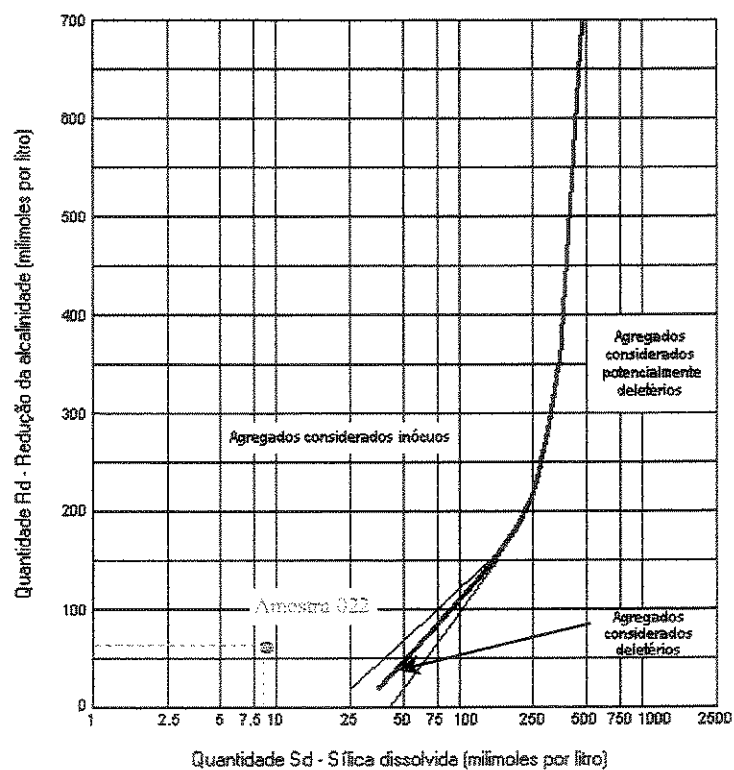


Figura 138 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 022.

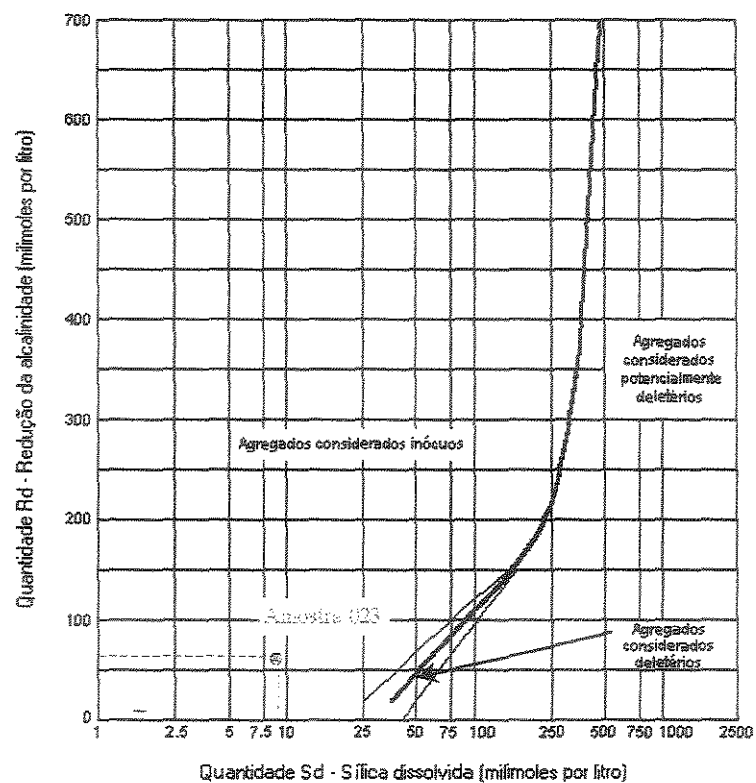


Figura 139 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 023.

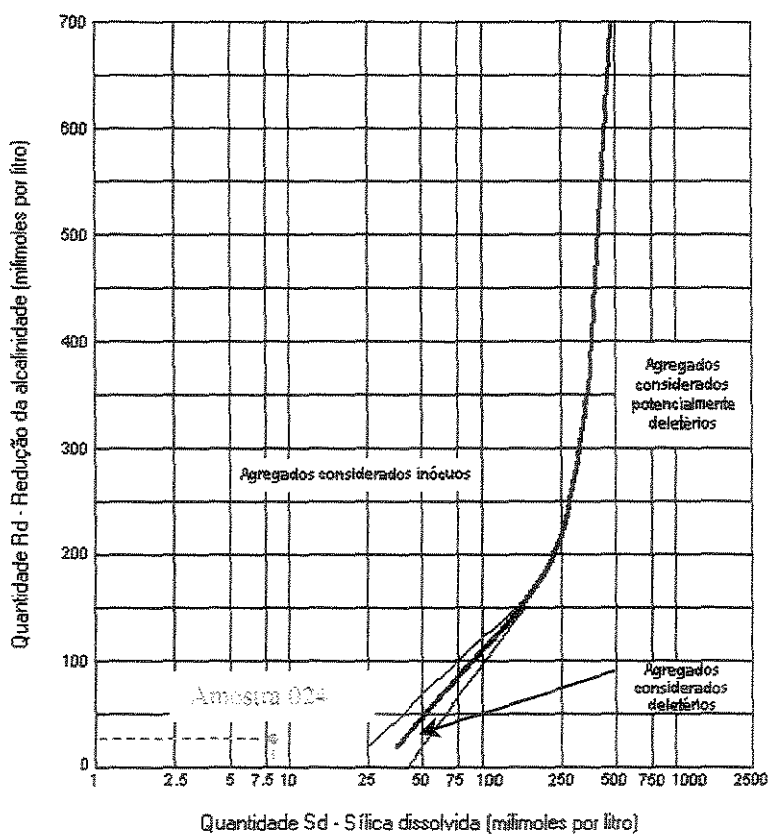


Figura 140 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 024.

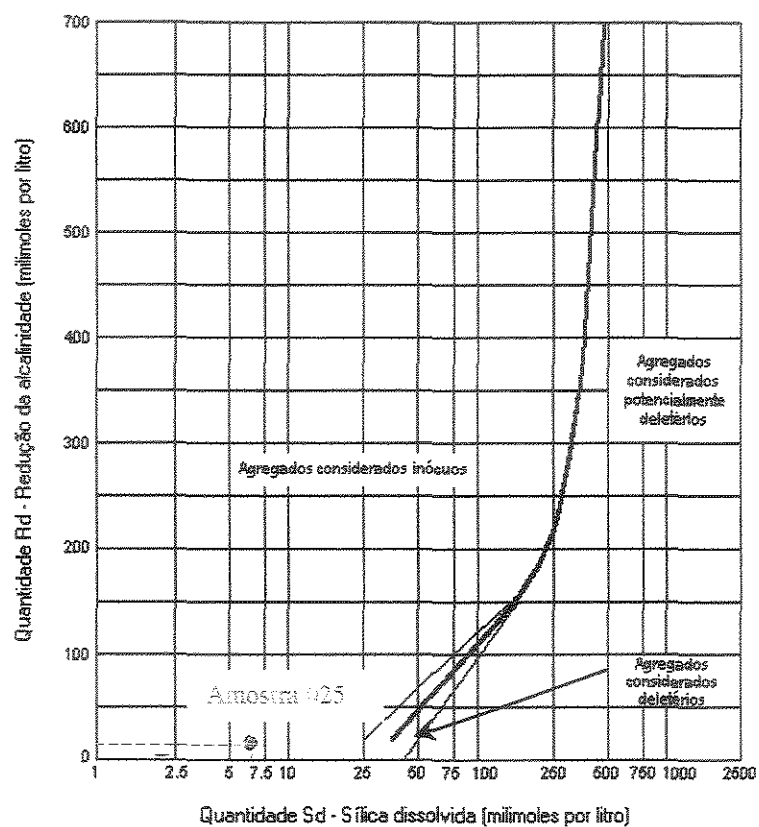


Figura 141 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 025.

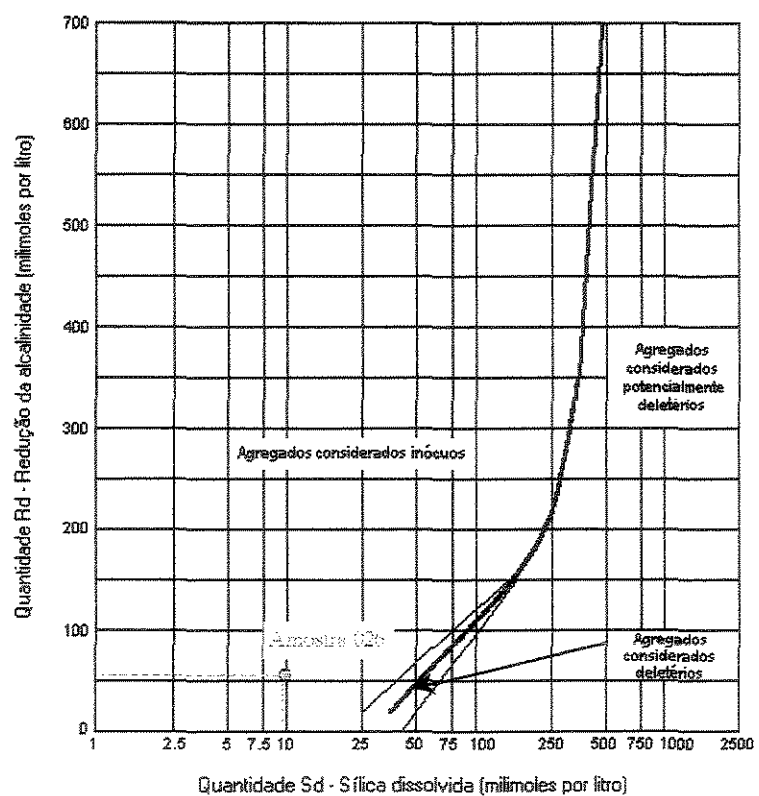


Figura 142 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 026.

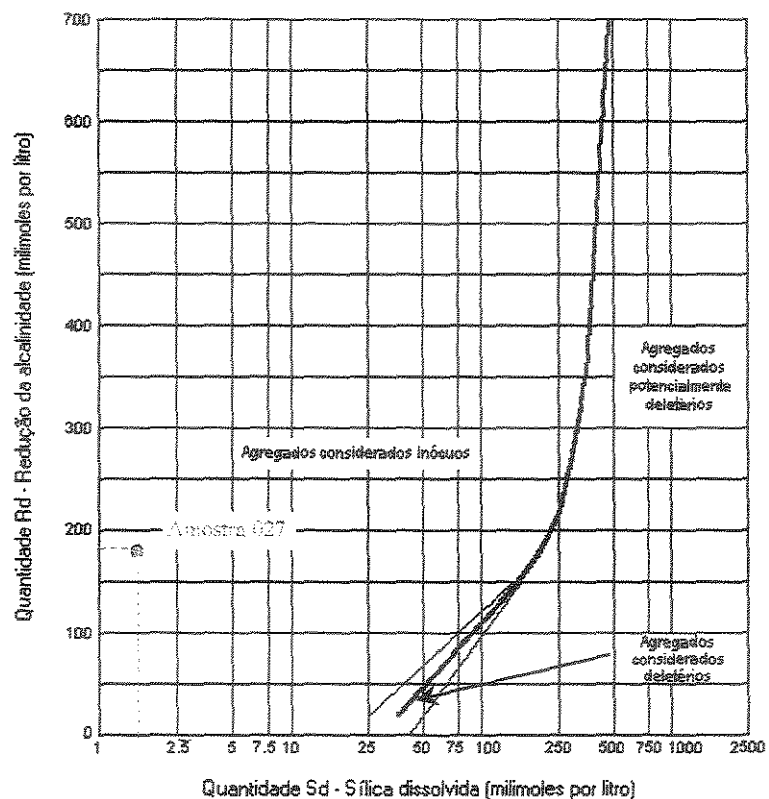


Figura 143 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 027.

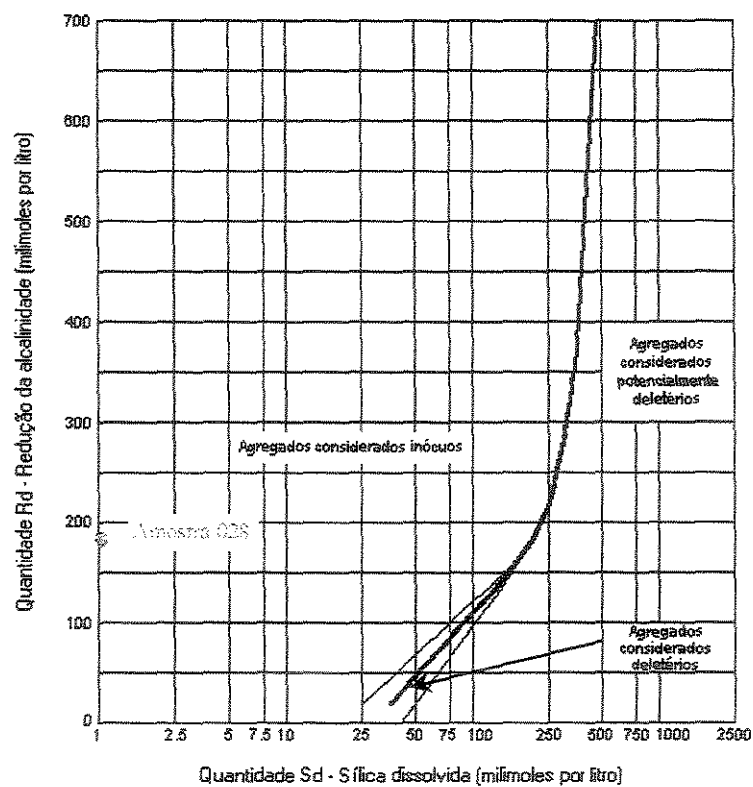


Figura 144 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 028.

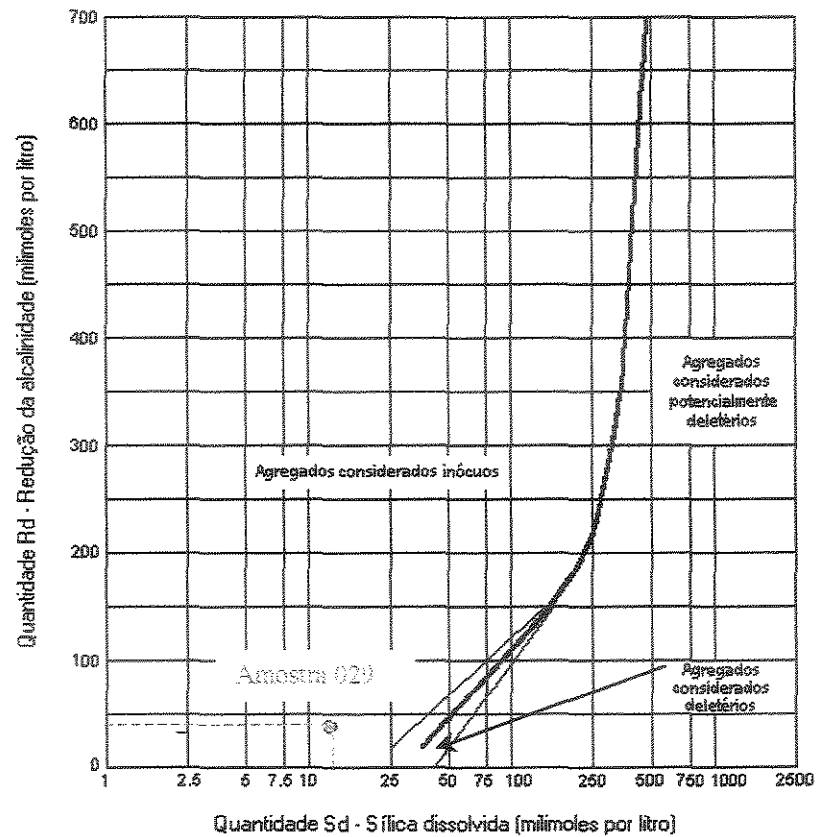


Figura 145 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 029.

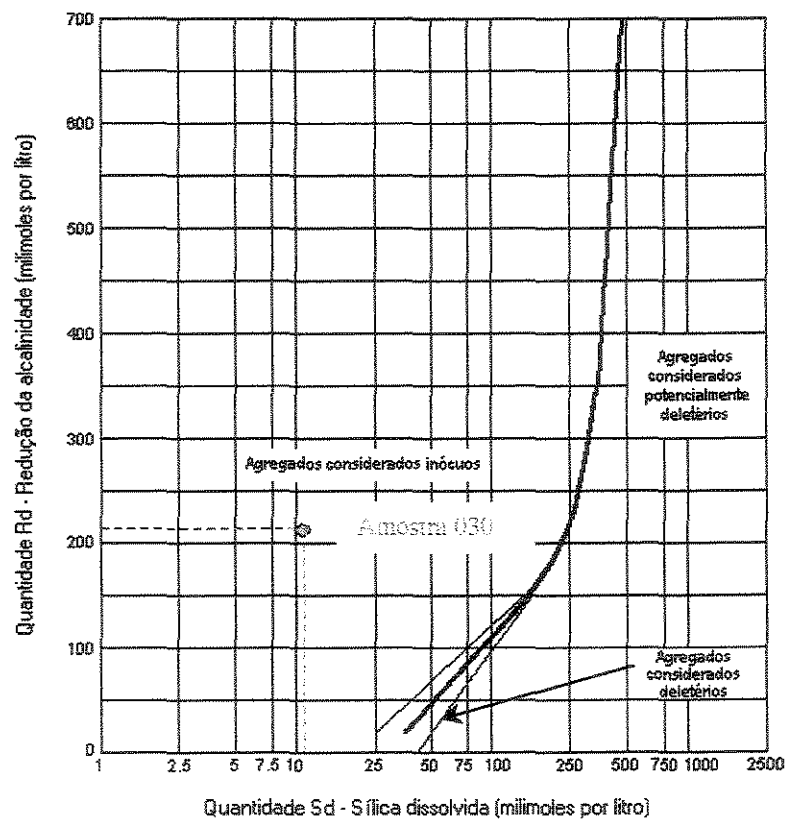


Figura 146 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 030.

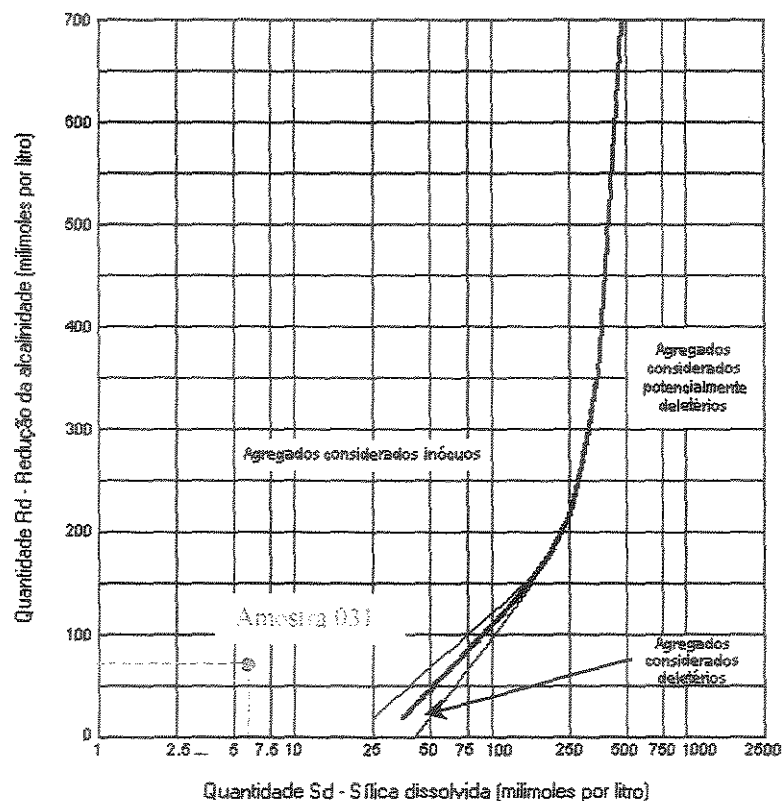


Figura 147 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 031.

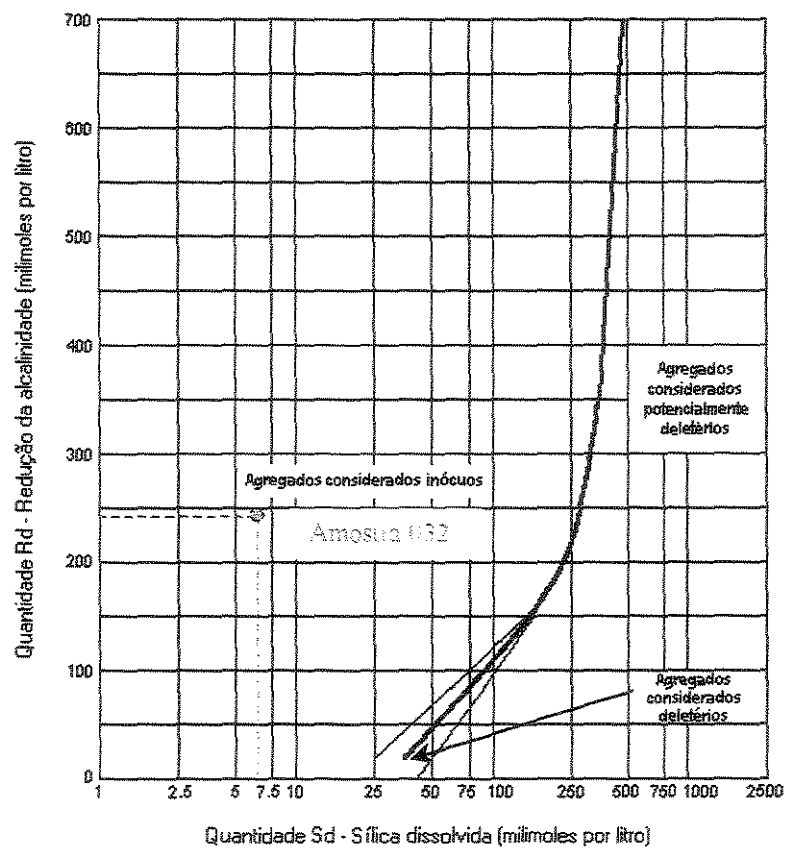


Figura 148 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 032.

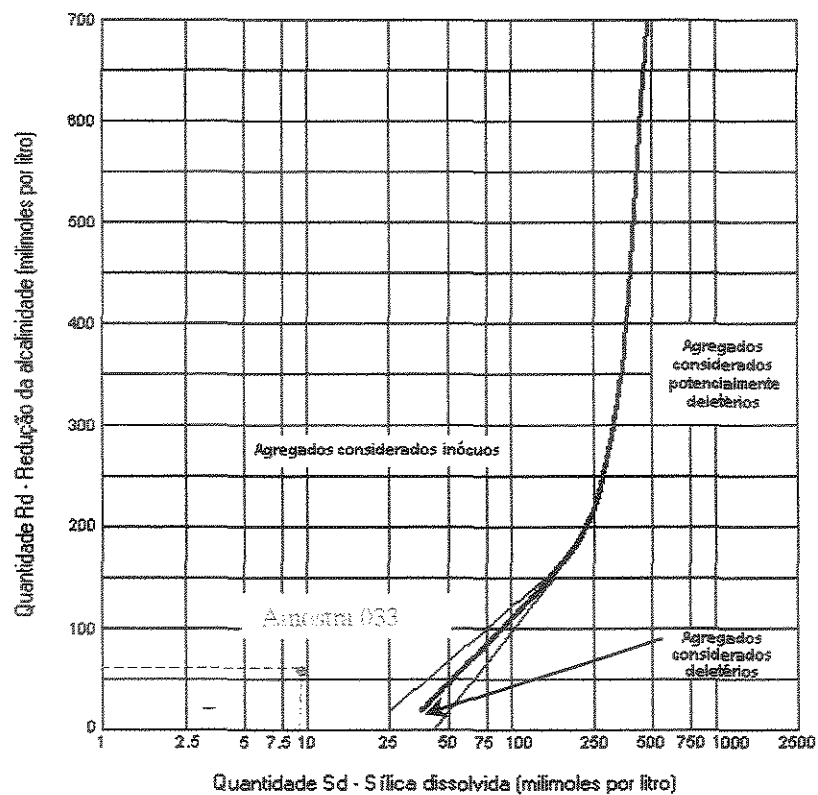


Figura 149 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 033.

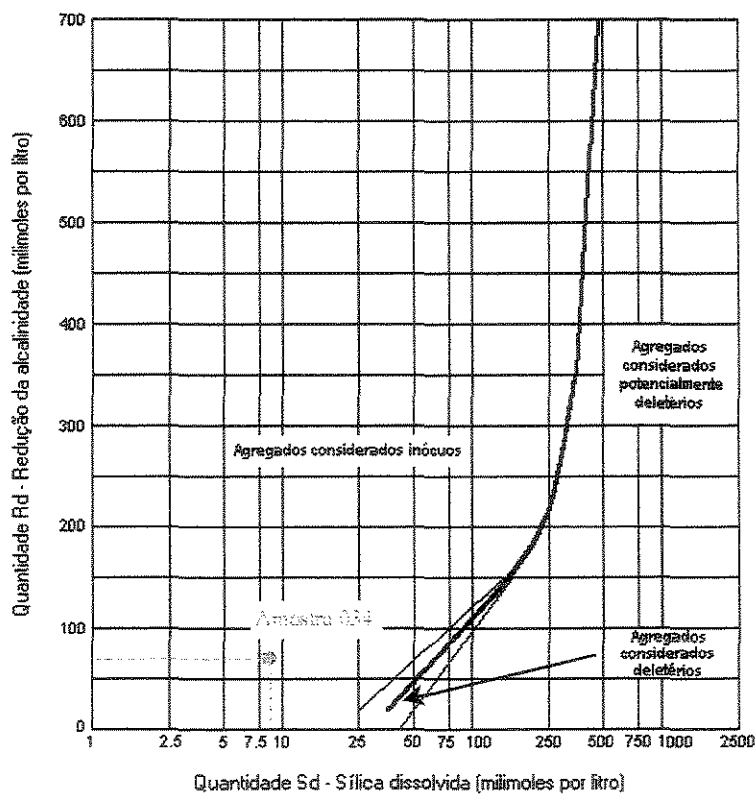


Figura 150 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 034.

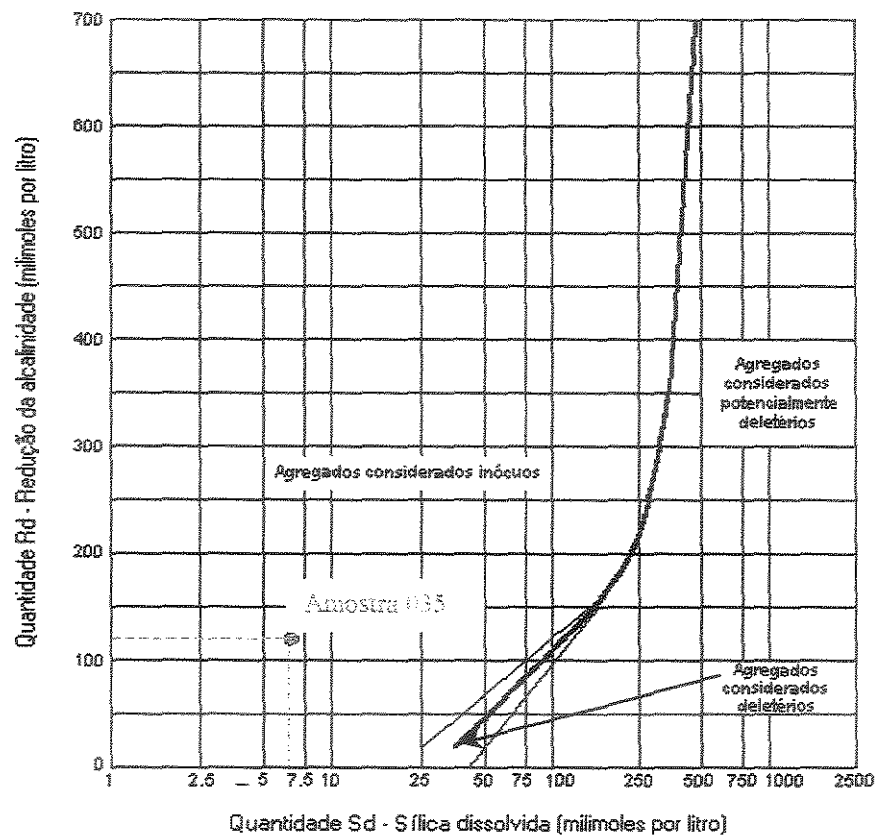


Figura 151 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 035.

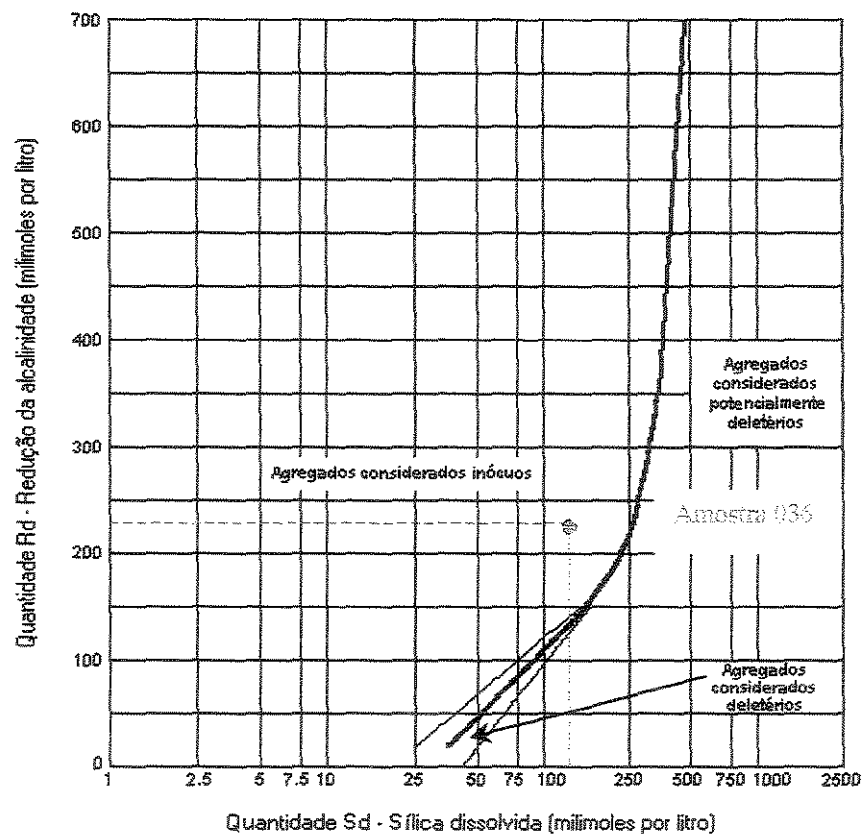


Figura 152 - Gráfico de redução da alcalinidade (mmol/l) x sílica dissolvida (mmol/l) da amostra 036.

6.3 Microscopia eletrônica de varredura

Apenas algumas amostras foram submetidas aos ensaios de microscopia eletrônica de varredura. Em geral, foram ensaiadas amostras que apresentaram diferentes resultados nos ensaios de determinação da reatividade potencial pelo método acelerado e análise petrográfica. Também foram feitas imagens de algumas amostras que comprovadamente são reativas, para identificação dos produtos de reação.

Nas amostras analisadas o produtos da reação (gel) foi encontrado na maioria das vezes preenchendo os poros da argamassa. Isto porque as amostras não continham agregados graúdos, o que dificultou um pouco a visualização do gel na interface pasta/agregado.

Através da utilização conjunta da técnica de espectrometria de energia dispersiva (EDS), foi possível identificar a composição dos materiais analisados. As análises químicas pontuais dos produtos encontrados permitiram uma confirmação das imagens obtidas.

A composição química mais comumente encontrada nos géis analisados foi cálcio-sílico-alcalina, e o álcali detectado foi o sódio, diferindo da literatura existente sobre o assunto. São mais comuns as referências ao potássio e não sódio, como foi encontrado.

A seguir estão as análises para cada amostra ensaiada, seguidas das respectivas imagens.

- ❑ **Amostra 009** : foi ensaiada porque a partir do 19º dia ultrapassou o limite de 0,1% no ensaio acelerado, o que pode indicar reatividade (ver Figura 83) A este fato soma-se a análise petrográfica da amostra, que indicou quartzo deformado (ainda que pouca deformação), um indício de reatividade também (ver Figura 50). A Figura 153 mostra um poro revestido por produto de reação, gel do tipo maciço, gretado. A Figura 154 mostra outro poro revestido por gel, porém nesta imagem podem ser notadas várias fissuras originadas no poro. E a Figura 155 é uma aproximação da borda do poro da

Figura 154, onde podem ser observadas as camadas do gel formado. O espectro da Figura 156, mostrando uma composição cálcio-sílico-alcalina confirma a presença de gel.

- ❑ **Amostra 010 :** o ensaio acelerado não indicou reatividade (ver Figura 84), porém na análise petrográfica pôde ser observado claramente um grão de quartzo com extinção ondulante (Figura 51). Nas imagens realizadas foi encontrado gel do tipo rendado (Figura 157). A Figura 158 mostra uma visão mais geral, indicando a localização do produto, dentro do poro, enquanto que a Figura 159 apresenta o espectro do produto.
- ❑ **Amostra 013:** a partir do 21º dia esta amostra apresentou comportamento potencialmente deletério (ver Figura 87), enquanto que na análise petrográfica mostrou claramente quartzo deformado (Figura 53). A microscopia revelou presença de gel maciço gretado e em camadas (Figuras 160 e 161). O espectro encontra-se na Figura 162.
- ❑ **Amostra 019 :** a amostra 019 é indubitavelmente reativa. Os resultados de expansão foram os maiores encontrados nos ensaios realizados: aos 16 dias teve 0,380% de expansão (ver Figura 93), e a rocha é constituída de um material fibroso, deformado e fino (Figura 58). A microscopia comprovou a presença de gel, na forma maciça e bastante gretado, envolvendo os poros (Figuras 163, 164 e 165 e espectro na Figura 166).
- ❑ **Amostra 021:** apesar do ensaio acelerado não indicar expansão deletéria (ver Figura 95), a análise petrográfica da rocha indicou quartzo deformado (Figura 60). Realizado o ensaio de microscopia, foi encontrado gel maciço gretado (Figura 167) e produto de reação na forma cristalizada (Figuras 168 e 169). O espectro encontra-se na Figura 170.
- ❑ **Amostra 022:** é um gnaisse com evidências de cataclase, com cristais pequenos de quartzo deformados, indicando potencialidade reativa. O ensaio acelerado indicou potencialidade reativa somente a partir do 21º dia. A microscopia revelou poros revestidos de gel (Figura 171), com início de gretamento (Figura 172). Espectro na Figura 173.

- ❑ **Amostra 027:** potencialmente reativa pelo método acelerado (0,176% de expansão aos 16 dias, ver Figura 101), porém a análise petrográfica não foi conclusiva por se tratar de agregado miúdo (ver Figura 73). Nas imagens da microscopia foi encontrado gel bastante gretado dentro do poro, descolando das paredes do mesmo (Figura 174). Espectro na Figura 175.

- ❑ **Amostra 028:** rocha comprovadamente reativa : 0,281% de expansão aos 16 dias (ver Figura 102) e análise petrográfica indicando presença de vidro vulcânico (Figura 62). A microscopia comprovou este resultado. As imagens apresentaram gel gretado dentro do poro (Figura 176 e espectro na Figura 177).

- ❑ **Amostra 036 :** a análise petrográfica mostrou presença de vidro vulcânico em abundância e granulação muito fina da rocha (Figura 64), enquanto que o ensaio acelerado indicou reatividade (0,251% aos 16 dias, ver Figura 110). A microscopia mostrou gel na forma de acículas, dispostas sobre a superfície do poro (Figura 178). Observar na Figura 179 a quantidade de poros, todos com presença de acículas na superfície. Espectro na Figura 180.

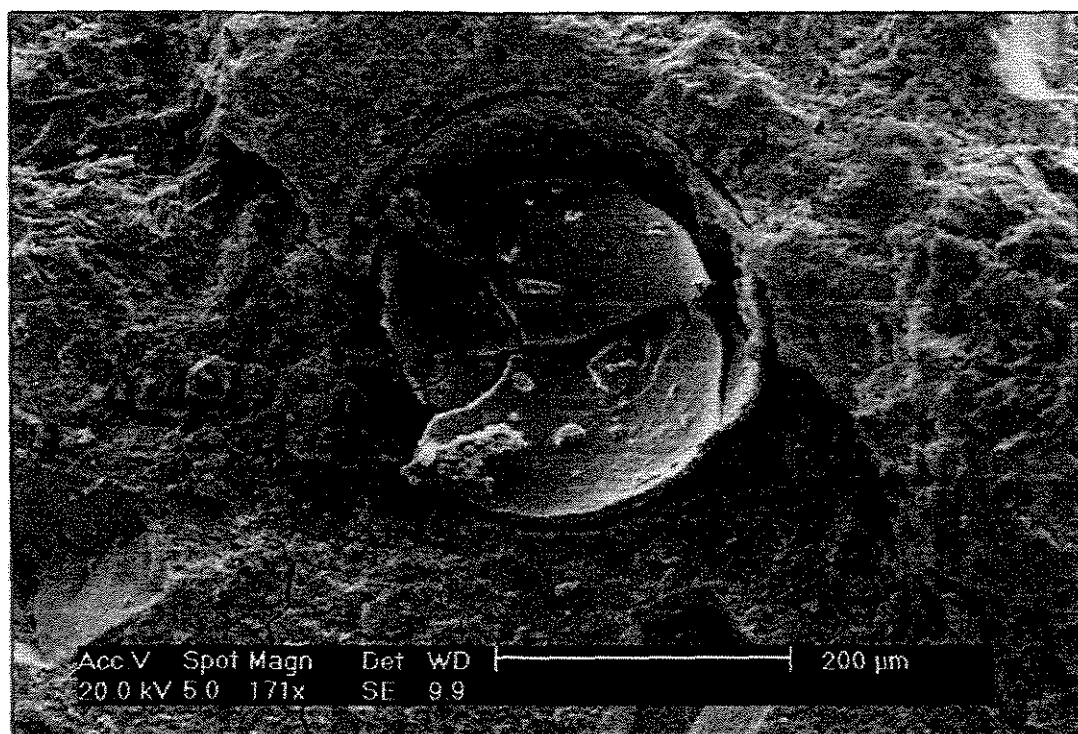


Figura 153 - Amostra 009. Imagem de um poro revestido com produto de reação. Gel maciço gretado.

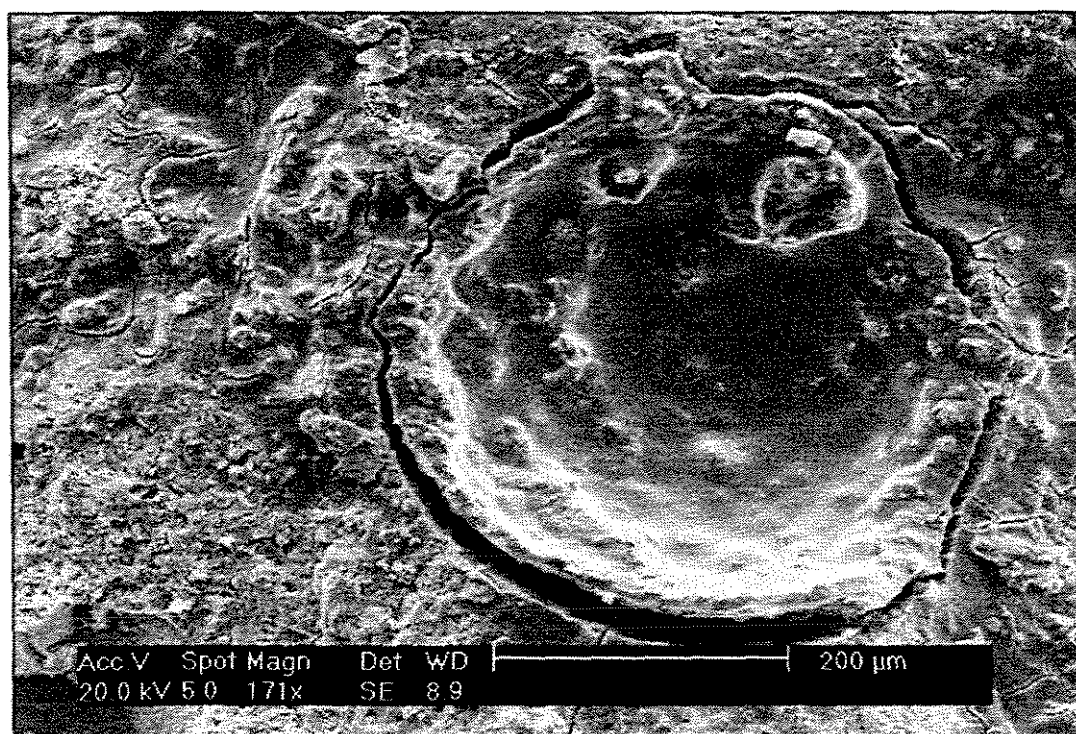


Figura 154 - Amostra 009. Outro poro revestido com gel. Notar as várias fissuras saindo do poro.

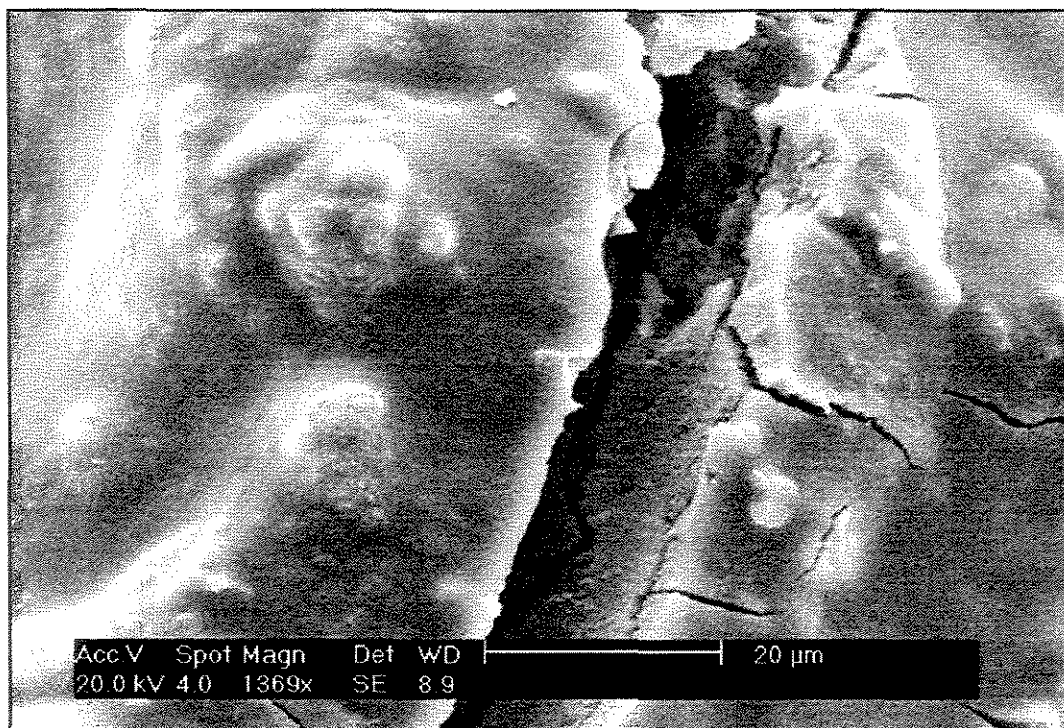


Figura 155 - Amostra 009. Aproximação da imagem da figura anterior. Notar as camadas de gel.

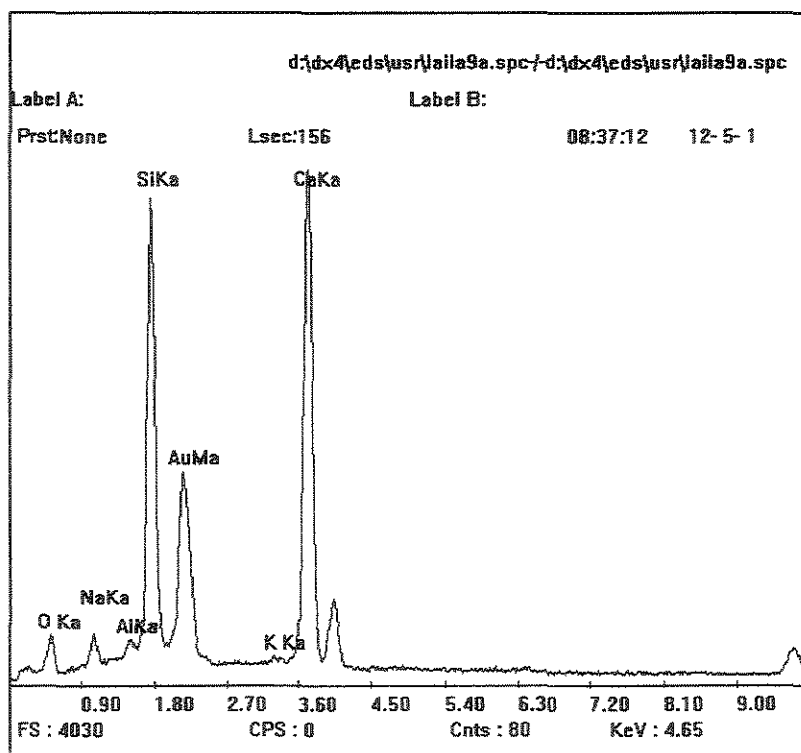


Figura 156 - Espectro da amostra 009, realizado no produto da Figura 155.

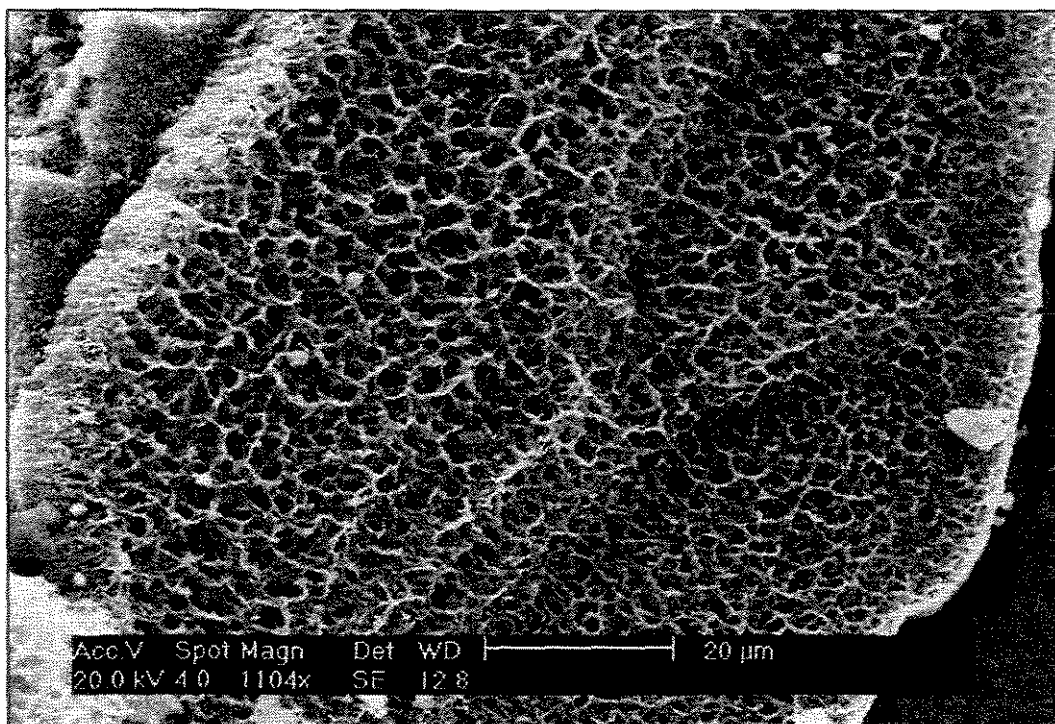


Figura 157 - Amostra 010. Produto na forma rendada.

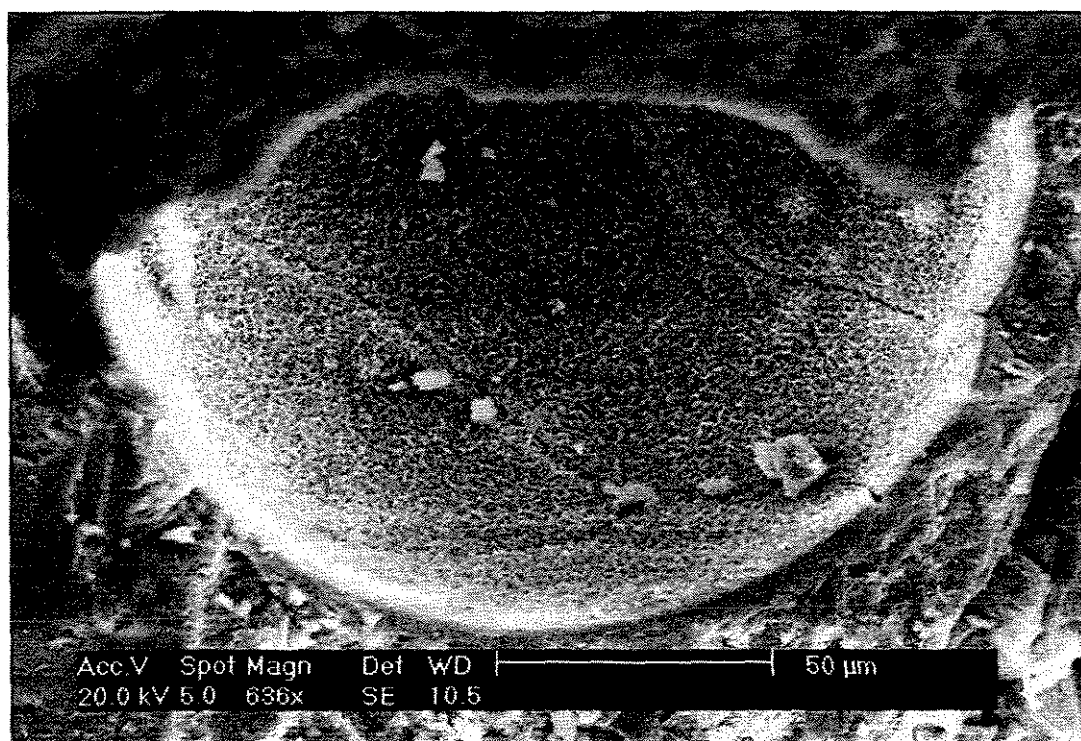


Figura 158 - Amostra 010. Vista mais geral, mostrando a localização do gel no poro.

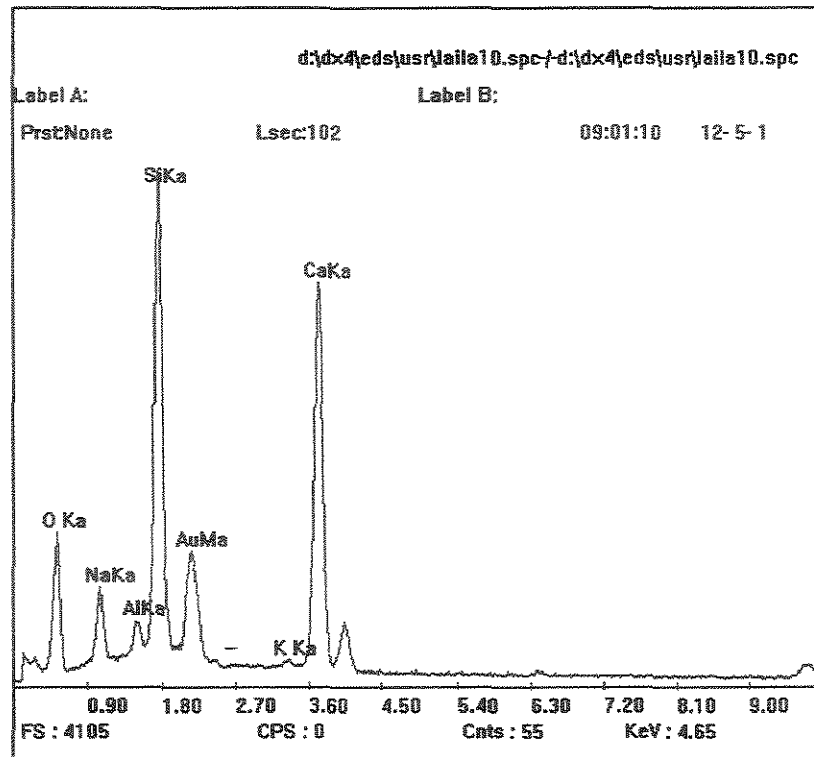


Figura 159 - Espectro da amostra 010.

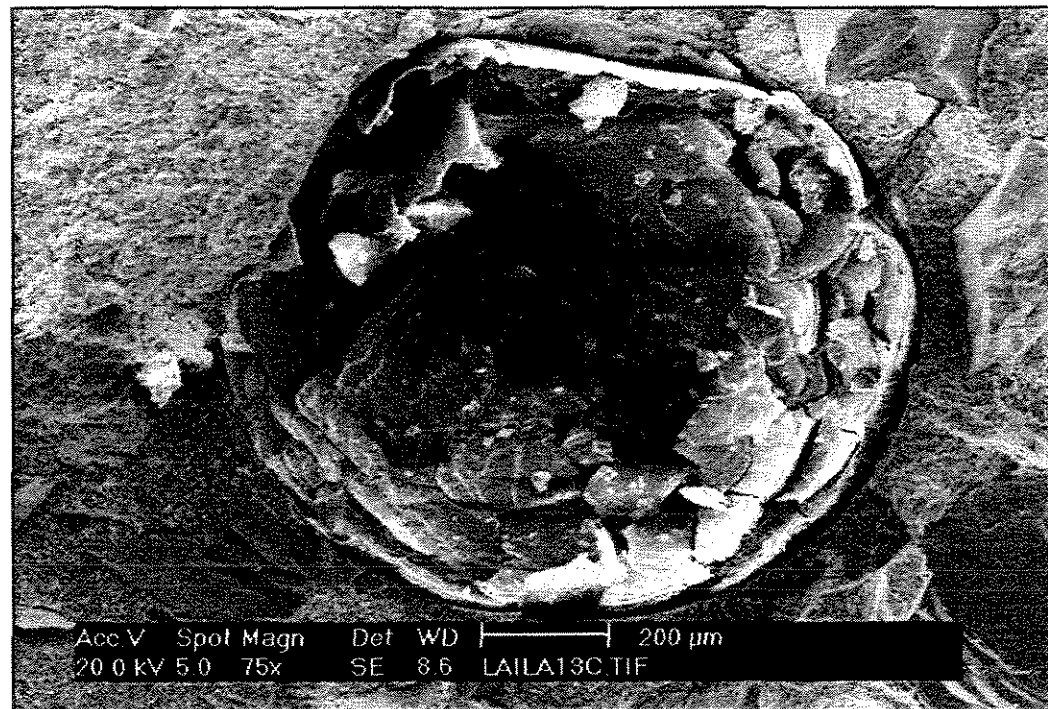


Figura 160 - Amostra 013. Gel maciço gretado e em camadas.

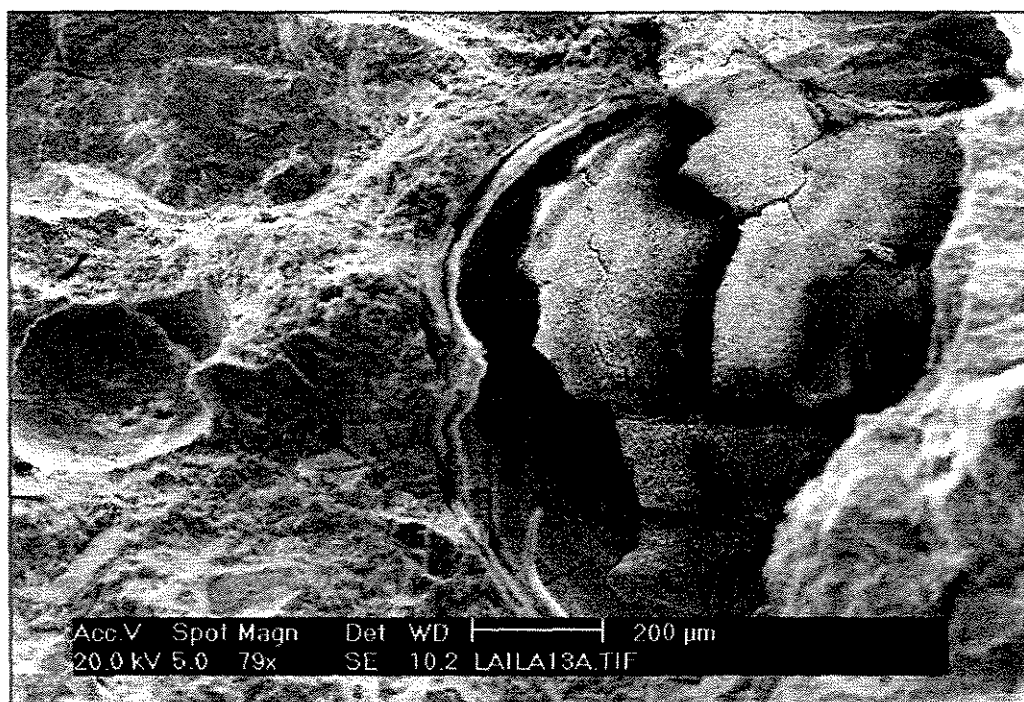


Figura 161 - Amostra 013. Outro poro revestido por gel.

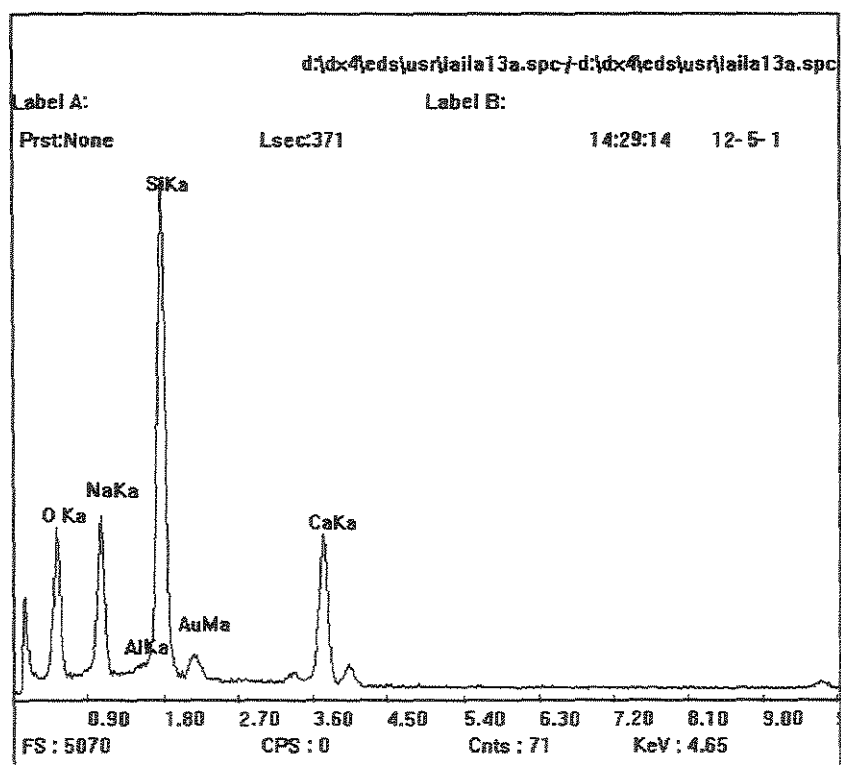


Figura 162 - Espectro da amostra 013, realizado no produto da Figura 161.

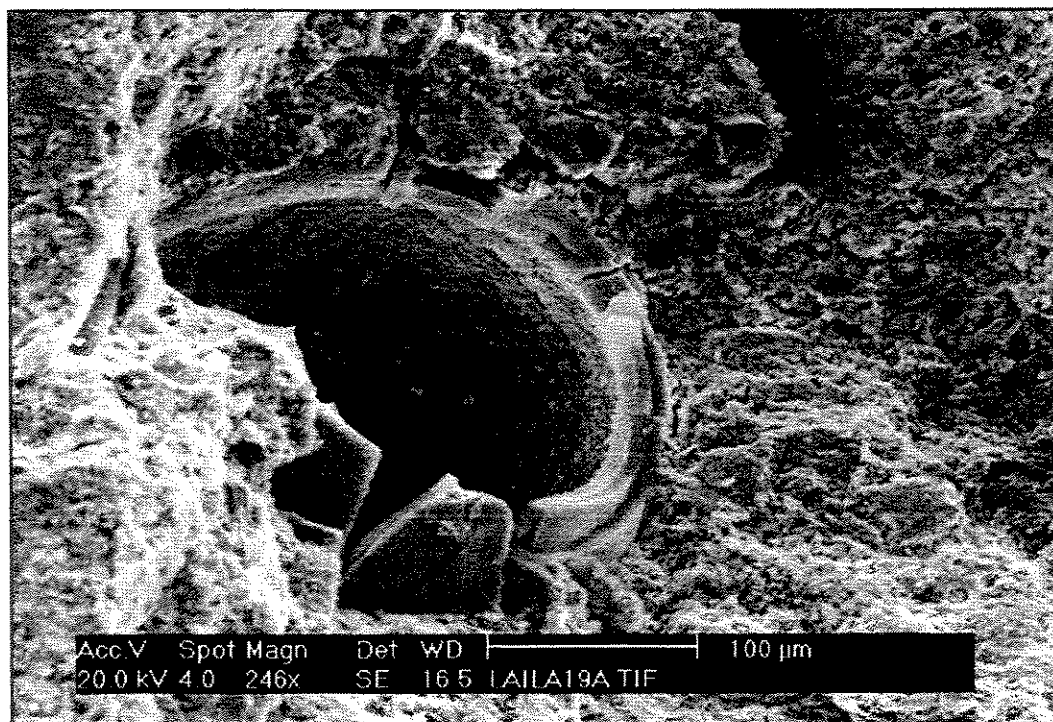


Figura 163 - Amostra 019. Gel maciço e em camadas, preenchendo o poro.

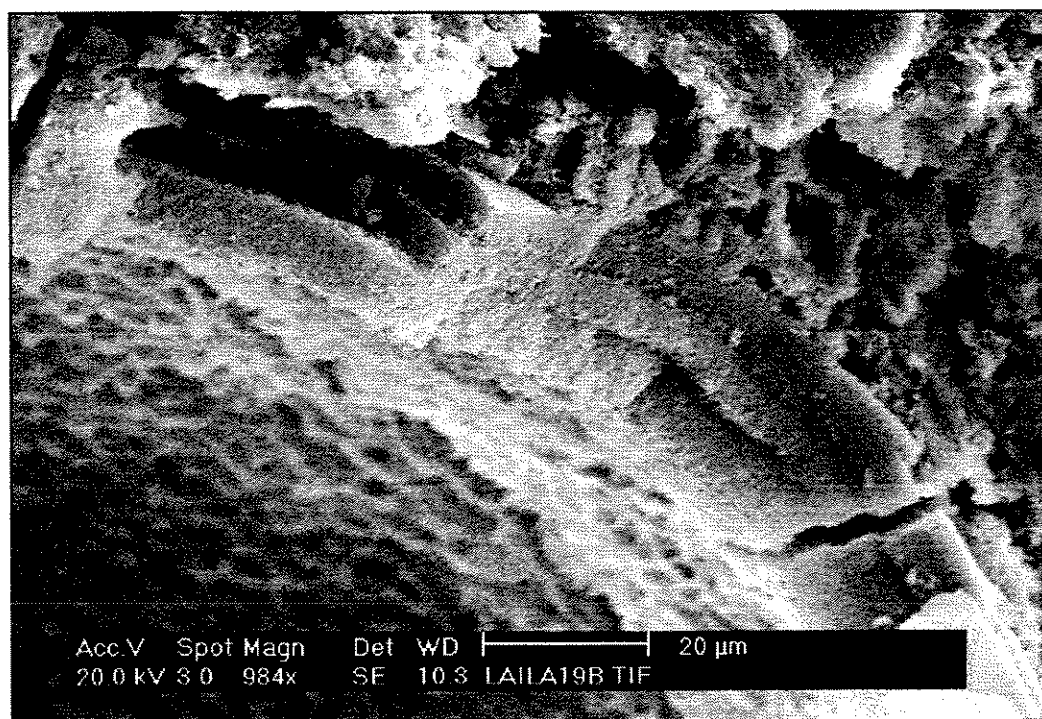


Figura 164 - Amostra 019. Aproximação da imagem anterior. Observar as camadas de gel.

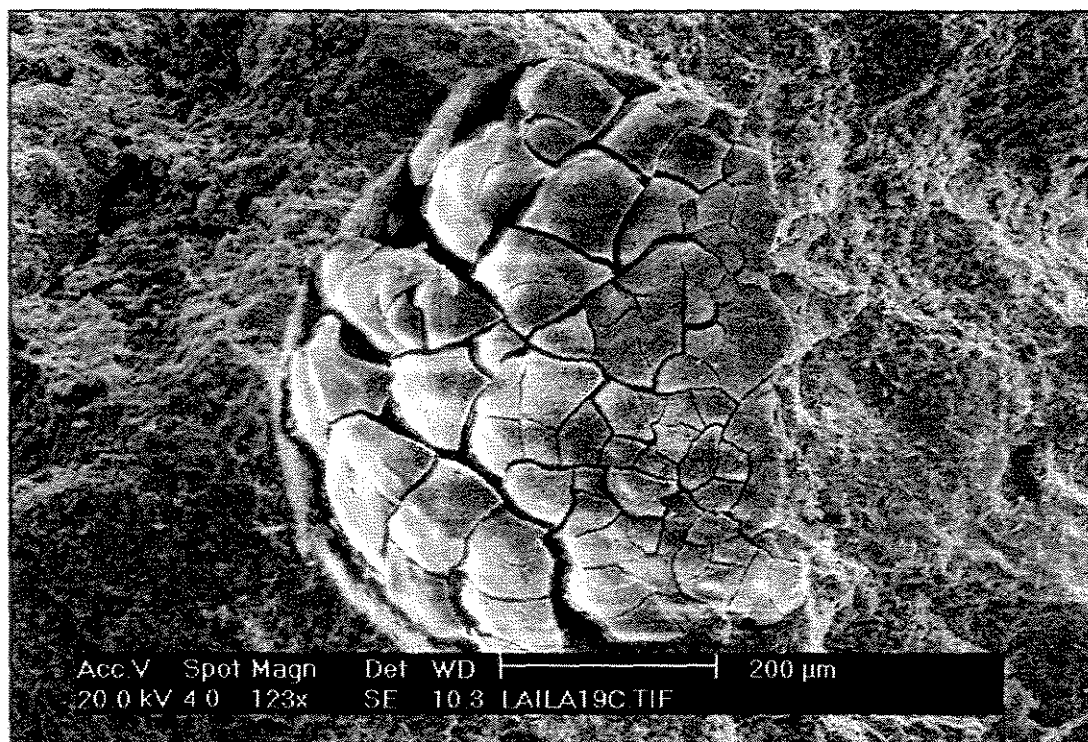


Figura 165 - Amostra 019. Gel maciço gretado dentro do poro.

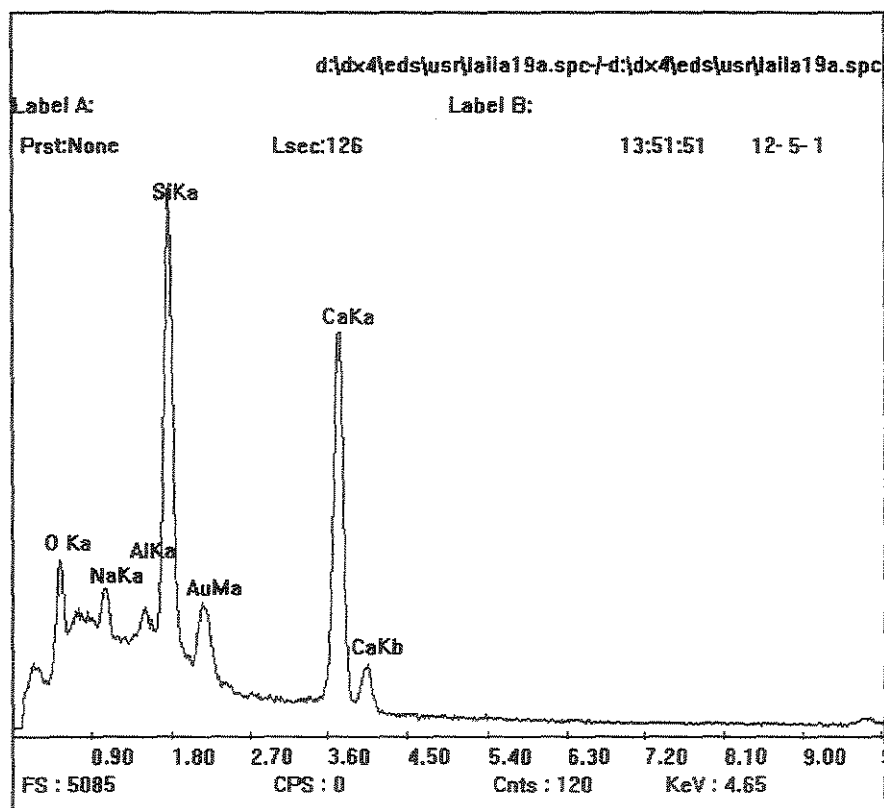


Figura 166 - Espectro da amostra 019, realizado no produto da Figura 163.

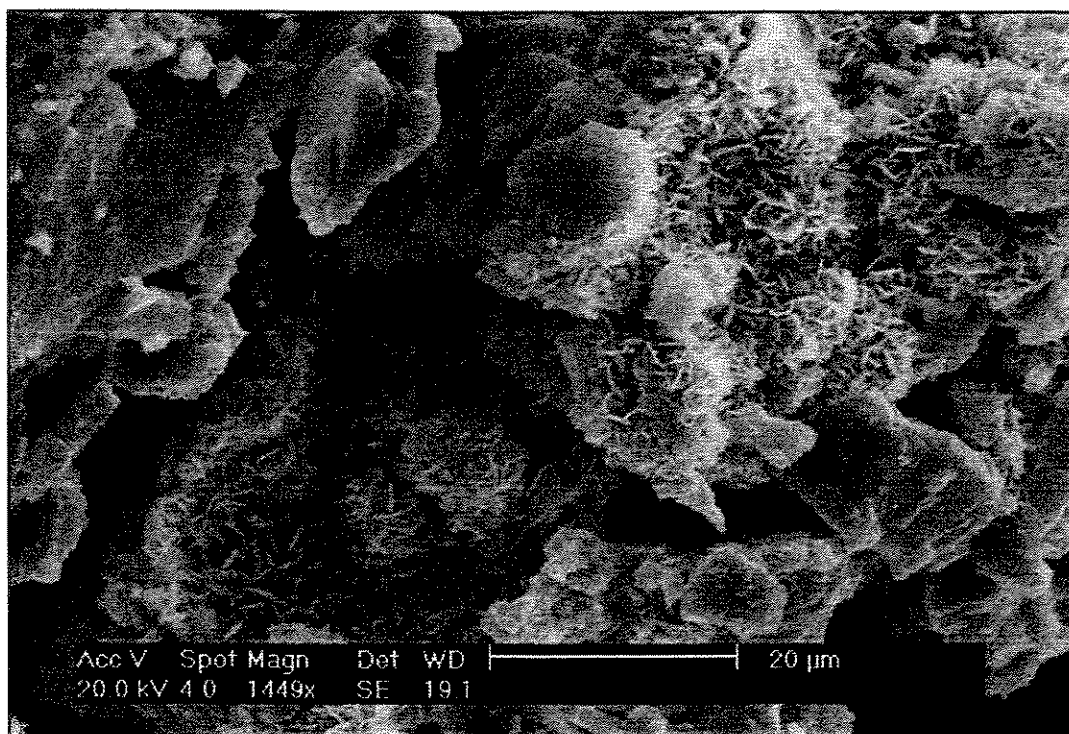


Figura 167 - Amostra 021. Produto na forma cristalizada.

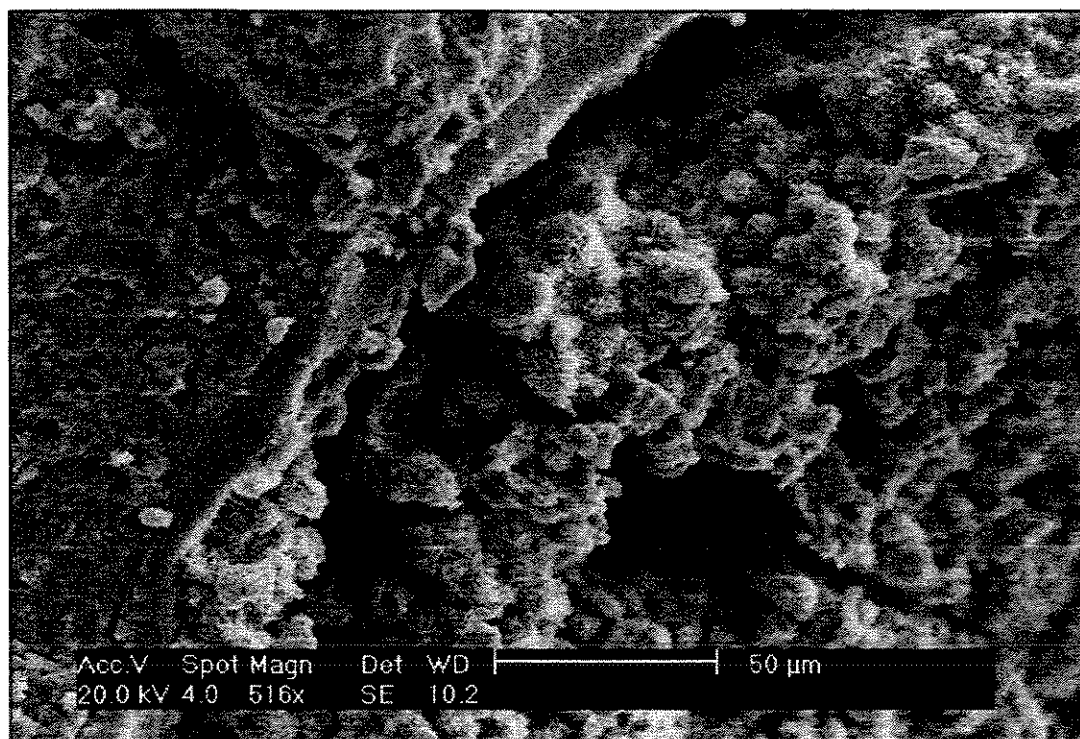


Figura 168 - Amostra 021. Vista mais geral da imagem anterior. Notar a borda gretada.

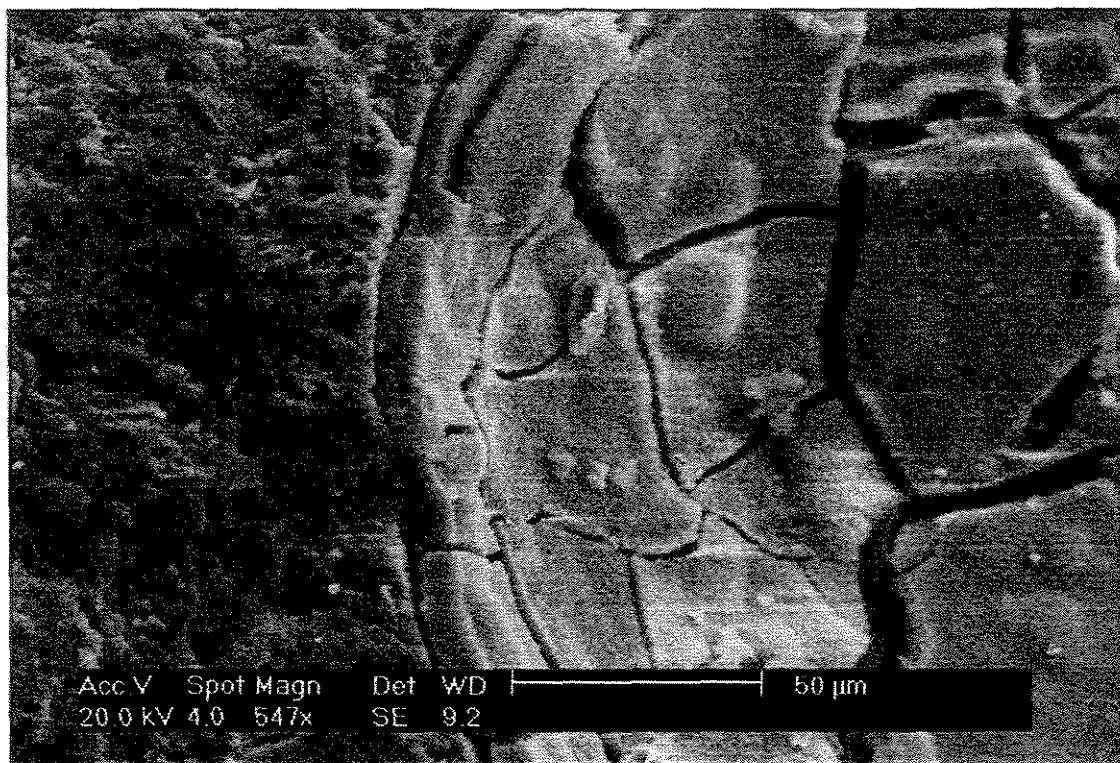


Figura 169 - Amostra 021. Poro revestido de gel maciço gretado.

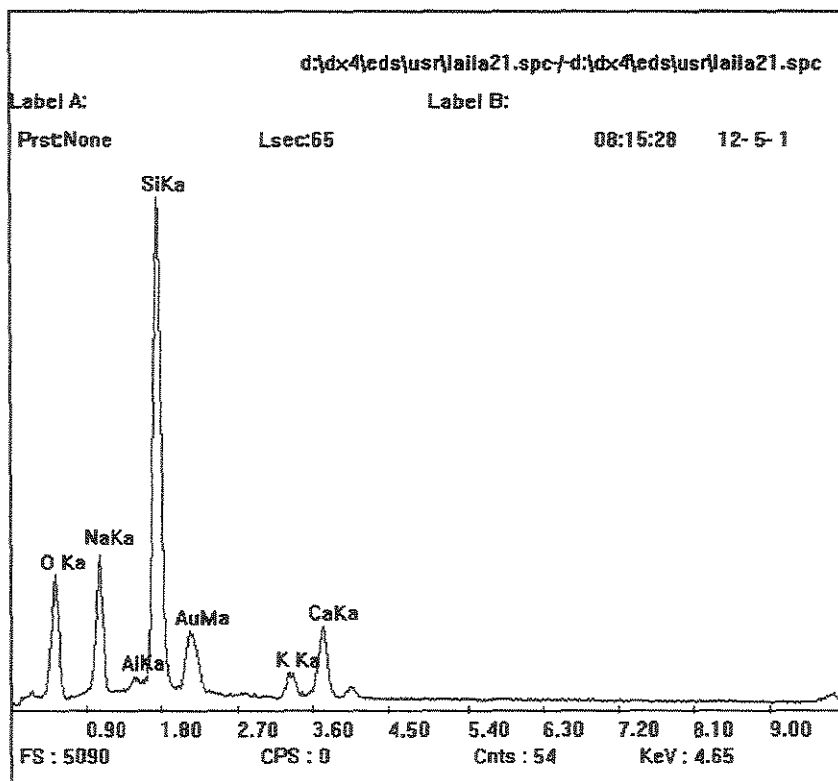


Figura 170 - Espectro da amostra 021, realizado no produto da Figura 167.

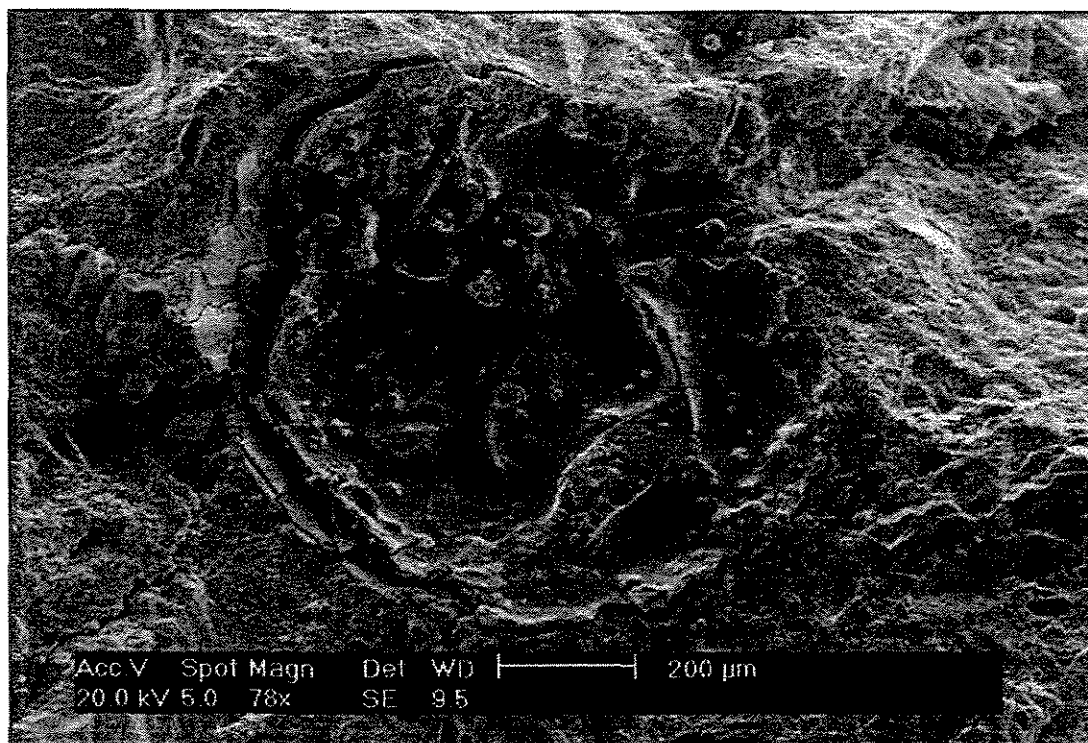


Figura 171 - Amostra 022. Poro revestido com gel.

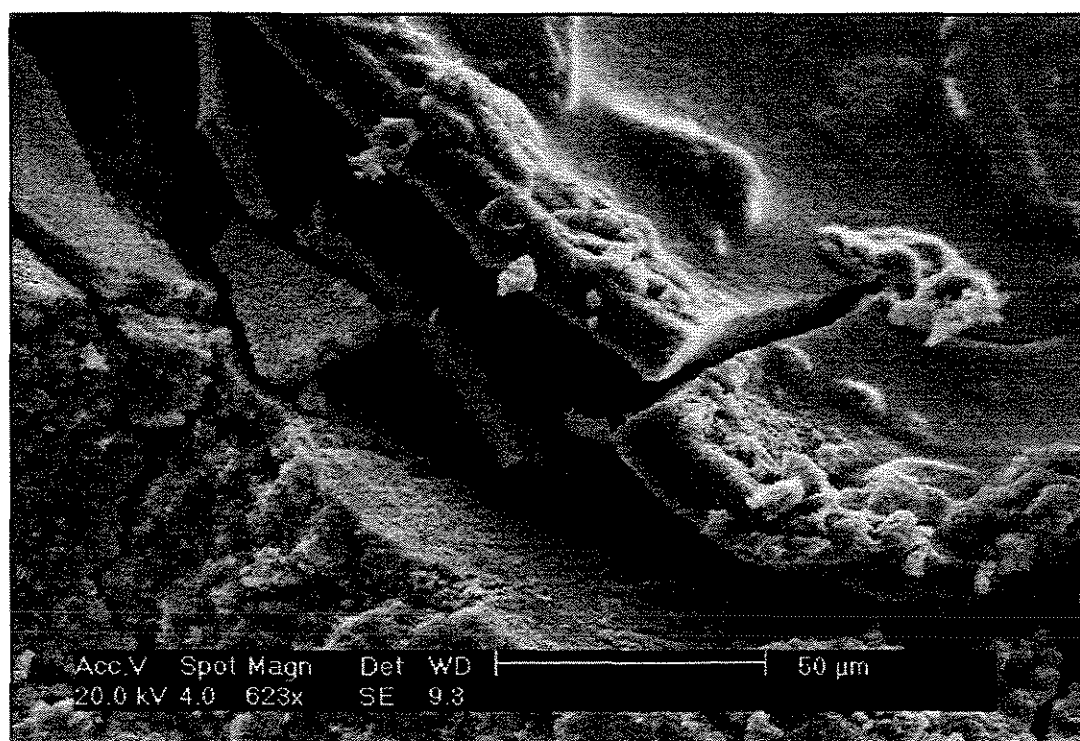


Figura 172 - Amostra 022. Aproximação da imagem anterior. Notar o início do gretamento do material.

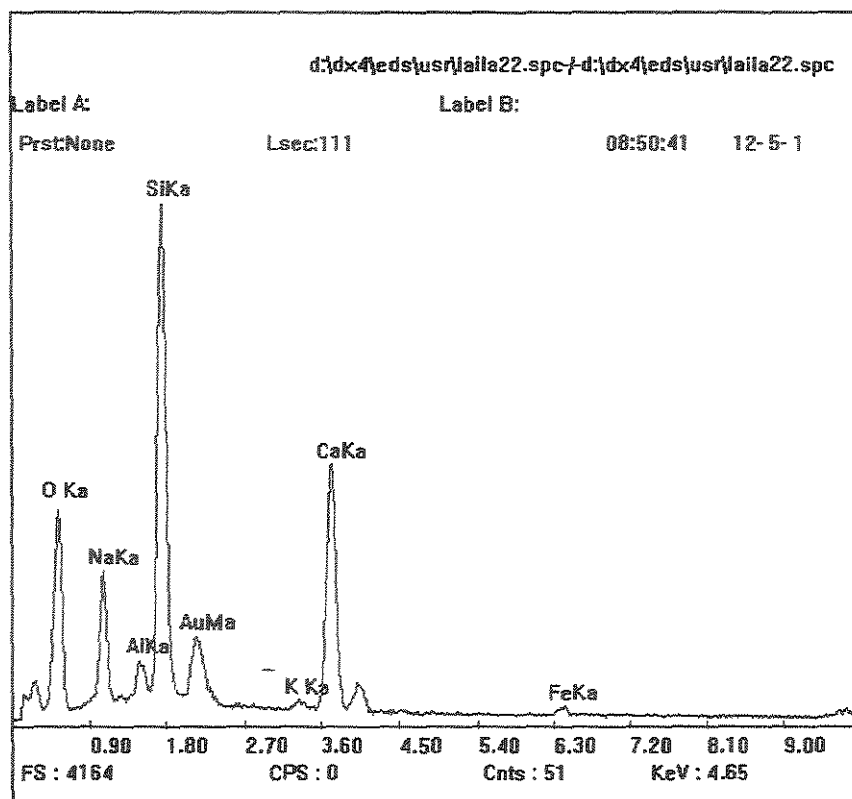


Figura 173 - Espectro da amostra 022.

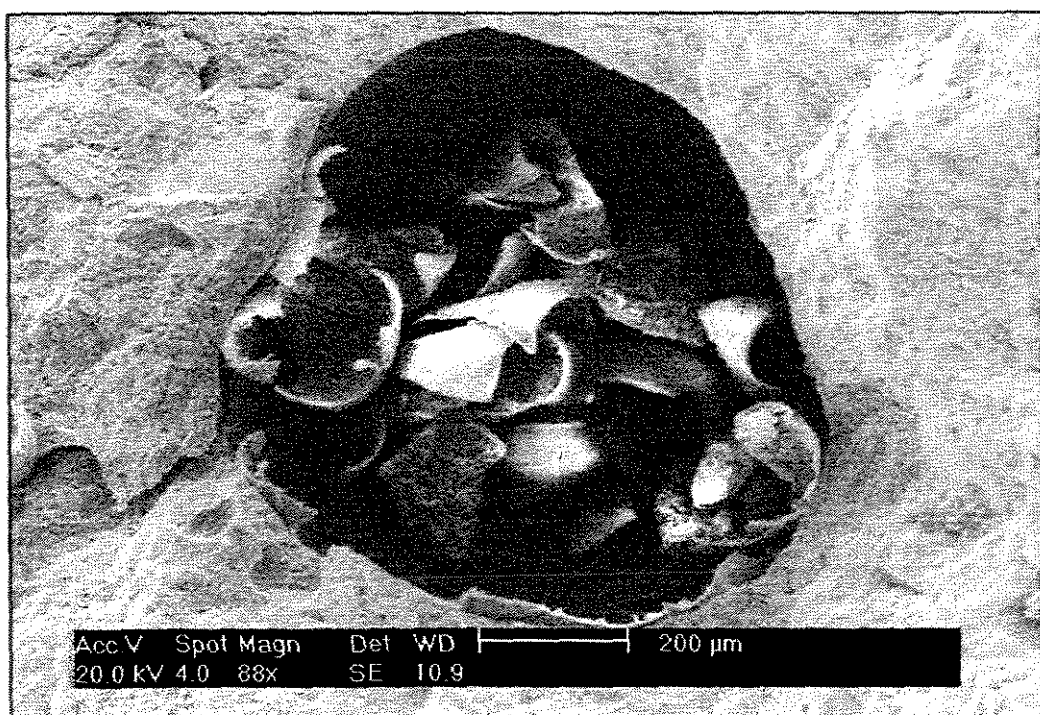


Figura 174 - Amostra 027. Gel gretado e descolado da parede do poro.

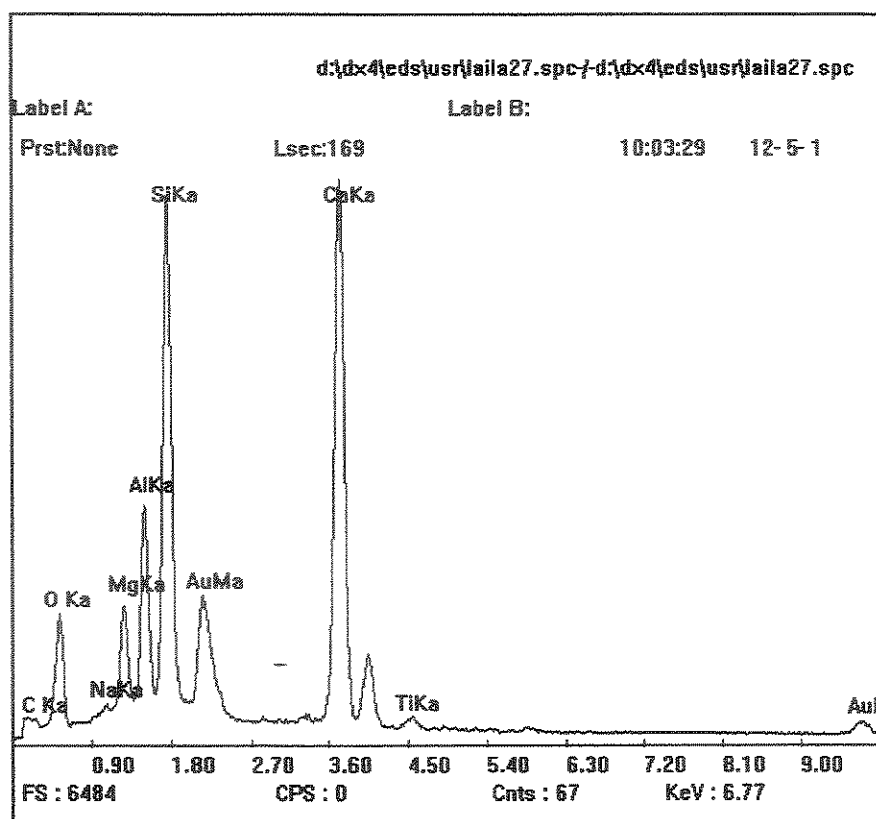


Figura 175 - Espectro da amostra 027.

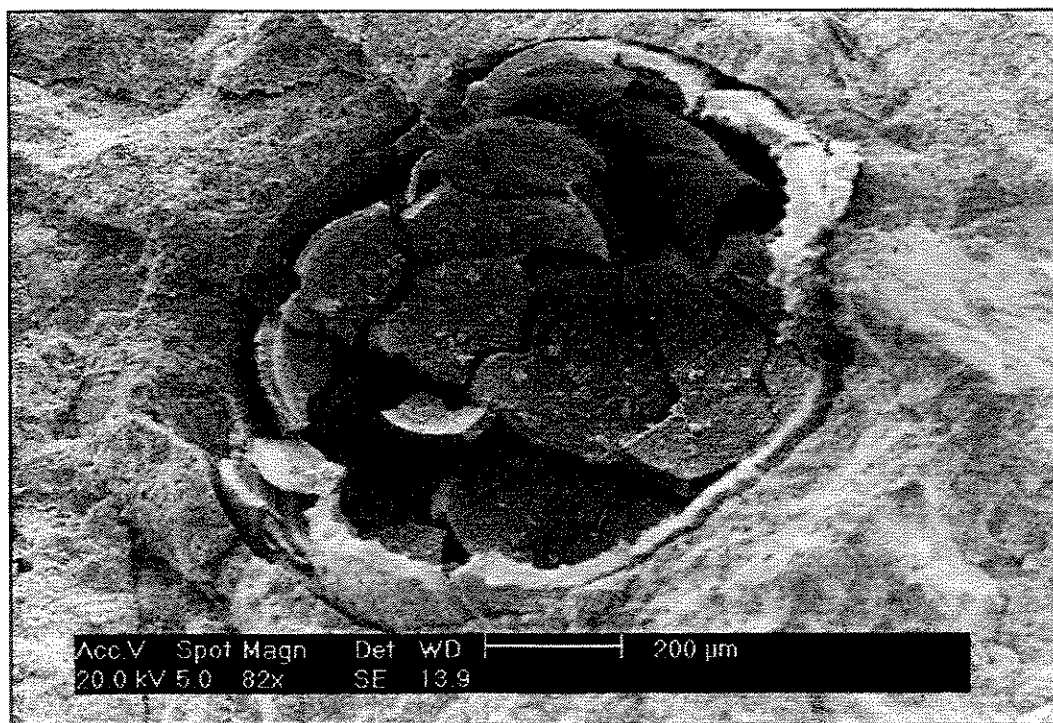


Figura 176 - Amostra 028. Gel gretado dentro do poro.

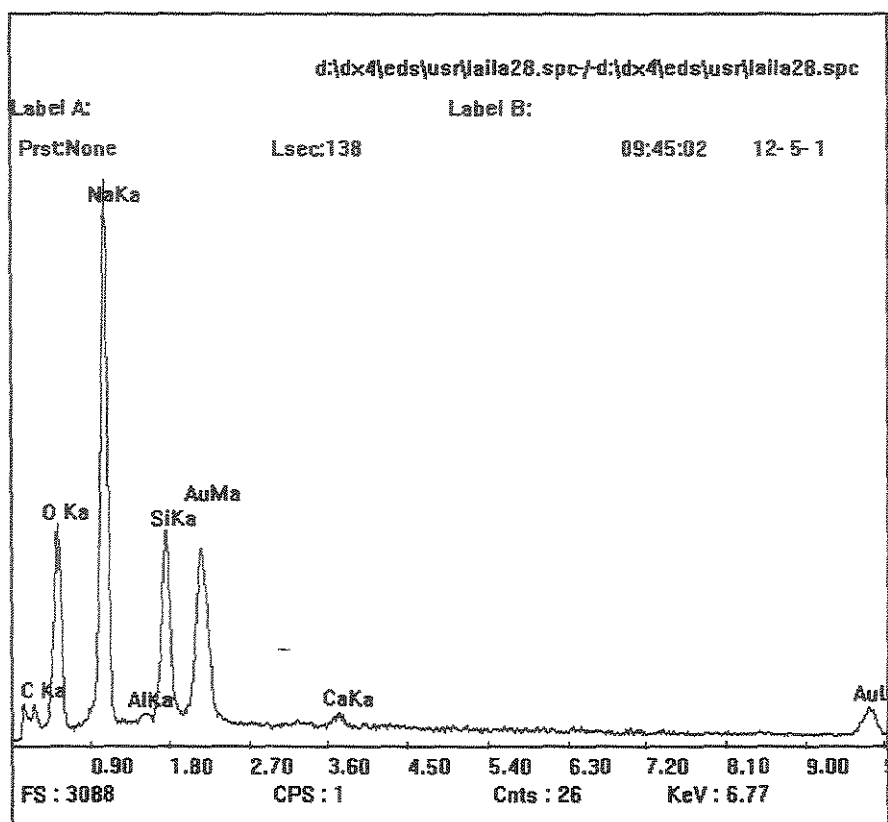


Figura 177 - Espectro da amostra 028.

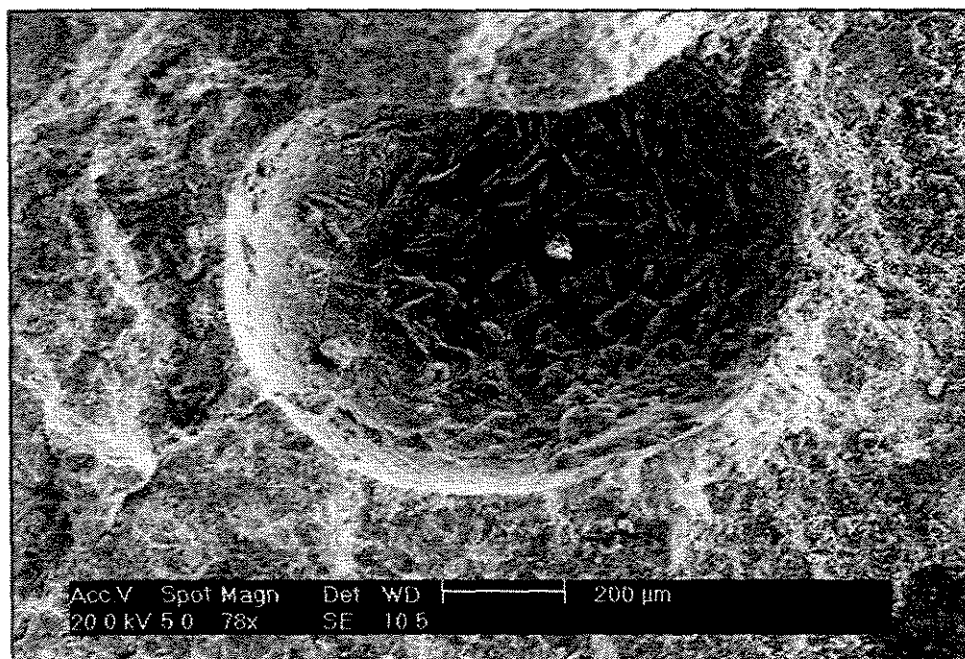


Figura 178 - Amostra 036. Gel em forma de acículas dentro do poro . Observar a fissura que atravessa o poro.

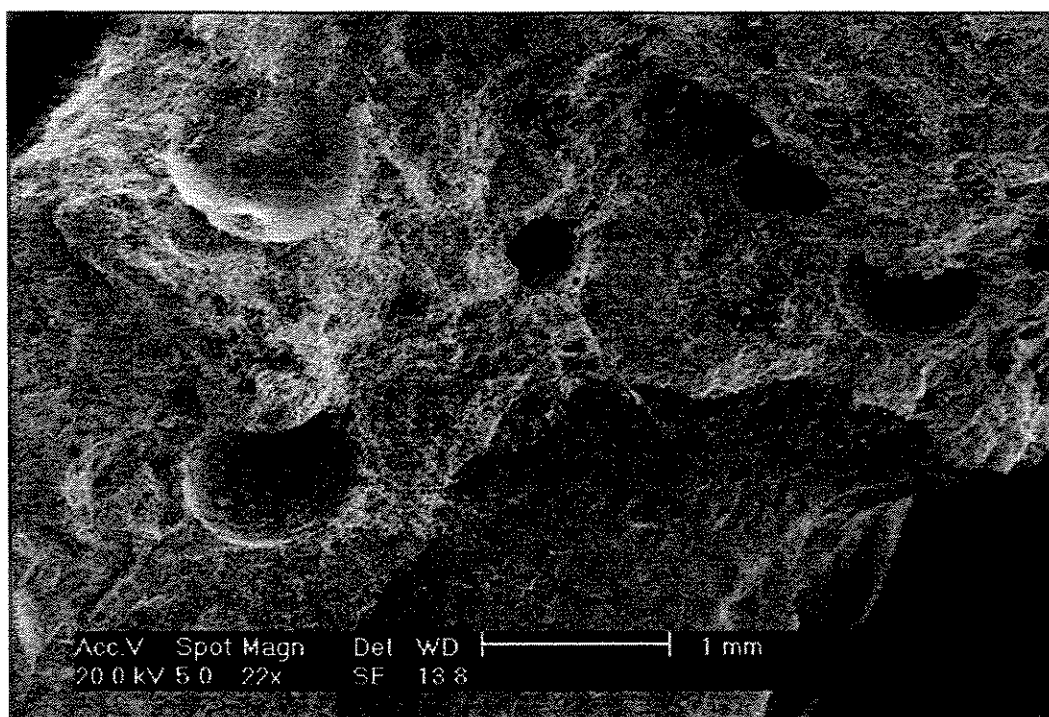


Figura 179 - Amostra 036. Observar o número de poros e a presença de acículas e fissuras.

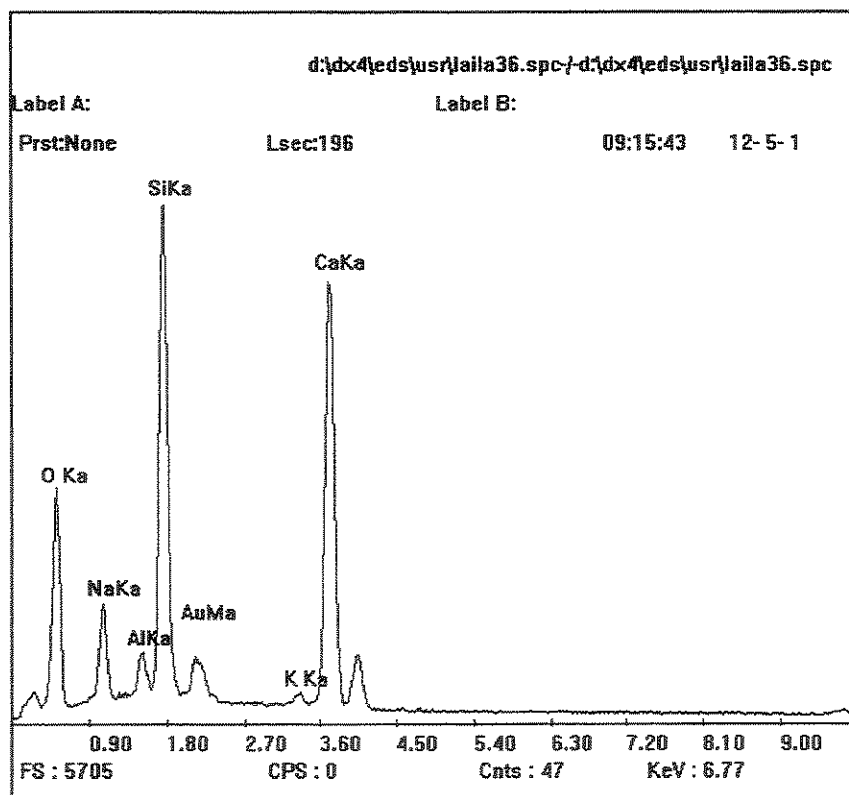


Figura 180 - Espectro da amostra 036.

6.4 Síntese dos resultados

Com o término dos ensaios, foi montada uma tabela com um resumo geral de todos os ensaios realizados para cada amostra. A Tabela 09 apresenta a classificação para cada ensaio (reativa ou não reativa) e, ao fim, uma avaliação final e conclusiva do material, feita com base nos dados dos quatro ensaios.

O critério usado para esta avaliação final de cada material que consta na Tabela 09 consistiu no seguinte:

- o método químico não foi levado em consideração para a avaliação final, pois não foi tomado como válido para o tipo de reação desenvolvida;
- amostras consideradas potencialmente reativas pelos métodos acelerado e análise petrográfica tiveram avaliação final positiva (reativas);
- amostras consideradas inócuas pelos métodos acelerado e análise petrográfica tiveram avaliação final negativa (não reativas);
- para as amostras que a análise petrográfica mostrou indícios de reatividade, porém o método acelerado não apresentou expansão, foram realizadas análises através de microscopia eletrônica de varredura. Em todos estes casos as micrografias confirmaram o caráter reativo dos materiais.

Nas Figuras 181 e 182 encontra-se o mapeamento resultante deste trabalho, onde foram situadas no mapa do estado de São Paulo todas as amostras reativas e não reativas. As amostras foram citadas conforme seu número de cadastro, que constam na Tabela 01.

Tabela 09. Tabela resumo dos resultados dos ensaios

Amostra	Acelerado			Químico	Análise petrográfica	Microscopia eletrônica de varredura	Avaliação final (reativa?)
	16 dias	28 dias	reativa ?				
001	0,004	0,040	não	não	indefinida	-	não
002	0,195	0,334	potencialmente	não	provavelmente reativa	-	sim
003	0,071	0,112	não	não	indefinida	-	não
004	0,079	0,095	não	não	indefinida	-	não
005	0,060	0,110	não	não	indefinida	-	não
006	0,026	0,069	não	não	indefinida	-	não
007	0,024	0,052	não	não	indefinida	-	não
008	0,176	0,278	potencialmente	não	indefinida	-	sim
009	0,073	0,131	não	não	indefinida	sim	sim
010	0,052	0,076	não	não	provavelmente reativa	sim	sim
011	0,127	0,326	potencialmente	não	indefinida	-	sim
012	0,204	0,304	sim	não	indefinida	-	sim

Tabela 09. Tabela resumo dos resultados dos ensaios
(continuação)

Amostra	Acelerado			Químico	Análise petrográfica	Microscopia eletrônica de varredura	Avaliação final
	16 dias	28 dias	reativa ?				
013	0,071	0,126	não	não	provavelmente reativa	sim	sim
014	0,307	0,424	sim	não	provavelmente reativa	-	sim
015	0,048	0,072	não	não	indefinida	-	não
016	0,250	0,404	sim	não	provavelmente reativa	-	sim
017	0,179	0,300	potencialmente	não	provavelmente reativa	-	sim
018	0,051	0,115	não	não	não	-	não
019	0,380	0,589	sim	não	sim	sim	sim
020	0,218	0,331	sim	não	sim	-	sim
021	0,042	0,088	não	não	provavelmente reativa	sim	sim
022	0,069	0,132	não	não	provavelmente reativa	sim	sim

Tabela 09. Tabela resumo dos resultados dos ensaios
(continuação)

Amostra	Acelerado			Químico	Análise petrográfica	Microscopia eletrônica de varredura	Avaliação final
	16 dias	28 dias	reativa ?				
023	0,094	0,177	potencialmente	não	provavelmente reativa	-	sim
024	0,094	0,210	potencialmente	não	provavelmente reativa	-	sim
025	0,098	0,199	potencialmente	não	provavelmente reativa	-	sim
026	0,077	0,144	potencialmente	não	indefinida	-	sim
027	0,176	0,306	potencialmente	não	indefinida	sim	sim
028	0,281	0,440	sim	não	provavelmente reativa	sim	sim
029	0,020	0,044	não	não	indefinida	-	não
030	0,006	0,015	não	não	indefinida	-	não
031	0,025	0,064	não	não	indefinida	-	não
032	0,023	0,044	não	não	indefinida	-	não
033	0,002	0,022	não	não	indefinida	-	não

Tabela 09. Tabela resumo dos resultados dos ensaios
(conclusão)

Amostra	Acelerado			Químico	Análise petrográfica	Microscopia eletrônica de varredura	Avaliação final
	16 dias	28 dias	reativa ?				
034	0,044	0,123	não	não	indefinida	-	não
035	0,142	0,267	potencialmente	não	indefinida	-	sim
036	0,251	0,555	sim	não	provavelmente reativa	sim	sim

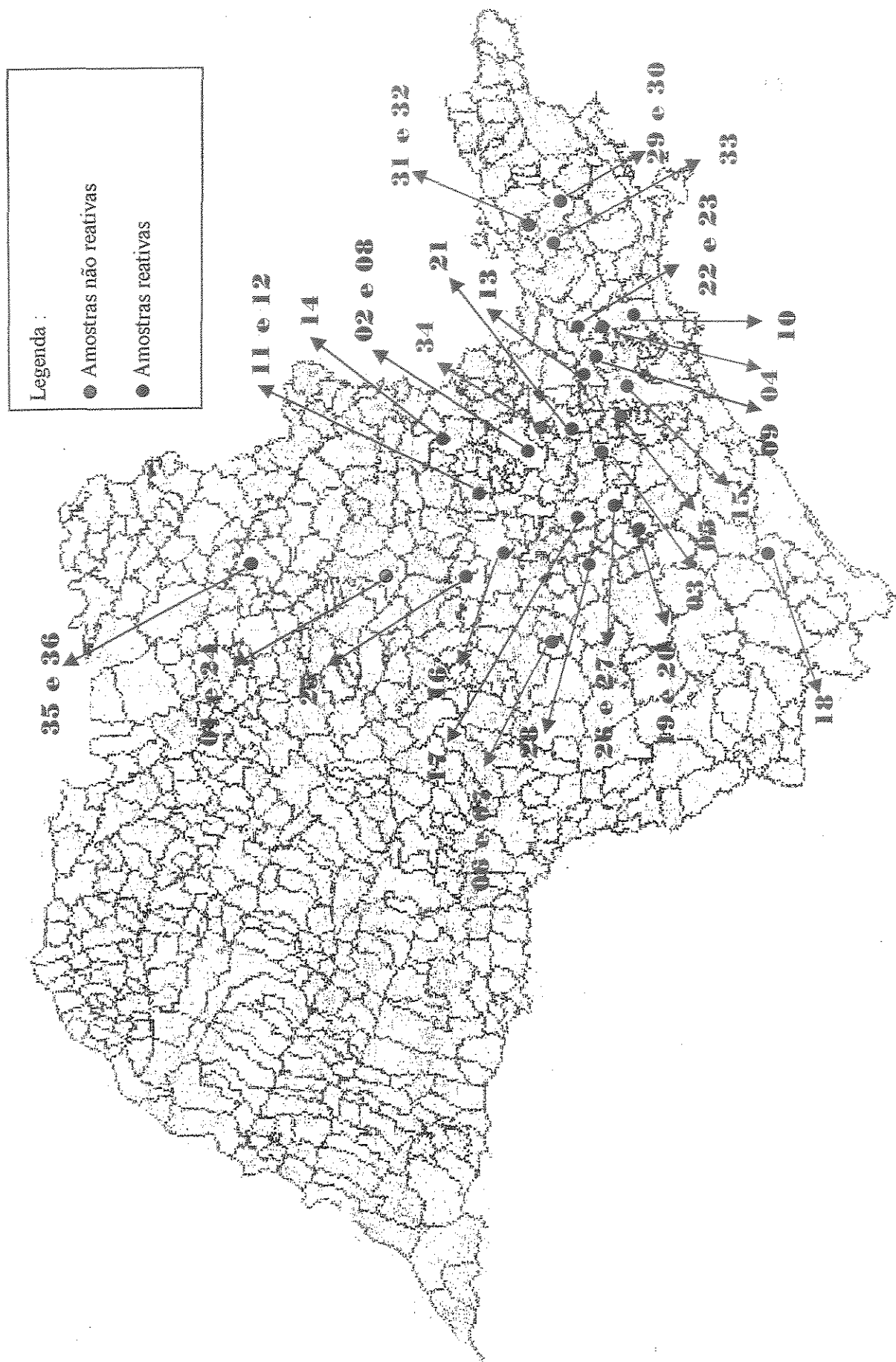


Figura 181 - Mapeamento de agregados reativos no estado de São Paulo.

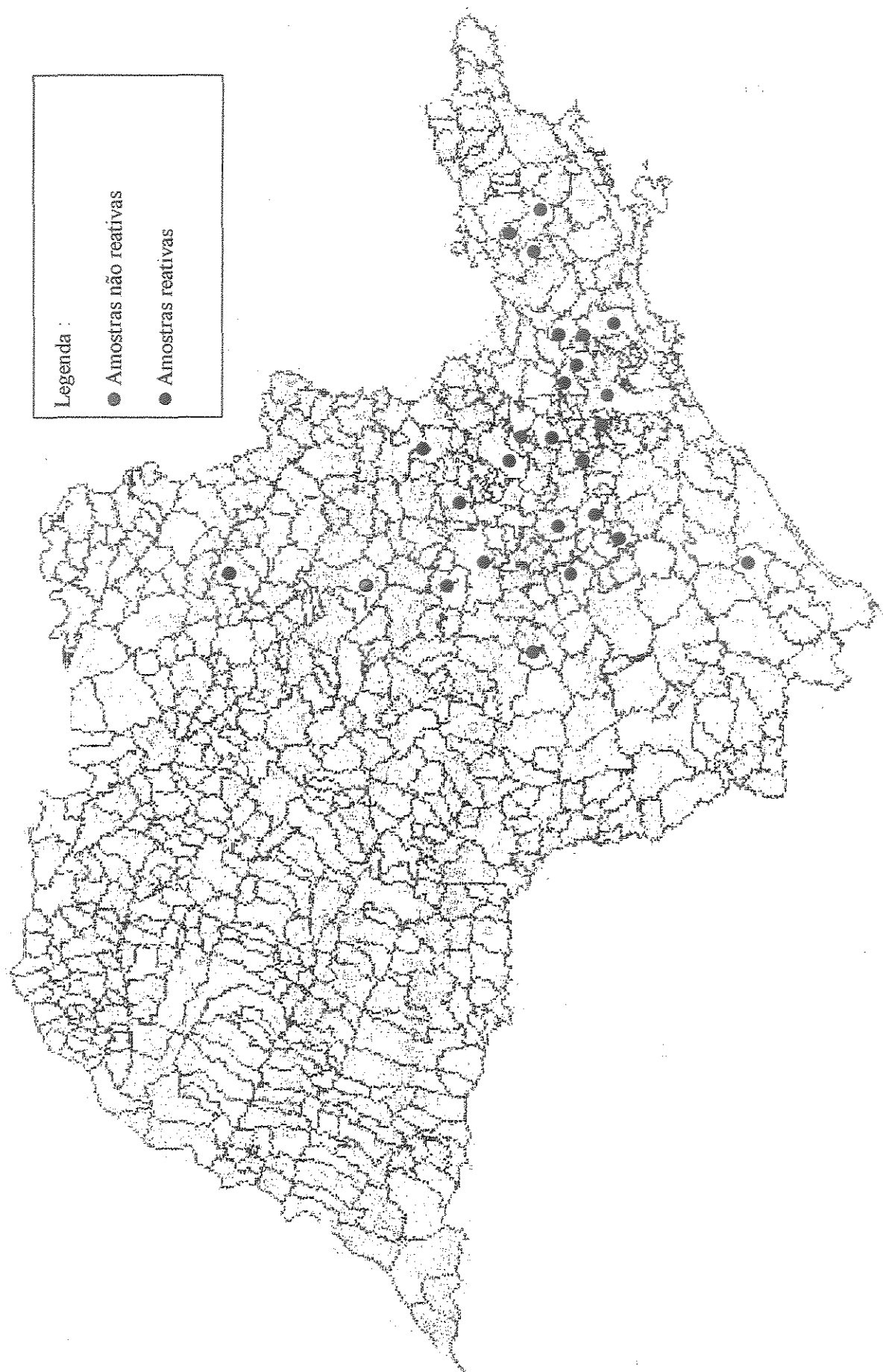


Figura 182 - Mapeamento de agregados reativos no estado de São Paulo (geral).

7 CONCLUSÕES

O mapeamento de agregados reativos obtido neste trabalho (Figuras 181 e 182) indicou que existem diversas áreas com material potencialmente reativo à álcalis no estado de São Paulo. Dos 26 locais de onde foram coletadas amostras para ensaio, em 16 deles foram encontrados resultados positivos quanto à reatividade, ou seja, aproximadamente 60% do total.

As correlações buscadas entre áreas de mesmo material foram satisfatórias na sua maioria.

Nos locais em que foram coletadas uma amostra de agregado miúdo e outra de agregado graúdo (como Taubaté e Ribeirão Preto), os resultados foram similares. Em Taubaté tanto a brita zero como a areia (amostras 029 e 030) foram consideradas inócuas, enquanto que em Ribeirão Preto, a brita 01 e a areia (amostras 035 e 036) foram consideradas deletérias.

Entre materiais de mesma classificação, como os pares de amostras 002-008, 011-012, 019-020, 022-023 (todas de agregados graúdos) e 031-032 e 006-007 (agregados miúdos), foram encontrados os mesmos resultados. As amostras de agregado graúdo (Campinas, Limeira, Salto de Pirapora e Santa Isabel) apresentaram-se deletérias. Já as de agregado miúdo (Tremembé e Bofete) foram consideradas inócuas.

Apenas para as amostras de São Carlos (001 e 024), ambas de areia natural, não foram encontrados resultados correspondentes. A amostra 001 apresentou-se inócua, enquanto que a 024 foi considerada deletéria. Isto é explicado pela procedência dos materiais: são duas jazidas

com características bem diferentes, como coloração e granulometria, localizadas a uma distância considerável uma da outra, apesar de se situarem no mesmo município. Este resultado prova que em uma mesma região podem existir diferentes tipos de material quanto à potencialidade reativa, todos necessitando de análise prévia quando da execução de uma obra de vulto.

Além do objetivo principal desta pesquisa ter sido alcançado, que consistiu no mapeamento dos agregados no estado de São Paulo, outras questões foram abordadas. Devido ao número relativamente grande de amostras ensaiadas, e com isso a repetição contínua dos métodos de ensaio, estes também puderam ser analisados.

A avaliação final dos agregados (se reativos ou não) consistiu numa análise conjunta das várias metodologias empregadas. Com isto, observou-se a eficiência e confiabilidade de cada método.

A análise petrográfica revelou-se uma técnica bastante útil na avaliação da reatividade potencial. Apesar do preparo da amostra ser um processo cuidadoso, pode ser considerado um ensaio rápido. Necessita experiência do observador não só na identificação dos minerais que são característicos para cada tipo de rocha, como na presença de minerais específicos causadores de reação. Uma análise cuidadosa de um fragmento bem representativo da rocha em questão pode apontar vários indícios de reatividade potencial, a serem confirmados através de outros métodos.

Nesta pesquisa, a análise petrográfica foi definitiva em vários casos. Em primeiro lugar, nos casos em que o ensaio acelerado situou a amostra na faixa de expansão entre 0,1% e 0,2% aos 16 dias de idade. A ASTM C-1260 considera estes casos como “potencialmente reativos”. É uma área do gráfico considerada questionável e a norma sugere que, para as amostras que se situem nesta área do gráfico, sejam feitos ensaios e investigações adicionais para definição do seu comportamento. Para algumas amostras, o comportamento ficou mais evidente com a continuação do ensaio até os 28 dias, mostrando expansões crescentes. Entretanto para outras, em que as expansões foram discretas ou estacionárias, a análise petrográfica foi fundamental para uma avaliação definitiva.

Outro caso em que a análise petrográfica foi um instrumento muito importante foi no reconhecimento de amostras reativas que não apresentaram expansões pelo método acelerado. É o caso das amostras 009, 010, 013, 021 e 022. Pelo método acelerado, tais amostras foram consideradas inócuas, por se situarem abaixo do limite de 0,1% aos 16 dias. Entretanto, através da análise petrográfica ficaram claras algumas feições como quartzo apresentando ângulo de extinção ondulante (para as amostras 009, 010, 013 e 021) e deformação (amostra 022), indícios de uma provável reatividade. Estes indícios é que provocaram a realização de novos ensaios nos materiais citados. O ensaio acelerado foi repetido, porém sem apresentar alteração alguma, e uma microscopia eletrônica de varredura fez-se necessária. Entretanto, foi chamada a atenção para estas amostras pelos resultados da análise petrográfica.

Enquanto a análise petrográfica de agregados graúdos revelou-se bastante útil, não se pode dizer o mesmo dos agregados miúdos. Devido à pequena dimensão das partículas, é difícil afirmar alguma coisa sobre a amostra além da granulação e mineralogia, com exceção dos casos em que a deformação dos grãos de quartzo é bastante evidente.

O método acelerado também foi considerado bastante satisfatório. É um método bastante simples, sendo necessários apenas cuidados na moldagem, para que os corpos-de-prova não apresentem falhas, e no controle das condições de ensaio (temperatura e concentração da solução de NaOH). As leituras consistem em medidas bastante sensíveis (milésimos de milímetro), de maneira que se faz necessária também uma certa agilidade do operador para a realização no tempo definido por norma.

As amostras que foram classificadas como reativas pelo método acelerado apresentando valores de expansão em torno de 0,3% aos 16 dias, como por exemplo as amostras 014, 019 e 028, indicaram quadros de alteração nas barras após o término dos ensaios. Barras vergadas e fissuras em toda sua extensão puderam ser notadas nestes casos. Há indícios de que isto se deva ao caráter expansivo do agregado.

Um problema, porém, foi identificado neste método. Quando uma amostra situa-se na região do gráfico acima do limite de 0,2% de expansão, pode-se afirmar que ela é, de fato,

reativa. O contrário, no entanto, não é aplicável. Uma amostra situada na região entre os dois limites (0,1% e 0,2% de expansão) ou até mesmo abaixo do limite de 0,1%, onde os agregados são considerados inócuos pela ASTM C-1260, não pode ser classificada como não reativa. Isto foi comprovado pelas amostras citadas acima (009, 010, 013, 021 e 022). Estes agregados não indicaram reatividade pelo método acelerado, porém, em virtude da análise petrográfica mostrar resultados divergentes, as amostras de argamassa (corpos-de-prova do ensaio acelerado) foram submetidas à microscopia eletrônica de varredura.

As imagens da microscopia eletrônica confirmaram a reatividade destes agregados. Em todas estas amostras analisadas foram encontrados produtos de reação. Géis de morfologias variadas, com predominância de gel na forma maciça gretada, foram encontrados dentro dos poros da argamassa. Isto significa que os agregados são reativos e que efetivamente houve reação no período do ensaio acelerado, embora não tenha havido expansão significativa. Acredita-se que este fato tenha relação com a porosidade da argamassa, pois embora a relação água/cimento seja fixa pela ASTM C1260, as argamassas tiveram consistências bem diferentes entre si, medidas através de mesa de flow. Porém esta relação não pôde ser estabelecida e, portanto, nenhum fato foi comprovado.

A microscopia eletrônica de varredura foi considerada uma importante ferramenta neste estudo. Apesar de não constituir um método de ensaio de reação álcali-agregado em si, foi muito útil na identificação dos produtos de reação e na avaliação final acerca do comportamento de algumas amostras.

Já o método químico não pode ser considerado eficiente para os tipos de agregados amostrados. Todas as amostras ensaiadas situaram-se na região do gráfico que as classifica como inócuas. Uma possível explicação para o fato pode ser o tipo de reação desenvolvida. A grande maioria dos agregados ensaiados são basaltos e granitos, bastante comuns na região de São Paulo. Tais agregados desenvolvem reações do tipo álcali-silicato, uma reação lenta e portanto não detectada por este método de ensaio.

Os valores encontrados para sílica dissolvida são constantemente muitos baixos, o que pode ser um indicativo de que o tempo de exposição do agregado ao ambiente agressivo (24 horas) é muito baixo para estes tipos de rocha. Outro fato a ser comentado é a total inexistência de ligação entre este método e os outros dois realizados (acelerado e análise petrográfica). Não há qualquer correlação que possa ser feita : amostras que se apresentaram bastante reativas pelos outros dois métodos não apresentaram comportamentos similares através deste método.

Cabe observar que os resultados encontrados nesta pesquisa não permitem afirmar que, por exemplo, todos os agregados de Limeira são reativos, ou então que com os agregados de Tremembé podem ser executadas obras sem preocupação alguma quanto à reação álcali-agregado. Permitem sim o conhecimento de que em tais lugares existem alguns agregados que são reativos e em outros não. Este trabalho não isenta a realização de ensaios adicionais e até mesmo a caracterização do agregado antes deste ser utilizado em uma obra. Também deixam de ser representativos passados 10 anos da realização da pesquisa.

Por fim, olhando para a evolução do problema da reação álcali-agregado no tempo, podemos observar:

- no passado: em todo o estado de São Paulo diversas obras foram executadas sem preocupação alguma quanto ao problema da reação álcali-agregado. Alguns exemplos deste caso podem ser citados, como o Metrô de São Paulo, várias pontes da Rodovia dos Imigrantes e algumas barragens no interior do estado;
- no presente: em obras que estão sendo executadas e que poderão apresentar problemas futuros recomenda-se a instrumentação e acompanhamento dos fenômenos ligados à expansão do concreto;
- no futuro: prevenção para a construção de obras futuras com a utilização de metodologia adequada para identificação e uso de inibidores da reação.

ANEXOS

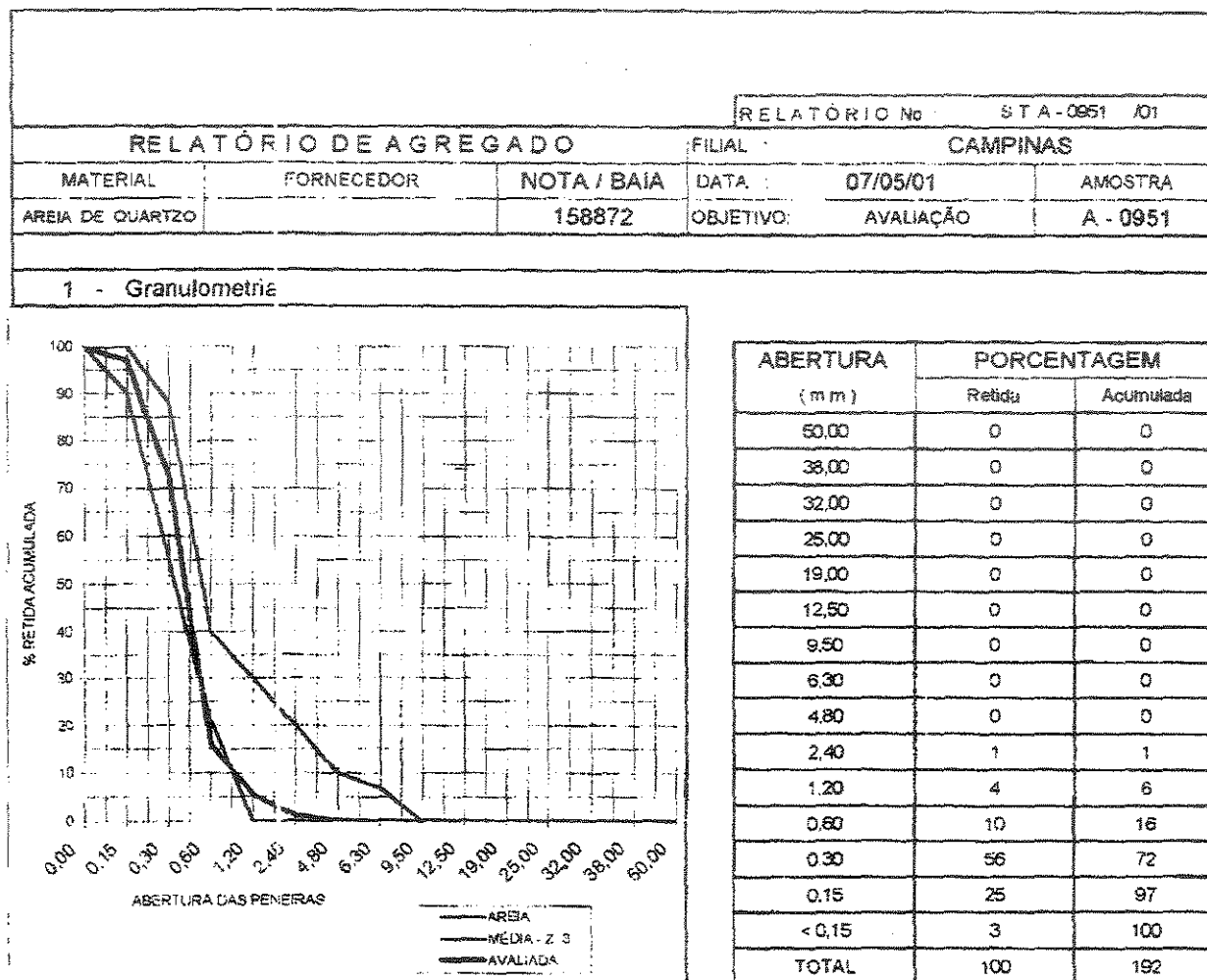
ANEXO A - Resumo da análise do cimento

-

LAME LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS			RESUMO DE ANÁLISE DE MATERIAL					
MATERIAL : CIMENTO CP V ARI 32			REGISTRO: 4.0083.01					
RECEBIDO EM: 28/06/01			MARCA: Ciminas					
ENSAIOS QUÍMICOS			LIMITES NBR 5733/91		ENSAIOS FÍSICOS		LIMITES NBR 5733/91	
Al ₂ O ₃	4,8	%			RESÍDUO # 200 =	0,3	%	Máx. = 6,0 %
SiO ₂	19,2	%			RESÍDUO # 325 =	2,3	%	
Fe ₂ O ₃	3,00	%			BLAINE =	4640	cm ² /g	Mín. = 3000 cm ² /g
CaO	62,9	%			EXP. À QUENTE =	0	mm	Máx. = 5 mm
MgO	1,75	%			INÍCIO DE PEGA =	2:35	h	Mín. = 1 h
SO ₃	2,92	%			FIM DE PEGA =	3:25	h	Máx. = 10 h
Na ₂ O	0,19	%			MASSA ESPECÍFICA =	3,10	g/cm ³	
K ₂ O	0,70	%			RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO			
P. FOGO	3,90	%			1 DIA =	22,8	MPa	Mín. = 14,0 MPa
TOTAL	99,36	%			* 99,00 a 99,70 %	3 DIAS =	40,5	MPa
RES. INS.	0,33	%	Máx. = 1,0 %	7 DIAS =	47,3	MPa	Mín. = 34,0 MPa	
CaO LIVRE	1,5	%	* 1,00 a 2,00%	28 DIAS =	-	MPa		
EQUIVALENTE ALCALINO	0,7	%	Máx. = * 0,60 %	91 DIAS =	-	MPa		
MÓDULOS, SATURAÇÃO E COMPOSIÇÃO POTENCIAL			OBSERVAÇÕES					
M.Si =	2,46	%	* 2,00 a 3,00 %	1) * = LIMITES ESTIMADOS				
Al/Fe =	1,60	%	* Máx. = 2,50 %	2) os módulos, saturação e composição potencial são estimados em função da porcentagem de clínquer presente no cimento.				
SATURAÇÃO =	97,52	%						
C ₃ S =	65,22	%	* Máx. = 35 %					
C ₂ S =	5,93	%	* Min. = 40 %					
C ₃ A =	7,65	%	* Máx. = 8 %					
C ₄ AF =	9,12	%						

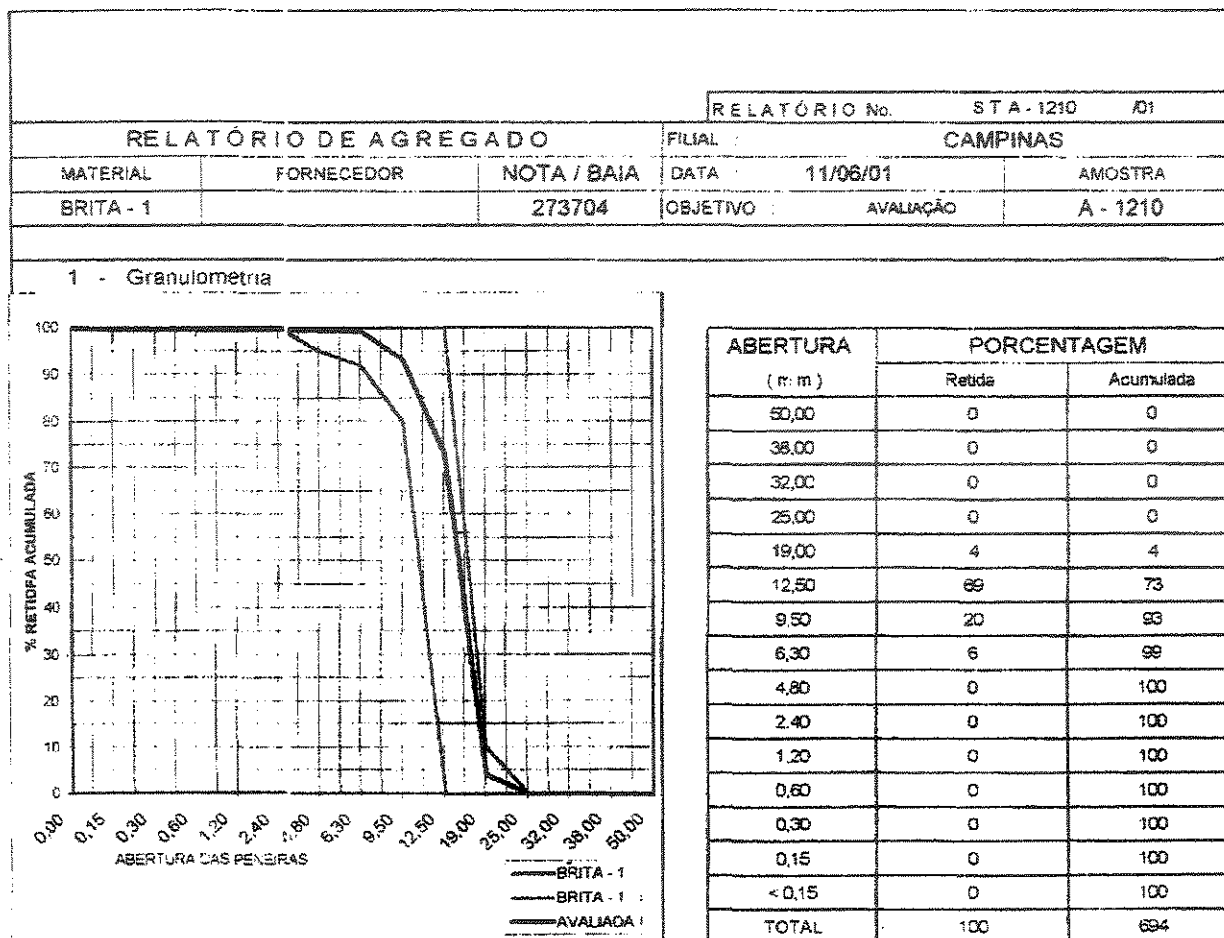
ANEXO B - Caracterização dos agregados

Planilha B.1 - Caracterização da amostra 001.



- Características do Material	Unidade	Obtidas	Especificadas	Metodologia de Ens
2 - Módulo de finura	(ϕ)	1,92	1,50 - 2,40	NBR - 7217
3 - Diâmetro Máximo	mm	2,40	1,20 - 4,80	NBR - 7217
4 - Peso Espec. Absoluto Miúdo	Kg / dm ³	2,679	2,50 - 2,70	NBR - 9776
5 - Peso Espec. Graúdo	Kg / dm ³	-	-	NBR - 9776
6 - Peso Espec. Aparente	Kg / dm ³	1,586	1,50 - 1,65	NBR - 7251
7 - Material Pulverulento	(%)	0,290	máx. - 3,0 %	NBR - 7219
8 - Impureza Orgânica	Coloração	+ CLARA	+ Claro	NBR - 7220
9 - Argila em Torrões	(%)	0,071	< 1,0 %	NBR - 7218
10 - Coeficiente Volumétrico	c. v.	-	1	NBR - 7809 / AFNOR

Planilha B.2 - Caracterização da amostra 002.



- Características do Material	Unidade	Obtidas	Especificadas	Metodologia de Ensaio
2 - Módulo de finura	(n)	6,94	6,50 - 7,00	NBR - 7217
3 - Diâmetro Máximo	mm	19,00	19,0 - 25,0	NBR - 7217
4 - Peso Espec. Absoluto Miúdo	Kg / dm³	-	-	NBR - 9776
5 - Peso Espec. Graúdo	Kg / dm³	3,021	2,90 - 3,10	NBR - 9776
6 - Peso Espec. Aparente	Kg / dm³	1,536	1,35 - 1,55	NBR - 7251
7 - Material Pulverulento	(%)	0,381	< 1,0	NBR - 7219
8 - Impureza Orgânica	p. p. m.	-	-	NBR - 7220
9 - Argila em Torrões	(%)	-	-	NBR - 7218
10 - Coeficiente Volumétrico	c. v.	0,19	0,12 - 0,20	NBR - 7809 / AFNOR

Planilha B.3 - Caracterização da amostra 003.

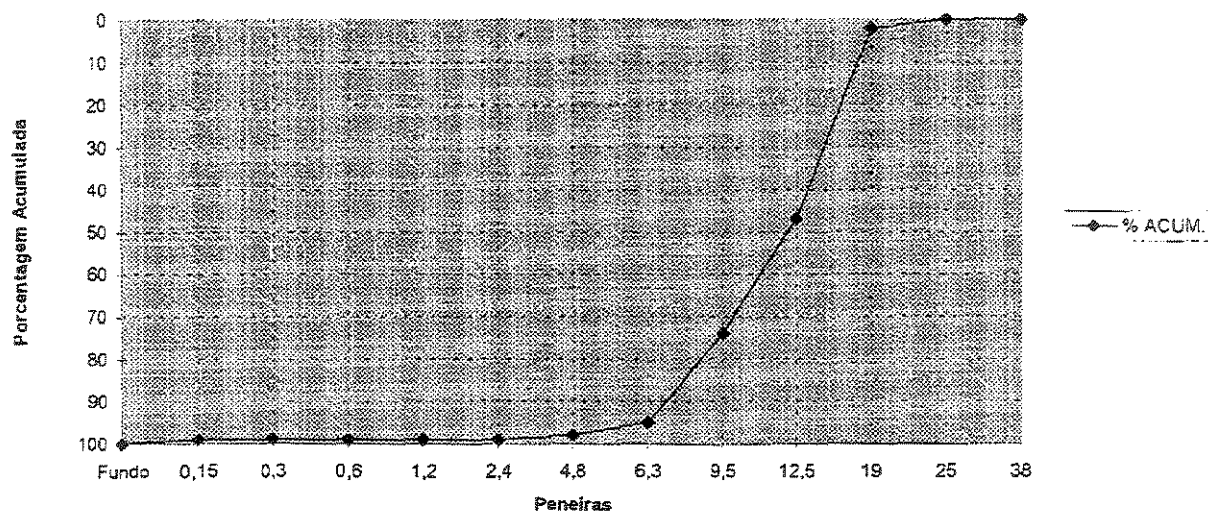
Material:	Brita 1
Procedência:	Araçariguama
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 01/09/2000

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	244	2	2
12,5	4484	45	47
9,5	2641	27	74
6,3	2075	21	95
4,8	282	3	98
2,4	136	1	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	138	1	100
	10000	100	669

Módulo de Finura	6,69	
Dimensão Máxima Caracter.	19	mm
Massa Específica	2,75	g/cm³
Massa Unitária	1.420	Kg/m³
Material Pulverulento	0,2	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,3	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



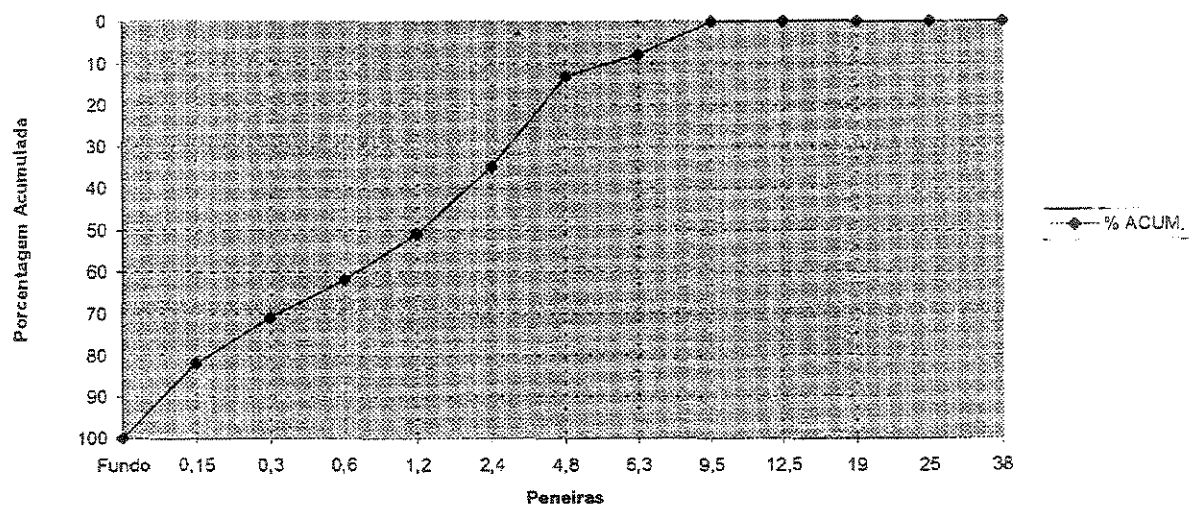
Planilha B.4 - Caracterização da amostra 004.

Material:	Areia artificial		
Procedência:	Arujá		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 12/02/2001		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	83	8	8
4,8	52	5	13
2,4	219	22	35
1,2	158	16	51
0,6	105	11	62
0,3	91	9	71
0,15	109	11	82
Fundo	183	18	100
	1000	100	314

Módulo de Finura	3,14	
Dimensão Máxima Caracter.	9,5	mm
Massa Específica	2,67	g/cm³
Massa Unitária	1.567	Kg/m³
Material Pulverulento	7,4	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐
Material Reprovado ☐



Planilha B.5 - Caracterização da amostra 005.

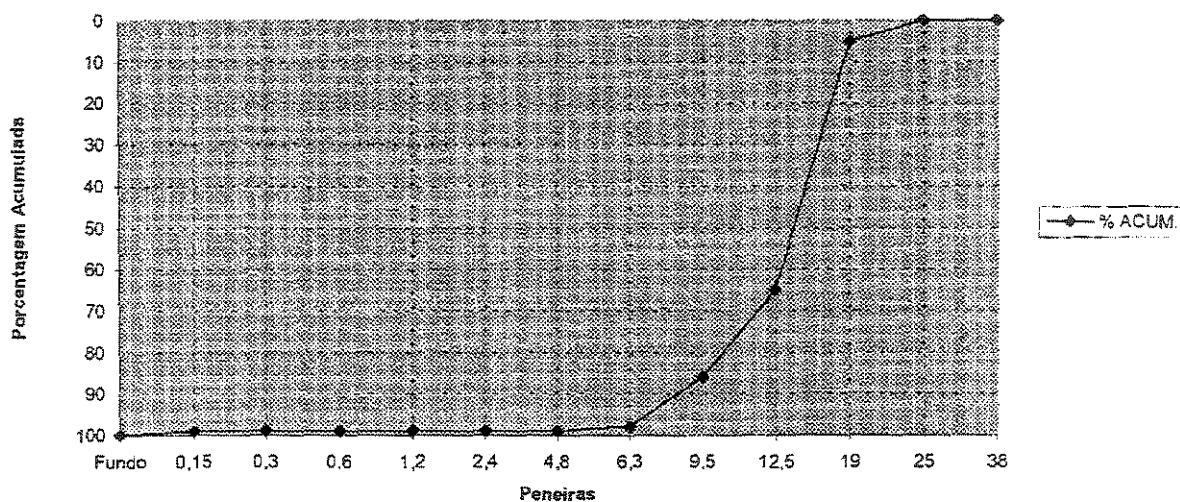
Material:	Brita 1
Procedência:	Barueri
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta:

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	477	5	5
12,5	6024	60	65
9,5	2156	21	86
6,3	1251	12	98
4,8	59	1	99
2,4	16	0	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	17	1	100
	10000	100	685

Módulo de Finura	6,85	
Dimensão Máxima Caracter.	19	mm
Massa Específica	2,69	g/cm³
Massa Unitária	1.477	Kg/m³
Material Pulverulento	0,2	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,5	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.6 - Caracterização da amostra 006.

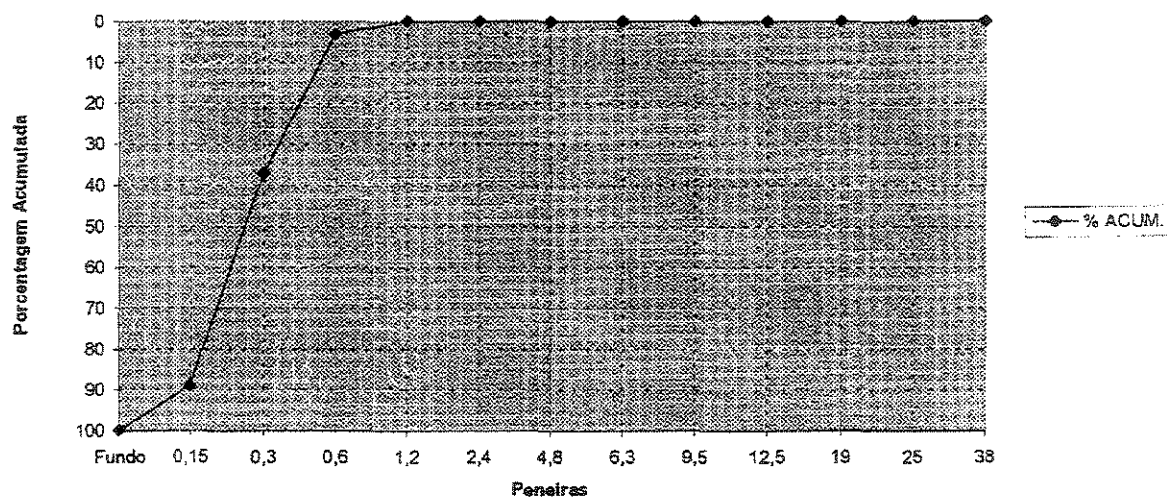
Material:	Areia Fina
Procedência:	Bofete
Fornecedor:	-
Usina:	Data de Coleta: 01/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	0	0	0
2,4	0	0	0
1,2	1	0	0
0,6	29	3	3
0,3	342	34	37
0,15	522	52	89
Fundo	106	11	100
	1000	100	129

Módulo de Finura	1,29	
Dimensão Máxima Caracter.	0,6	mm
Massa Específica	2,63	g/cm³
Massa Unitária	1.581	Kg/m³
Material Pulverulento	0,9	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.7 - Caracterização da amostra 007.

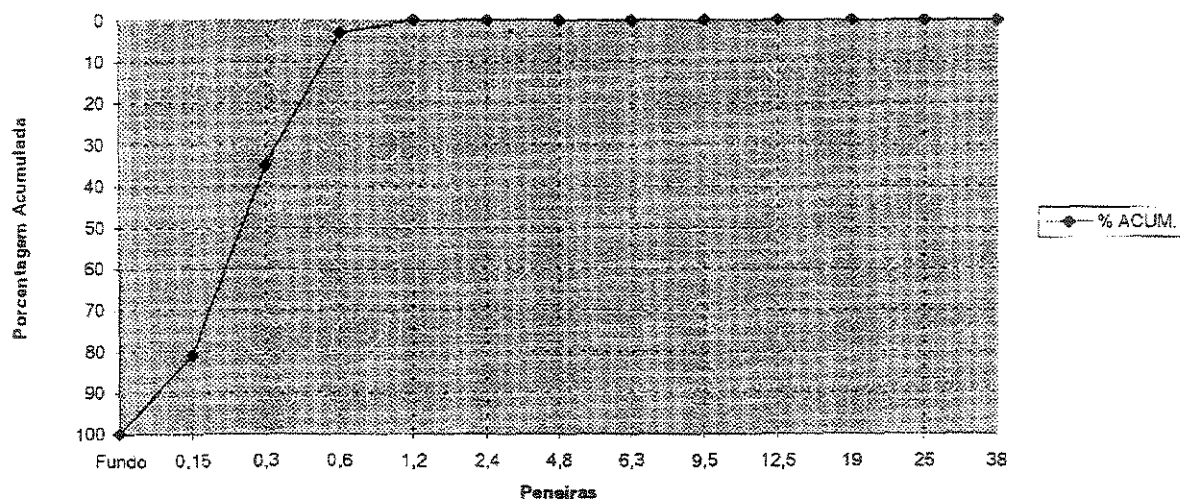
Material:	Arela Fina		
Procedência:	Bofete		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 16/10/2000		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	0	0	0
2,4	0	0	0
1,2	2	0	0
0,6	25	3	3
0,3	323	32	35
0,15	459	46	81
Fundo	191	19	100
	1000	100	119

Módulo de Finura	1,19	
Dimensão Máxima Caracter.	0,6	mm
Massa Específica	2,62	g/cm ³
Massa Unitária	1.493	Kg/m ³
Material Pulverulento	1,6	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



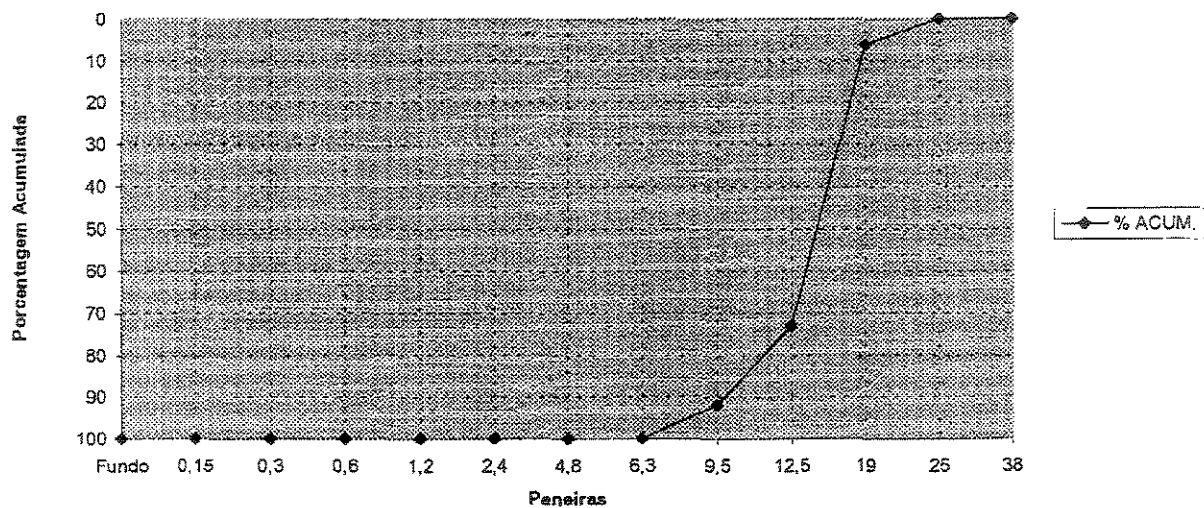
Planilha B.8 - Caracterização da amostra 008.

Material:	Brita 1
Procedência	Campinas
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 02/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	607	6	6
12,5	6655	67	73
9,5	1896	19	92
6,3	796	8	100
4,8	33	0	100
2,4	3	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	10	0	100
	10000	100	698

Módulo de Finura	6,98	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,72	g/cm³
Massa Unitária	1,401	Kg/m³
Material Pulverulento	0,5	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,6	%

Material Aprovado ☐
Material Reprovado ☐



Planilha B.9 - Caracterização da amostra 009.

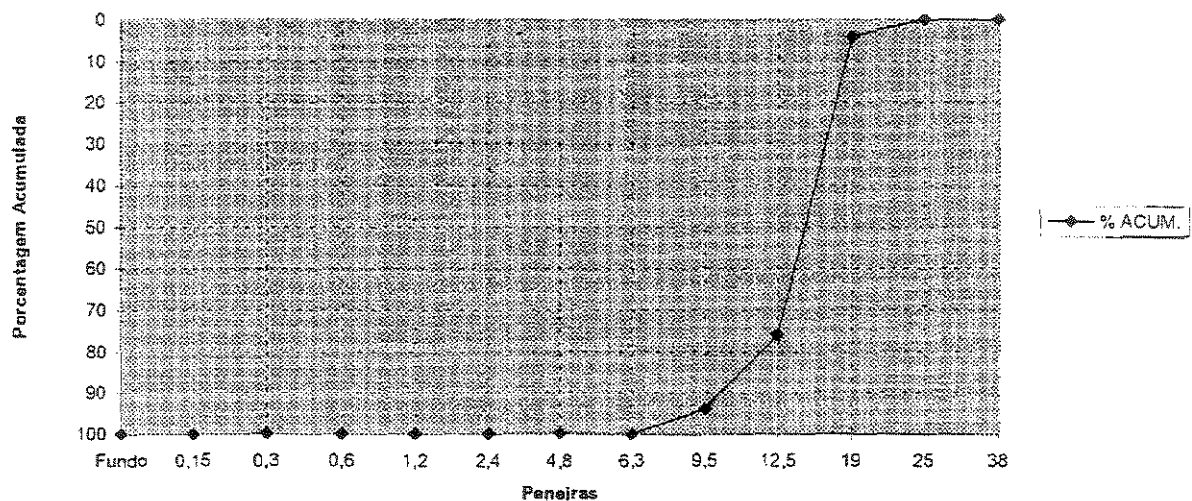
Material:	Brita 1
Procedência:	Guarulhos
Fornecedor:	-
Usina:	Data de Coleta: 02/03/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	400	4	4
12,5	7146	72	76
9,5	1849	18	94
6,3	572	6	100
4,8	21	0	100
2,4	3	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	9	0	100
	10000	100	698

Módulo de Finura	6,98	
Dimensão Máxima Caracter.	19	mm
Massa Específica	2,66	g/cm³
Massa Unitária	1.423	Kg/m³
Material Pulverulento	0,3	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,4	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.10 - Caracterização da amostra 010.

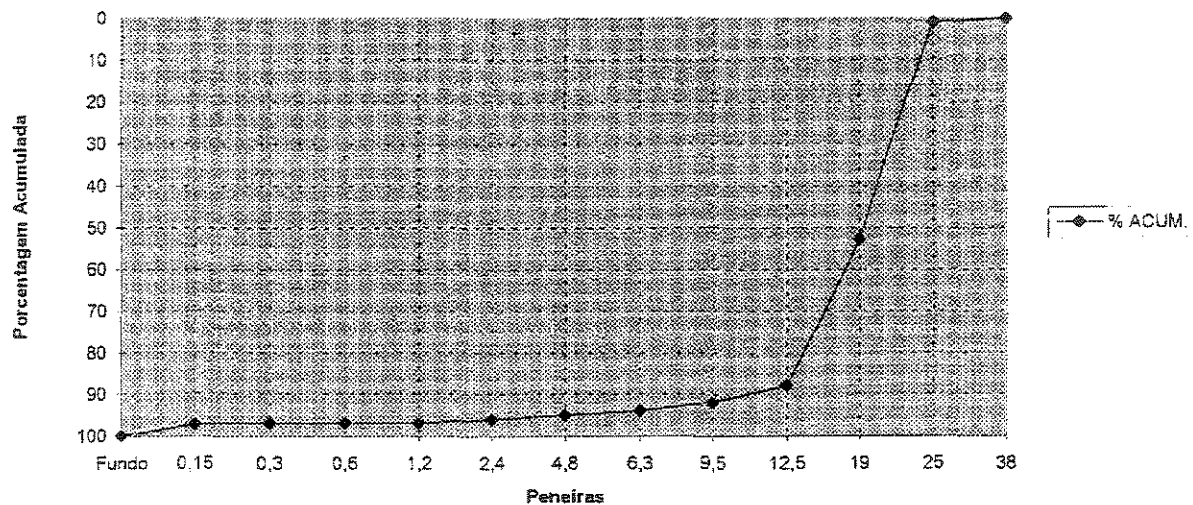
Material:	Brita 2
Procedência:	Itapeti
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 01/12/2000

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	164	1	1
19	5169	52	53
12,5	3473	35	88
9,5	402	4	92
6,3	231	2	94
4,8	84	1	95
2,4	139	1	96
1,2	70	1	97
0,6	0	0	97
0,3	0	0	97
0,15	0	0	97
Fundo	268	3	100
	10000	100	724

Módulo de Finura	7,24	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,69	g/cm ³
Massa Unitária	1.490	Kg/m ³
Material Pulverulento	0,4	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,1	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.11 - Caracterização da amostra 011.

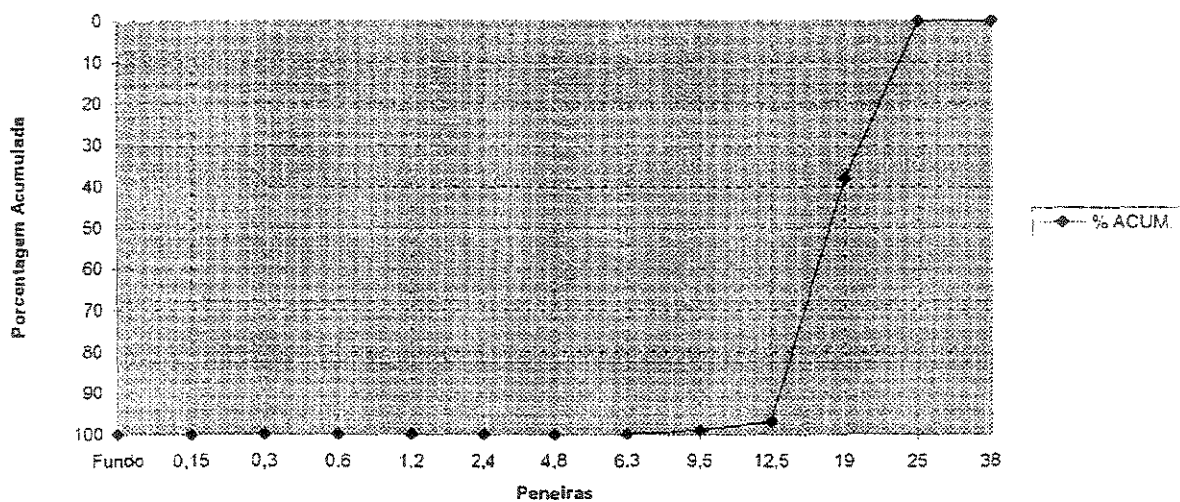
Material:	Brita 2
Procedência:	Limeira
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 05/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	3812	38	38
12,5	5850	59	97
9,5	231	2	99
6,3	61	1	100
4,8	11	0	100
2,4	0	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	35	0	100
	10000	100	737

Módulo de Finura	7,37	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,96	g/cm³
Massa Unitária	1.494	Kg/m³
Material Pulverulento	0,4	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,8	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



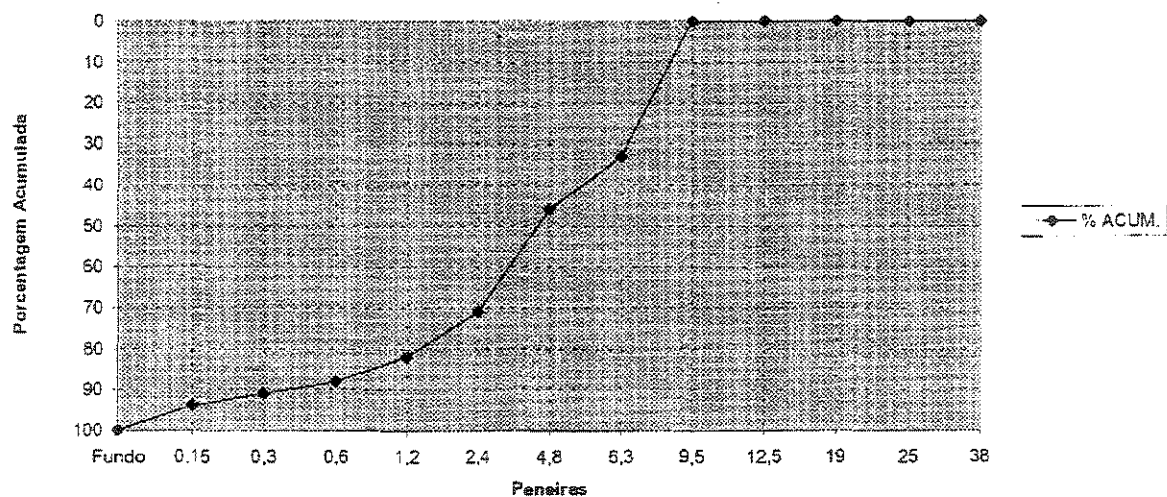
Planilha B.12 - Caracterização da amostra 012.

Material:	Pedrisco Misto		
Procedência:	Limeira		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 13/09/2000		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	327	33	33
4,8	131	13	46
2,4	250	25	71
1,2	113	11	82
0,6	59	6	88
0,3	33	3	91
0,15	32	3	94
Fundo	55	6	100
	1000	100	472

Módulo de Finura	4,72	
Dimensão Máxima Caracter.	9,5	mm
Massa Específica	2,89	g/cm³
Massa Unitária	1.498	Kg/m³
Material Pulverulento	8,5	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐
Material Reprovado ☐



Planilha B.13 - Caracterização da amostra 013.

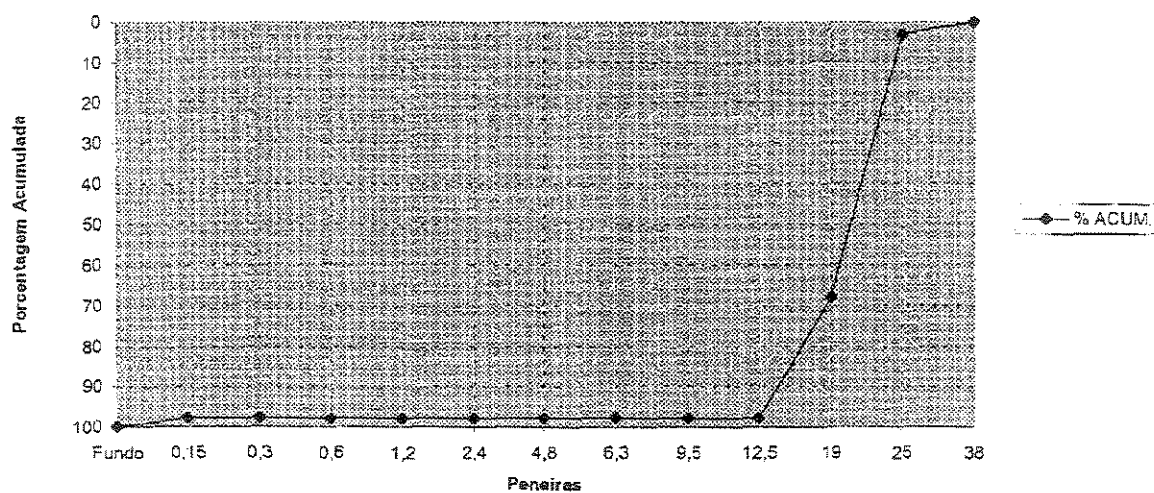
Material:	Brita 2
Procedência:	Mairiporã
Fornecedor:	-
Usina:	Data de coleta: 11/01/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	312	3	3
19	6508	65	68
12,5	2965	30	98
9,5	35	0	98
6,3	22	0	98
4,8	0	0	98
2,4	0	0	98
1,2	0	0	98
0,6	0	0	98
0,3	0	0	98
0,15	0	0	98
Fundo	158	2	100
	10000	100	754

Módulo de Finura	7,54	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,71	g/cm³
Massa Unitária	1.418	Kg/m³
Material Pulverulento	0,3	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,4	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.14 - Caracterização da amostra 014.

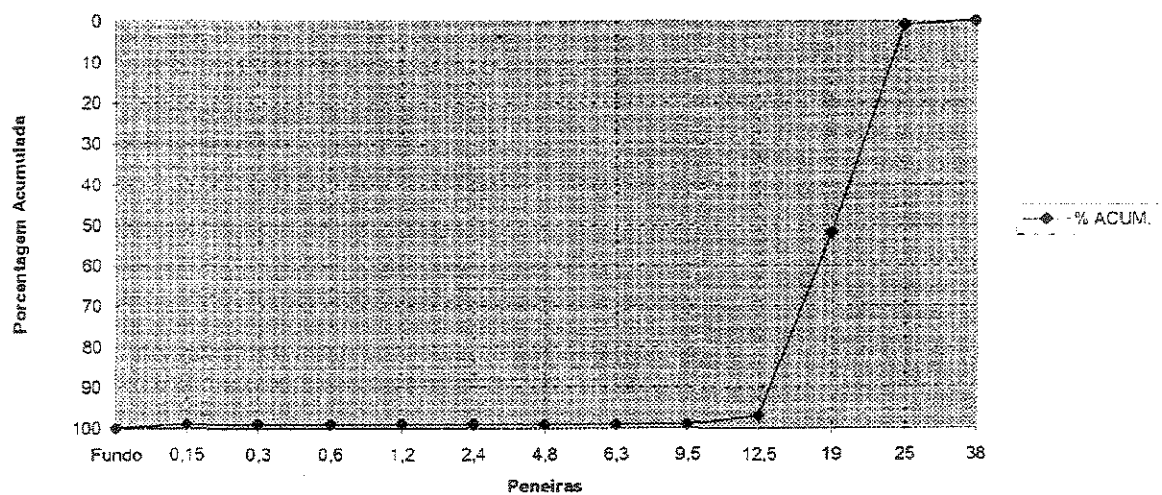
Material:	Brita 2
Procedência:	Mogi Mirim
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 05/03/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	97	1	1
19	5033	51	52
12,5	4547	45	97
9,5	160	2	99
6,3	43	0	99
4,8	0	0	99
2,4	0	0	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	120	1	100
	10000	100	745

Módulo de Finura	7,45	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,92	g/cm ³
Massa Unitária	1.560	Kg/m ³
Material Pulverulento	0,8	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,6	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.15 - Caracterização da amostra 015.

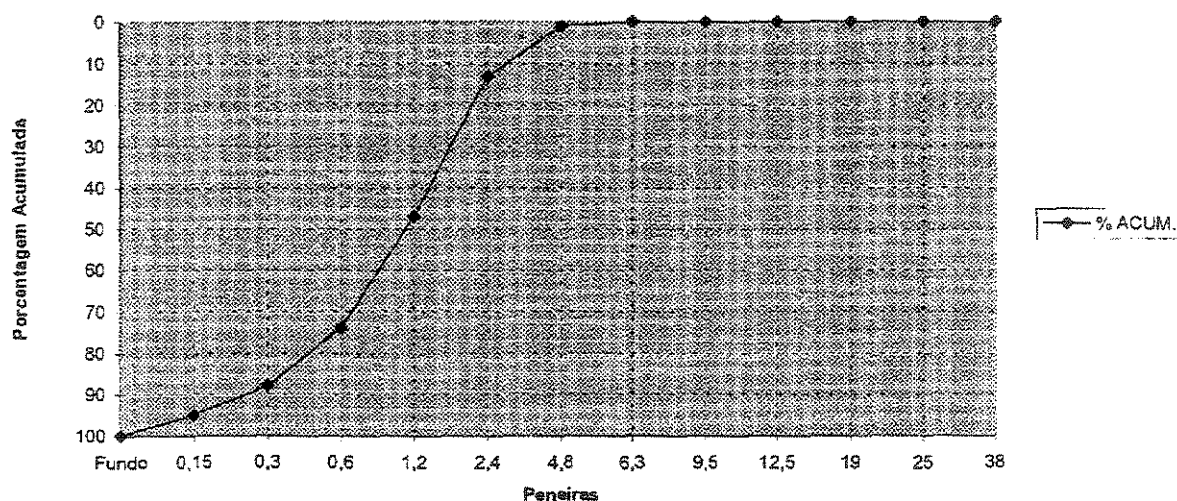
Material:	Areia
Procedência:	Perus
Fornecedor:	
Usina:	Data de coleta: 07/06/2000

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	16	1	1
2,4	122	12	13
1,2	333	34	47
0,6	275	27	74
0,3	142	14	88
0,15	70	7	95
Fundo	42	5	100
	1000	100	318

Módulo de Finura	3,18	
Dimensão Máxima Caracter.	4,8	mm
Massa Específica	2,63	g/cm ³
Massa Unitária	1.391	Kg/m ³
Material Pulverulento	3,2	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.16 - Caracterização da amostra 016.

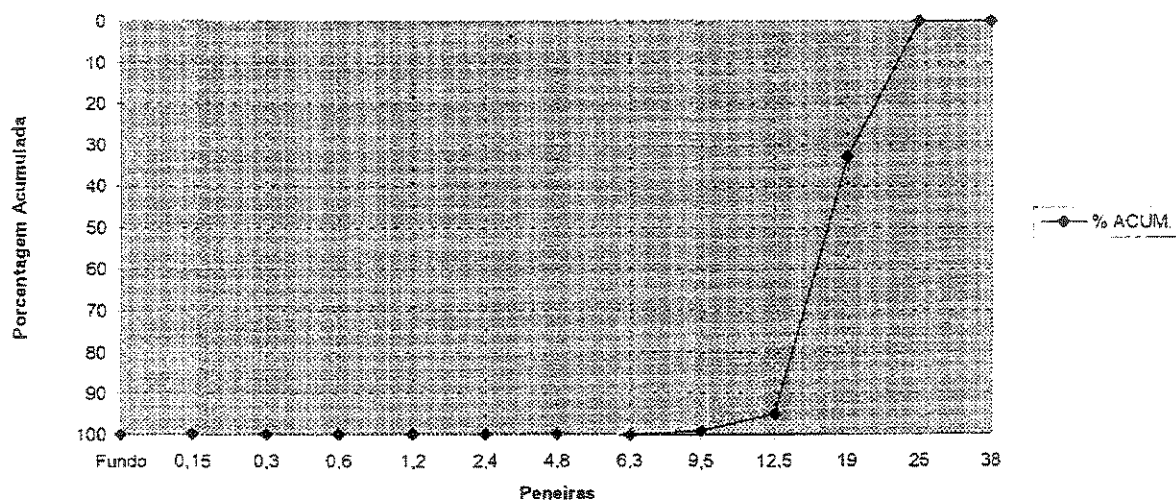
Material:	Bríta 2
Procedência:	Piracicaba
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 15/03/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	3292	33	33
12,5	6224	62	95
9,5	372	4	99
6,3	77	1	100
4,8	0	0	100
2,4	0	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	35	0	100
	10000	100	732

Módulo de Finura	7,32	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,93	g/cm³
Massa Unitária	1.469	Kg/m³
Material Pulverulento	0,8	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,2	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.17 - Caracterização da amostra 017.

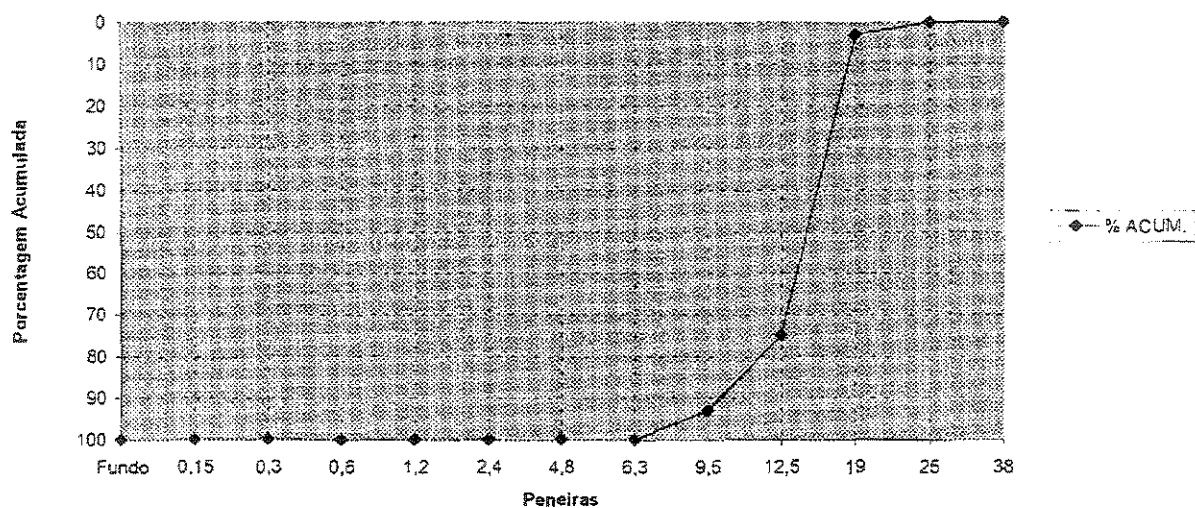
Material:	Brita 1
Procedência	Porto Feliz
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 01/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	315	3	3
12,5	7229	72	75
9,5	1763	18	93
6,3	661	7	100
4,8	16	0	100
2,4	0	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	16	0	100
	10000	100	696

Módulo de Finura	6,96	
Dimensão Máxima Caracter.	19	mm
Massa Específica	3,00	g/cm³
Massa Unitária	1,503	Kg/m³
Material Pulverulento	0,6	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,7	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



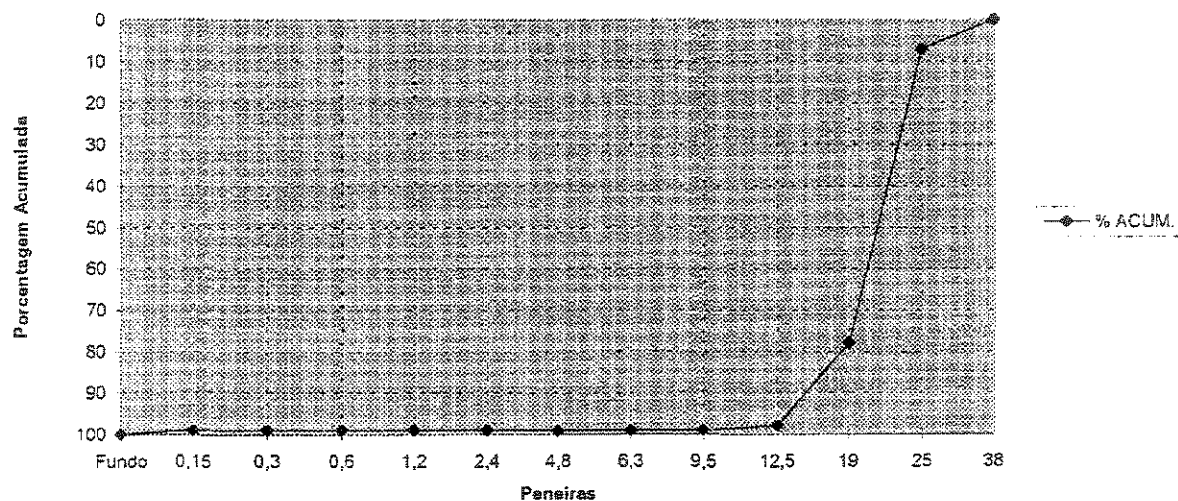
Planilha B.18 - Caracterização da amostra 018.

Material:	Brita 2		
Procedência:	Registro		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 05/02/2001		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	704	7	7
19	7038	71	78
12,5	2025	20	98
9,5	93	1	99
6,3	36	0	99
4,8	7	0	99
2,4	9	0	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	88	1	100
	10000	100	771

Módulo de Finura	7,71	
Dimensão Máxima Caracter.	38	mm
Massa Específica	2,66	g/cm³
Massa Unitária	1.404	Kg/m³
Material Pulverulento	0,4	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,6	%

Material Aprovado ☐
Material Reprovado ☐



Planilha B.19 - Caracterização da amostra 019.

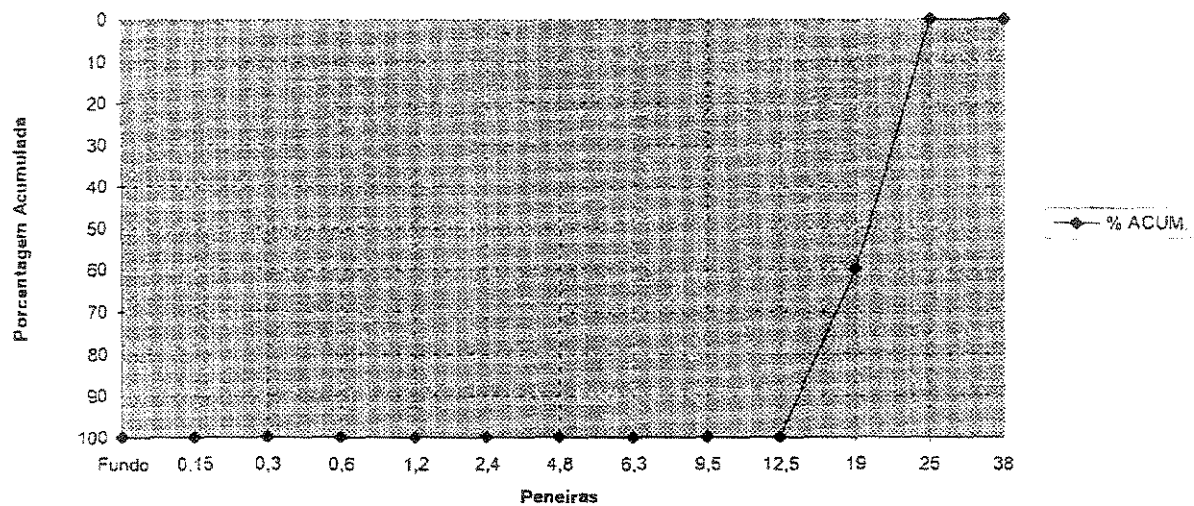
Material:	Brita 2		
Procedência:	Salto de Pirapora		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 05/02/2001		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	6014	60	60
12,5	3945	40	100
9,5	16	0	100
6,3	0	0	100
4,8	0	0	100
2,4	0	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	25	0	100
	10000	100	760

Módulo de Finura	7,60	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,79	g/cm³
Massa Unitária	1.471	Kg/m³
Material Pulverulento	0,4	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,4	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.20 - Caracterização da amostra 020.

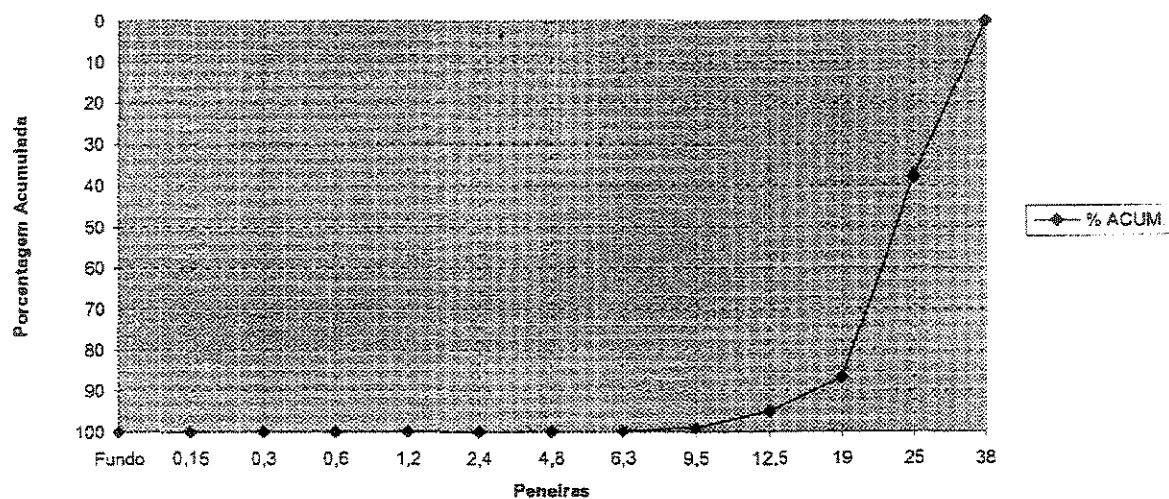
Material:	Brita 2
Procedência:	Salto de Pirapora
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 12/03/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	3801	38	38
19	4892	49	87
12,5	768	8	95
9,5	434	4	99
6,3	64	1	100
4,8	0	0	100
2,4	0	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	41	0	100
	10000	100	786

Módulo de Finura	7,86	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,79	g/cm³
Massa Unitária	1.478	Kg/m³
Material Pulverulento	1,4	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,9	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.21 - Caracterização da amostra 021.

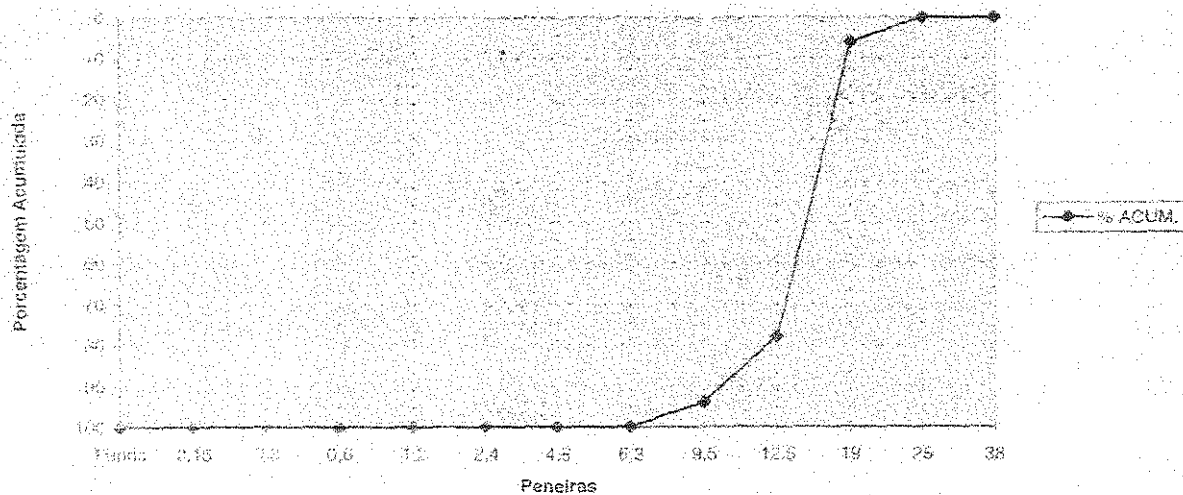
Material:	Brita1
Procedência:	Jundiaí
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 05/04/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	565	6	6
12,5	7238	72	78
9,5	1566	16	94
6,3	588	6	100
4,8	30	0	100
2,4	5	0	100
1,2	0	0	100
0,6	0	0	100
0,3	0	0	100
0,15	0	0	100
Fundo	6	0	100
	10000	100	700

Módulo de Finura	7,00	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,60	g/cm³
Massa Unitária	1.360	Kg/m³
Material Pulverulento	0,1	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,3	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.22 - Caracterização da amostra 022.

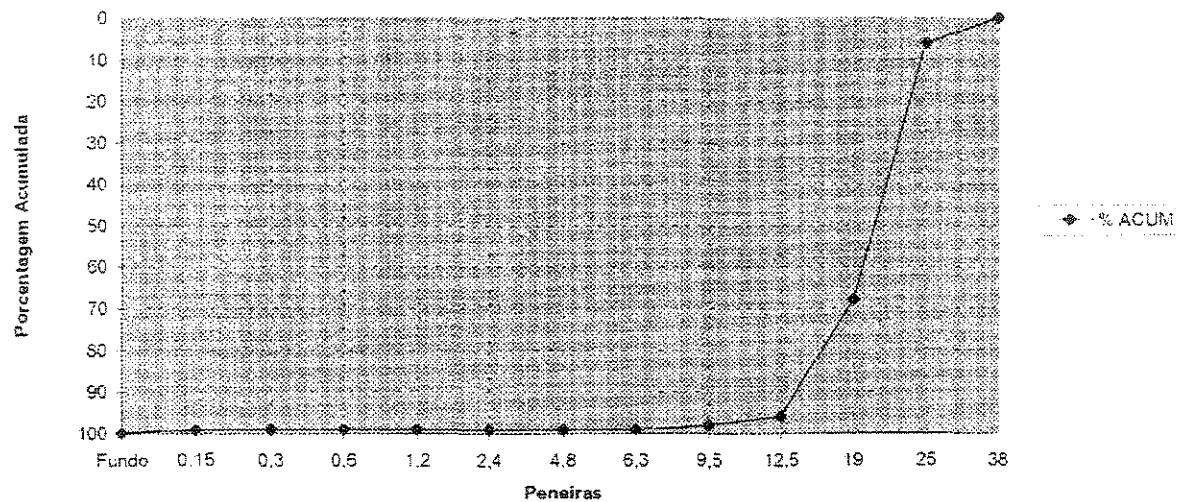
Material:	Brita 2		
Procedência:	Sta. Isabel		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 05/03/2001		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	596	6	6
19	6129	62	68
12,5	2844	28	96
9,5	195	2	98
6,3	73	1	99
4,8	31	0	99
2,4	0	0	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	132	1	100
	10000	100	760

Módulo de Finura	7,60	
Dimensão Máxima Caracter.	38	mm
Massa Específica	2,66	g/cm³
Massa Unitária	1,452	Kg/m³
Material Pulverulento	0,9	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,6	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



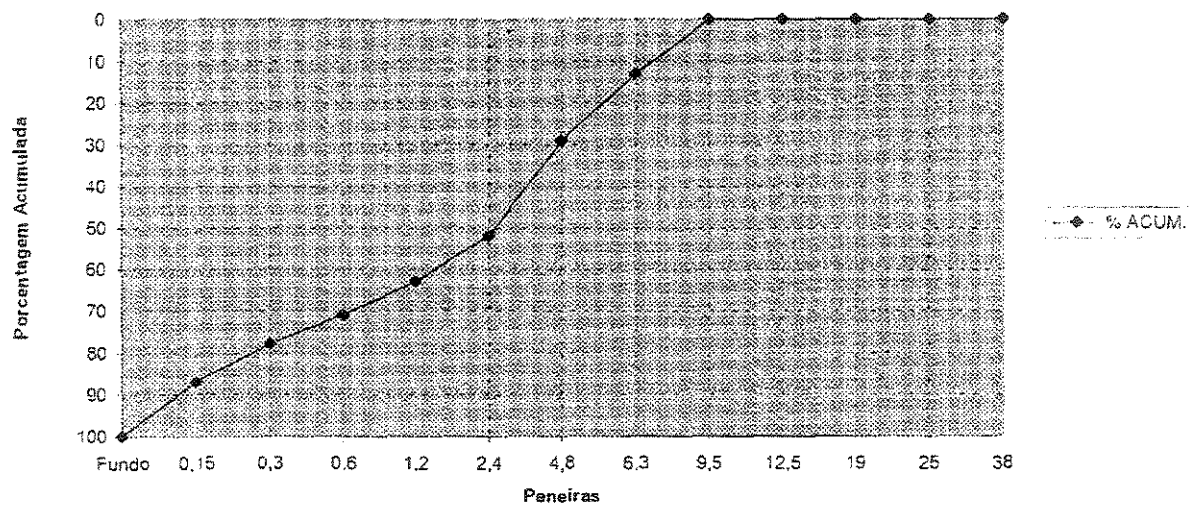
Planilha B.23 - Caracterização da amostra 023.

Material:	Pedrisco Misto
Procedência:	Santa Isabel
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 01/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	128	13	13
4,8	158	16	29
2,4	231	23	52
1,2	117	11	63
0,6	78	8	71
0,3	68	7	78
0,15	88	9	87
Fundo	132	13	100
	1000	100	380

Módulo de Finura	3,80	
Dimensão Máxima Caracter.	9,5	mm
Massa Específica	2,71	g/cm³
Massa Unitária	1.493	Kg/m³
Material Pulverulento	8,2	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐
 Material Reprovado ☐



Planilha B.24 - Caracterização da amostra 024.

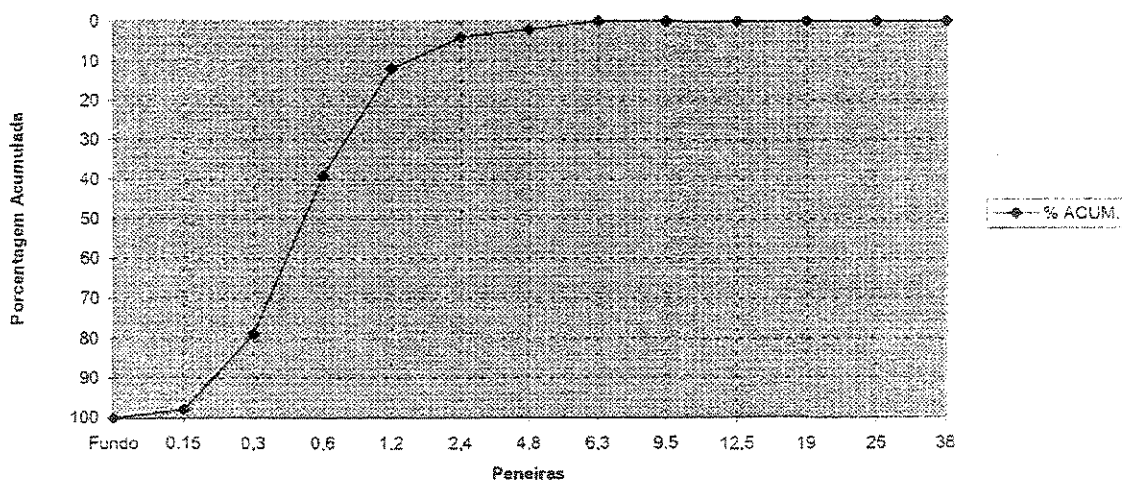
Material:	Areia Média
Procedência:	São Carlos
Fornecedor:	-
Usina:	Data de coleta: 01/09/2000

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	16	2	2
2,4	21	2	4
1,2	85	8	12
0,6	272	27	39
0,3	396	40	79
0,15	189	19	98
Fundo	21	2	100
	1000	100	234

Módulo de Finura	2,34	
Dimensão Máxima Caracter.	2,4	mm
Massa Específica	2,63	g/cm³
Massa Unitária	-	Kg/m³
Material Pulverulento	0,2	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.25 - Caracterização da amostra 025.

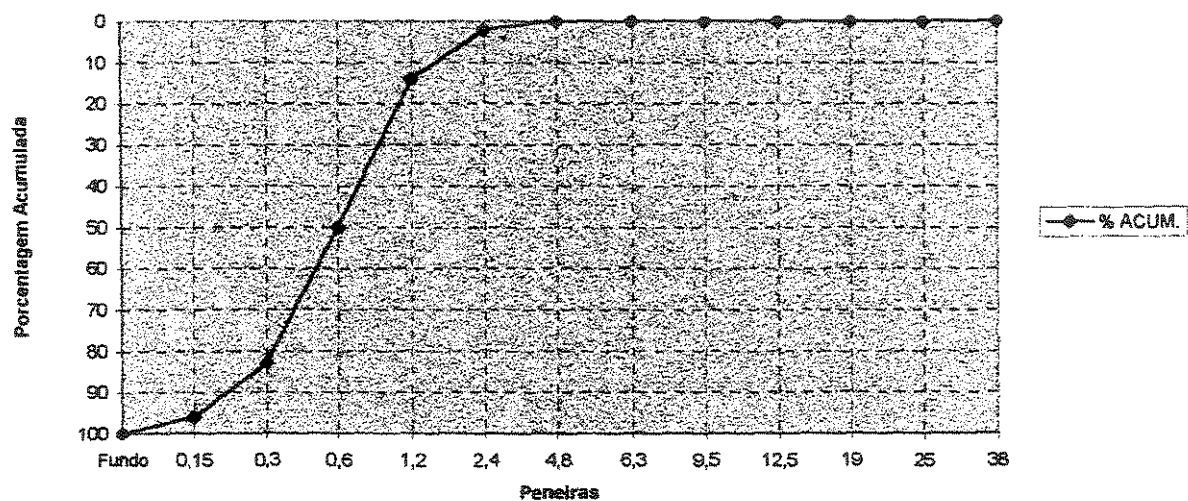
Material:	Areia Média
Procedência:	São Pedro
Fornecedor:	
Usina:	Data de coleta: 01/12/2000

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
3	0	0	0
4,8	4	0	0
2,4	16	2	2
1,2	117	12	14
0,6	366	36	50
0,3	332	33	83
0,15	129	13	96
Fundo	36	4	100
	1000	100	245

Módulo de Finura	2,45	
Dimensão Máxima Caracter.	2,4	mm
Massa Específica	2,63	g/cm³
Massa Unitária	1.493	Kg/m³
Material Pulverulento	0,3	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



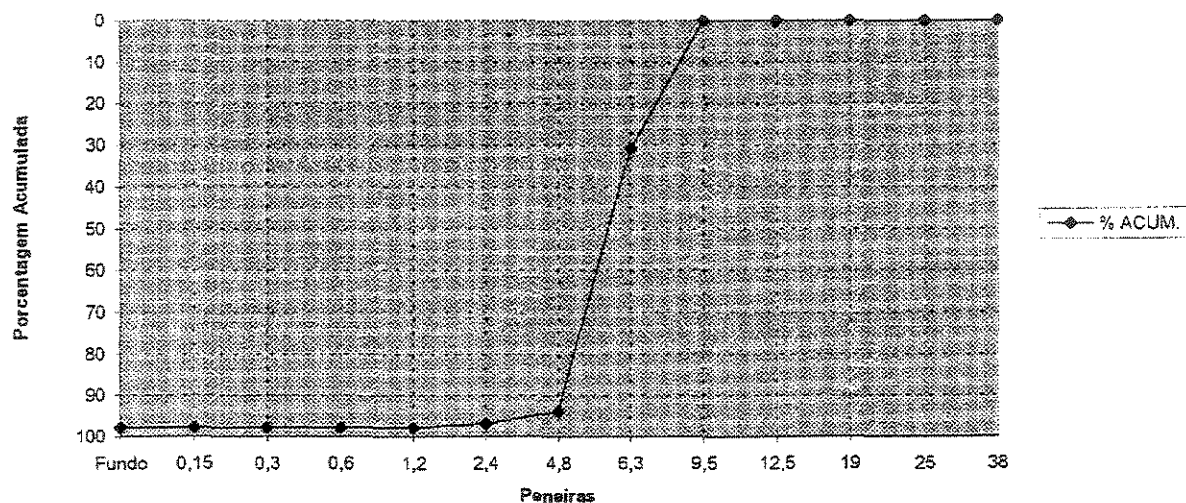
Planilha B.26 - Caracterização da amostra 026.

Material:	Pedrisco Limpo		
Procedência:	Sorocaba		
Fornecedor:			
Usina:			DATA: 03/09/99

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	35	31	31
4,8	1884	63	94
2,4	3733	3	97
1,2	201	1	98
0,6	35	0	98
0,3	0	0	98
0,15	0	0	98
Fundo	112	2	98
	6000	100	583

Módulo de Finura	5,16	
Dimensão Máxima Caracter.	9,5	mm
Massa Específica	2,63	g/dm³
Massa Unitária	1.323	Kg/m³
Material Pulverulento	1,8	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐
Material Reprovado ☐



Planilha B.27 - Caracterização da amostra 027.

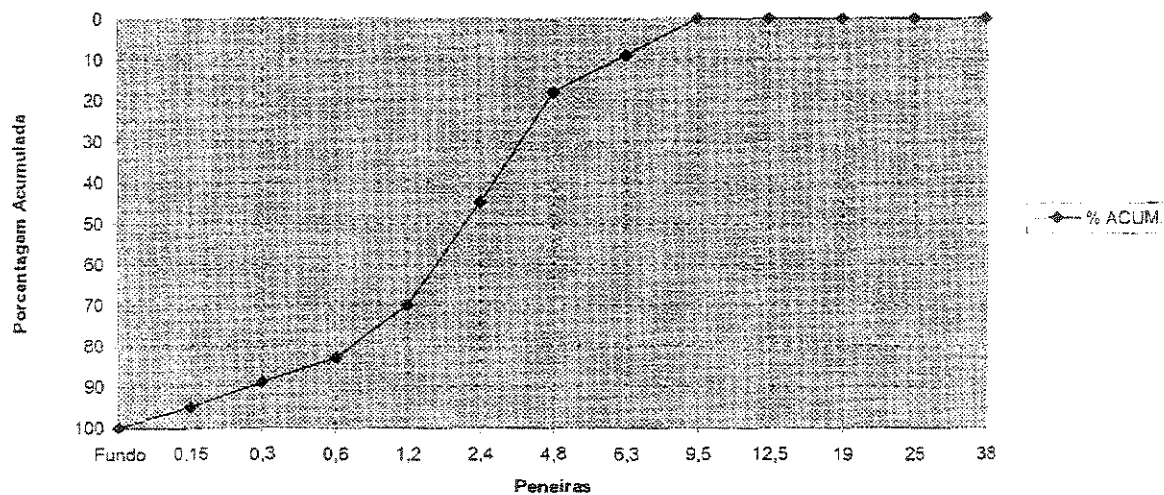
Material:	Pedrisco Misto
Procedência:	Sorocaba
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 16/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	95	9	9
4,8	93	9	18
2,4	268	27	45
1,2	245	25	70
0,6	132	13	83
0,3	56	6	89
0,15	57	6	95
Fundo	54	5	100
	1000	100	400

Módulo de Finura	4,00	
Dimensão Máxima Caracter.	9,5	mm
Massa Específica	2,74	g/cm³
Massa Unitária	1.340	Kg/m³
Material Pulverulento	10,7	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.28 - Caracterização da amostra 028.

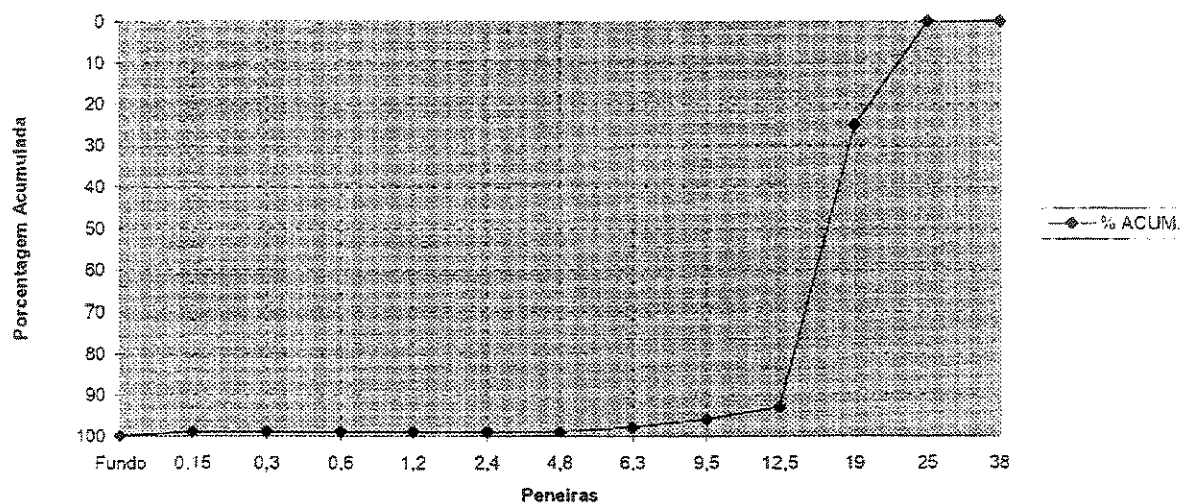
Material:	Brita 2
Procedência:	Tatuí
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 08/03/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	2530	25	25
12,5	6836	68	93
9,5	340	3	96
6,3	160	2	98
4,8	55	1	99
2,4	0	0	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	79	1	100
	10000	100	715

Módulo de Finura	7,15	
Dimensão Máxima Caracter.	25	mm
Massa Específica	2,81	g/cm ³
Massa Unitária	1.386	Kg/m ³
Material Pulverulento	0,5	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,6	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.29 - Caracterização da amostra 029.

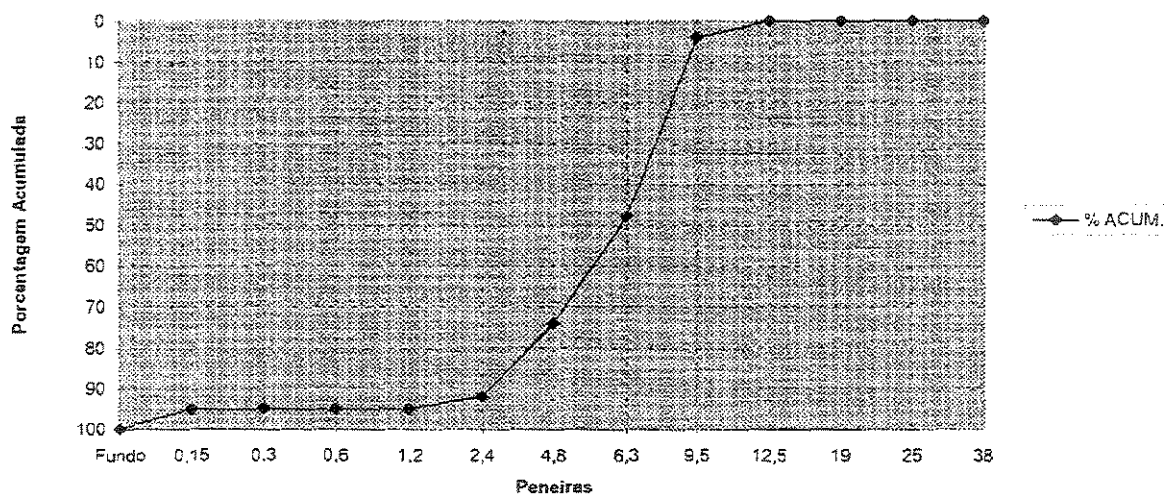
Material:	Pedrisco Limpo		
Procedência:	Taubaté		
Fornecedor:			
Usina:	- - - -	Data de Coleta: 08/01/2001	

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	235	4	4
6,3	2663	44	48
4,8	1560	26	74
2,4	1092	18	92
1,2	152	3	95
0,6	0	0	95
0,3	0	0	95
0,15	0	0	95
Fundo	298	5	100
	6000	100	550

Módulo de Finura	5,50	
Dimensão Máxima Caracter.	9,5	mm
Massa Específica	2,65	g/cm³
Massa Unitária	1.393	Kg/m³
Material Pulverulento	0,9	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.30 - Caracterização da amostra 030.

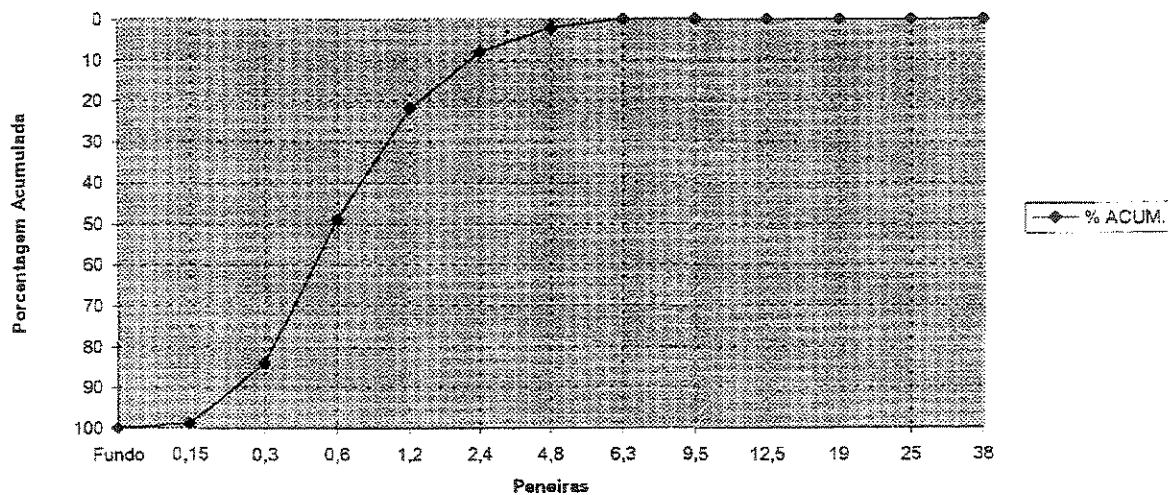
Material:	Areia		
Procedência:	Taubaté		
Fornecedor:			
Usina:	Data de Coleta: 27/11/2000		

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	18	2	2
2,4	58	6	8
1,2	143	14	22
0,6	271	27	49
0,3	351	35	84
0,15	148	15	99
Fundo	11	1	100
	1000	100	264

Módulo de Finura	2,64	
Dimensão Máxima Caracter.	4,8	mm
Massa Específica	2,59	g/cm³
Massa Unitária	1.352	Kg/m³
Material Pulverulento	0,6	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.31 - Caracterização da amostra 031.

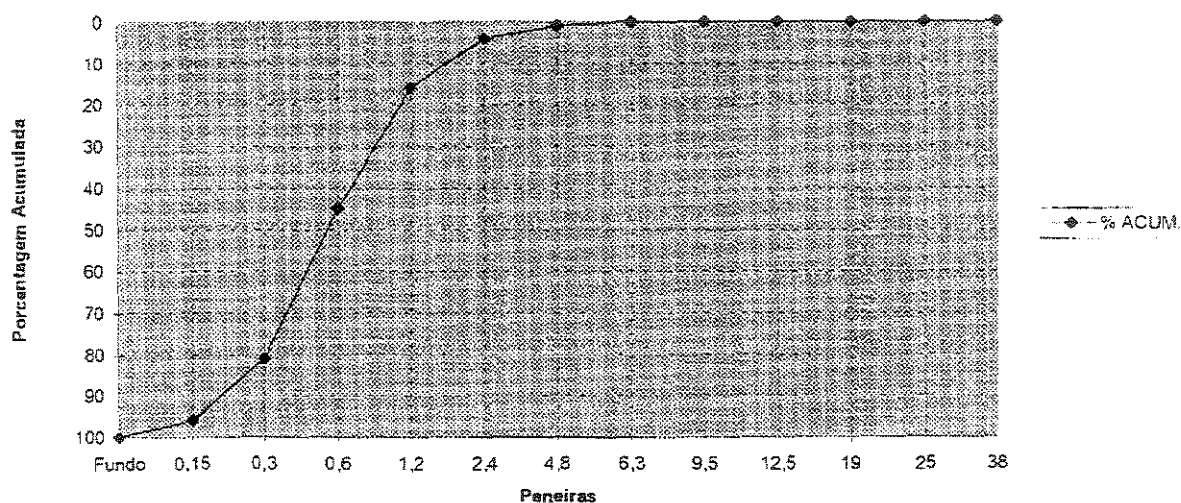
Material:	Areia Média
Procedência:	Tremembé
Fornecedor:	
Usina:	Data de Coleta: 02/03/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	12	1	1
2,4	34	3	4
1,2	121	12	16
0,6	290	29	45
0,3	353	36	81
0,15	153	15	96
Fundo	37	4	100
	1000	100	243

Módulo de Finura	2,43	
Dimensão Máxima Caracter.	2,4	mm
Massa Específica	2,62	g/cm ³
Massa Unitária	1.403	Kg/m ³
Material Pulverulento	0,8	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.32 - Caracterização da amostra 032.

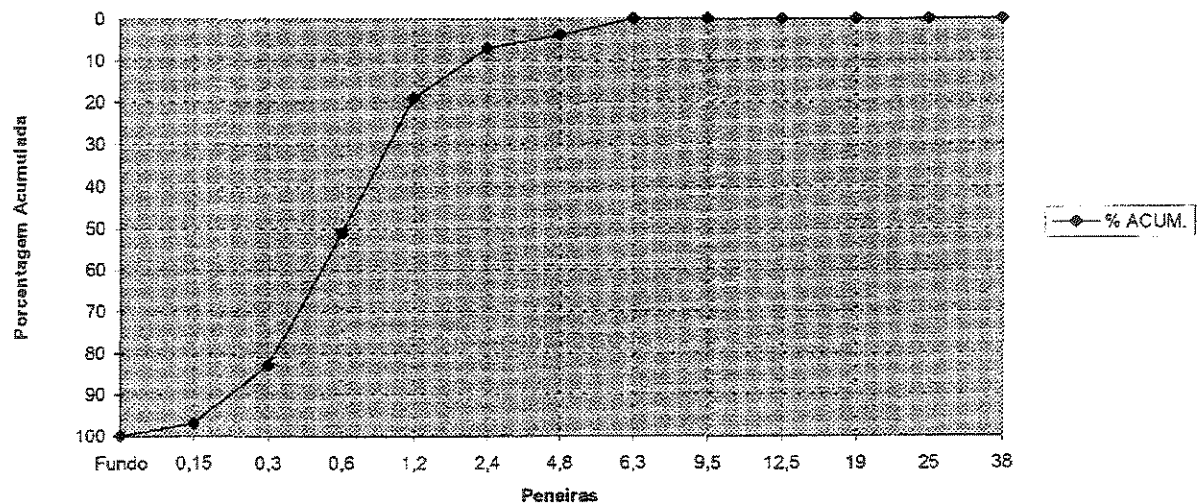
Material:	Areia Média		
Procedência:	Tremembé		
Fornecedor:			
Usina:	-	-	Data de Coleta: 06/02/2001

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	0	0	0
4,8	38	4	4
2,4	35	3	7
1,2	117	12	19
0,6	322	32	51
0,3	324	32	83
0,15	138	14	97
Fundo	26	3	100
	1000	100	261

Módulo de Finura	2,61	
Dimensão Máxima Caracter.	4,8	mm
Massa Específica	2,62	g/cm³
Massa Unitária	1.390	Kg/m³
Material Pulverulento	1,0	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



Planilha B.33 - Caracterização da amostra 033.

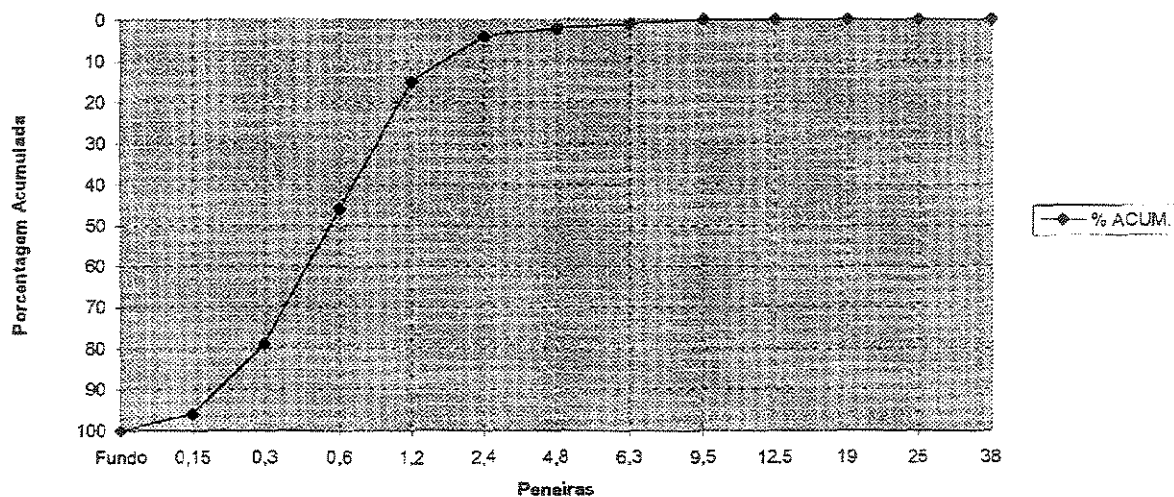
Material:	Areia Média		
Procedência:	Vale do Paraíba		
Fornecedor:			
Usina:	- - - - -	Data de Coleta: 12/06/2000	

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	0	0	0
12,5	0	0	0
9,5	0	0	0
6,3	13	1	1
4,8	7	1	2
2,4	26	2	4
1,2	112	11	15
0,6	304	31	46
0,3	336	33	79
0,15	163	17	96
Fundo	39	4	100
	1000	100	242

Módulo de Finura	2,42	
Dimensão Máxima Caracter.	2,4	mm
Massa Específica	2,62	g/cm³
Massa Unitária	1.415	Kg/m³
Material Pulverulento	1,1	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	<300	ppm
Absorção	-	%

Material Aprovado ☐

Material Reprovado ☐



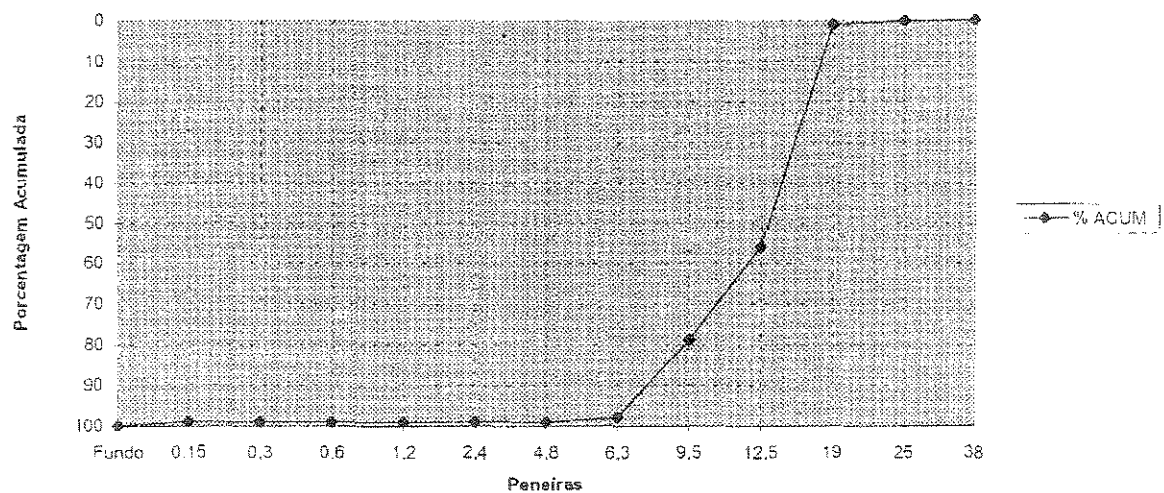
Planilha B.34 - Caracterização da amostra 034.

Material:	Brita 1
Procedência:	Valinhos
Fornecedor:	-
Usina:	Data de Coleta: 08/05/2000

PENEIRA	PESO	% RETIDA	% ACUM.
38	0	0	0
25	0	0	0
19	81	1	1
12,5	5500	55	56
9,5	2328	23	79
6,3	1881	19	98
4,8	157	1	99
2,4	43	0	99
1,2	0	0	99
0,6	0	0	99
0,3	0	0	99
0,15	0	0	99
Fundo	10	1	100
	10000	100	674

Módulo de Finura	6,74	
Dimensão Máxima Caracter.	19	mm
Massa Específica	2,64	g/cm³
Massa Unitária	1.388	Kg/m³
Material Pulverulento	0,2	%
Torrões de Argila	-	%
Impurezas Orgânicas	-	ppm
Absorção	0,3	%

Material Aprovado ☐
Material Reprovado ☐



Planilha B.35 - Caracterização da amostra 035.

Material : Areia Média

Procedência : Fornecedor

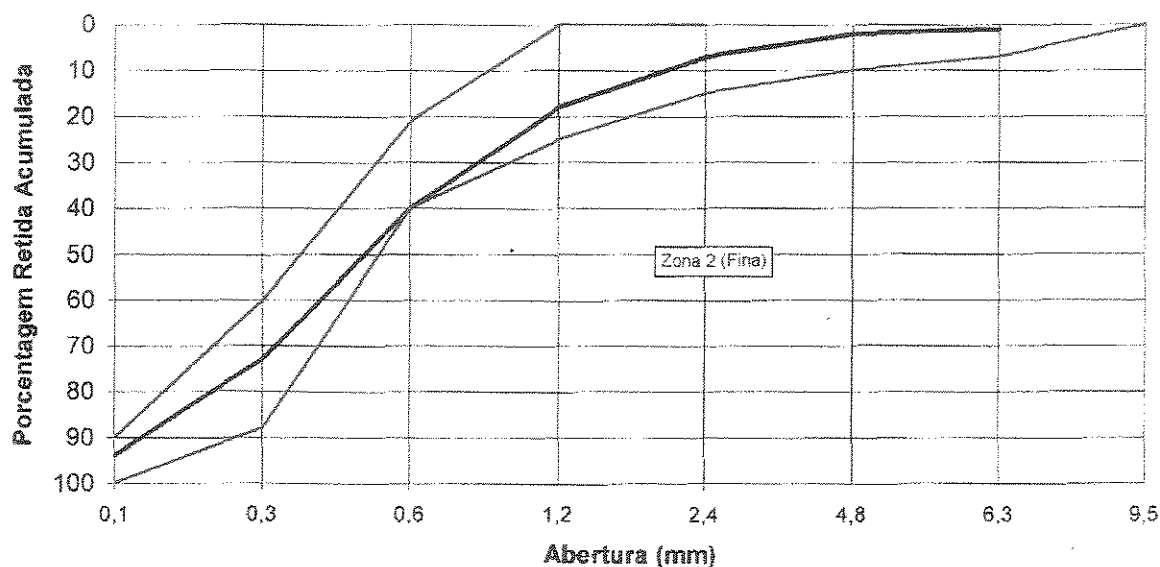
Interessado

Local da Coleta :

Data da Coleta : 05/04/01

Data do Ensaio : 09/04/01

Peneira mm	Material Retido (g)	Porcentagens		Graduação (Limites Granulométricos) - NBR 7211			
		Retida	Acumulada	1 (Muito Fina)	2 (Fina)	3 (Média)	4 (Grossa)
9,5				0	0	0	0
6,3			1,0	0 - 3	0 - 7	0 - 7	0 - 7
4,8		1,0	2,0	0 - 5 ^(A)	0 - 10	0 - 11	0 - 12
2,4		5,0	7,0	0 - 5 ^(A)	0 - 15 ^(A)	0 - 25 ^(A)	5 ^(A) - 40
1,2		11,0	18,0	0 - 10 ^(A)	0 - 25 ^(A)	10 ^(A) - 45 ^(A)	30 ^(A) - 70
0,6		22,0	40,0	0 - 20	21 - 40	41 - 65	-
0,3		33,0	73,0	50 - 85 ^(A)	60 ^(A) - 88 ^(A)	70 ^(A) - 92 ^(A)	80 ^(A) - 95
0,15		21,0	94,0	85 ^(B) - 100	90 ^(B) - 100	90 ^(B) - 100	90 ^(B) - 100
Fundo		6,0	100,0				
Total							



Dimensão Máxima Característica : 4,8 mm (NBR 7211)

Material Pulverulento : 0,6 % (< 3,0% - NBR 7219)

Impurezas Orgânicas : < 300 p.p.m. (< 300 p.p.m. - NBR 7220)

Torrões de Argila e Partículas

Fríáveis : 0,5 % (< 1,5% - NBR 7218)

Módulo de Finura : 2,34 (NBR 7211)

Peso Específico :

a) Aparente 1570 kg/m³

a) Real 2600 kg/m³

Absorção : 1,21 %

Planilha B.36 - Caracterização da amostra 036.

Material : Brita 1 ($\frac{3}{4}$ ")

Local da Coleta :

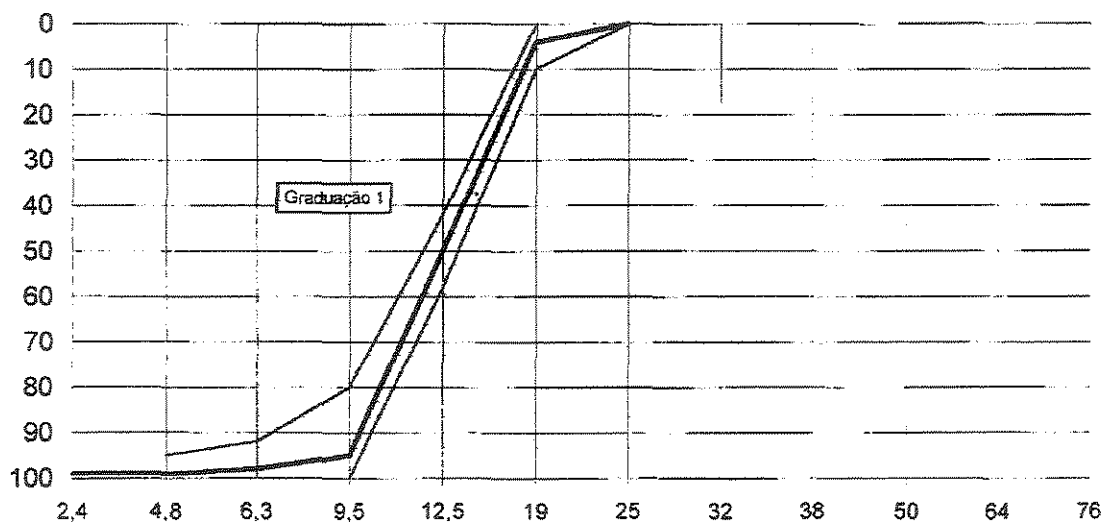
Procedência

Data da Coleta : 05/04/2001

Interessado :

Data do Ensaio : 09/04/2001

Peneira mm	Material Retido (g)	Porcentagens		Graduação (Limites Granulométricos) - NBR 7211				
		Retida	Acumulada	0	1	2	3	4
76				-	-	-	-	0
50				-	-	-	0	75 - 100
38				-	-	-	0 - 30	90 - 100
32				-	-	0	75 - 100	95 - 100
25			0	-	0	0 - 25	87 - 100	-
19		4	4	-	0 - 10	75 - 100	95 - 100	-
12,5		71	75	0	-	90 - 100	-	-
9,5		20	95	0 - 10	80 - 100	95 - 100	-	-
4,8		4	99	80 - 100	95 - 100	-	-	-
2,4		0	99	95 - 100	-	-	-	-
Fundo		1	100					
Total			-					



Dimensão Máxima Característica : 19 mm (NBR 7211)

Peso Específico :

- a) Aparente 1590 kg/m³
- a) Real 2900 kg/m³

Material Pulverulento : 0,2% (< 1,0% - NBR 7219)

Torrões de Argila e Partículas

Friáveis : 0% (< 1,0% - NBR 7218)

Abrasão Los Angeles : 12% (< 50% - NBR 6465)

Absorção : 0,60 %

ANEXO C - Modelo das planilhas de ensaio de reatividade potencial pelo método acelerado

[illegible]

Figura C.2 - Modelo da planilha de ensaio de reatividade potencial pelo método acelerado (verso).

LAME LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		ENSAIO DE REATIVIDADE POTENCIAL Procedimento LAME.1.02.01.11 Edição 1 Revisão 2	
CONTROLE DAS CONDIÇÕES DE MOLDAGEM			
Data :			
Hora :			
Água de amassamento (g) :			
Temperatura da água (°C) :	Medida =	Corrigida =	
Temperatura da sala (°C) :	Medida =	Corrigida =	
Flow (mm) :			
Umidade do ar (%) :	Medida =	Corrigida =	
CHECK-LIST		CALIBRAÇÃO (OK)	
Argamassadeira:			
Balança:			
Caixa de água destilada :			
Caixa de NaOH :			
Cronômetro:			
Mesa de flow :			
Paquímetro:			
Relógio comparador:			
Termômetro:			
Termohigrômetro:			
NaOH (Lote) :		-	
Nível da balança:		-	
OBSERVAÇÕES:			
Técnico executor:		Técnico conferente:	Engenheiro Responsável:

[illegible]

ANEXO D - Modelo das planilhas de ensaio de reatividade potencial pelo método químico

-

Figura D.1 - Modelo da planilha de ensaio de reatividade potencial pelo método químico (sílica dissolvida).

LAME LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		VERIFICAÇÃO DA REATIVIDADE POTENCIAL DE AGREGADOS PELO MÉTODO QUÍMICO Sílica Dissolvida NBR 9774/87		
Registro:		Data:		Executado:
Equipamentos				
Balança:		Compressor:		
Peneiras 0,300 mm e 0,150 mm:		Placa aquecedora:		
Estufa:		Bureta:		
Banho termostático:		Forno mufla:		
Reagentes				
HCl - Marca:		Nº Lote:	HF - Marca:	Nº Lote:
H ₂ SO ₄ - Marca:		Nº Lote:		
Data da Preparação das Soluções				
HCl 1:1:		AgNO ₃ 2 g/l:		
HCl 1:19:		-		
Tempo de Filtração				
Amostra	1	2	3	branco
tempo (min, seg)				
Sílica Dissolvida				
Amostra	1	2	3	branco
identificação da cápsula:				
massa da cápsula (g):				
cápsula + amostra (g):				
cápsula + amostra (g):				
cápsula + amostra (g):				
M _A - massa do 1º resíduo(g):				
M _B - massa do 2º resíduo(g):				
M ₁ / M ₀ (g):				
$S_d = \frac{(M_1 - M_0) \times 10^{-6}}{V \times 60,06}$		M ₀ , é a massa em gramas de SiO ₂ encontradas no ensaio em branco, V, é o volume de filtrado original analisado (5 cm ³), S _d , é a concentração de SiO ₂ em m mol/l do filtrado original, 60,06, é a massa molecular da sílica. M ₁ , é a massa em gramas de SiO ₂ encontrados em 100 cm ³ da solução diluída.		
Pontos de Verificação				
calibração da balança:		tempo de resfriamento (15 + 2) min:		
nível da balança:		eliminação de cloretos:		
concentração das soluções utilizadas:		1ª. temperatura do forno mufla (1100°C):		
temperatura do banho (80 ± 1)° C:		2ª. temperatura do forno mufla (1000°C):		
tempo de banho (24 h + 15 min):				
Técnico responsável:		Engenheiro responsável:		

Figura D.2 - Modelo da planilha de ensaio de reatividade potencial pelo método químico (redução da alcalinidade).

LAME LABORATÓRIO DE MATERIAIS E ESTRUTURAS		VERIFICAÇÃO DA REATIVIDADE POTENCIAL DE AGREGADOS PELO MÉTODO QUÍMICO Redução da Alcalinidade NBR 9774/87		
Registro:				
Data:				
Executado:				
Equipamentos				
Bureta:				
Data da Preparação das Soluções				
fenolftaleína 1%:		alaranjado de metila 0,1%:		
HCl 0,05N:		N real HCl:		
Redução da Alcalinidade				
Amostra	1	2	3	branco
volume de ácido - V_i				
volume de ácido - V_t				
V_A / V_B				
Ra				
$Ra = \frac{20N}{V} (V_B - V_A) \times 1000$ Onde: V_i, é o volume de HCl 0,05 gasto em presença de fenolftaleína, V_t, é o volume de HCl 0,05 gasto em presença de alaranjado de metila, $V_A = 2V_i - V_t$ (cm³, na titulação da amostra), $V_B = 2V_i - V_t$ (cm³, na titulação da amostra em branco), Ra, é a redução de alcalinidade expressa em m mol/ l, N, é a normalidade do HCl, V, é a alíquota da amostra tomada para o ensaio.				
Pontos de Verificação				
concentração das soluções utilizadas:				
HCl padronizado:				
Observações:				
Técnico responsável:		Engenheiro responsável:		

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 9773/87: Agregado - Reatividade potencial de álcalis em combinações cimento/agregado.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 9774/87: Agregados - Verificação da reatividade potencial pelo método químico.** Rio de Janeiro: ABNT, 1987.

_____. **NBR 10340/88: Agregados - Avaliação da reatividade potencial das rochas carbonáticas com os álcalis do cimento.** Rio de Janeiro: 1988.

ANNUAL BOOK OF ASTM STANDARDS - American Society For Testing And Materials.
ASTM C - 295/90 : Standard guide for petrographic examination of aggregates for concrete. Philadelphia, 1997. Section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and aggregates), p. 173-180.

_____. **ASTM C - 856/95 : Standard practice for petrographic examination of hardened concrete.** Philadelphia, 1997. Section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and aggregates), p. 406-420.

_____. **ASTM C - 1260/94 : Standard test method for potential alkali reactivity of aggregates (mortar-bar method).** Philadelphia, 1997. Section 4 (Construction), v. 04.02 (Concrete and aggregates), p. 647-650.

- ANDRADE, W.P.; BITTENCOURT, R.M.; GÓZ, R.S.; SANTOS, M.C. **Resultados de ensaios de reatividade potencial álcali-agregado após longos períodos de armazenagem.** In : SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Anais... Goiânia, 1997. p. 137-141.
- ANDRIOLO, F.R. **AAR Dams Affected in Brazil - Report on the Current Situation.** In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 11., 2000, Québec. Anais... Québec, 2000. p. 1243-1252.
- ANDRIOLO, F.R. **Documentação sobre o panorama brasileiro.** In : SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Relatório Final - Panorama Brasileiro e Relato Técnico do Simpósio - Parte I. Goiânia, 1999. p. 9-59.
- ARMELIN, J.L. e PAULON, V.A. **Análise e diagnóstico de barragem apresentando reação deletéria.** In : CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, IV, 1997, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 1997. p. 197-202.
- BATIC, O.R.; MILANESI, C.A. **Effects of alkali-silica and alkali-carbonate rock reaction on aggregate-mortar bond.** In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 11., 2000, Québec. Anais... Québec, 2000. p. 1-10.
- BLIGHT, G. E.; BALLIM, Y. **Properties of AAR-affected concrete studied over 20 years.** In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 11., 2000, Québec. Anais... Québec, 2000. p. 1109-1118.
- BÉRUBÉ, M.A.; FRENETTE, J. **Testing concrete for AAR in NaOH and NaCl solutions at 38° C and 80° C.** Cement and Concrete Composites, UK, n. 1, v. 16, p. 189-198, 1994.

- CASTRO, C.H.; SANTOS, M.C.; TRABOULSI, M.A.; BITTENCOURT, R.M. **Influência do agregado pulverizado na reação álcali-agregado.** In : SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Anais... Goiânia, 1997. p. 87-94.
- DECHICHI, M. **Reação álcali-agregado : Estudo das propriedades elásticas e mecânicas através da utilização de inibidores.** 1998 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- DENG, M.; TANG, M. **Mechanism of desdolomitization and expansion of dolomitic rocks.** Cement and Concrete Research, USA, v. 23, n. 6, p. 1397-1408, nov. 1993.
- DIAMOND, S. **Alkali reactions in concrete pore solutions effects.** In : Internacional Conference Alkalies in Concrete, 6., 1983. Idorn G. M. and Rostam S. eds., p. 155 - 156.
- FERRARIS, C.F. **Alkali-silica Reaction and High Performance Concrete.** Disponível em : <<http://www.fire.nist.gov/bfrlpubs/build95/art004.html>>. Acesso em : 23 out. 2000, às 8:30h.
- FONTOURA, J.T.F. **Investigações sobre a reação álcali-agregado - metodologias e ensaios.** In: SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Relatório Final - Panorama Brasileiro e Relatório Técnico do Simpósio - Parte II - Tema I. Goiânia, 1999. p. 65-80.
- FURNAS, equipe de; Laboratório de Concreto. **Concretos: massa, estrutural, projetado e compactado com rolo - ensaios e propriedades.** São Paulo : Editor Walton Pacelli de Andrade, Ed. Pini, 1997.
- HASPARYK, N.P. **Investigação dos mecanismos da reação álcali-agregado - efeito da cinza de casca de arroz e da sílica ativa.** 1999 Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola de Engenharia Civil, Universidade Federal de Goiânia, Goiânia.

HELMUTH, R., STARK, D. **Alkali-silica reactivity mechanisms**. In : SKALNY, J.; MINDESS, S. **Materials Science of Concrete III**. Estados Unidos : American Ceramic Society, 1992. p. 131-208.

HOOPS, D.W. **Alkali Silica reaction in concrete**. Londres : Ed. Thomas Telford, 1988.

IDORN, G. M.; JOHANSEN, V.; THAULOW, N. **Assessment of causes of cracking in concrete**. In : SKALNY, J.; MINDESS, S. **Materials Science of Concrete III**. Estados Unidos : American Ceramic Society, 1992. p. 131-208.

KIHARA, Y. **Reação álcali-agregado : aspectos mineralógicos**. In : SIMPÓSIO NACIONAL DE AGREGADOS, 1., 1986, São Paulo. Anais... São Paulo : Escola Politécnica da USP, 1986. p. 127-138.

MEHTA, P. K. ; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: estruturas, propriedades e materiais**. São Paulo : Ed. Pini, 1994.

MONTEIRO, P.J.M.; PREZZI, M. ; SPOSITO, G. **The alkali-silica reaction, part I**. ACI Materials Journal, USA, v. 94, n. 1, p. 10-17, jan. 1997.

OBERHOLSTER, R. E.; DAVIES, G. 1986. **An Accelerated Method for Testing the Potential Alkali- Reactivity of Siliceous Aggregates**. Cement and Concrete Research, USA, v. 16, n. 2, p. 181-189, 1986.

PAULON, V. A. **Alkali-aggregate reaction at Moxotó Dam - Brazil**. In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 7., 1986, Ottawa. Anais... Ottawa, 1986. p. 65-70.

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

PAULON, V.A; SAAD, M.N.A.; ANDRADE, W.P. **Properties of mass concrete containing an active pozzolan made from clay.** Concrete International, p. 59-65, jul. 1982.

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.

SILVA, C.A.R.; FONTOURA, J.T.F.; SANTOS, M.C.; ANDRADE, N.P.H. **Métodos utilizados na investigação da reação álcali-agregado.** In : SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997, Goiânia. Anais... Goiânia, 1997. p. 53-60.

TANG, M., DENG, M., XU, Z. **Comparison Between Alkali-Silica Reaction and Alkali-Carbonate Reaction.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 11., 2000, Québec. Anais... Québec, 2000. p. 109-118.

THAULOW, N.; JAKOBSEN, U.H.; CLARK, B. **Composition of alkali-silica gel and ettringite in concrete railroad ties : SEM-EDX and X-ray diffraction analyses.** Cement and Concrete Research, USA, v. 26, n. 2, p. 309-318, fev. 1996.

TORII, K.; KUMAGAI, Y.; ISHII, K.; SATO, K.; OKUDA, Y. **Strengthening method for ASR affected concrete piers using prestressing steel wire.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 11., 2000, Québec. Anais... Québec, 2000. p. 1225-1233.

URHAN, S. **Alkali-silica and pozzolanic reactions in concrete. Part 1: interpretation of published results and an hypothesis concerning the mechanism.** Cement and Concrete Research, USA, v. 17, n. 1, p. 141-152, fev. 1987.

VEIGA, F.N.; GONÇALVES, I.N.; ANDRADE, N.P.H. **Microscopia eletrônica de varredura de géis provenientes de usinas hidrelétricas.** In : SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997a, Goiânia. Anais... Goiânia, 1997. p. 69-79.

VEIGA, F.N.; GONÇALVES, I.N.; ARMELIN, J.L.; ANDRADE, N.P.H. **Reação álcali-agregado : a utilização da técnica de microscopia eletrônica de varredura na identificação de seus produtos.** In : SIMPÓSIO SOBRE REATIVIDADE ÁLCALI-AGREGADO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO, 1997b, Goiânia. Anais... Goiânia, 1997. p. 13-20.

VIEIRA, S.R.S.S.; OLIVEIRA, M.A.F. **Estudo Petrográfico de alguns agregados brasileiros, com ênfase na avaliação de sua reatividade potencial frente aos álcalis do cimento.** In : REIBRAC, 39., 1997, São Paulo. Anais...São Paulo, 1997. p. 77-91.

VIEIRA, S.R.S.S.; PECCHIO, M.; ABREU, J.V.; FERREIRA, M.C.N.F. **Avaliação de diferentes cimentos como inibidores da reação álcali-agregado.** In : CONGRESSO BRASILEIRO DE CIMENTO, 40., 1996, São Paulo. Anais...São Paulo, 1996. p. 579-590.

XU, Z., LAN, X., DENG, M., TANG, M. **A new accelerated method for determining the potential alkali-carbonate reactivity.** In : INTERNATIONAL CONFERENCE ON ALKALI-AGGREGATE REACTION IN CONCRETE, 11., 2000, Québec. Anais... Québec, 2000. p. 129-138.

ABSTRACT

Valduga, Laila. Reação álcali-agregado : mapeamento de agregados reativos do estado de São Paulo. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2002. 223 p. Dissertação de Mestrado.

Alkali-aggregate reaction is considered a deterioration related to spontaneous chemical reactions, to which the repair procedures are only palliative . Taken into account the reaction's prevention, the aim of this work was the evaluation and characterization related to the criterion of reactive potentiality of aggregates in the state of São Paulo. Another purpose of this work was to show a map of reactivity of aggregates from the studied region. Methods of petrographic analysis, potential reactivity determination by the accelerated method and chemical method, and even as an extra source the scanning electronic microscope . Of 26 locals from where samples were taken to be tested, 16 of them showed reactive aggregates, namely, about 60% of the total. The efficiency and reliability of each method could have been tested. The petrographic examination turned up to be a very useful technique, such as the accelerated method and the scanning electronic microscope. The chemical method was not considered effective for the types of aggregates studied. The mapping obtained from this work showed several areas with potentially reactive material in the state of São Paulo.

Key-words : concrete, durability, alkali-aggregate reaction.

